

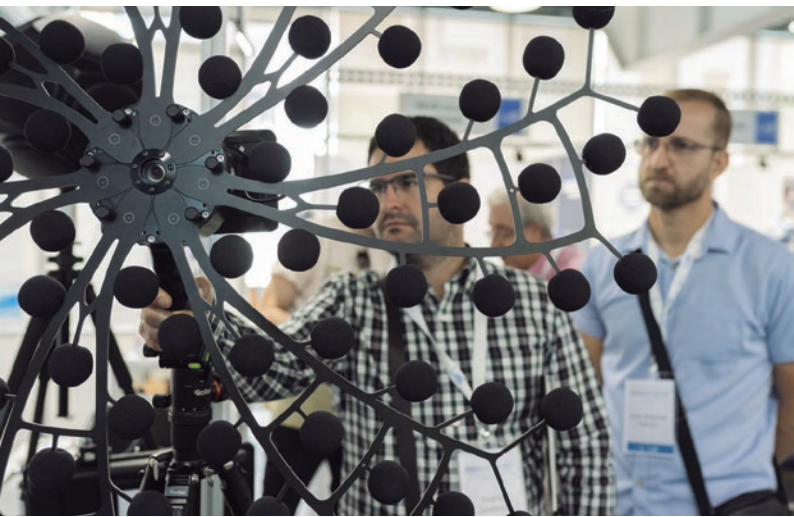


Revista de

acústica

Vol. 53 | Núms. 3 y 4 | 3.º y 4.º Trimestres 2022

Publicación periódica de la Sociedad Española de Acústica, SEA



Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido

Miércoles 27 de abril de 2022

$$L_{W',eq,line,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \times \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i 10^{0.1 L_{Eq,i}} \right)$$
$$= 10 \times \lg \sum_i 10^{(L_{tot,LT,i} + AWC_{f,i})/10}$$
$$r_n = |S_n R| = \sqrt{(d_n - (d_B + d_R))^2 + (h_n - h_R)^2}$$
$$L_{Eq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i 10^{0.1 L_{Eq,i}} \right)$$
$$\frac{dc}{dz} = \left(\frac{dc}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dz} \right)$$

*La ecuación es simple
más ruido = menos salud*

$$r_n = |S_n R| = \sqrt{(d_n - (d_B + d_R))^2 + (h_n - h_R)^2}$$
$$| = \sqrt{(d_n - (d_B + d_R))^2 + (h_n - h_R)^2}$$
$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \times \lg(10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)})$$
$$RR_{ECL,i,vial} = \left\{ \begin{array}{l} e^{[(\ln(1.08)/10) \cdot (L_{den} - 53)]} \\ 1 \end{array} \right.$$
$$L_{Eq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i 10^{0.1 L_{Eq,i}} \right)$$
$$r_n = |S_n R| = \sqrt{(d_n - (d_B + d_R))^2 + (h_n - h_R)^2}$$
$$\lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i 10^{0.1 L_{Eq,i}} \right)$$



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Revista de Acústica

Publicación periódica de la
Sociedad Española de Acústica,
SEA

Portada: Fotografías del Congreso
Tecniacústica 2022.

Edita

Sociedad Española de Acústica, SEA
www.sea-acustica.es
secretaria@sea-acustica.es

Director

Jaime Ramis Soriano
revista@sea-acustica.es

Administración, suscripciones y publicidad

secretaria@sea-acustica.es

Maquetación e impresión

Discript Preimpresión, S. L.
www.discript.net

Suscripción anual

España: € 50
Extranjero: € 70

Tarifas publicidad

Una página color € 600

Depósito legal

M-19769-1970

I.S.S.N.

0210-3680 (versión impresa)
2254-2396 (versión digital)



La **Revista de Acústica**, así como todos los artículos e ilustraciones publicados, están protegidos por las leyes de la propiedad intelectual. No obstante, se permite a los autores de los artículos la reutilización de los trabajos publicados con fines no comerciales, incluyendo el depósito de la versión final de la revista en repositorios institucionales, temáticos o páginas web personales, inmediatamente después de su publicación. El resto de la información contenida en la Revista puede reproducirse siempre que se cite la procedencia.



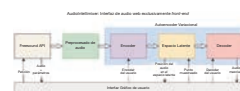
Revista de acústica

Vol. 53 | Núms. 3 y 4 | 3.º y 4.º Trimestres 2022

Sumario

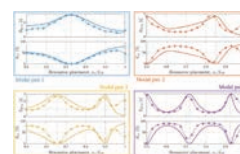
3 Acercando los autocodificadores variacionales al gran público

Mateo José Cámara Largo, José Luis Blanco Murillo
Premio Andrés Lara 2022



13 The vibroacoustic interaction in mallet percussion instruments: modelling and experiments

Filipe Soares, Vincent Debut, Jose Antunes
Premio Luis de Camoens 2022



22 Introducción al Paisaje Sonoro

Robert Barti



48 De Harpócrates a Estruendópolis y la falsa leyenda de Madrid como una de las ciudades más ruidosas del mundo

Walter A. Montano Rodríguez,
M. Noel Martínez Pascal



58 Influencia de los materiales de fabricación de boquillas de trombón en su calidad acústica

Romina Del Rey Tormos, Miguel Ángel Peydro Rasero,
Christian González Ferrer, Jesús Alba Fernández



67 Noticias de la SEA

73 Novedades técnicas

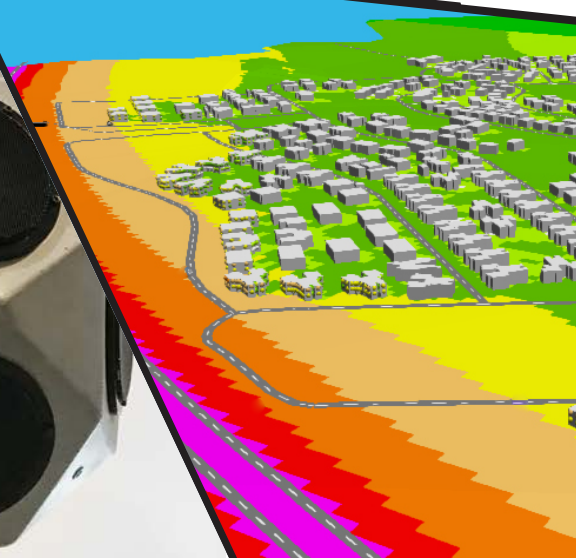
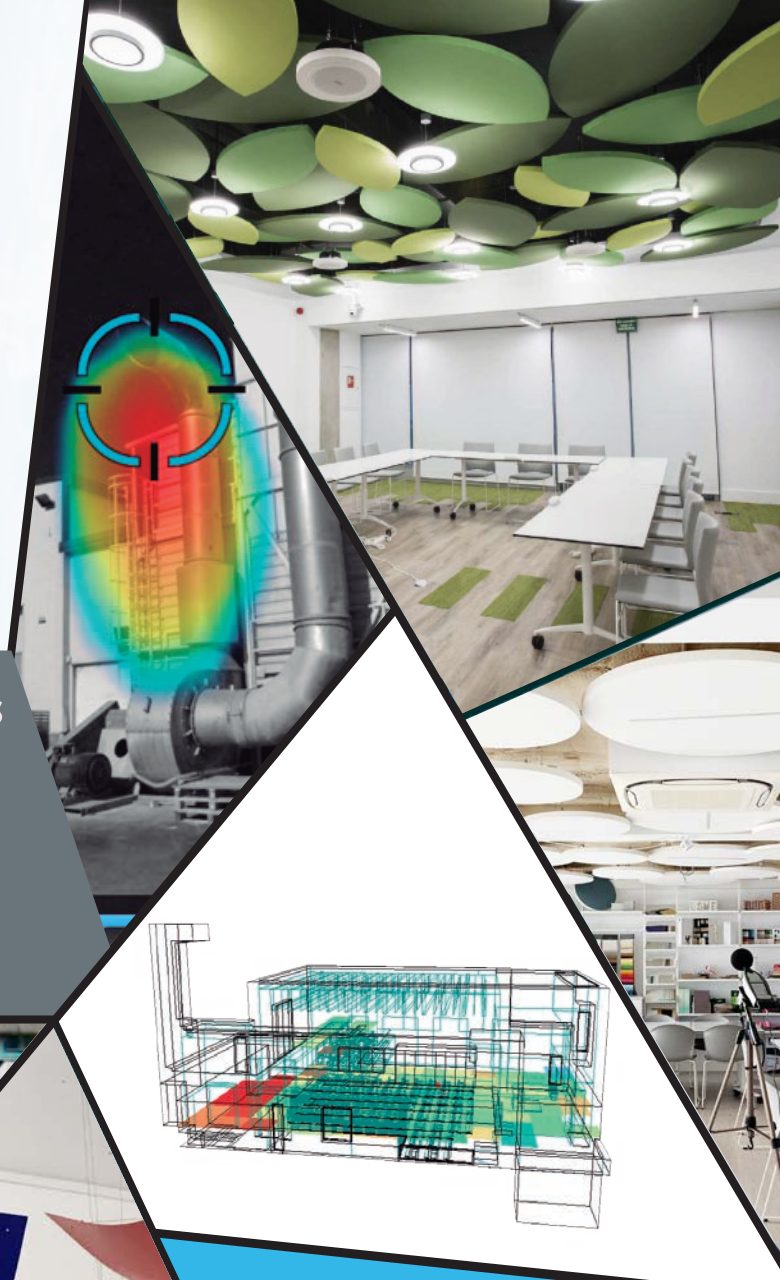
76 Publicaciones

79 In Memoriam

80 Agenda

INGENIERÍA ACÚSTICA CONTROL DEL RUIDO

DISEÑO DE SOLUCIONES INNOVADORAS
CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS Y
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS
FABRICACIÓN PERSONALIZADA
INSTALACIÓN HOMOLOGADA



SENSORIZACIÓN ACÚSTICA / MAPAS DE RUIDO / PLANES DE ACCIÓN
LABORATORIOS ACREDITADOS EN CERTIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS
PROYECTOS Y ESTUDIOS ACÚSTICOS EN EDIFICACIÓN, INDUSTRIA Y HOSTELERÍA

Acercando los autocodificadores variacionales al gran público



Mateo José Cámara Largo¹, José Luis Blanco Murillo¹

¹ Grupo de Aplicaciones del Procesado de Señal (GAPS).
Information Processing and Telecommunication Center (IPTC),
ETSI de Telecomunicación (ETSIT),
Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

PACS: Acoustical Neural Networks, Artificial intelligence, Musical sounds, analysis, synthesis, and processing

Resumen

El sonido es un activo fundamental en la creación audiovisual que requiere de un tratamiento minucioso para ajustarse a las expectativas de los consumidores. Los artistas tienen a su disposición numerosas bases de datos y gran número de registros. Sin embargo, en la práctica resulta imposible manejar toda esta variabilidad.

Los Autocodificadores Variacionales (VAEs) son sistemas generativos que condensan la información en un pequeño vector de variables latentes. Modificar este vector da lugar a nuevas observaciones (sonidos) que se asemejan a las referencias e incorporan rasgos propios de los efectos deseados, sin necesidad de agregarlas a las bases de datos y con claras diferencias.

Presentamos una plataforma web que conecta mediante la API de Freesound y se aloja íntegramente en el navegador (sin ningún backend), que permite trabajar y explorar el espacio latente de cualquier VAE orientado al audio generativo.

La contribución se centra en el diseño y evaluación de una solución para la exploración del espacio latente partiendo de la interacción de los usuarios. Se evalúan representaciones que permiten situarnos en una zona compacta del espacio latente que asegure buenos resultados en generación. Los resultados se incluyen en un demostrador online.

Palabras clave: autocodificadores, audio, espacio latente, interacción, TensorFlow.

Abstract

Sound is a fundamental asset in audiovisual creation that requires meticulous treatment to match consumers' expectations. Artists have at their disposal numerous databases and records. However, in practice it is impossible to store all this variability.

Variational Autoencoders (VAEs) are generative systems that condense information into a small vector of latent variables. Modifying this vector provides new observations (sounds) that resemble references without the need to incorporate them into databases and display differences that match desired effects.

We present a web platform that connects via API to Freesound and is hosted entirely in the browser (without any backend), which allows work and exploration of the latent space of any VAE oriented to generative audio.

This contribution reports on the design and evaluation of a solution for the exploration of the latent space starting from the two-dimensional plane in which users interact. We address expanded representations for placing new sounds within a compact area of the latent space that ensures high-quality generation. The results have been included in our online demonstrator.

Keywords: autoencoders, audio, latent space, interaction, TensorFlow.

1. Introducción

A lo largo de los años las tecnologías de representación, análisis y síntesis en acústica y audio han ido ofreciendo nuevas aplicaciones aprovechando las capacidades de últimas tecnologías. Su complejidad ha ido en

aumento y cada vez se centra más en el tratamiento matemático de los datos. Esto las aleja de sus usuarios habituales. En las últimas décadas, los esquemas de aprendizaje profundo han revolucionado la Inteligencia Artificial. Hoy reconocemos el riesgo que supone que sus usuarios se sientan incapaces de aproximarse a las tec-

nologías, y trabajamos en su *divulgación, interpretabilidad y explicabilidad*.

Este trabajo pretende acercar al público a los entresijos de una de las herramientas más utilizadas para representar la variabilidad de un conjunto de datos y sintetizar nuevas muestras de forma generativa: los autocodificadores variacionales (VAEs, *Variational AutoEncoders*).

A muy alto nivel, los autocodificadores (Aes) codifican los registros de audio en base a unas variables que definen un nuevo espacio de representación: el espacio latente, e interpretan estas nuevas representaciones, reconstruyendo los registros a partir de aquellas. En el caso de los esquemas variacionales, los VAEs logran, además, generar nuevos registros consistentes con los datos de entrenamiento a partir del muestreo de nuevos puntos en el espacio latente. Esta singular capacidad generativa los convierte en herramientas extremadamente potentes para gestionar y complementar la enorme cantidad de datos disponibles en las grandes bases de datos de audio, apoyándose únicamente en la información acústica de los registros.

Los VAEs se cuentan hoy entre las herramientas que en estos últimos años han revolucionado los sistemas de representación, análisis y síntesis. Se han publicado innumerables trabajos y revisiones que se sirven de estas estructuras para la síntesis de sonidos [1], de efectos [2], música [3], incluso para la síntesis de voz [4], la anonimización de hablantes [5], la transformación de voces [6] o la detección de emociones [7], por mencionar algunas. Todos estos trabajos subrayan su extraordinaria capacidad generativa. Pero más allá de que su uso individual sea cada día más extendido [8], es habitual encontrarlos dentro de esquemas más complejos aprovechando su extraordinaria capacidad para representar la variabilidad subyacente y generalizar resultados centrándose únicamente en los datos de partida [9].

Contrariamente a lo que sucede en cuanto a la representación y generación, la calidad de sus resultados en audio está todavía muy lejos de los reportados en el procesamiento de imagen [12]. La calidad parece depender de la representación de entrada [10], de la estructura interna del autocodificador y de sus hiperparámetros [11]. La reconstrucción y generación de registros de calidad plantea retos importantes, derivados del mayor grado de exigencia que impone el oído frente al de la vista. Resulta desarrollar herramientas que faciliten el proceso de evaluación de los registros trabajando indistintamente en el espacio de las señales y en el espacio latente.

Toda vez que los VAEs han alcanzado un nivel de calidad, comparable al de otras técnicas, podemos centrarnos en el espacio latente. Por un lado, la calidad del mo-

delo de síntesis de aquellos VAEs que reconstruyen registros sonoros puede cuantificarse automáticamente para comparar registros reconstruidos con sus referencias -por ejemplo, PEAQ [13], POLQA [14] o ViSQOL [15]. Por otro, la estructura del VAE facilita la interacción directa con su espacio latente, lo que facilita su estudio. Aprovechando la estructura del espacio latente del VAE, podemos emplear estos esquemas de evaluación y otras métricas como las basadas en la similitud espectral [16] para cuantificar las diferencias cuando el VAE genera nuevos sonidos y navegar alrededor de distintas referencias sonoras a través del espacio latente.

En este trabajo nos centramos en facilitar la interacción con el espacio latente a través de una plataforma diseñada y desarrollada por los autores que permite trabajar con VAEs programados con TensorFlow. La plataforma opera íntegramente desde el navegador web y sin necesidad de ningún tipo de *backend* [17]. En este trabajo buscamos hacerla útil para el gran público, facilitando una interacción sencilla con los elementos más profundos del sistema y una exploración guiada de las representaciones. Los usuarios pueden trabajar con modelos preentrenados o sus propios modelos, navegar por el espacio latente y evaluar los resultados.

El resto del trabajo se ha estructurado como sigue. La sección 2 presenta formalmente el autocodificador variacional, hace un repaso al estado del arte, los retos que el espacio latente, y su exploración. En la sección 3 se describen los materiales empleados y en la 4 los experimentos sobre la evaluación de los audios generados y en la exploración del espacio latente. Los resultados incluyen en la sección 5 y las conclusiones en la sección 6.

2. Estado del arte

2.1. VAEs y espacio latente

Formalmente, el VAE es una arquitectura de aprendizaje profundo que transforma los datos de entrada en puntos de un nuevo espacio de variables latentes, y de allí de nuevo en las señales de entrada. En audio y acústica estas observaciones de entrada y de salida, $x \in R^E$, son, en general, espectrogramas o representaciones similares basadas en el análisis frecuencial de las secuencias a lo largo del tiempo. Los vectores codificados del espacio latente, $z \in R^D$, son de una dimensionalidad mucho menor, $D \ll E$, lo que convierte al espacio latente en el verdadero cuello de botella de esta arquitectura y nodo de concentración de la información.

El VAE se construye en una única fase siguiendo los dos mismos pasos que todos los autocodificadores: la codificación, $p_\theta(z|x)$, y la decodificación, $p_\theta(x,z) = p_\theta(x|z) \cdot p_\theta(z)$. Ambas emplean el mismo juego de parámetros, θ , que

concentra todas las variables del espacio latente. El modelo del decodificador genera nueva información condicionada por el espacio latente, mientras que la estructura compacta del codificador se obtiene por la regularización sobre una distribución a priori. Esta última suele hacerse coincidir con una distribución normal estándar multivariada, $N(z; 0, I_D)$, con I_D la matriz identidad de dimensiones $D \times D$. Empleando esta distribución los coeficientes del espacio latente tienden de manera natural a números similares, mientras que los vectores son ortogonales. En este nuevo espacio, aquellas posiciones que están más próximas (en distancia, típicamente euclídea) corresponden a señales que se parecen entre sí. De forma natural el autocodificador variacional pueda representar variabilidad y generarla sin necesidad de marcadores semánticos. A pesar de esto, la capacidad de reflejar diferencias semánticas a partir de las distancias en el espacio latente ofrece grandes posibilidades y ha motivado el uso del VAE en múltiples aplicaciones.

En la decodificación, se considera una distribución a posteriori con una media no restringida y una varianza prefijada por una distribución normal multivariada subyacente. A pesar de las referencias a la distribución gaussiana, no se ha comprobado que ésta sea la más apropiada. Además, resulta imposible de tratar en forma completa, sirviéndonos de aproximaciones a un modelo paramétrico, $q_\varphi(z|x) = N(z; \tilde{\mu}_\varphi(x), \tilde{\sigma}_\varphi(x))$, donde $\tilde{\mu}_\varphi(x) \in R^D$ y $\tilde{\sigma}_\varphi(x)$ son salidas controladas por φ . El entrenamiento de la red se centra en evaluar los valores de esta media y estas varianzas, respectivamente. Esto se logra al adaptar la mínima cota de $\log p_\theta(x)$, calculada sobre el conjunto de entrenamiento x . La literatura ofrece prueba de que la distribución marginal exacta para un único vector de entrada no puede ser calculada. Sin embargo, la menor cota variacional (*Variational Lower Bound*, VLB) puede maximizarse mediante el método de propagación y la optimización basada en el gradiente:

$$L(\varphi, \theta, x) = E_{q_\varphi(z|x)} [\log p_\theta(x|z)] - \beta \cdot d_{KL}(q_\varphi(z|x) | p_\theta(z)) \quad (1)$$

d_{KL} representa la diferencia de Kullback-Leibler, y β es un parámetro que controla el aprendizaje. El primero de los términos se centra en la precisión en la reconstrucción de la media. El segundo término caracteriza el regularizador que lleva a la distribución a aproximarse continuamente a *a priori* $p_\theta(z)$. En la forma básica de un VAE tenemos que $\beta = 1$; mientras que su generalización a través del β -VAE permite adaptar con la tasa de aprendizaje y se ha generalizado en los últimos años. Empleamos los métodos de Montecarlo ante la imposibilidad de dar un tratamiento analítico al término de reconstrucción [19, 11].

En este trabajo empleamos implementaciones estándar del β -VAE. Nuestro objetivo es acercar estas arquitecturas al público y facilitar la interacción directa con el

espacio latente. Por tanto, no cabe innovar en cuanto a las estructuras. Nos centraremos en los resultados que ofrece el VAE, tanto a los vectores de variables latentes como a su decodificación, interpretándolo como un esquema de codificación -decodificación dado por una transformación f tal que podemos:

Codificar: $z = f(x)$, con x la representación de entrada del registro codificado en z .

Decodificar: $\hat{x} = f^{-1}(z)$, con \hat{x} la representación reconstruida a partir del vector z .

En general, sabemos que $\hat{x} \approx x$, pero no igual; y que dos entradas diferentes, $x_1 \neq x_2$ deberían arrojar codificaciones distintas, $z_1 \neq z_2$. Podemos evaluar estas diferencias tanto en el espacio de partida como en el espacio latente. En primera instancia consideraremos el entrenamiento y la calidad de sus resultados monitorizando la reconstrucción (MAE, *Mean absolute Error*):

$$\|\varepsilon_x\|^2 = \|x - \hat{x}\|^2 \quad \text{cuando} \quad \|\varepsilon_z\|^2 = \|z - \hat{z}\|^2 = 0 \quad (2)$$

El entrenamiento minimiza este error cuya métrica está ligada al tamaño del espacio latente. Uno grande es más lento en entrenamiento y ejecución, requiere más datos.

Podemos evaluar el impacto del error en la calidad percibida. Se comprueba que ésta aparece condicionada por la de entrenamiento, pero no igual. En estos trabajos empleamos métricas de calidad (*Quality Metric*, QM) basadas en referencia, obteniendo una valoración (o *score*):

$$s = QM(x, \hat{x}) = QM(x, f^{-1}(z)) \quad (3)$$

En segunda instancia, podemos utilizar estas mismas métricas para evaluar las diferencias entre los audios de referencia anteriores y las variaciones generadas por el VAE en el entorno de aquellos. Finalmente, esta misma métrica, u otras que sigan la misma lógica, basadas, por ejemplo, en la similitud (*Similarity Metric*, SM, [16]), pueden emplearse para cuantificar las diferencias entre las distintas referencias y puntos arbitrarios del espacio latente.

Resulta particularmente ilustrativo circunscribirnos al entorno de los datos. La Figura 1 ilustra esta idea. Se observa una serie de registros (puntos) sobre un plano proyectado cualquiera del espacio latente de un VAE. Incluimos distintas clases (en distinto color) para evidenciar cómo se organiza el espacio. Identificamos zonas de alta densidad, donde recaen muchas de las observaciones, y zonas de baja densidad, donde disponemos de pocos datos. En las primeras, la capacidad de representación y generalización está garantizada. La ausencia de información en las segundas ofrecerá peores prestaciones. Estamos interesados en navegar las primeras.

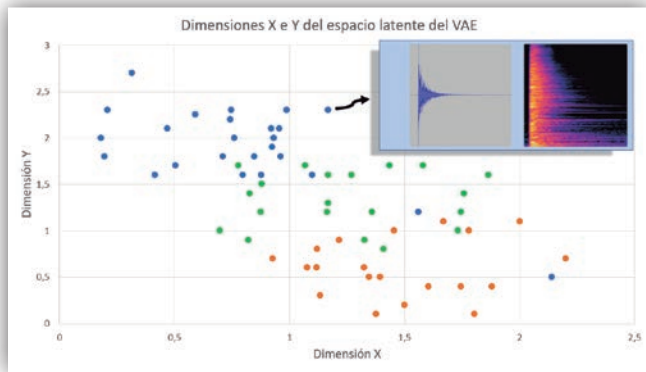


Figura 1. Representación del espacio latente en dos dimensiones arbitrarias. Los datos tienden a concentrarse en virtud del grado de similitud entre las representaciones.

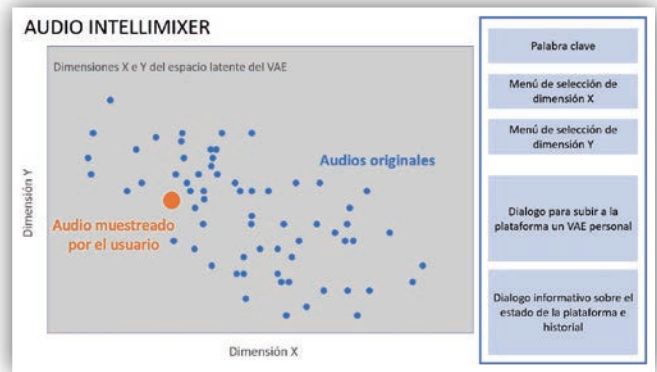


Figura 2. Captura del interfaz de usuario (UI) de la herramienta *Intellimixer*. Integra los desarrollos descritos en este trabajo para la interacción con el espacio latente y su exploración.

En suma, las métricas nos permiten analizar diferencias a medida que exploramos el espacio latente en: (a) reconstrucción (entrenamiento) o generación (exploración), $\epsilon_z = 0$, como en (b) el entorno de un registro, $\|\epsilon_z\| \leq e$, y (c) al alejarnos de éste, $\epsilon_z = z_1 - z_0$ (esto es, $z'_0 = z_1$).

$$z_0 = f(x_0) \rightarrow x'_0 = f^{-1}(z'_0), z'_0 = z_0 + \epsilon_z \quad (4)$$

2.2. Audio Intellimixer

La herramienta web *Audio Intellimixer* permite interactuar directamente con el espacio latente. Extiende un proyecto anterior de Audio Commons puramente demostrativo "*Timbral Explorer*". Aquel ofrece una interfaz que representa, en un espacio de dos variables, la posición de registros descargados de Freesound a través de su API [18]. La herramienta *Intellimixer* generaliza esta interacción. Permite a los usuarios conectar su propio VAE (o uno por defecto), seleccionar las dimensiones, codificar y representar los registros de Freesound y generar nuevos en las regiones intermedias. Esto equivale a muestrear el espacio latente. Todo esto además de visualizar los espectrogramas, escucharlos y descargarlos.

La Figura 2 muestra una captura de la interfaz de usuario. La arquitectura aparece descrita en la Figura 3. La herramienta se conecta automáticamente con Freesound a través de su API, descarga registros de prueba y un modelo VAE. Codifica los registros en el espacio latente y señala su posición sobre el plano analizado. Seguidamente, permite a los usuarios generar audios correspondientes a puntos del espacio latente. Ya sea recuperando audios originales (sin reconstrucción) o sintetizando (decodificando) nuevos. Es interesante ver las similitudes entre las Figuras 1 y 2 en cuanto al posicionamiento de los puntos en el espacio latente.

En la Figura 3 se identifican los módulos de descarga y cálculo, para preparar las entradas del VAE, la síntesis de la salida, así como la conexión con Freesound y la interfaz gráfica.

El reto radica en facilitar la interacción de los usuarios en el espacio latente. Seleccionado un punto del plano bidimensional mostrado en la herramienta, se generará un registro consistente acústicamente con esta posición. Esto requiere definir un expansor que obtenga posiciones para las dimensiones restantes consistentes con las

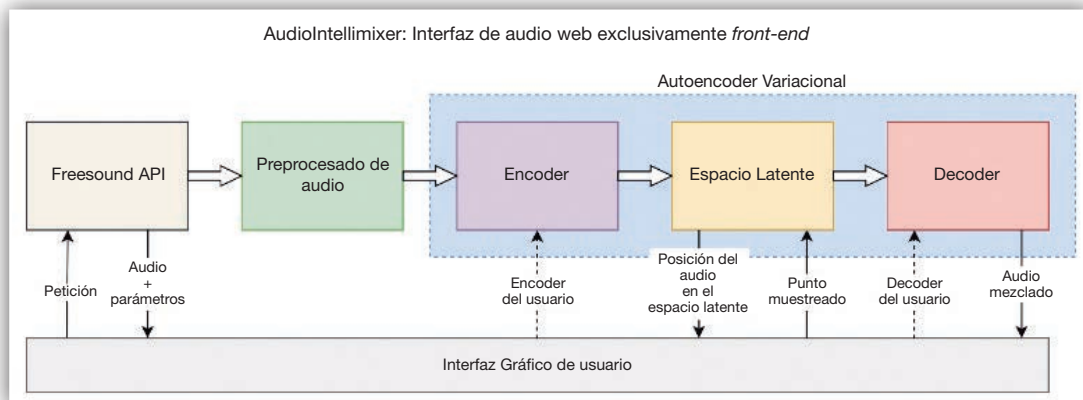


Figura 3. Arquitectura *software* de la herramienta *Intellimixer*. La implementación evita cualquier tipo de backend, ejecutándose íntegramente en el navegador del usuario.

observaciones (registros) originales. Así, para dos dimensiones, $(z[i], z[j])$, buscamos una función vectorial $g = (g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots)$ tal que:

$$(z[i], z[j]) \rightarrow z = \left(g_1(z[i], z[j] | \{z_k\}_{k=1, \dots, L}), g_2(z[i], z[j] | \dots), \dots, z_i, \dots, z_j, \dots, g_D(z[i], z[j] | \dots) \right) \quad (5)$$

Existen multitud de formas expansoras. La implementación original de la aplicación trabaja con dos casos: (i) la asignación del vecino más próximo (NN), y (ii) la réplica de la media muestral.

$$\text{NN: } g_d(z[i], z[j] | \{\bar{z}_k\}_{k=1, \dots, L}) = z_k[d], \quad (6)$$

d minimizando la distancia en (i, j)

$$\text{Media: } g_d(z[i], z[j] | \{\bar{z}_k\}_{k=1, \dots, L}) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L z_k[d], \quad 1 \leq d \leq D, \quad (7)$$

$d \neq i$ y $d \neq j$

Estas aseguran que el vector completo, que pasará por el decodificador antes de la síntesis, se sitúa en posiciones convenientes. En el primer caso, en la posición de un registro de audio. En el segundo, las dimensiones se centran sobre la región de interés. Sus coordenadas serán consistentes, en media, con los audios originales. Por contra, no lo serán las distancias entre registros. Si seleccionamos en el espacio latente un punto próximo a otro dado, pero no igual, estaríamos asignando coordenadas potencialmente muy alejadas a las referencias. Todo depende de los datos; y a la vista del cuello de botella que establece el VAE, $D \ll E$, podría ser fatal, conllevando un mal resultado en la síntesis y una mala experiencia para el usuario. A continuación, trataremos de identificar una forma expansora consistente en distancia.

2.3. Métricas y expansores de alta dimensionalidad

La literatura recoge distintos estudios sobre métricas relativas al espacio latente. Entre otras, la distancia Euclídea [19] y su generalización a través de la matriz de Mahalanobis [20], así como la del coseno [21], más interesante en la dirección de las diferencias que en su magnitud. Las primeras están particularmente indicadas para regiones locales (poca distancia) entorno a una referencia, o para transitar de un sonido a otro (distancia más elevada). Las segundas para analizar el sentido de los cambios, con independencia de su magnitud.

Los expansores (de alta dimensionalidad) son estructuras que elevan la dimensionalidad de un vector tomando en cuenta distintas relaciones entre dimensiones. Así, el expansor más simple sencillamente replica un valor a lo largo de todas las dimensiones. Esta puede ser una opción válida si las dimensiones son independientes. Sin embargo, es habitual que los valores de los vectores estén condicionados, cuando no correlados. En ese caso, es razonable que tratemos de preservar las distancias a

las referencias. En otras palabras, buscamos coordenadas que minimizan la diferencia entre las distancias en el espacio de menor dimensionalidad (el/los plano(s) de interacción con el usuario) y el espacio latente completo (de muestreo).

Supongamos conocida una serie de $D_1 \geq 2$ coordenadas de z , \bar{z} , y las restantes $D_2 = D - D_1$ desconocidas, \tilde{z} . Escribimos $z = (\bar{z}, \tilde{z})$, preservando el orden en las dimensiones del vector al realizar la concatenación. En este trabajo consideramos que la bondad de la expansión viene dada por la suavidad en las regiones donde existen observaciones [22]. Para ello evaluamos las tendencias en la calidad al variar linealmente la representación latente. Vamos a trabajar con dos representaciones complementarias. La primera basada en el centroide de dispersión entorno a las referencias, para analizar la reconstrucción de las referencias y las vecindades entorno a aquellas. La segunda centrada en la preservación de la distancia.

2.3.1. Retícula de dispersión

Dados L registros de audio por sus correspondientes representaciones en un espacio latente de dimensión D , $\{z_i\}_{i=1, \dots, L} \in R^D$, definimos una **retícula** centrada en un ancla $z_k \in R^D$ como:

$$z = z_k + \sum_{i=1, i \neq k}^L \alpha_{ki} \cdot (z_i - z_k) \quad (8)$$

donde $z \in R^D$ representa un punto cualquiera del espacio latente y $\alpha = (\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \dots, \alpha_{kL}) \in R^L$ es una representación de este punto en las coordenadas de la retícula. En este caso, $\alpha \rightarrow \bar{0}$ cuando $z \approx z_k$, y se igualarán cuando $\alpha = \bar{0}$. Variando el ancla y ajustando los coeficientes podemos analizar las vecindades ($0 \leq |\alpha| \ll \|z_k\|^2$), o explorar el espacio (cuando $|\alpha| \approx 1$).

Operando en el espacio latente con distancia euclídea para un punto $z \in R^D$ y un ancla $z_i \in R^D$:

$$\begin{aligned} \text{dist}^2(z, z_i) &= \|z - z_i\|^2 = \sum_{i=1}^D (z[i] - z_k[i])^2 = \\ &= \left(\sum_{i=1}^D z^2[i] + z_k^2[i] \right) - 2 \sum_{i=1}^D z_k[i] \cdot z[i] \end{aligned} \quad (9)$$

Y cuando además lo hagamos en el entorno de $z_k \in R^D$, esperamos que con $z_i \neq z_k$:

$$\text{dist}^2(z, z_k) = \left\| \sum_{i=1, i \neq k}^L \alpha_{ki} \cdot (z_i - z_k) \right\|^2 \approx \gamma^2 \ll \text{dist}^2(z, z_i) \quad (10)$$

donde γ representa un ruido aleatorio de media nula y potencia conocida, σ_γ^2 , lo que establece un centroide de dispersión entorno al ancla. Alternativamente, podemos pensar en términos de la distancia Mahalanobis,

que se generaliza con una rotación y un escalado de los vectores.

2.3.2. Expansor basado en multilateralización

Lamentablemente, la aproximación anterior deja de tener sentido cuando salimos de la región alrededor del ancla. En otras localizaciones afrontaremos una representación basada en las distancias a las anclas que debe asegurar, al igual que la anterior, que para un punto ancla la reconstrucción sea acorde a la calidad alcanzada durante el entrenamiento del VAE.

Las ecuaciones de multi-lateralización permiten la localización a partir de una multitud de referencias empleando ecuaciones lineales a partir de las diferencias en las distancias:

$$\begin{aligned} \text{dist}^2(z, z_k) - \text{dist}^2(z, z_l) = \\ = \left[\|z_k\|^2 - \|z_l\|^2 \right] - 2 \sum_{i=1}^D (z_k[i] - z_l[i]) \cdot z[i] = a_{kl} - b_{kl} \cdot z \end{aligned} \quad (11)$$

donde a_{kl} es una constante y b_{kl} es un vector, ambos dependientes de las coordenadas de las referencias. Dado que queremos preservar las distancias a las referencias, buscando coordenadas que satisfagan un sistema de ecuaciones que en cada entrada incluye:

$$\begin{aligned} K \cdot [\text{dist}^2(\bar{z}, \bar{z}_k) - \text{dist}^2(\bar{z}, \bar{z}_l)] \approx \\ \approx \left[\|z_k\|^2 - \|z_l\|^2 \right] - 2 \sum_{i=1}^D (\bar{z}_k[i] - \bar{z}_l[i]) \cdot \bar{z}[i] \end{aligned} \quad (12)$$

Formamos $W \cdot \tilde{z} = u$, $W_l = -2(\tilde{z}_k - \tilde{z}_l)^T$, $u_l = \left[\|\bar{z} - \bar{z}_k\|^2 - \|\bar{z} - \bar{z}_l\|^2 \right] - \left[\|z_k\|^2 - \|z_l\|^2 \right]$, con $z = W^+ \cdot u$ con $W^+ = (W^T \cdot W)^{-1} \cdot W^T$. En general, el sistema resultante es compatible, pero su determinación dependerá de $L \cdot (L - 1) \leq 2 \cdot D_2$, con L anclas disponibles. Para $D = 50$ y $D_1 = 2$, bastan $L \leq 11$ anclas. La solución a las ecuaciones se incluye en la aplicación *Intellimixer*. La subrutina se ejecuta cuando el usuario muestrea un nuevo audio y las anclas se han codificado.

3. Materiales

En este trabajo nos vamos a centrar en el modelo VAE por defecto que emplea la herramienta web *Audio Intellimixer*. Entrenamos el modelo fuera de la herramienta, empleando Python 3.8, el entorno Keras y TensorFlow en su versión 2.7.0 con aceleración por hardware mediante una tarjeta GPU NVIDIA TITAN X. Los datos empleados fueron registros de audio con sonidos de pasos de un segundo de duración [23]. La base de datos está publicada y disponible. Los registros fueron preprocesados para validar su contenido. Dividimos el conjunto de datos

para entrenamiento (60%), validación (20%) y ensayo (20%). Empleamos validación cruzada para no lastrar el entrenamiento, tomando 500 épocas, con paciencia de 30 para la parada temprana del proceso, junto con el optimizador Adam [24] y una tasa de aprendizaje de 10^{-4} .

Para poder utilizar el VAE desarrollado dentro de la herramienta es necesario separar los modelos de codificación y decodificación en dos bloques para ajustarse a la arquitectura de la Figura 3. Además, no es necesario incorporar la capa Lambda para el muestreo del espacio latente, puesto que serán los usuarios utilizando la herramienta quienes realicen esta tarea.

4. Experimentos

En este trabajo analizamos la calidad de los registros de audio sintetizados por el VAE para distintas posiciones del espacio de muestreo, generadas a partir de la herramienta *Audio Intellimixer* y distintos expansores. Estas posiciones se sitúan en distintas zonas del espacio latente en cada uno de nuestros experimentos. En primer lugar (subsección 4.1), revisamos el proceso de entrenamiento del VAE, y evaluamos la calidad obtenida al reconstruir los audios del conjunto de ensayo. En segundo lugar (subsección 4.2), analizamos las zonas próximas a las posiciones de las referencias. Finalmente (subsección 4.3) analizamos toda la región de interés, obviando zonas exteriores contenidas en el espacio de muestreo donde las prestaciones del VAE serán más bajas debido a la falta de datos en el entrenamiento.

Todos los experimentos emplean la retícula de la ecuación (7) y se evaluaron los tres expansores descritos anteriormente: vecino más próximo, réplica de la media, y multilateral.

4.1. Evaluación de la reconstrucción de observaciones ($\epsilon = 0$)

Analizamos el MAE de reconstrucción comparándolo con los valores MOS de PEAQ y ViSQOL tanto en la media como en su dispersión, a través de la desviación típica. Estos valores nos dan una idea de la capacidad de representación del modelo entrenado y del error esperable.

4.2. Evaluación de vecindades ($\epsilon \rightarrow 0$)

En este experimento evaluamos las diferencias introducidas al incorporar un término de ruido aditivo a la representación latente y evaluar el resultado de su reconstrucción. De forma arbitraria se ha elegido un ruido gaussiano, de media nula y desviación típica σ_r^2 , siguiendo el esquema de la ecuación (9). Se generaron $K = 1000$ observaciones aleatorias por registro de validación. De nuevo, se calcularon el MAE y los valores MOS de PEAQ y ViSQOL.

4.3. Exploración del espacio latente

Finalmente, analizamos distintas posiciones dentro de la región de interés, desplazándonos entre pares de puntos anclas (origen, z_k , y destino, z_l), correspondientes a distintos registros del conjunto de validación. Se tomaron aleatoriamente $P = 300$ pares y se evaluaron $Q = 5$ posiciones equiespaciadas a lo largo de la correspondiente dirección del espacio latente.

$$z[p] = z_k + \frac{q}{Q-1} \cdot u_{kl}, \quad u_{kl} = (z_l - z_k), \quad 0 \leq q \leq (Q-1) \quad (13)$$

5. Resultados

Los resultados mostrados en esta sección corresponden al VAE por defecto de la herramienta *Intellimixer*. Consta de 4 dimensiones en el espacio latente. Se han tomado errores sobre el subconjunto de test que se empleó en el entrenamiento del VAE. Asimismo, se exploraron los mismos experimentos en espacios latentes de mayor dimensionalidad.

La Tabla 1 resume los valores obtenidos para el MAE y niveles MOS según PEAQ y ViSQOL en la reconstrucción de los registros del conjunto de validación a partir del VAE entrenado (primera columna), así como sus va-

lores cuando perturbamos los vectores con ruido aditivo de potencia $\sigma^2 = \|z\|^2 / \text{SNR}$.

Los valores son equivalentes para las distintas dimensiones, por tanto, no se incluyen. Esto sugiere que el VAE está correctamente dimensionado para el problema.

El error de reconstrucción aumenta en todas las métricas a medida que disminuye la relación señal a ruido (SNR). Esto es, aumenta con el ruido incorporado. Los resultados indican que pequeñas perturbaciones dan lugar a audios muy similares. Únicamente con un ruido elevado, a partir de $\text{SNR} = 10^{-1}$, podemos diferenciar diferencias relevantes. Además, los valores obtenidos en la reconstrucción son consistentes con lo que describe la literatura para los VAEs [23].

La Tabla 2 resume los valores para los tres expansores con las mismas métricas anteriores según (13). Cuando nos acercamos a los extremos ($q=0$ para ancla 1, $q=4$ para el ancla 2) los resultados son análogos a los de la Tabla 1. En el caso del NN, los extremos son exactamente iguales a los originales (marcados con *). Por tanto, no se observa desviación alguna.

Todo ello es consistente con el modelo en (13) para generar los vectores. Se observa como el expansor pro-

Tabla 1. Valores obtenidos en la reconstrucción de los audios.

Métrica	Valor (media y desv. Tip.)					
	$\text{SNR} \rightarrow \infty$	$\text{SNR} = 10^2$	$\text{SNR} = 10^0$	$\text{SNR} = 10^{-1}$	$\text{SNR} = 10^{-2}$	$\text{SNR} = 10^{-3}$
MAE	$9,3 \pm 1,3$	$9,3 \pm 1,3$	$9,6 \pm 1,8$	$11,6 \pm 2,8$	$15,8 \pm 5,4$	$22,1 \pm 6,4$
ViSQOL	$4,3 \pm 0,1$	$4,3 \pm 0,1$	$4,3 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,2$
PEAQ	$1,4 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,5$	$1,2 \pm 0,5$	$1,0 \pm 0,5$

Tabla 2. Valores obtenidos en la exploración del espacio latente.

Ancla de referencia	Métrica	Expansor	Valor (media y desv. Tip.)				
			$q = 0$	$q = 1$	$q = 2$	$q = 3$	$q = 4$
Ancla 1 (origen)	MAE	NN	0*	$4,1 \pm 1,3$	$4,5 \pm 1,9$	$4,0 \pm 1,3$	0*
		Media	$7,4 \pm 1,7$	$6,8 \pm 2,0$	$6,8 \pm 2,0$	$6,8 \pm 2,1$	$7,1 \pm 2,1$
		Multilat.	$10 \pm 2,0$	$9,5 \pm 2,3$	$9,3 \pm 2,5$	$9,5 \pm 2,3$	$9,9 \pm 2,0$
	PEAQ	NN	5,0*	$4,0 \pm 1,2$	$4,3 \pm 1,2$	$4,5 \pm 0,9$	5,0*
		Media	$3,5 \pm 0,5$	$3,3 \pm 1,7$	$3,9 \pm 1,6$	$4,1 \pm 1,5$	$4,3 \pm 1,4$
		Multilat.	$3,9 \pm 0,1$	$3,1 \pm 1,9$	$3,7 \pm 1,8$	$4,0 \pm 1,7$	$4,2 \pm 1,5$
	ViSQOL	NN	4,7*	$4,5 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$	4,7*
		Media	$4,2 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,3$	$4,2 \pm 0,3$
		Multilat.	$4,0 \pm 0,3$	$4,0 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,3$	$4,0 \pm 0,3$	$4,0 \pm 0,3$

puesto para la exploración del espacio latente mantiene una tendencia suave en todas las métricas consideradas. Esto es consistente con el hecho de que el vecino más próximo tiende a sesgar hacia un extremo, y que el conjunto de datos analizados presenta una distribución multimodal, por lo que la media no ofrece resultados convenientes.

Los lectores interesados pueden dirigirse a la web de *Audio Intellimixer* para escuchar algunos de los audios generados e interactuar con el VAE. Los oyentes experimentarán grandes diferencias en función del método empleado. El vecino más próximo dará un sonido claro, y sin embargo idéntico al que encontramos en nuestra base de datos. La media genera siempre sonidos muy parecidos entre sí. La multilateralización genera un sonido novedoso parecido al ancla más cercana. Suele ser un sonido de calidad subjetiva inferior a la encontrada en la base de datos, pero ofrece un interesante punto de partida hacia la exploración del espacio latente.

6. Conclusiones

Los VAEs son modelos profundos que logran excelentes resultados en representación de datos y síntesis generativa. Recientes trabajos en audio reportan resultados similares a los de técnicas consolidadas. Sin embargo, los VAEs se mantienen alejados del gran público. La aplicación web *Audio Intellimixer* se diseñó para interactuar directamente con los VAEs y su espacio latente, controlando el proceso de muestreo y facilitando la exploración.

Durante la reconstrucción de los registros de validación perturbados comprobamos que el VAE propuesto logra capturar de manera eficiente la variabilidad presente en los registros de audio. Durante la exploración del espacio latente comprobamos que la métrica condiciona la interacción con la herramienta y la experiencia de los usuarios en cuanto a la calidad. Nuestros experimentos subrayan las diferencias en la calidad trabajando con distintas métricas, comprobando que existe relación entre aquellas y la calidad objetiva. En ocasiones, los audios resultantes se alejan bastante de los almacenados en la base de datos, sin que se disminuya su calidad. Se trata de una demostración de que el espacio latente conserva en sus dimensiones métricas subyacentes desconocidas. La capacidad de explicar e interpretar esta información subyacente es una línea de investigación activa. Nuestra aplicación pretende apoyarla y profundizar en ella aportando una herramienta más a los investigadores.

Hemos analizado tres expansores de dimensión diferentes como propuesta para explorar adecuadamente un espacio latente de un VAE (dadas dos dimensiones co-

nocidas, en el contexto de *Intellimixer*). La estrategia de vecino más próximo es muy dependiente del muestreo del espacio latente. Cuando se conocen multitud de vectores ancla, la probabilidad de que un audio se esté próximo a un lugar arbitrario es elevada. No obstante, aunque es una forma correcta de analizar un espacio latente, fractura por completo la posibilidad de explorar áreas desconocidas de este. Esta situación aplica idénticamente al caso de la media, que si bien puede ser un valor desconocido en el espacio latente (ningún ancla se encuentra en ese punto), es fijo para todas las posibles exploraciones.

La estrategia que presentamos para la exploración del espacio latente es la solución a las ecuaciones de multilateralización conocidas dos de las dimensiones del espacio latente. Los resultados de la Tabla 2 apuntan a que se ha logrado identificar un método capaz de explorar eficientemente el espacio latente, de error equivalente al método más simple, y con capacidad de investigar cualquier zona conocida o desconocida a priori. No obstante, el método del vecino más próximo ha arrojado errores menores. Ello es debido a que se ha utilizado una gran base de datos, con una gran cantidad de muestras que se distribuyen a lo largo de su rango en el espacio latente. En estas circunstancias favorables, el vecino más próximo tiende a lograr un menor error. Sin embargo, no es extrapolable a toda clase de problemas y, sobre todo, no logra completar los espacios que quedaron sin observar en el espacio latente.

Actualmente, la aplicación está orientada a la investigación. Próximamente permitirá recoger información sobre el trabajo de los usuarios. Esto será fundamental cuando estos usuarios sean productores o generadores de contenidos, que, guiados por sus particulares necesidades, exploren el espacio latente buscando sonidos con características de interés. En el futuro, la aplicación debe permitir a los productores y generadores de contenidos explorar de forma nativa la variabilidad presente en el espacio latente, trabajando con representaciones eficientes, centradas en las características de su interés. La aplicación aporta un paso más hacia una transferencia eficiente y transparente al usuario de información acústica desde repositorios públicos, así como para la generación novedosa e inteligente de sonidos.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado conjuntamente por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España dentro del proyecto PID2021-128469OB-I00, el Programa de Investigación e Innovación de la Unión Europea Horizon 2020 dentro del “*Grant Agreement No.*

101003750”, y el Programa propio de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid.

8, Referencias

- [1] Moffat, D. AI Music Mixing Systems. Handbook of Artificial Intelligence for Music, 2021, pp. 345–375.
- [2] Roche, F.; Hueber, T.; Garnier, M.; Limier, S.; Irin, L. Make That Sound More Metallic: Towards a Perceptually Relevant Control of the Timbre of Synthesizer Sounds Using a Variational Autoencoder. Transactions of the International Society for Music Information Retrieval (TISMIR), vol. 4, 2021, pp. 52–66.
- [3] Roche, F.; Hueber, T.; Limier, S.; Girin, L. Autoencoders for music sound modeling: A comparison of linear, shallow, deep, recurrent and variational Models. arXiv preprint arXiv:1806.04096, 2018.
- [4] Saito, Y.; Ijima, Y.; Nishida, K.; Takamichi, S. Non-Parallel Voice Conversion Using Variational Autoencoders Conditioned by Phonetic Posteriorgrams and D-Vectors. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2018, pp. 5274–5278.
- [5] Espinoza-Cuadros, F. M.; Perero-Codosero, J. M.; Antón-Martín, J.; Hernández-Gómez, L. A. Speaker De-identification System using Autoencoders and Adversarial Training. arXiv preprint arXiv:2011.04696, 2020.
- [6] Lee, Y. K.; Kim, H. W.; Park, J. G. Many-to-many unsupervised speech conversion from nonparallel corpora. IEEE Access, vol. 9, 2021, pp. 27278–27286.
- [7] Latif, S.; Rana, R.; Qadir, J.; Epps, J. Variational autoencoders for learning latent representations of speech emotion: A preliminary study. arXiv preprint arXiv:1712.08708, 2017.
- [8] Natsiou, A.; O’Leary, S. Audio representations for deep learning in sound synthesis: A review. 2021 IEEE/ACS 18th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), 2021, pp. 1-8.
- [9] Le Vaillant, G.; Dutoit, T.; Dekeyser, S. Improving Synthesizer Programming From Variational Autoencoders Latent Space. Proceedings of the 24-th Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx20in21), vol. 2, 2021, pp. 276–283.
- [10] Esling, P.; Bitton, A. et al. Generative timbre spaces: regularizing variational auto-encoders with perceptual metrics. arXiv preprint arXiv:1805.08501, 2018.
- [11] Girin, L.; Roche, F.; Hueber, T.; Leglaive, S. Notes on the use of variational autoencoders for speech and audio spectrogram modeling. DAFx 2019-22nd international Conference on Digital Audio Effects, 2019, pp. 1–8.
- [12] Paliwal, K. K.; Alsteris, L. Usefulness of phase spectrum in human speech perception. Eighth European Conference on Speech Communication and Technology, 2003.
- [13] Int. Telecomm. Union. ITU-R Rec. BS.1387: Method for objective measurements of perceived audio quality. 2001.
- [14] Beerends, J. G. et al. Perceptual objective listening quality assessment (polqa), the third generation itu-t standard for end-to-end speech quality measurement part i—temporal alignment. Journal of the Audio Engineering Society 61.6, 2013.
- [15] Chinen, M.; Lim, F. S. C.; Skoglund, J.; Gureev, N.; O’Gorman, F.; Hines, A. ViSQOL v3: An Open Source Production Ready Objective Speech and Audio Metric, 2020.
- [16] Seyerlehner, K.; Widmer, G.; Knees, P. Frame level audio similarity—a codebook approach. Proc. of the 11th Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx-08), 2008.
- [17] Cámara, M.; Blanco, J. L. Expanding the Frontiers of Web Audio with Autoencoders and JavaScript. Aceptado para publicación en Journal of Audio Engineering Society, 2022.
- [18] Freesound Technical Demo. ACM International Conference on Multimedia (MM’13), 2013, pp. 411–412.
- [19] Saez-Mingorance, B. et al. Object Positioning Algorithm Based on Multidimensional Scaling and Optimization for Synthetic Gesture Data Generation. Sensors 21, no. 17, 2021.
- [20] Verma, N. Distance preserving embeddings for general n-dimensional manifolds. Conference on Learning Theory, pp. 32-1. JMLR Workshop and Conference Proceedings, 2012.
- [21] Tillquist, R. C. Low-dimensional embeddings for symbolic data science. PhD diss., University of Colorado at Boulder, 2020.
- [22] Bengio, Y.; Courville, A.; Vincent, P. Representation Learning: A review and New Perspectives. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 35(8), 2013, 1798-1828.
- [23] Cámara, M.; Blanco, J. L. Phase-Aware Transformations in Variational Autoencoders for Audio Effects. Aceptado para publicación en Journal of Audio Engineering Society, 2022.
- [24] Kingma, D. P.; Ba, J. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980, 2014.

Ingeniería Acústica García-Calderón

Proveedores de equipamiento para medidas de ruido y vibraciones
Diseño y suministro de cámaras anecoicas

CÁMARAS ACÚSTICAS



FUENTES SONORAS ULTRALIGERAS



MÁQUINA DE IMPACTOS



ANALIZADORES




MICRÓFONOS



ACELERÓMETROS



Ingeniería Acústica García-Calderón

 C/ Soto Hidalgo 24, local 8
28042 Madrid, Spain

 Telf.: +34 91 128 89 47

 info@garcia-calderon.com

 <https://garcia-calderon.com/>


Ingeniería Acústica García-Calderón



The vibroacoustic interaction in mallet percussion instruments: modelling and experiments



Filipe Soares¹, Vincent Debut^{1,2,3}, Jose Antunes^{1,2}

¹ Instituto Superior Técnico - Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Portugal

² Instituto de Etnomusicologia, Centro de Estudos em Música e Dança Universidade Nova de Lisboa, Portugal

³ Instituto Politécnico de Castelo Branco Escola Superior de Artes Aplicadas, Portugal

PACS: 43.75

Resumen

En algunos instrumentos de percusión de mazo, como vibráfonos y marimbas, se colocan resonadores acústicos debajo de las barras afinadas para mejorar la radiación acústica. Aunque se utiliza mucho en instrumentos comerciales, la interacción vibro-acústica entre las barras afinadas y sus resonadores no se ha estudiado de forma exhaustiva, y los intentos de modelado anteriores suelen descuidar aspectos importantes de la dinámica de acoplamiento. Este trabajo se basa en un estudio previo, donde se presentó un modelo mínimo para el acoplamiento entre un único modo de barra y un único modo de resonador. Aquí, los mismos principios de modelado se aplican a un sistema compuesto por una barra 1-D y un resonador acústico cilíndrico, llevando a un modelo simplificado que incluye la dinámica de acoplamiento entre varios modos de barra y varios modos acústicos de resonador. La dinámica del modelo se explora a través de simulaciones en el dominio temporal y análisis de valores propios, revelando una serie de características interesantes, por ejemplo: el papel de la relación de coeficientes de amortiguamiento entre un modo de barra y un modo de resonador, la colocación del resonador a lo largo de la barra, así como su proximidad a la barra. Además, se presentan resultados experimentales para validar el modelo y demostrar su capacidad para emular instrumentos reales, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Palabras clave: interacción barra-resonador, acoplamiento vibroacústico, modelado simplificado, validación experimental.

Abstract

In some mallet percussion instruments, such as vibraphones and marimbas, tubular acoustic resonators are placed beneath the tuned bars to enhance sound radiation. Although widely used in commercial instruments, the vibroacoustic interaction between the tuned bars and their resonators has not been studied extensively, and previous modelling attempts regularly neglect important aspects of the coupling dynamics. This work develops on a previous study, where a minimal model for the coupling between a single bar mode and a single resonator mode was presented. Here, the same modelling principles are applied to a system composed of a 1-D beam and a 1-D cylindrical acoustic resonator, leading to a lumped-parameter model including the coupling dynamics between several bar modes and several resonator acoustic modes. The dynamics of the lumped-parameter model are explored through time-domain simulations and eigenvalue analysis, revealing a number of interesting (and rarely mentioned) features, for example: the role of the ratio of damping coefficients between a bar mode and a resonator mode, the placement of the resonator along the bar's length as well as its proximity to the bar, etc. Additionally, experimental results are presented to validate the model and demonstrate its capacity to emulate real instruments, both qualitatively and quantitatively.

Keywords: bar-resonator interaction, vibroacoustic coupling, simplified modelling, experimental validation.

1. Introduction

Mallet percussion instruments (e.g. marimba, vibraphone, xylophone, etc.) are made of various tuned bars that vibrate and radiate sound at their natural frequencies

of vibration. The tuning process involves cutting on the underside of the bars such that their frequencies become harmonically aligned (multiple integers of the fundamental frequency). Recent years have seen a number of studies [1] [2] [3] [4] using optimization methods to find undercut

geometries that lead to the tuning of multiple bar modes to a set of predefined targets. Moreover, some studies considered the concomitant tuning of non-vertical-bending modes (torsional, lateral) with vertical-bending modes [5] [6].

In some instruments, resonator pipes are used to enhance sound radiation. Early experimental reports by Bork [7] have demonstrated that when the fundamental frequency of the acoustic resonator is aligned with that of a bar mode, the two (mechano-acoustic) elements experience a vibro-acoustic coupling, which generally leads to an increase of sound radiation. On the other hand, the increased sound radiation is often accompanied by a proportional decrease of the bar decay time.

Despite the advances on the design optimization of the individual elements (bars and resonators), the nature of the vibro-acoustic coupling between the two has not been studied extensively. To the authors knowledge, the only work dealing with the two-way coupling is that recently published by Rucz et al. [8]. Here, the authors use 3-D finite element models to describe the vibroacoustic coupling between cylindrical resonators and bars and, in general, their numerical results are in agreement with experiments, expressing both the increase in sound radiation and the decrease of bar decay time. However, approaches using 3-D models entail large computational costs and are less practical for parametric studies. In this context, simplified modelling approaches may be useful in underlining the main parameters influencing the instruments' behavior.

In recent work by the authors [9] [10], a simplified model for the vibro-acoustic interaction was developed. To this end, a single bar mode was represented by a disk-shaped damped oscillator, and the acoustics of a cylindrical resonator (of the same radius) were described in a modal framework. The vibro-acoustic transfer function between the two elements was calculated via a 2-D axisymmetric finite element model, whose numerical results were then fitted to dimensionless analytical expressions. Finally, the interaction between a single bar mode and a single resonator mode was reduced to a system of two coupled oscillators. Despite its simplicity, the model was able to reproduce the dynamical behavior commonly observed in experimental reports.

In this work we develop on the previous modelling efforts, now including the interaction between multiple bar and resonator modes. Subsequently, several experimental investigations are carried out to validate various aspects of the proposed model, and assess its capacity to describe the dynamics of real instruments, both qualitatively and quantitatively.

2. Model description

We consider the coupling dynamics between a free-free vibrating beam and a cylindrical acoustic waveguide, as illustrated in Figure 1. The resonator is closed at the bottom and open (unflanged) at the top. The beam has length L_B and its width is equivalent to the resonator diameter ($2a$). The resonator is located at a distance x_e along the beam length and its open termination is located at a distance d below the bar.

2.1. Dynamics of the uncoupled bar

The linear dynamics of a beam with free-free boundary conditions are described in a modal framework, that is

$$m_n \ddot{\alpha}_n(t) + 2m_n \zeta_n \omega_n \dot{\alpha}_n(t) + m_n \omega_n^2 \alpha_n(t) = 0 \quad (1)$$

for $n = 1, 2 \dots N$, where m_n , ζ_n , ω_n and $\alpha_n(t)$ are the modal masses, damping ratios, natural frequencies and participation factors of the beam modes, respectively, and the beam vertical displacement $Y(x, t)$ is given by the sum of the modal contributions

$$Y(x, t) = \sum_n^N \psi_n(x) \alpha_n(t) \quad (2)$$

where $\psi_n(x)$ are the beam mode shapes.

2.2. Acoustics of the uncoupled resonator

The acoustic wave equation in terms of particle displacement $w(y, t)$ is given by the following partial differential equation

$$\rho S \left(\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 w(y, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 w(y, t)}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

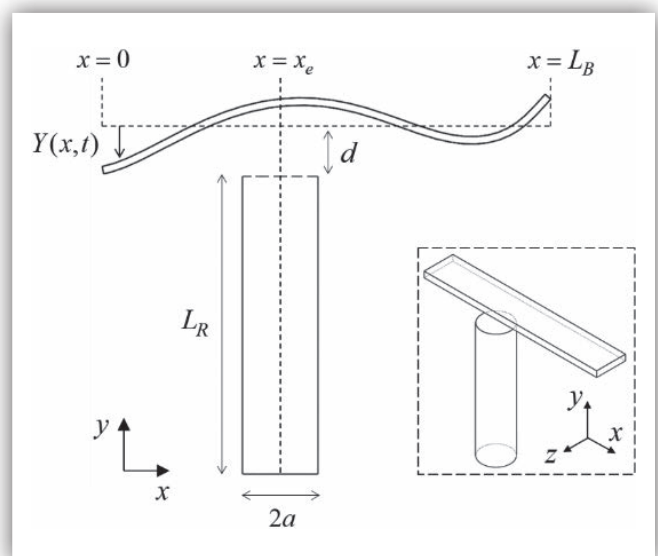


Figure 1. Illustrative diagram of the considered model.

where ρ is the fluid density at rest, c is the speed of sound and S is the cross-sectional area of the pipe. At the closed end $y = 0$, there is no displacement and the boundary condition is $w(0, t) = 0$, while at the open end $y = L_R$, we impose a radiation impedance Z_R such that the pressure $p(L_R, t)$ and fluid velocity $u(L_R, t)$ obey the following relation, in the Laplace domain,

$$Z_R(s) = \frac{p(L_R, s)}{u(L_R, s)} = \rho c (s^2 R_R + s X_R) \quad (4)$$

where s is the complex Laplace variable; R_R and X_R are associated to the acoustic resistance and reactance, respectively. In terms of particle displacement, the boundary condition at the open-end $y = L_R$ is written as

$$\frac{-\int w(y, s) dy \Big|_{y=L_R}}{w(L_R, s)} = c(sR_R + X_R) \quad (5)$$

Replacing the two boundary conditions into the wave equation (3) eventually leads to the pipe's characteristic equation

$$\coth\left(\frac{sL}{c}\right) + s^2 R_R + s X_R = 0 \quad (6)$$

whose solutions s_r are the complex eigenvalues of the uncoupled resonator. Solutions can be found numerically to obtain the real and imaginary parts of the eigenvalues $s_r = a_r + j b_r$, from which the undamped natural frequencies ω_r and damping ratios ζ_r of each acoustic mode r can be obtained. Then, we can develop the particle displacement $w(y, t)$ in terms of the (real) acoustics modes $\phi_r(y)$ as

$$w(y, t) = \sum_{r=1}^R \phi_r(y) \gamma_r(t), \text{ where } \phi_r(y) = \sin\left(\frac{\omega_r}{c} y\right) \quad (7)$$

Substitution of (7) into the wave equation (3) and proceeding with the typical Galerkin projection leads to a system where, in general, orthogonality does not strictly hold. However, it can be shown that for pipes that are not unreasonably wide ($a/L < 0.1$), the contributions of off-diagonal terms are small and the following (orthogonal) approximation is suitable

$$\int_0^L \phi_m(x) \phi_n(x) dx \approx \begin{cases} \frac{L + \Delta L}{2} & \text{for } m = n \\ 0 & \text{for } m \neq n \end{cases} \quad (8)$$

where ΔL is the length correction term ($\Delta L = X_R c$). Finally, using (8), eventually leads to a set of (linearly independent) modal equations describing the resonator acoustics

$$\underline{m}_r \ddot{\gamma}_r(t) + 2\underline{\zeta}_r \underline{m}_r \omega_r \dot{\gamma}_r(t) + \underline{m}_r \omega_r^2 \gamma_r(t) = 0 \quad (9)$$

for $r = 1, 2, \dots, R$, where the inertial modal coefficients \underline{m}_r are given by $\underline{m}_r \simeq \rho S (L + \Delta L) / 2$.

2.3. Vibroacoustic interaction

A difficult aspect in modelling the interaction between a vibrating bar and its acoustic resonator is associated with the three-dimensional effects of the acoustic radiation that couple the two elements. Here, we simplify the geometry of the problem by assuming that only a particular region in the beam surface will have a meaningful vibro-acoustic interaction with the resonator. Namely, we consider the circular area on the beam that is located directly above the open end of the resonator, as illustrated in Figure 2.

The vibro-acoustic coupling is defined by the interaction between the motion of disk (beam) and the acoustics at the open end of the resonator. On this point, we remind the reader of the principle of vibro-acoustical reciprocity [11] [12]. In our problem, this principle can be arranged in the form of a dimensionless transfer function H

$$H(\omega) = \frac{F_r(x_e, \omega)}{\rho(L_R, \omega) S} = \frac{\dot{Q}_b(L_R, \omega)}{\dot{Y}(x_e, \omega)} \quad (10)$$

where $\dot{Q}_b(L_R, \omega)$ is an acoustic volume acceleration induced on the resonator open-end by the beam-disk motion and, similarly, $F_r(x_e, \omega)$ is the net force induced on the beam-disk by the acoustic radiation from the open-end of the resonator. In a recent work [9] [10] this transfer function was numerically calculated via a 2-D axisymmetric finite element model considering the interaction between two parallel circular surfaces of the same radius a , for various separation distances d/a . It was found that, in the low-frequency range ($ka < 1$), the transfer function $H(ka, d/a)$ can be approximated by a simple constant gain filter, dependent solely on the dimensionless dis-

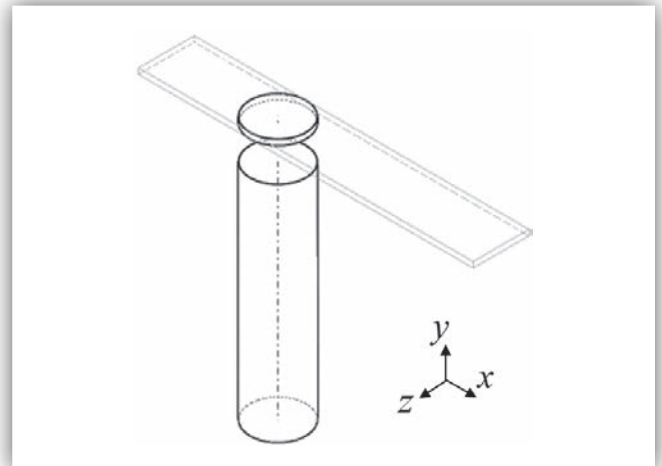


Figure 2. Illustration of the portion of the beam considered in the vibro-acoustic interaction.

tance d/a . The numerical results were fitted to a polynomial function of the following form

$$H(d/a) = \left(1 + \sum_{p=1}^P \delta_p \left(\frac{d}{a} \right)^p \right)^{-1} \quad (11)$$

considering various orders P . A 5th-order polynomial was deemed sufficient for an accurate description of the calculate transfer function, leading to the fitted coefficients $\delta_p = [2.78, -1.03, 3.34, -1.15, 0.13]$. Notice that, when $d \rightarrow 0 \Rightarrow H \rightarrow 1$ and when $d \rightarrow \infty \Rightarrow H \rightarrow 0$, as expected. Finally, with the knowledge of $H(d/a)$, the force $F_r(x_e, t)$ and the acoustic excitation $\dot{Q}_b(L_R, t)$ can be used as forcing terms in the equations of the beam (1) and of the resonator (9), respectively.

2.4. Coupled system

Given the vibro-acoustic transfer function (11), the force load on the beam-disk induced by the resonator is then given by

$$F_r(x, t) = -\delta(x - x_e) \rho S H(d/a) \sum_{r=1}^R \ddot{\gamma}_r(t) \varphi_r(L_R) \quad (12)$$

where the auxiliary function (associated with the resonator mode shapes in terms of pressure) is

$$\varphi_r(y) = \int \phi_r(y) dy = -\left(\frac{C}{\underline{\omega}_r} \right) \cos\left(\frac{\underline{\omega}_r}{C} y \right) \quad (13)$$

Projection unto the beam modal basis $\psi_n(x)$ will yield the modal forces $F_n(t)$ applied on each beam mode which eventually lead to the beam modal equations

$$\begin{aligned} m_n \ddot{\alpha}_n(t) + 2m_n \omega_n \zeta_n \dot{\alpha}_n(t) + m_n \omega_n^2 \alpha_n(t) = \dots \\ \dots \rho S H(d/a) \psi_n(x_e) \sum_{r=1}^R \varphi_r(L_R) \ddot{\gamma}_r(t) \end{aligned} \quad (14)$$

Similarly, the volume acceleration induced on the resonator by the beam-disk motion is given by

$$\dot{Q}_{sr}(L_R, t) = S H(d/a) \ddot{Y}(x_e, t) \quad (15)$$

which can be used as a forcing term in the (inhomogeneous) wave equation. Following the appropriate Galerkin projection unto the acoustic modal basis, the resonator modal equations are

$$\begin{aligned} \underline{m}_r \ddot{\gamma}_r(t) + 2\underline{m}_r \underline{\omega}_r \underline{\zeta}_r \dot{\gamma}_r(t) + \underline{m}_r \underline{\omega}_r^2 \gamma_r(t) = \dots \\ \dots - \rho S H(d/a) \varphi_r(L_R) \sum_{n=1}^N \psi_n(x_e) \ddot{\alpha}_n(t) \end{aligned} \quad (16)$$

The final coupled system is then described by a series of N (mechanical) oscillators inertially coupled to R (acoustic) oscillators

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{cc} M_n & \Pi_{n,r} \\ \Pi_{r,n} & M_r \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \ddot{\alpha}_n \\ \ddot{\gamma}_r \end{array} \right\} + \left[\begin{array}{cc} C_n & 0 \\ 0 & C_r \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \dot{\alpha}_n \\ \dot{\gamma}_r \end{array} \right\} \dots \\ \dots + \left[\begin{array}{cc} K_n & 0 \\ 0 & K_r \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \alpha_n \\ \gamma_r \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

where the modal sub-matrices M_b , C_b , K_b , M_r , C_r and K_r , are diagonal and define the modal parameters of the beam and resonator, i.e.

$$\begin{aligned} \text{diag}(M_n) = m_n & \quad ; \quad \text{diag}(M_r) = \underline{m}_r \\ \text{diag}(C_n) = 2\underline{\zeta}_n m_n \omega_n & \quad ; \quad \text{diag}(C_r) = 2\underline{\zeta}_r \underline{m}_r \underline{\omega}_r \\ \text{diag}(K_n) = m_n \omega_n^2 & \quad ; \quad \text{diag}(K_r) = \underline{m}_r \underline{\omega}_r^2 \end{aligned} \quad (18)$$

while the elements in the inertial coupling matrix are given by

$$\Pi_{n,r} = \rho S H(d/a) \varphi_r(L_R) \psi_n(x_e) \quad (19)$$

2.5. Energy balance

The kinetic and potential modal energies in each beam mode are given by

$$T_n(t) = \frac{m_n}{2} \dot{\alpha}_n^2(t) \quad ; \quad U_n(t) = \frac{m_n \omega_n^2}{2} \alpha_n^2(t) \quad (20)$$

Similarly, the acoustic kinetic and potential modal energies in each resonator mode are

$$\underline{T}_r(t) = \frac{\underline{m}_r}{2} \dot{\gamma}_r^2(t) \quad ; \quad \underline{U}_r(t) = \frac{\underline{m}_r \underline{\omega}_r^2}{2} \gamma_r^2(t) \quad (21)$$

The amount of energy dissipated by each beam mode, via internal losses, is given by

$$D_n(t) = 2\underline{\zeta}_n m_n \omega_n \int_0^t \dot{\alpha}_n^2(\tau) d\tau \quad (22)$$

while the amount of energy dissipated by each resonator mode, through acoustic radiation, is given by

$$\underline{D}_r(t) = 2\underline{\zeta}_r \underline{m}_r \underline{\omega}_r \int_0^t \dot{\gamma}_r^2(\tau) d\tau \quad (23)$$

The energy conserved in a given (coupled) modal-pair nr is given by

$$E_{C,nr}(t) = U_n(t) + T_n(t) + \underline{U}_r(t) + \underline{T}_r(t) \quad (24)$$

Additionally, we define a ‘‘modal radiation efficiency’’ κ_{nr} , representing the percentage of energy in the modal-pair nr that is dissipated through acoustic radiation by a resonator mode

$$\kappa_{nr} = \frac{\underline{D}_r(t \rightarrow \infty)}{E_{T,nr}} \times 100\% \quad (25)$$

where $E_{T,nr}$ is the total energy in the modal pair. We also define the decay time of the coupled modal-pair $T_{60,nr}$ as

$$T_{60, nr} \Rightarrow \frac{E_{C, nr}(T_{60, nr})}{E_{C, nr}(0)} = 0.001 \quad (26)$$

3. Experimental validation

To assess the validity of the proposed vibro-acoustic model, an experimental apparatus was set-up in an anechoic chamber. The aim was to evaluate the behavior of the coupled-system, both qualitatively and quantitatively, in terms of the most pertinent design parameters: tuning ratio $\underline{\omega}_r/\underline{\omega}_n$, the bar-resonator distance d and the resonator placement along the bar length x_e .

As illustrated in Figure 3, the set-up was made of a suspended beam placed over a cylindrical pipe of variable length. The pipe inner radius was $a = 25$ mm, and it was composed of two parts joint by a threaded junction, which allowed for a precise variation of its overall length ($440 \text{ mm} \leq L_R \leq 530 \text{ mm}$). The acoustic response of the pipe was measured by an electret microphone placed at the bottom end. The used aluminum beam was suspended by elastic strings on a tri-pod mount, which allowed the control of the bar-resonator distance d . The bar length was $L_B = 350$ mm and its width equal to the tube

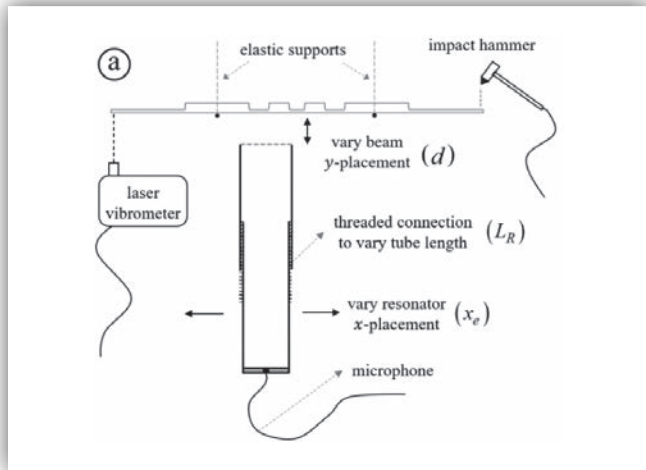


Figure 3. Diagram of the experimental set-up for the study of the vibroacoustic interaction.

diameter $2a$. The beam was undercut (based on [6]) such that its first four vertical-bending modes are tuned in a ratio (1:3:5:7) and its flat surface was faced down to ensure the distance d was constant along the beam length. The beam was given an impulsive excitation with a small impact hammer (Brüel & Kjær – Type 8203) striking at one end ($x \approx L_B$), while its motion was measured at the other end ($x \approx 0$) using a laser vibrometer (Polytech – PDV100).

3.1. Experimental modal identification

Since the aim was to experimentally validate the proposed model, the first step was the modal identification of the bar and resonator modes, such that identified modal parameters could be used in the model for comparison. The first four vertical-bending modes of the bar and the first four resonator acoustics modes were identified, for several tube lengths L_R . The identified modal parameters are shown in Table 1.

The parameters of the resonator are shown in ranges, corresponding to the variations in resonator length. Additionally, Figure 4 shows the profile of the undercut bar as well as the first four mode shapes $\psi_n(x)$. The considered modal masses (m_n, m_r) and mode shapes ($\psi_n(x), \phi_r(y)$) were taken from models as these parameters are not particularly easy to measure experimentally and small quantitative differences compared to the modelled values are not expected to change results significantly.

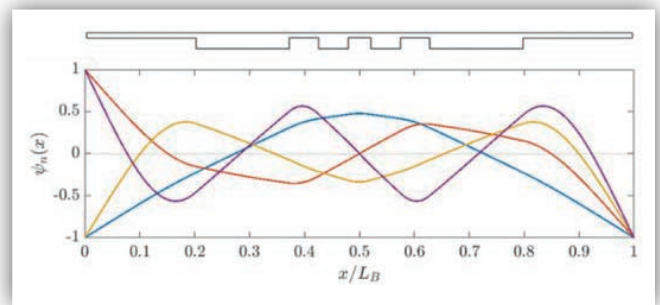


Figure 4. Profile of the undercut bar (top) and considered modes shapes $\psi_n(x)$.

Table 1. Modal parameters for the first four bar and resonator modes.

n, r	Bar			Resonator		
	$\omega_n/2\pi$ (Hz)	ζ_n (%)	m_n (kg)	$\underline{\omega}_r/2\pi$ (Hz)	ζ_r (%)	m_r (g)
1	168.7	0.042	0.045	173.7 ± 12.5	0.73 ± 0.04	0.61 ± 0.04
2	505.1	0.024	0.031	507.6 ± 32.8	0.77 ± 0.04	0.61 ± 0.04
3	847.7	0.022	0.024	845.1 ± 56.8	0.83 ± 0.06	0.61 ± 0.04
4	1186	0.009	0.037	1205.9 ± 78.6	0.94 ± 0.08	0.61 ± 0.04

3.2. Effect of tuning ratio and beam-resonator distance

In the first set of measurements, the aim was to measure the decay time $T_{60, nr}$ and “radiation efficiency” κ_{nr} of different modal pairs as a function of the tuning ratio $\underline{\omega}_r/\omega_n$. The resonator was maintained centered with the bar $x_e = L_B/2$, and measurements were taken for a sweep of discrete tube lengths such that $0.95 \leq \underline{\omega}_r/\omega_n \leq 1.05$. Since the bar frequencies are tuned to a ratio close to that of the resonator (1:3:5:7), this procedure allowed for the measurement of all four modal-pair couplings at the same time. Additionally, in order to quantitatively validate the proposed vibro-acoustic transfer function $H(d/a)$, this procedure was repeated for three bar-resonator distances $d = [10 \ 20 \ 40]$ mm. Results for the coupling in first and third modal pairs are shown in Figure 5. Note that with $x_e = L_B/2$, the coupling of the second and fourth bar modes is bound to be weak since $\psi_2(x_e) = \psi_4(x_e) = 0$. For these modal pairs, results showed no significant variation of the time decay $T_{60, nr}$ compared to the uncoupled case, and resonator dissipation K_{nr} was negligible ($K_{nr} < 0.5\%$, for all $\underline{\omega}_r/\omega_n$). Results in Figure 5 demonstrate that, qualitatively, the model is able to predict the observed behavior, with the typical decrease in decay time being accompanied by a proportional increase in resonator damping. Moreover, the decrease in coupling strength when the bar is placed further away (larger d/a) is also captured by the model. However, quantitatively, the model seems to underestimate the coupling strength in all cases: the decrease in time

decays $T_{60, nr}$ and increase in resonator damping K_{nr} is always larger in the experimental results. This difference can potentially be attributed to the fact that our vibro-acoustic coupling is based on the disk geometric simplification, whereby in reality, other regions of the beam will also couple with the resonator acoustics.

3.3. Effect of resonator placement

In this second series of experiments, the distance was fixed at $d/a = 0.4$, and the resonator length was fixed such that $\underline{\omega}_r/\omega_n \approx 1$, for each modal-pair. Then, a series of measurements were performed for a sweep of discrete resonator placements in the region $0.5 \leq x_e/L_B \leq 1$. Due to bar symmetry, only half the domain was mapped. Results for the decay time $T_{60, nr}$ and resonator dissipation K_{nr} are shown in Figure 6. In general, modelling results agree well with the observed behavior, where we see a significant decrease in the coupling strength when the resonator is placed below a nodal line of the bar mode ($\psi_n(x_e) = 0$) (see Figure 4). We also note a slight difference in the shapes of the $T_{60, nr}$ and K_{nr} curves, likely due to small differences between the considered and actual mode shapes of the beam. Finally, we notice large differences when the resonator is placed near the tip of the bar $0.95 \leq x_e/L_B \leq 1$, in all cases. This deviation is expected since, in these scenarios, the bar does not cover the resonator termination completely (for example, when $x_e/L_B = 1$, the bar only covers half the resonator open-end). Here, the disk-assumption naturally leads to an overestimation of the coupling strength.

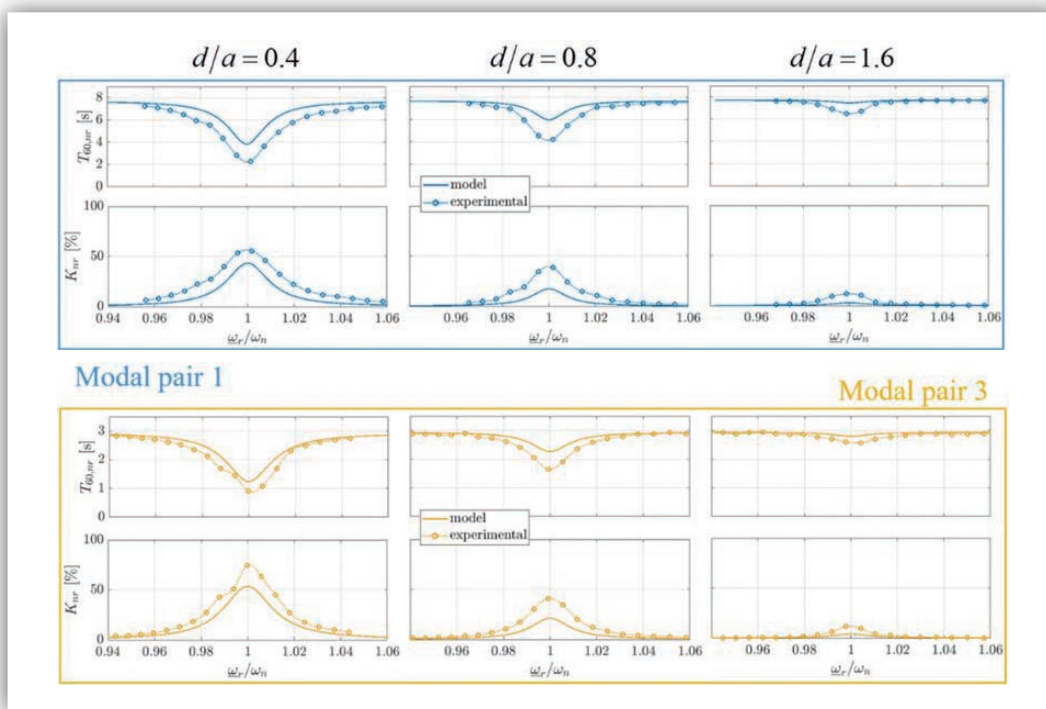


Figure 5. Variation of the decay time $T_{60, nr}$ (s) and resonator dissipation K_{nr} (%) as a function of the tuning ratio $\underline{\omega}_r/\omega_n$, for three different bar-resonator distances $d = [10 \ 20 \ 40]$ mm.

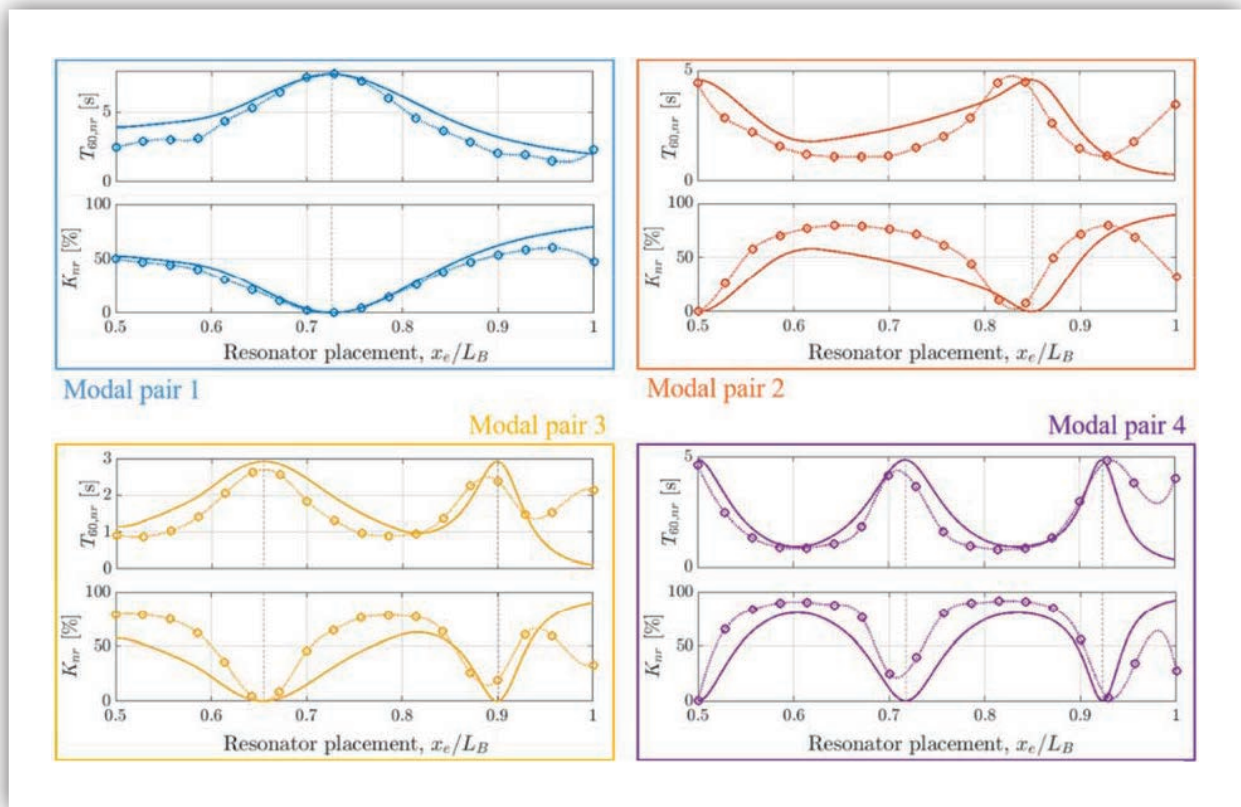


Figure 6. Variation of the decay time $T_{60,rr}$ (s) and resonator dissipation K_{rr} (%) as a function of the resonator placement x_e , for all four modal-pairs. The distance was fixed at $d/a=0.4$ and the tuning ratio $\omega_r/\omega_n \simeq 1$. The solid lines and circles show the modelling and experimental results, respectively. The vertical dotted lines indicate the location of the nodal points in the bar modes.

4. Conclusions

In this paper we have developed a vibro-acoustic model describing the coupling dynamics between a vibrating beam and an acoustic resonator, as found in mallet percussion instruments like the marimba or the vibraphone. The bar is modelled as a free-free beam and the resonator as a cylindrical pipe, both in a modal framework. The vibro-acoustic coupling of the two elements was pursued assuming that only the circular region on the bar just above the resonator will interact with the resonator. The vibro-acoustic transfer function between two parallel disks was used, as developed and validated in a previous work [10]. The proposed formulation led to a simple multi-modal model describing a set of mechanical oscillators (beam modes) inertially coupled to a set of acoustic oscillators (resonator modes).

Experiments were carried out to validate various aspects of the proposed model: (1) the tuning ratio ω_r/ω_n , (2) bar-resonator distance d and (3) resonator placement along the bar length x_e . Despite some minor quantitative deviations, the vibro-acoustic model was positively validated by experiments, showing the often-encountered compromise between a decrease of decay time and an increase of acoustic radiation. Additionally, experiments

showed that the coupling strength will be severely influenced by the bar mode shape at the location where the resonator is placed $\psi_n(x_e)$, i.e. a resonator will not couple with a particular bar mode if it placed directly under a nodal line.

The simplicity of the developed lumped-parameter formulation allows for an intuitive understanding of the physical phenomena occurring in real instruments and underlines the main parameters affecting its dynamics. This can be a valuable contribution to the design and optimization of modern instruments, especially in the advent of instruments where multiple bar modes are tuned to multiple resonator modes, leading to increased sound radiation at several frequencies.

5. Acknowledgments

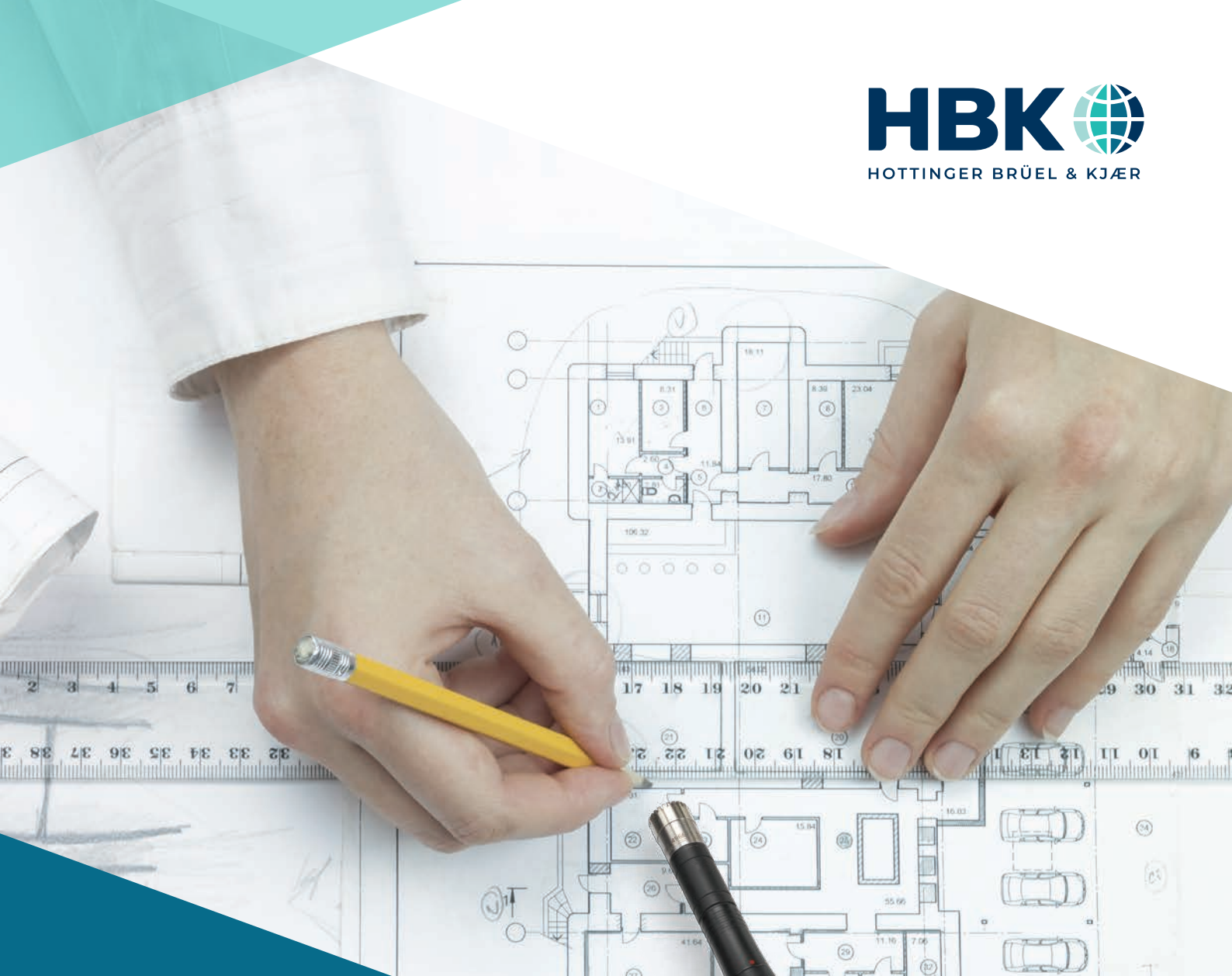
The authors gratefully acknowledge the financial support given by “Fundação para a Ciência e Tecnologia” (FCT – Portugal) through the PhD grant referenced SFRH/BD/140598/2018. Moreover, the authors would like to thank Prof. José Bento Coelho and Alexandre Pereira from the Centro de Análise e Processamento de Sinais (CAPS) at Instituto Superior Técnico for the access and support at the anechoic chamber.

6. References

- [1] L. Henrique e J. Antunes, "Optimal design and physical modelling of mallet percussion instruments," *Acta Acustica*, vol. 89, pp. 948-963, 2003.
- [2] F. Orduña-Bustamante, "Nonuniform beams with harmonically related overtones for use in percussion instruments," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 90, n° 6, pp. 2935-2941, 1991.
- [3] F. Soares, J. Antunes e V. Debut, "Multi-modal tuning of vibrating bars with simplified undercuts using an evolutionary optimization algorithm," *Applied Acoustics*, vol. 173, 2020.
- [4] J. Petrolito e K. A. Legge, "Optimal undercuts for the tuning of percussive beams," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 102, n° 4, pp. 2432-2436, 1997.
- [5] D. Beaton e G. Scavone, "Three-dimensional tuning of idiophone bar modes via finite element analysis," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 149, n° 6, pp. 3758-3768, 2021.
- [6] F. Soares, J. Antunes e V. Debut, "Tuning of bending and torsional modes of bars used in mallet percussion instruments," *Journal of the Acoustic Society of America*, vol. 150, n° 4, pp. 2757-2769, 2021.
- [7] I. Bork, "Practical tuning of xylophone bars and resonators," *Applied Acoustics*, vol. 46, pp. 103-127, 1995.
- [8] P. Rucz, M. Á. Ulveczki, J. Angster e A. Miklós, "Simulation of mallet percussion instruments by a coupled modal vibroacoustic finite element method," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 149, n° 5, pp. 3200-3212, 2021.
- [9] F. Soares, J. Antunes e V. Debut, "Simplified model for the bar-resonator vibro-acoustic interaction in mallet percussion instruments," em *16e Congrès Acoustique Français*, Marseille, 2022.
- [10] F. Soares, J. Antunes e V. Debut, "A minimal model of the bar-resonator vibroacoustic interaction in mallet percussion instruments," *Applied Acoustics* (submitted Feb 2022).
- [11] F. Fahy, "Some applications of the reciprocity principle in experimental vibro-acoustics," *Acoustical Physics*, vol. 49, n° 2, pp. 217-229, 2002.
- [12] T. t. Wolde, "Reciprocity measurements in acoustical and mechano-acoustical systems: Review of theory and applications," *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 96, pp. 1-13, 2010.

Índice de anunciantes

	Pág.
Audiotec	2
Ingeniería Acústica García-Calderón	12
Brüel & Kjaer	21
AAC Centro de Acústica Aplicada	47
Cesva Instruments	56-57
Sound of Numbers	66
Sto	72
SAES	75
Mecanocaucho	78



DISEÑADO PARA SU TRABAJO

Presentamos el sonómetro HBK 2255

El sonómetro HBK 2255 con Building Acoustics Partner se ha diseñado específicamente para realizar medidas de acústica de edificios. Se trata de instrumento ligero y robusto, para realizar mediciones más rápidas, fáciles e inteligentes.

Gracias a sus aplicaciones para dispositivo móvil y PC, nunca había sido tan sencillo hacer medidas y análisis acústicos avanzados... y documentarlos. Para más información, visite www.bksv.com/2255.



Introducción al Paisaje Sonoro



Dr. Robert Barti
Secretario General GraustIC
rbarti@graustic.cat

PACS: 43.50.Rq

Resumen

El término Paisaje Sonoro, ha ido adquiriendo importancia en los últimos años. La mayor sensibilidad por los aspectos medioambientales, incluidos los relacionados con la contaminación acústica, han propiciado la aparición de múltiples estudios y trabajos de investigación, donde se trata este aspecto. El concepto “paisaje sonoro” va más allá del control de ruido “clásico”, e implica poner a la persona en el centro del problema. Esto conlleva un cambio cualitativo importante, ya que no se actúa únicamente sobre las fuentes sonoras para mejorar la calidad acústica, sino que hay que tener en cuenta todo el entorno sonoro, generalmente urbano, que rodea a las fuentes de ruido, y donde los ciudadanos interactúan con estos sonidos. En este artículo se aborda el origen del término “Soundscape” (paisaje sonoro), así como la importancia de este concepto sobre las personas. La norma ISO 12913 permite cuantificar el paisaje sonoro usando entre otros, los criterios psicoacústicos. Se evidencia que las actuaciones encaminadas a mejorar el paisaje sonoro, deben afrontarse con un enfoque holístico del problema centrado en las personas, que permita resolver los diferentes intereses y puntos de vista. Se describen algunos aspectos cualitativos a tener en cuenta.

Palabras clave: paisaje sonoro, confort acústico, sonoridad, percepción sonora, molestia.

Abstract

The term Soundscape has been gaining importance in recent years. The greater sensitivity for environmental aspects, including those related to noise pollution, have led to the appearance of multiple studies and research works, where this aspect is addressed. The “soundscape” concept goes beyond “classic” noise control, and implies putting the person at the center of the problem. This entails an important qualitative change, since action is not only taken on sound sources to improve acoustic quality, but rather the entire sound environment, generally urban, that surrounds noise sources, and where citizens interact with these sounds.

This article addresses the origin of the term “Soundscape” (sound landscape), as well as the importance of this concept on people. The ISO 12913 standard allows the soundscape to be quantified using, among others, psychoacoustic criteria. It is evident that the actions aimed at improving the soundscape must be faced with a holistic approach to the problem centered on people, which allows different interests and points of view to be resolved. Some qualitative aspects to be taken into account are described.

Keywords: soundscape, acoustic comfort, loudness, sound perception, annoyance.

1. Introducción

El entorno sonoro puede considerarse en relación con la expresión paisaje sonoro. Los Acuerdos de la Convención Europea del Paisaje definieron el paisaje como un área, tal como la perciben las personas, cuyo carácter es el resultado de la acción e interacción de factores naturales y/o humanos [1]. Las interpretaciones que se pue-

den dar sobre el término paisaje sonoro, pueden ser tan diversas como las diferentes interpretaciones que la gente ya tiene de su paisaje homónimo. Por ejemplo, este último puede incluir el paisaje como forma geográfica, el paisaje como sistema de componentes físicos, el paisaje como determinante y reflejo de la cultura (pintura, literatura y música), el paisaje como lugar de actividad recreativa, y el paisaje en la actividad de diseño de la planifica-

ción del paisaje o la arquitectura. Una diversidad similar se aplica a las interpretaciones/aplicaciones del término paisaje sonoro.

El concepto de paisaje sonoro, tiene diferentes definiciones. Una relativamente reciente, define al paisaje sonoro, como toda la energía sonora producida por el paisaje [2]. El *Manual de Ecología Acústica* define paisaje sonoro como “un entorno de sonido (o entorno sónico) con énfasis en la forma en que lo percibe y lo entiende el individuo o la sociedad” [3]. A nivel general, un paisaje sonoro son todos los sonidos que se perciben en un lugar determinado, ya sea urbano o no. Dependiendo de la experiencia de cada persona, la capacidad de discernir los diferentes sonidos no resulta evidente, ya que éstos se presentan mezclados de forma totalmente aleatoria.

Comprender el análisis de la escena auditiva humana y el importante papel de la atención auditiva nos permite esbozar mejores métodos de evaluación del paisaje sonoro y llegar a metodologías mejoradas para diseñar paisajes sonoros deseables dentro de un contexto específico y para un uso específico. El sonido ambiental por definición no es el foco principal de atención para una persona sumergida en él. Los paisajes sonoros suelen contener muchos sonidos, que se producen simultáneamente, o por separado en el tiempo. Estos sonidos pueden ser considerados positivos, por ejemplo los sonidos naturales, o negativos como por ejemplo el tráfico rodado intenso. A pesar de esta complejidad, el paisaje sonoro se puede evaluar de manera subjetiva. Por ejemplo, el paisaje sonoro en un parque “tranquilo” puede percibirse como más agradable, más relajante, menos molesto y menos estresante, que el paisaje sonoro en una acera cerca de una calle muy transitada. [4].

Diversos estudios [5] [6] [7] sobre paisajes sonoros, han incluido un conjunto limitado de ambientaciones sonoras o un conjunto limitado de atributos de percepción o ambos, y por lo tanto han dado como resultado una gran variabilidad en las dimensiones propuestas para subyacer a la percepción del paisaje sonoro. La principal dimensión encontrada en varios estudios se relaciona con la preferencia o agrado. Además, algunos estudios han encontrado una segunda dimensión relacionada con la actividad o variabilidad en los paisajes sonoros [8] [9] [10] [11] [12].

No solo la composición del entorno acústico determina qué sonidos se perciben, sino también la atención, las actividades actuales y las expectativas del oyente y su conocimiento previo de los sonidos que se pueden escuchar. Dado que la atención es en gran medida multisensorial y los estímulos multisensoriales pueden en parte vincularse a una sola percepción incluso antes de la atención, el contexto visual y la visibilidad de la fuente juegan un papel importante en su evaluación subjetiva.

La secuencia de sonidos tanto percibidos conscientemente como subliminales puede influir en la valoración del entorno acústico. La predictibilidad conduce a una valoración positiva porque el éxito de la predicción que provoca una emoción estética [13].

Los estudios “in situ” en parques urbanos y espacios verdes abiertos, sugieren que las propiedades ‘informativas’ de los paisajes sonoros, es decir las categorías de sonidos, son mejores predictores de la calidad sonora percibida del paisaje sonoro, que las propias mediciones acústicas del paisaje sonoro, como el nivel equivalente, L_{Aeq} [14] [15]. Estos estudios indican que las personas tienden a percibir los sonidos naturales, como el canto de los pájaros o los sonidos del agua en movimiento, como componentes positivos del paisaje sonoro, a pesar de que sus niveles en ocasiones superan notablemente el nivel de sonido ambiente. En cambio el ruido del tráfico y otros sonidos artificiales generados por el humano, a menudo se perciben como componentes negativas [16].

2. Origen de la expresión “Soundscape”

Uno de los trabajos de investigación más recientes sobre la autoría del término “soundscape”, se publicó en el año 2016 en el *AEgean Journal of Environmental Science*, con el título *The interdisciplinary Development of the Term “Soundscape”; Tracing its Ecological Roots*. Los autores fueron Yiannis G. Matsinos, Aggelos Tsaligopoulos y Chris Economou, del departamento de Medioambiente de la Universidad de Aegean, en Grecia.

El trabajo realizó una búsqueda del término “soundscape”. Se analizaron unas 3.200 referencias publicadas entre los años 1969 y 2011, 979 de las cuales se consideraron válidas. Las bases de datos consultadas fueron: Google Scholar, Web of Science (knowledge), y Google Search. El resultado del trabajo atribuye la autoría del término “soundscape” a Murray Schafer, por un trabajo iniciado en el año 1969 titulado: *The World Soundscape Project*, publicado en tres áreas: a) ciencias sociales, arte y humanidades, b) ingeniería, ciencia computacional y matemática, y c) biología, ciencias de la vida y del medioambiente. En todas ellas se incorporó el término “soundscape”.

Sin embargo, en el año 1967, el arquitecto Michael Southworth, publica en el MIT, su trabajo para optar al Máster en Planificación Urbana con el título: *The Sound Environment of Cities*. El término “soundscape” aparece citado cinco veces en el resumen (abstract) y también, en el posterior desarrollo del trabajo de máster. Michael Southworth es actualmente (2022) profesor emérito en el MIT y doctorado en planificación arquitectónica y urba-

nística por el MIT con una extensa lista de publicaciones en el ámbito arquitectónico. Finalmente, Carlotta Darò en su obra *Avant-garde sonore en architecture* del año 2013 [17], publica una entrevista con Murray Schafer, donde éste reconoce que la expresión “soundscape” es original de Michael Southworth.

En su inicio, el término “soundscape” (paisaje sonoro) se asoció al sonido exterior en las poblaciones. No obstante la evolución de los estudios en la materia estas últimas décadas, ha posibilitado la aparición de variantes del término o concepto original. Actualmente el término paisaje sonoro, también puede aplicarse a espacios interiores. La razón hay que buscarla en la creciente necesidad de reflejar mediante datos objetivos, las reacciones de las personas expuestas a esos sonidos. Nótese que en general no se usa el término ruido, sino sonido, dado que éste es más neutro que el primero.

El enfoque del paisaje sonoro proporciona un método para desarrollar indicadores que describen la percepción sonora de las personas, con respecto a sus condiciones físicas y su relevancia para la vida. Esos parámetros deberían permitir medir de forma fiable la calidad del sonido, que tendrá en cuenta las características de los sonidos que provocan reacciones humanas específicas, tanto positivas como negativas: bien estar, tranquilidad, excitación, calma, molestia, descontento, ansiedad, etc. así como los efectos patógenos.

Resulta interesante determinar la contribución de las fuentes importantes, como el ruido del tráfico y su influencia en las evaluaciones de los residentes. La pregunta clave es: en qué medida una fuente sonora determina el paisaje sonoro del entorno con respecto a la percepción y evaluación? Esta cuestión no tiene una respuesta fácil, dada la elevada subjetividad de la percepción sonora por parte de las personas y la falta de indicadores objetivos (métricas) de la calidad sonora.

Existe la necesidad de correlacionar el lenguaje de las personas, con las métricas disponibles e introducir los métodos cualitativos de la psicología y la sociología en el análisis de ingeniería, combinando herramientas cuantitativas y cualitativas para la valoración del paisaje sonoro. El análisis del paisaje sonoro debe colocar el sonido en contexto, con el ruido y el sonido vinculados a la actividad en sitios de estudio realistas. Hay que distinguir entre el concepto de paisaje sonoro y la idea limitada de una “zona tranquila”, que evidentemente no son lo mismo.

Es importante destacar que la relación entre los parámetros físicos medibles y los aspectos subjetivos no medibles, tendrán una relación única vinculada a cada comunidad y contexto de vida específicos, que están relacionados con el entorno socioeconómico y el estilo de vida específico.

2.1. Primer paseo sonoro (Southworth 1967)

Southworth hizo el primer paseo sonoro de la historia, con 33 puntos por el centro de Boston. Un extenso y riguroso trabajo de lectura obligada para conocer los orígenes del paseo sonoro [18]. La figura 1, muestra una vista aérea con los puntos marcados del primer paseo sonoro de la historia. En 1967 sólo se disponía de fotos aéreas que se preparó, cortando adecuadamente las fotografías aéreas, para marcar la ruta. En cada punto se hicieron observaciones en distintos días de la semana y varias veces al día, para tratar de obtener unos resultados correctos.

Se hicieron mediciones del nivel sonoro con un sonómetro en bandas de octava. Estos equipos eran 100% analógicos y no disponían de memorias, por lo que la función L_{eq} no se podía hacer. Para suplir esta carencia, el observador tenía que estar pendiente constantemente del indicador de aguja del equipo de medida, mientras iba escuchando el sonido, y a su vez, ir anotando lo que acontecía. Tampoco podía obtener el espectro en frecuencia de la señal, que se tenía que hacer posteriormente a partir de las grabaciones de audio.

El análisis de frecuencia por bandas de octava, se tenía que repetir tantas veces como bandas analizadas, ya que el equipo sólo podía medir el nivel sonoro en la banda seleccionada. Si se repetía la medición varias veces, el sonido en cada medición sería distinto, por lo que se optó por grabar el sonido en cinta magnetofónica. Con las grabaciones de nivel sonoro, se reproducía la grabación tantas veces como bandas se analizaban. Para suplir la carencia del indicador L_{eq} , se recurría a “dibujar” la evolución del nivel sonoro en un registrador gráfico, y manualmente se hacían cálculos para determinar “con mayor precisión” el nivel L_{eq} . Sin embargo sólo fue posible aprovechar esta facilidad en las calles con más nivel sonoro, ya que la sensibilidad del grabador era limitada, según comenta el propio autor.

Para facilitar la clasificación de sonotipos de una manera cómoda y rápida, Southworth ideó unos símbolos



Figura 1. Recorrido del primer paseo sonoro de la historia, realizado por Southworth en 1967. En total fueron 33 puntos en la ciudad de Boston.

que se reproducen en la figura 2, mediante estos símbolos el observador en el paseo sonoro, anotaba la tipología de sonidos que iba percibiendo. Previamente se anotaron los sonidos que se podían escuchar en distintas calles de la ciudad, para poder definir la simbología sin dejarse ningún sonido.

De la observación y medición del nivel sonoro efectuado en los distintos puntos, Southworth ideó una manera fácil y simple de representar los niveles sonoros a modo de "mapa de nivel sonoro", haciendo unos trazos con distinto sombreado sobre las calles analizadas.

La figura 3, muestra un fragmento del paseo sonoro con los niveles sonoros medidos en las calles. A la derecha de la imagen se puede ver la escala de nivel sonoro en dB. Nótese que al margen del sombreado, el grosor del trazo estaba relacionado con el nivel sonoro medido, a mayor nivel mayor grosor, lo que permitía ver rápidamente las calles donde había más nivel sonoro. Hoy en día se utilizan colores, ya que de esta manera no altera la morfología de las calles.

El análisis por bandas de octava realizado a partir de las grabaciones, se muestra en la figura 4. A pesar de las limitaciones técnicas de la época, obtuvo resultados interesantes. En esta figura se aprecian los espectros del sonido ambiente (sin tráfico), el sonido de tráfico, sonido de vehículos deportivos, sonido de bocinas, y finalmente de pájaros. Aunque no aparece en el gráfico, los niveles representados son con la ponderación A.

Es destacable que los llamados coches deportivos de la época hacían unos 10 dBA más de ruido que el resto

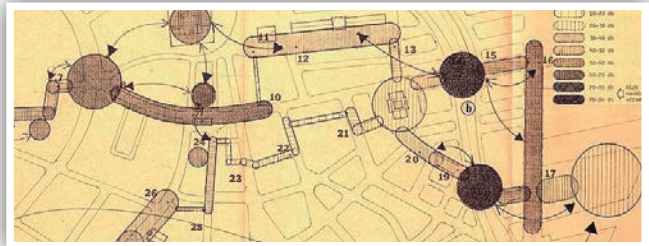


Figura 3. Representación del nivel sonoro "in situ", de las calles mediante sombreado. (Southworth 1967).

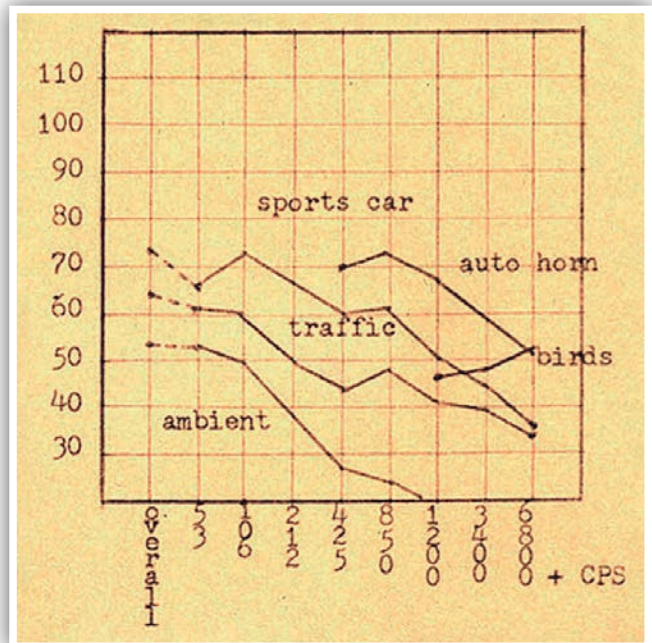


Figura 4. Espectro de diferentes fuentes sonoras. (Southworth 1967).

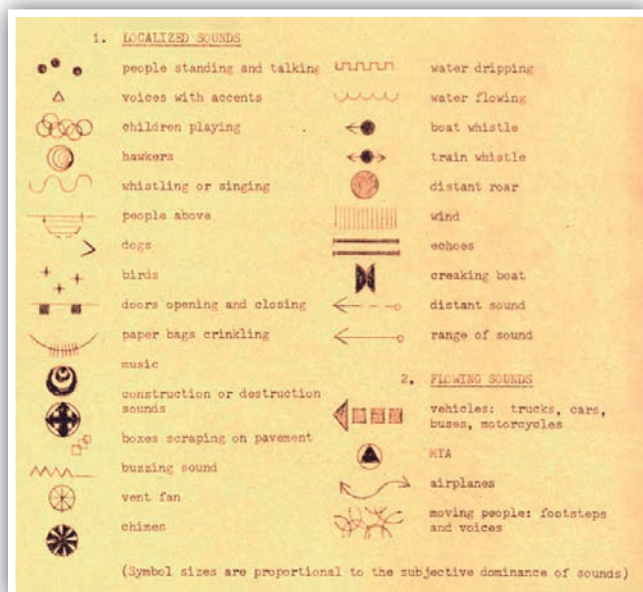


Figura 2. Simbología usada por Southworth en 1967, para indicar los sonotipos escuchados durante el primer paseo sonoro de la historia.

de vehículos. La curva "ambient" reflejaba el nivel sonoro sin tráfico, con un nivel global de unos 53 dBA. Nótese que las bandas de octava no coinciden con las actuales. En el año 1967 las frecuencias centrales de las bandas de octava eran distintas en el continente americano respecto al europeo.

2.1.1. Primer experimento

El propósito de este experimento fue estudiar la percepción del entorno sonoro independiente de la visión. Una preocupación principal era determinar cuánto se podía decir sobre la ciudad con solo escucharla, y también cómo la percepción del paisaje sonoro cambia, con el tiempo y bajo diversas condiciones climáticas. Un propósito secundario fue probar previamente las técnicas experimentales para el estudio del entorno no visual en general. Se vendaron los ojos y se llevaron a los sujetos en silla de ruedas, comenzando con el escenario 1 y terminando con el escenario 33. Se les vendaron los ojos para sensibilizarlos al sonido eliminando los estímulos

visuales. La silla de ruedas eliminó los problemas de ansiedad que habrían resultado de caminar sin experiencia con los ojos vendados. El viaje se realizó en diferentes momentos del día y de la semana y bajo diferentes condiciones climáticas para estudiar el patrón temporal de los sonidos.

Se pidió a los sujetos que dijeran lo que podían escuchar mientras realizaban el paseo sonoro. Se animó a todos los sujetos a utilizar sonidos hechos por ellos mismos, como aplausos, silbidos o gritos, para probar el carácter de los espacios en los que se encontraban. (Reconocimiento sonoro del espacio)

Todos los comentarios durante el viaje fueron registrados en forma de nota por un asistente. La técnica de toma de notas redujo el tiempo de viaje habitual de un peatón, de una hora y media a dos horas. Después del paseo, se pidió a todos que dibujaran un mapa de la secuencia tal como la recordaban. Luego se les preguntó informalmente sobre sus experiencias más memorables y se les pidió que las clasificaran de acuerdo con sus preferencias; lo mismo se hizo con los sonidos. También se les preguntó qué tipo de pistas les daban más información sobre los lugares y cómo se podría haber mejorado el viaje.

2.1.2. Segundo experimento

En este experimento, el propósito principal fue investigar las interacciones entre la percepción de los entornos visual y sónico. Además, se deseaba perfeccionar las técnicas del experimento uno y también explorar algunas técnicas nuevas.

Para probar las interacciones entre la vista y la audición, un trío de sujetos diferenciados sensorialmente fueron expuestos a la configuración simultáneamente. Éstas eran:

- Audición: sujetos que podían oír pero no ver.
- Visión: sujetos que podían ver pero no oír.
- Audición y visión: sujetos con audición y visión normales.

Esta especialización en el tema, facilitó el análisis de las interacciones sensoriales porque las respuestas a los entornos se podían analizar por separado, así como en conjunto. Dado que el paisaje sonoro está cambiando, era imperativo que cada grupo estuviera expuesto a la configuración simultáneamente.

Aunque es extremadamente difícil prevenir la sensibilización de los sujetos a la audición o la visión, los sujetos que oyen y ven actúan como controles sobre otros sujetos, al no estar especializados. Además, a pesar del aparato visible, la mayoría de los sujetos no sabían qué se

estaba probando. Los sujetos participantes, estaban con los ojos vendados y en una silla de ruedas como antes, ya que esto había demostrado ser bastante exitoso en el experimento uno.

2.1.3. Resultados obtenidos

1. Identidad: singularidad e información

Los entornos más dominantes, fueron aquellos que estaban más contrastados o más singulares, en relación con todos los demás entornos y los eventos inmediatamente anteriores y siguientes en la secuencia. También tendían a ser más informativos de la forma espacial y de actividad, siendo los sonidos novedosos más informativos que los redundantes.

2. Entorno deseable

Los escenarios preferidos, además de ser altos en singularidad e información, eran los más receptivos y permitían una mayor participación del receptor, mientras que los escenarios que eran menos preferidos eran menos informativos, redundantes y en general muy llamativos, con sonidos de mayor intensidad y frecuencia.

3. Refuerzo visual-auditivo

Los entornos visuales-auditivos dominantes, tenían actividad visible y características espaciales que estaban respaldadas por los sonidos, siendo tanto la forma sónica como la visual, única e informativa. Los entornos con una forma visual no solidaria, es decir, una forma que era débil o contradictoria con los sonidos, eran menos dominantes.

3. Entendiendo el paisaje sonoro

El término paisaje sonoro se puede interpretar como el sonido que se escucha en una ubicación específica, generalmente dentro de un entorno urbano, aunque el término también puede ser utilizado para describir ambientes sonoros en entornos naturales.

En general existe una gran experiencia acumulada durante varias décadas, en el control y reducción del nivel sonoro de fuentes de ruido no deseadas. Este control permite no solo reducir el nivel soro sino alterar su contenido espectral, siempre con el objetivo de minimizar el impacto acústico producido por distintas fuentes sonoras, sobre la población. Aprovechar esta experiencia quizás sería ventajoso para el diseño de los paisajes sonoros.

Para mejorar o alterar un sonido, la técnica más eficaz es analizarlo. Con ello se puede extraer toda la información útil y posteriormente y en base a estos resultados, mejorar/modificar este sonido. Aplicando esta técnica al

diseño o mejora de un paisaje sonoro, se realiza un análisis de éste con el fin de construir un enfoque que sea armonioso con el enfoque “clásico” del control del ruido. El enfoque clásico, se centra en una fuente de ruido a la vez y todas las herramientas y la experiencia que utilizamos para controlar el ruido están especializadas en un tipo particular de ruido.

La calidad del paisaje sonoro no solo tiene en cuenta los sonidos no deseados, sino también la incorporación o recuperación de aquellos sonidos que son, en general deseables. En este proceso hay dos cuestiones básicas a las que hay que dar respuesta. Por un lado qué fuentes son menos deseables en un paisaje sonoro, y por otro qué fuentes sonoras son más deseables. Respecto a las primeras, generalmente no se pueden eliminar al 100%. Tal es el caso del ruido de tráfico, donde las acciones tratan de mitigar su nivel sonoro aplicando diferentes técnicas. En cuanto a las segundas, en general supone añadir esas fuentes deseables o esperadas al paisaje sonoro, pero siempre de forma armonizada con el entorno.

En resumen, el enfoque en principio más ventajoso para el diseño o mejora de un paisaje sonoro, sería desconstruir el paisaje sonoro actual en sus componentes indeseables y deseables, para que cada una pueda abordarse con las herramientas y la experiencia adecuadas de cara a obtener el mejor resultado. Esa desconstrucción del paisaje sonoro implica por un lado la cuantificación de sus características sonoras mediante indicadores diversos. A estos indicadores se les llama métricas ya que cuantifican en números distintos aspectos y cualidades de los sonidos analizados.

Por otro lado, la valoración de la calidad del paisaje sonoro, se complementa con una valoración subjetiva, basada en la opinión de diversas personas que escogen de una lista, distintos calificativos para describir lo mejor posible ciertos aspectos de los sonidos escuchados. Normalmente se usan unas escalas de nivel, por ejemplo del 0 al 10 o del 0 al 5 para una determinada expresión verbal, aspecto que permite modelar la respuesta. Dada la elevada variabilidad de respuestas ante el mismo sonido recibido por distintas personas, se tendrá que hacer un análisis muy delicado para obtener los valores que aparecen más veces. Eso conlleva que el diseño de un paisaje sonoro no puede ser nunca universalmente óptimo.

4. Sostenibilidad sonora

El concepto de sostenibilidad sonora aplicado al diseño de paisajes sonoros, implica actuar en la planificación, el diseño y la gestión para lograr ser amigables con el medio ambiente, mejorar la calidad de vida, ser eficientes y sostenibles. La dimensión de la calidad de vida, quizás

es el aspecto más directamente relacionado con la percepción audiovisual, que las personas tenemos frente a los espacios urbanos, aunque también se aplican a los espacios naturales, con acceso de personas.

La mayoría de los lugares en los que vivimos, trabajamos, jugamos y por los que nos movemos, se caracterizan no solo por el paisaje natural, los paisajes urbanos o la arquitectura, sino también por un paisaje sonoro característico. En términos de mejorar el paisaje sonoro, no son solo los aspectos indeseables de los sonidos los que deben ser considerados, sino la preservación o restauración de los sonidos deseables que están tapados o enmascarados por los sonidos llamados “indeseables”. Si nuestros espacios de vida deben proporcionar satisfacción y calidad de vida, entonces se debe considerar la sonoridad que experimentamos con el objetivo de preservar o restaurar paisajes sonoros deseables.

Los sonidos de los paisajes naturales se componen de los sonidos biológicos emitidos por la fauna del lugar, y los sonidos no biológicos que se producen por los elementos naturales como el discurrir del agua o el paso del viento. Los sonidos en entornos urbanos están generalmente dominados por fuentes sonoras artificiales que en ocasiones enmascaran los sonidos de procedencia natural.

Diversos autores apuntan a que el paisaje sonoro natural ofrece una mayor cantidad de información que el paisaje sonoro urbano, lo que redundaría en una progresiva desconexión entre humanos y naturaleza. El paisaje sonoro urbano está saturado de señales sonoras que aportan poca o nula información y que son generalmente consideradas ruido no deseado por muchas personas. La mayoría de señales acústicas proceden de vehículos con propulsor térmico y máquinas rotativas. Estas señales acústicas presentan un espectro con niveles de energía significativos, por debajo de los 4 KHz.

5. Buscando la tranquilidad sonora

Los espacios pensados para que las personas se relajen, distraigan y recuperen la paz, suelen tener una relación directa con la presencia de elementos naturales, como la vegetación, los saltos de agua y la fauna. El calificativo que mejor describe estos espacios es la tranquilidad que ofrece a sus visitantes. Estudios recientes, han revelado que el cerebro humano maneja las entradas sensoriales de ambientes tranquilos de manera muy diferente a los ambientes no tranquilos, y subraya la importancia de tener en cuenta las interacciones audiovisuales para comprender los beneficios de los espacios tranquilos [19].

La naturaleza en entornos rurales, suele estar alejada de las ciudades, y en general eso propicia que sea frecuentada por una pequeña parte de la población. Por

este motivo, los entornos relativamente tranquilos en los espacios urbanos pueden ser más importantes para el bienestar de una buena parte de la población, en lugar de los espacios rurales tranquilos, ya que brindan un medio de fácil acceso, por el cual los habitantes de las ciudades, pueden escapar de la sobrecarga cognitiva diaria que caracteriza la vida moderna.

Los entornos naturales pueden ayudar a la recuperación de la sobrecarga cognitiva, al interactuar con entornos restauradores naturales, que están lejos de las distracciones diarias y tienen la extensión y el encanto que permite que la imaginación pueda deambular, lo que permite a las personas interactuar sin esfuerzo con su entorno. Esto es la base de la Teoría de Restauración de la Atención (ART) [20]. Esta teoría se basa en el principio de que la cantidad de reflexión posible dentro de un entorno natural, depende del tipo de compromiso cognitivo, es decir, el nivel de fascinación que genera el medio ambiente.

6. Influencia del paisaje sonoro sobre la calidad de vida

Este es quizás el principal objetivo. Los trabajos y estudios que se vienen realizando en distintas partes del planeta, tienen por objetivo mejorar la calidad de vida y la salud de las personas. Es conocido que la vida en las ciudades suele tener componentes elevadas de estrés. El quehacer diario para muchas personas supone un sinnúmero de tareas, muchas rutinarias, que deben hacerse y que en ocasiones precisan soportar responsabilidades.

Los ambientes sonoros en las ciudades pueden resultar muy molestos y estresantes para sus residentes. A pesar de que gran parte de la población residente en grandes ciudades, considera que el ruido ambiente es una cosa propia de las grandes aglomeraciones, esto no exime de los efectos nocivos que supone estar sometido diariamente a sonidos no deseados.

La evidencia epidemiológica sobre el valor positivo intrínseco de áreas con alta calidad acústica, como áreas verdes / áreas silvestres / agua, es limitada. Para la restauración a través de la mediación, varios estudios mostraron que el acceso a la tranquilidad en el domicilio o cerca de él, reduce las molestias en el hogar y también tiene un efecto beneficioso sobre la calidad del sueño y la presión arterial [21].

El respiro temporal de la exposición al ruido ambiental no deseado en el domicilio puede mitigar los efectos negativos sobre la salud y el bienestar. Diferentes características del entorno físico cercano, juegan un papel importante.

Por ejemplo, el acceso a espacios verdes en las inmediaciones de las viviendas, modera el efecto de molestia producido por el tráfico en la zona. En éste sentido, la acción de “tapar” con vegetación la visión de los vehículos es una acción placebo, que reduce el grado de molestia percibido por las personas, a pesar de estar sometidas al mismo nivel de presión acústica.

7. Ambientes sonoros

Uno de los sonidos que más está cambiando en las últimas décadas, es el ambiente sonoro que hay en los lugares donde la gente puede estar, como las calles y plazas de las ciudades, es el llamado paisaje sonoro. Lógicamente ha habido una evolución de la vida rural a la vida en ciudad, y los ruidos en ambos casos eran y son muy distintos. La transición de la vida rural a la vida urbana, puede ser caracterizada en cuanto al ambiente sonoro, como el paso del sonido “Hi-Fi” al “Lo-Fi” (alta fidelidad a baja fidelidad, en el sentido de calidad sonora). La causa es la pérdida de los sonidos y ritmos cotidianos que se pueden encontrar en los ambientes naturales, y no en los ambientes urbanos. En los ambientes sonoros urbanos (“Lo-Fi”, baja calidad sonora) se producen además, sonidos con informaciones acústicas que entran en conflicto con los sonidos que queremos o deseamos escuchar [22].

Diariamente tenemos nuevas experiencias sonoras. Si no detectamos nuevos sonidos, nuestra experiencia sonora diaria puede llegar a ser aburrida. En estos casos en general se opta por dejar de prestar atención al sonido envolvente, y no recordamos ningún sonido concreto. Nuestro sentido auditivo funciona perfectamente, pero es como si no se “grabara” ninguna información en la memoria. La presencia de nuevos sonidos, propicia la curiosidad acústica (la función más primitiva del sentido auditivo) y eso incrementa nuestro interés por el sonido percibido, aunque si la información presentada es muy redundante, o cuando los sonidos nuevos son extremadamente complejos y no podemos reconocerlos, esa curiosidad desaparece.

Un ejemplo de sonido monótono es el ruido en el interior de un avión en vuelo. El nivel de presión sonora en su interior es elevado, entre 83 y 86 dBA aproximadamente, y el ruido se asemeja mucho al ruido rosa. A pesar de su elevado nivel sonoro, esto no es impedimento para que muchas personas se queden dormidas con facilidad o tengan estados de somnolencia notables, a pesar de ir vestidos y sentados en un asiento estrecho e incómodo. En este caso nuestro sentido auditivo percibe a los pocos minutos, que no hay información acústica nueva y “desconecta”, lo cual permite conciliar el sueño perfectamente. Sucede lo mismo con el sonido de la llu-

via, las olas del mar, etc. son sonidos naturales, a los que se les atribuye erróneamente efectos relajantes.

Un ejemplo de sonido que despierta curiosidad es el procedente de la calle en un casco antiguo de una ciudad. Probablemente no haya tráfico de vehículos y los niveles de ruido ambiente sean bastante moderados, digamos entorno a los 40 – 45 dBA, pero las voces que aparecen esporádicamente y con diferentes intensidades de algunos peatones, despiertan la curiosidad auditiva, y eso dificulta conciliar el sueño. Nótese que en estos casos podemos tener en el interior de la vivienda niveles L_{eq} alrededor de 25 dBA, y sin embargo no es posible conciliar el sueño. El L_{eq} no tiene en cuenta los desniveles sonoros, que es lo que realmente despierta nuestra curiosidad acústica, y produce finalmente sensación de molesta e incomodidad.

8. Valoración del paisaje sonoro

Desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, la sociedad ha evolucionado mucho, los conocimientos científicos son mejores y la tecnología permite unos registros de audio perfectos que posibilitan un análisis exhaustivo y detallado de los sonidos, que van mucho más allá de una simple medida de presión acústica. Sin embargo, hasta la fecha no se ha desarrollado ningún indicador que permita establecer una correlación precisa entre el resultado de una medición, y las diferentes percepciones sonoras subjetivas de las personas que están inmersas en un determinado ambiente sonoro. Entre las causas probables, algunas son bien conocidas, como la diferencia entre lo medido con un micrófono, y lo percibido con dos oídos por un humano. Otras son más desconocidas, como la influencia del estado de ánimo, las condiciones climatológicas, la cultura o la influencia de la visión, sobre la percepción de los sonidos.

8.1. Estándar ISO 12913. Paisaje sonoro

Existe un gran interés en la investigación relacionada con del paisaje sonoro. En un afán de mejorar la calidad de vida y conseguir un entorno más saludable y eficiente, se han realizado varios estudios, con puntos de partida diferentes, que están generando diversidad de opiniones sobre la definición y los objetivos relacionados con el paisaje sonoro. El Comité Técnico de la Organización Internacional 43 / Sub- Comité 1 / Grupo de Trabajo 54 hizo el primer esfuerzo para desarrollar una norma de paisaje sonoro que culminó en la norma ISO 12913-1:2014. Esta norma internacional tiene como objetivo permitir un amplio consenso internacional sobre la definición de paisaje sonoro y proporcionar una base para comunicación entre disciplinas y profesionales con interés en el paisaje sonoro.

Según la norma ISO 12913-1:2014, un paisaje sonoro se define como: “un entorno acústico según lo percibido o experimentado y/o entendido por una persona o personas, en un contexto”. Se puede afirmar que el paisaje sonoro se basa en tres supuestos principales:

- El paisaje sonoro puede entenderse como un conjunto de recursos en lugar de reducirse a un simple ruido.
- Los análisis y evaluaciones del paisaje sonoro deben contextualizarse.
- Las percepciones de las personas, y sus reacciones y valoraciones, se combinan hacia una interpretación holística del entorno sonoro.

En esta norma, se proporciona un marco conceptual relacionado con el proceso del paisaje sonoro, como se muestra en la figura 5. Un paisaje sonoro se origina con las fuentes de sonido habituales en entornos urbanos (Tráfico rodado, trabajos en la vía pública, canto de pájaros, voces, fuentes/saltos de agua, etc.) y su distribución en el espacio y el tiempo. Las fuentes de sonido pueden ser estáticas o móviles. La mayoría de fuentes sonoras en un entorno urbano están relacionadas con el tráfico rodado. A pesar de que los vehículos van cambiando constantemente, el sonido generado es muy similar, si bien que no es conveniente hacer grandes integraciones temporales, para hacer una valoración cualitativa.

El entorno acústico, tiene en cuenta las características acústicas de éste, como los efectos de la propagación del sonido resultante de las condiciones meteorológicas, absorción, difracción, reverberación y reflexión, que modifican y matizan a todas las fuentes sonoras presentes en ese espacio. El resultado de esta interacción entre los sonidos generados y las condiciones acústicas, crea el entorno sonoro, que es el resultante de todas las interacciones acústicas.

Los sonidos presentes en el paisaje sonoro considerado, llegan al sentido auditivo, a través del oído. El primer paso es tener conciencia del sonido. La percepción

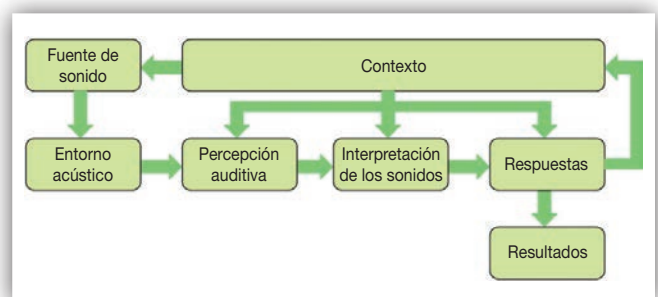


Figura 5. Elementos que intervienen en la percepción del paisaje sonoro. (ISO 12913:2014).

del sonido, viene influido por las condiciones de contorno (contexto) donde se encuentra el observador.

Estos sonidos percibidos son interpretados en base, a la cultura, la experiencia, la situación, el estado de ánimo, etc. La fase de interpretación significa una asimilación profunda de las características del sonido, no solamente físicas sino emocionales, de información, etc. que van asociadas a la recepción de cualquier sonido. Esta interpretación está condicionada por el contexto, y uno de los aspectos más influyentes es la visión. La misma fuente sonora escuchada en el mismo entorno pero con una imagen distinta (por ejemplo un día nublado o soleado), se interpreta de forma distinta.

Después de la interpretación, llega la fase de la respuesta en forma generalmente de decisión. Si estamos haciendo alguna tarea que requiera cierto ambiente silencioso, y nos habla alguien, la decisión estará relacionada con la dificultad en realizar esta tarea, generalmente con una decisión binaria: molesta o no molesta. Si lo que se pretende es “desconectar”, la interpretación es mucho más compleja y está fuertemente influenciada por nuestro estado de ánimo, cansancio, y grado de estrés. Las respuestas incluyen reacciones y emociones a corto plazo, así como comportamientos, mientras que los resultados consisten en una consecuencia general a largo plazo facilitada por el entorno acústico, como las actitudes, la salud, el bienestar y la calidad de vida.

La parte 2 del estándar ISO 12913:2014, en el apartado A3, establece que parámetros deben reflejarse en el informe de valoración de un paisaje sonoro. Respecto a las mediciones acústicas, hay que indicar los niveles de presión equivalente A y C, así como los percentiles L_{AF5} y L_{AF95} . Estos últimos no ofrecen ninguna ventaja sobre los niveles equivalentes (L_{Aeq5} y L_{Aeq95}), puesto que la función “Fast” difiere en menos de 0,02 dB, para el mismo grado de integración (125 msec.) También debe indicarse la sonoridad según estándar ISO 532-1 para los niveles percentiles N5 y N95, que corresponden al nivel de sonoridad excedido durante el 5% y el 95% del tiempo respectivamente. Se añade la sonoridad raíz cúbica del cubo de suma de sonoridades, N_{mc} según el mismo estándar, con la formulación (1).

$$N_{mc} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i^3} \quad (1)$$

Donde N representa la sonoridad en un instante i, y n es el número de muestras de sonoridad. La justificación de éste indicador viene motivada por las respuestas que se producen ante eventos de distinta duración y con nivel sonoro muy diferente [23].

8.2. Criterios psicoacústicos aplicados al paisaje sonoro

En general se observa que sonidos con el mismo nivel de presión acústica, producen sensaciones muy distintas sobre las personas. La sonoridad, valora mejor la sensación sonora producida que el nivel equivalente, pero también se valora el registro sonoro en su totalidad. Los criterios psicoacústicos propuestos en la ISO 12913-2 son: Sharpness (agudeza), Tonality (tonalidad), Roughness (rugosidad), y Fluctuation Strenght (fluctuación), que valoran aspectos relacionados con el contenido en frecuencia del sonido, lo que aporta mucha más información cualitativa sobre éste, y también valora el registro sonoro en su totalidad.

La psicoacústica cubre un campo importante que describe las diferentes dimensiones involucradas en el proceso de evaluación del sonido percibido. Describe los mecanismos de percepción del sonido en términos de varios parámetros, como el volumen, la agudeza, la rugosidad y el poder de fluctuación, así como otros parámetros relacionados con la audición. Diversos estudios muestran que la procedencia del sonido, juega un papel importante en las reacciones fisiológicas y la sensación de molestia percibida. Para el mismo nivel sonoro (SPL) en la posición del oyente, los sonidos con distinta procedencia, aparecen como más molestos respecto a los sonidos percibidos en la misma dirección.

Por lo tanto, la distribución espacial de las fuentes sonoras, así como la dirección y velocidad de cualquier movimiento de estas fuentes, pueden ser relevantes para la percepción y evaluación del ruido ambiental. Esto es relativamente importante en entornos urbanos, donde los espacios destinados al descanso de los ciudadanos, están rodeados de calles con circulación rodada de vehículos.

El hecho de que la molestia resultante del paisaje sonoro circundante del oyente también depende de la actitud personal del oyente, aumenta aún más la complejidad del enfoque del paisaje sonoro, que tiene que integrar aspectos importantes, como la situación física, la experiencia y la interacción e interpretación del medio ambiente en un concepto amplio.

Sin embargo, la realidad es que el nivel L_{Aeq} calculado o medido, y la molestia percibida, a menudo difieren ampliamente de las evaluaciones realizadas por los residentes interesados [24] [25]. Esto se explica por el hecho de que el sentido auditivo humano, a diferencia de un sonómetro, no es un instrumento de medida. El oído humano, tiene una percepción sonora diferenciada debido a su no linealidad y adaptabilidad, así como a sus características de procesamiento de la señal, prestando aten-

ción a factores adicionales y no solo a la intensidad promedio del evento sonoro [26] y al contraste acústico [27], entre otros.

9. Medidas para reducir el ruido de tráfico en entornos urbanos

La mejora del paisaje sonoro, está fuertemente condicionada al punto de partida de la situación acústica del lugar. En entornos urbanos, es bien conocida la existencia de un ruido ambiente producido por la circulación de vehículos con MCI. Si bien estos vehículos irán desapareciendo paulatinamente con la electrificación del transporte, en los años de transición el nivel de ruido apenas variará. Un primer paso para conseguir una mejora notable del paisaje sonoro, será la reducción del nivel de ruido de tráfico en las ciudades. La solución trivial de eliminar completamente la circulación de vehículos por una calle, genera graves problemas de movilidad y de ruido en las adyacentes, por lo que no parece aconsejable. El motor eléctrico elimina el ruido del MCI, y con ello las bajas frecuencias. Sin embargo, va a persistir el ruido de los neumáticos, aunque el vehículo sea eléctrico.

El proyecto de investigación europeo “Quiet City Transport” (QCity 2005), subraya el esfuerzo por explorar más a fondo la conexión entre el ruido urbano y su percepción y evaluación. En este documento se han hecho diversos estudios encaminados a ofrecer soluciones a los problemas relacionados con la contaminación acústica, desde diversas perspectivas.

9.1. Actuación sobre la superficie de circulación.

Es un asfalto también llamado poroelástico, une las propiedades de la porosidad junto a una mayor elasticidad que le proporcionan los aditivos elásticos que suelen ser goma de neumáticos reciclados, para disminuir el nivel sonoro en la interacción entre los neumáticos y la calzada. El ruido externo de la interacción entre neumático y calzada con acabado poroelástico, desarrollado y refinado en el marco del proyecto QCITY, se ha comparado con superficies de carreteras estándar desgastadas en varios grados.

Las comparaciones entre la superficie de la carretera poroelástica y las superficies de la carretera de referencia estándar, se han realizado con SMA11 y SMA16. SMA11 es una superficie de betún asfáltico con un tamaño máximo de piedra de 11 mm y con un alto contenido de piedras más grandes en la mezcla de áridos. SMA16 es el mismo tipo de superficie pero con un tamaño máximo de piedra de 16 mm. El porcentaje de poro estudiado para el asfalto, es del 15%.

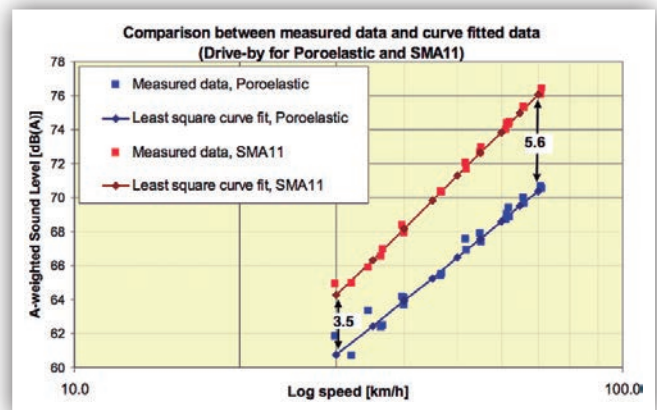


Figura 6. Reducción del nivel sonoro por la aplicación de asfalto poroso. (Qcity 2005).

La figura 6, muestra la reducción del nivel sonoro del ruido de rodadura, que ofrece un asfaltado poroso, respecto el convencional. La velocidad del vehículo va de 30 Km/h a 70 Km/h. Se puede observar que la reducción de nivel a 30 Km/h es de 3,5 dBA, mientras que a 70 Km/h esta reducción pasa a ser de 5,6 dBA. El beneficio pues de utilizar asfalto poroso para reducir el nivel de ruido de tráfico, es evidente. La reducción del nivel sonoro por la acción de la absorción del asfalto, se produce principalmente a las bandas medias y altas.

La figura 7, muestra el espectro en frecuencia radiado por los neumáticos, para una velocidad de 30 Km/h, 50 Km/h y 70 Km/h.

Los datos muestran que hasta la frecuencia de 800 Hz, no hay ninguna reducción del nivel sonoro. A partir de esta banda, la reducción del nivel sonoro oscila por bandas entre los 6 dBA y los 3 dBA, dependiendo de la frecuencia. Como se puede comprobar, la tendencia del grado de reducción es bastante similar, pero creciente con la velocidad. La gran ventaja del uso de asfalto poroelástico, es que todos los vehículos que circulan, se benefician de la reducción del nivel sonoro. Obviamente si de forma individual, reducen su nivel sonoro, esto también beneficia a todo el territorio por donde circulan.

Los niveles de reducción sonora mostrados, son apreciables entre 3,5 y 5,6 dBA. Si bien estos valores pasado un tiempo y por colmatación de parte de los “poros” de la superficie asfaltada, pierde capacidad absorbente y la reducción del nivel sonoro real se queda sobre los 3 dBA. Pero a pesar de esta disminución, la sensación percibida “in situ” suele ser más elevada. La causa es que la reducción del nivel sonoro se centra en las frecuencias medias. El sonido percibido con asfalto poroso o poroelástico es menos estridente, el sonido es más “apagado”, más “suave” y esta cualidad tiene mucha importancia en la valoración subjetiva.

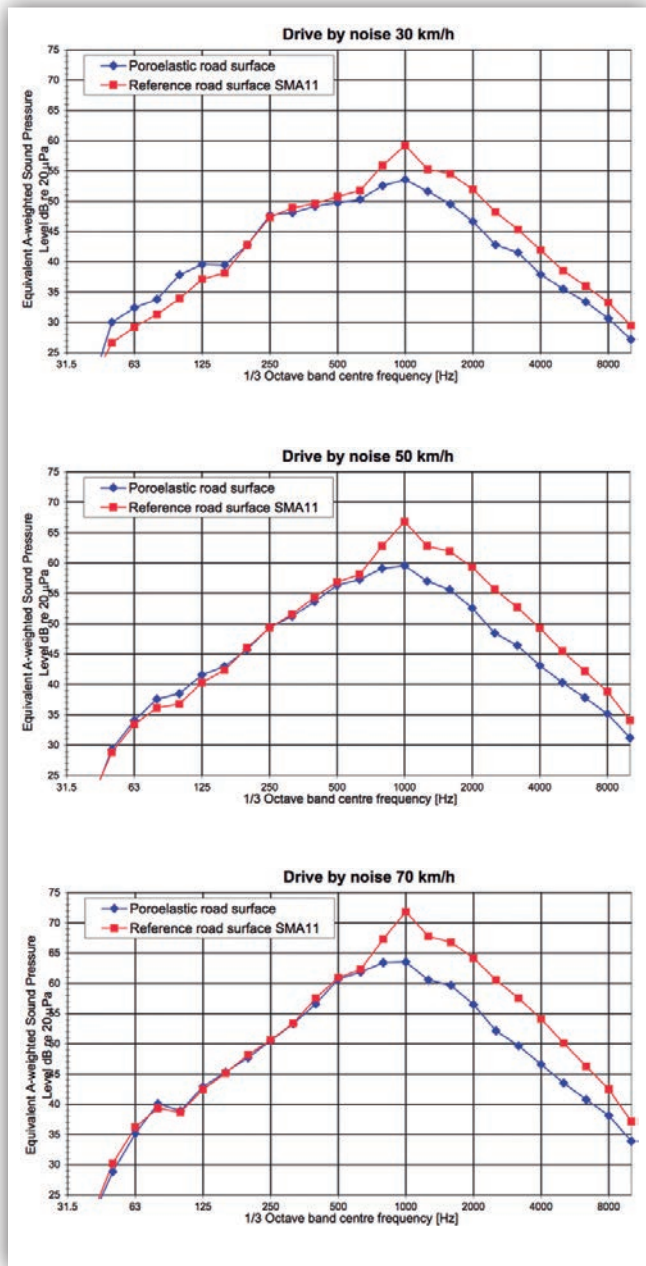


Figura 7. Espectro en frecuencia del ruido de neumático sobre asfalto convencional (rojo) y poroso (azul), para velocidades de 30, 50 y 70 Km/h.

9.2. Actuación sobre el neumático.

La tecnología del neumático tiene muchos años de experiencia que han permitido obtener diseños eficientes en diversos aspectos. La investigación sobre estos elementos en las décadas pasadas, se centró básicamente en mejorar las prestaciones mecánicas y de seguridad. No se tuvo en cuenta el ruido generado como un factor de diseño. En consecuencia desde mediados de los años 90, el nivel de ruido emitido por los vehículos en la UE ha permanecido constante durante 25 años, porque el ruido de los neumáticos impedía reducir el nivel sonoro de los vehículos.

Con los estudios realizados sobre ruido de neumático principalmente a partir de la década de los 90, se ha conseguido que en los nuevos diseños de neumáticos, se ha reducido el nivel sonoro, pero a costa de bajar las prestaciones mecánicas. En el afán de reducir el ruido generado por los neumáticos, se están investigando nuevas alternativas, que permitan conseguir una reducción del nivel de ruido emitido.

El año 1990 el profesor Ulf Sandberg, desarrolló un nuevo concepto de neumático, donde se elimina la cámara de aire [28]. La reducción sonora obtenida fue de 10 dBA, un valor muy elevado. No obstante el problema encontrado fue una duración insuficiente de este neumático.

Posteriormente se han desarrollado distintos modelos de neumáticos sin cámara de aire, donde se busca una durabilidad similar a la actual. El reto también es mantener unas prestaciones mecánicas y dentro de esta faceta, como se absorben los impactos con bordillos, piedras etc. por parte de las nuevas estructuras. La tendencia de los distintos fabricantes es sustituir la actual cámara de aire por un entramado de materiales que den una elasticidad, pero a su vez rigidez lateral, para que el neumático tenga un comportamiento mecánico similar al actual. La figura 8, muestra diversas propuestas de neumáticos sin cámara silenciosos, de seis fabricantes distintos. El efecto amortiguador de la cámara de aire se sustituye por elementos elásticos, que forman parte del diseño estructural del neumático.



Figura 8. Propuestas de neumáticos sin cámara, de seis fabricantes distintos.

10. Evaluación del paisaje sonoro

El paisaje sonoro se puede evaluar desde diferentes ópticas o diferentes ámbitos, como resume la figura 9. La audición humana puede clasificar paisajes sonoros complejos, en eventos de sonido único debido a su audición binaural y a la capacidad de seleccionar la fuente sonora, aspectos que ninguna tecnología actual puede hacer.

Las contribuciones individuales a un paisaje sonoro, pueden seleccionarse voluntariamente por el sentido auditivo e influir decisivamente en la evaluación individual. Es decir, ante la misma secuencia de eventos sonoros complejos, distintas personas pueden dar distintas opiniones o valoraciones, al haberse fijado individualmente en determinados sonidos, en detrimento de otros. Por lo tanto, si las personas se quejan de molestias por ruido, primero deben explorarse las razones reales de la objeción por ruido.

El procesamiento de señales físicas, psicoacústicas y binaurales, así como los aspectos cognitivos, y de agentes externos, afectan la evaluación del paisaje sonoro. Las mediciones acústicas, ya sean convencionales o avanzadas, permiten cuantificar los resultados. La pregunta más frecuente, en términos de nocividad o molestia, es saber qué fuente (o fuentes) del sonido existente, causan la molestia por ruido.

También se evidencia que la percepción o detección de patrones tanto temporales como en frecuencia de la señal sonora, la cadencia rítmica, etc. son importantes a la hora de valorar su grado de molestia. La introducción



Figura 9. Diagrama que muestra las componentes principales, que intervienen en la evaluación del paisaje sonoro.

de los criterios psicoacústicos para evaluar el paisaje sonoro supone un paso importante, aunque quedan por resolver aspectos complejos sobre el comportamiento humano, que actualmente no recogen los sistemas de medida y análisis.

11. Preferencias sonoras en humanos

Las personas en cierta manera esperan o desean determinados sonidos por sus aspectos cualitativos más que por sus aspectos cuantitativos. En primer lugar está la preferencia esencial, donde generalmente las personas escogen sonidos naturales o que les resulten familiares, en detrimento de los sonidos artificiales. Los sonidos extraños producen alerta en nuestro sentido auditivo, y captan la atención de nuestro cerebro, y eso se traduce en una peor calificación de la calidad sonora. En éste grupo se encuentran como no deseables los sonidos de vehículos. El sonido de actividades humanas, voces, música, etc. tienen generalmente una valoración neutral, siempre que no suponga una vulneración de su intimidad acústica.

En segundo lugar está la preferencia influenciada por la experiencia cultural, que puede coincidir con otras personas con similares experiencias. Es el caso del ruido de los vehículos: las personas amantes del motor, valoran positivamente este tipo de sonidos, mientras que otras no. Las valoraciones que se realicen pueden presentar resultados muy dispares debido a estas particularidades llamadas macro-preferencias. Por ejemplo estando observando el ambiente sonoro en una plaza, pasa un vehículo deportivo de alta gama. La valoración de éste sonido para cada oyente, viene condicionada por su experiencia personal.

Finalmente en tercer lugar están los aspectos sociales, género, edad, que se definen como micro-preferencias. En este caso la evaluación de sonidos por gente joven es distinta de la gente mayor. Los jóvenes son más tolerantes a sonidos de origen mecánico o tecnológico, mientras que la gente mayor es más tolerante a los sonidos naturales, culturales o de actividades humanas.

12. La valoración subjetiva del paisaje sonoro

Un paisaje sonoro es complejo y contiene fuentes de sonido tanto deseadas, consideradas positivas, como no deseadas consideradas negativas. Los estudios de campo en parques urbanos y espacios verdes abiertos sugieren que las propiedades informativas de los entornos acústicos, son mejores indicadores de la calidad acústica percibida, que las propias mediciones del nivel de presión sonora equivalente [14].

Escuchar es una de las funciones complejas, a través de las cuales las personas perciben el mundo que les rodea, y la evaluación de los efectos de sonido en los humanos, depende principalmente de aspectos subjetivos. Hay dos tipos de escuchar los sonidos, relacionados con diferentes formas de procesamiento. Por un lado la escucha holística, que procesa el paisaje sonoro en su conjunto sin procesamiento semántico, y donde sólo el sonido ambiente se considera factor principal. Por otro lado la escucha descriptiva, que tiene como objetivo identificar fuentes de sonido.

En este sentido, la psicoacústica ha contribuido a superar las dificultades de estudiar la percepción subjetiva de los paisajes sonoros y a comprender las limitaciones de los parámetros acústicos clásicos, como el nivel de presión acústica equivalente ponderado A, [29]. Además, el estudio de la calidad del paisaje sonoro con la ayuda del procesamiento semántico se ha vuelto muy importante para evaluar la percepción subjetiva.

La técnica del diferencial semántico, ha demostrado ser un método útil para identificar los factores más importantes, en la evaluación de la calidad del sonido mediante el estudio del significado emocional de las palabras [30].

Para cubrir una diversidad de sonidos ambientales, un estudio recopiló 50 grabaciones realizadas en 10 ubicaciones diferentes y se creó un conjunto de 116 escalas de atributos unidireccionales (agradable, excitante, molesto, etc.) con las que medir los paisajes sonoros. Las puntuaciones de los adjetivos se sometieron a un análisis de componentes principales, que identificó tres componentes principales del sonido: Agradado, Agitado y Familiar. Agradado y agitado fueron las dimensiones más relevantes para las evaluaciones perceptivas, explicando el 50 y el 19 por ciento de la varianza, respectivamente.

La dimensión Familiaridad explicó sólo el 6 por ciento, lo que indica que la Familiaridad puede no ser relevante para mapear paisajes sonoros urbanos, probablemente porque los paisajes sonoros seleccionados contenían pocos sonidos desconocidos [31]. La figura 10, muestra las dimensiones ortogonales principales Agradable-desagradable y Agitado-estático en los ejes cartesianos, y el resto de atributos con vectores a 45° propuesto por Axelsson [31].

- Eje principal horizontal: concepto Agradable (acogedor) – Desagradable (molesto).
- Eje principal vertical: concepto Agitado (dinámico) – Estático (no hay agitación).
- Eje secundario a 45°: concepto Vibrante (agrada y hay agitación) – Tedioso (desagradable y no hay agitación, estático).

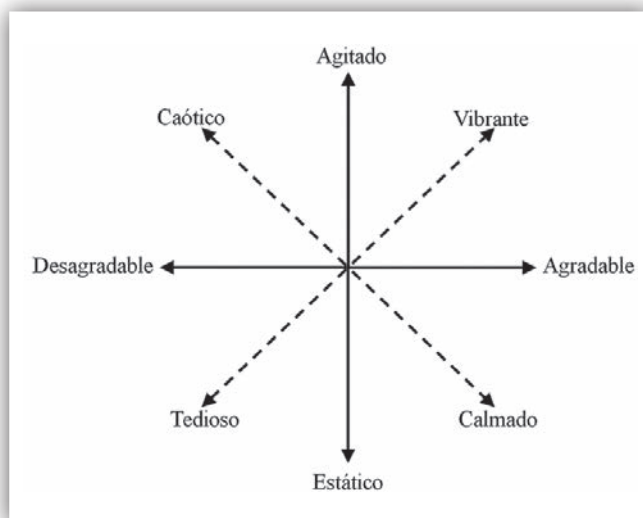


Figura 10. Vectores para cualificar verbalmente, los atributos de un paisaje sonoro.

- Eje secundario a 135°: concepto Caótico (desagradable y hay agitación) – Calmado, tranquilo (agrada y no hay agitación, estático).

13. Enmascaramiento de sonidos

El fenómeno de enmascaramiento sucede con mucha frecuencia cuando concurren múltiples fuentes sonoras a distintas distancias y con distintas energías y frecuencias a nuestro sentido auditivo, como es el caso del paisaje sonoro. Este fenómeno ocurre cuando la audibilidad de un sonido deseado (enmascarado) se “tapa” por otro sonido (enmascarador). La audibilidad del sonido objetivo está determinada por procesos tanto periféricos como centrales del sentido auditivo. El enmascaramiento completo, es decir, cuando el enmascarador hace que el sonido deseado sea inaudible, es menos común en situaciones de la vida real. En cambio, el enmascaramiento parcial, es más frecuente. En estos casos, tanto el sonido no deseado como el sonido deseado, se escuchan simultáneamente, siendo el sonido deseado menos fuerte que si se escucha en ausencia del sonido enmascarador. Existen dos tipos de enmascaramiento: el energético y el informacional.

13.1. Enmascaramiento energético

El enmascaramiento energético es un tipo de enmascaramiento que ocurre gracias a procesos en el sistema auditivo periférico entre el oído externo y los núcleos cocleares que involucran la membrana basilar y el nervio auditivo [32]. Este enmascaramiento puede ser temporal o en frecuencia. El enmascaramiento temporal es el más evidente. Una señal de mayor amplitud puede “tapar” a otra de menor amplitud cuando se produce simultáneamente. La clave pues es la simultaneidad de sonidos.

Para fuentes sonoras cambiantes, esto es un problema, porque es difícil conseguir este solapamiento temporal.

13.1.1. Enmascaramiento energético en frecuencia

El enmascaramiento en frecuencia, es la disminución de la sonoridad de un sonido a una determinada frecuencia, en presencia de otro sonido simultáneo a una frecuencia distinta. Es decir, cuando el oído es expuesto a dos o más sonidos simultáneos de diversas frecuencias, existe la posibilidad de que uno de ellos camufle a los demás y por tanto, que éstos no se oigan. Se pueden dar dos casos:

1. Sonidos de baja frecuencia enmascaran a los de alta frecuencia.
2. Sonido de alta frecuencia enmascaran a los de baja frecuencia.

Es importante señalar que en el enmascaramiento en frecuencia será más efectivo en el primer caso, ya que los tonos de alta frecuencia difícilmente enmascaran a los de una frecuencia menor, salvo que la diferencia de nivel sea muy notable, aspecto que con señales reales, es difícil que se produzca.

13.2. Enmascaramiento informativo

El enmascaramiento informativo es el enmascaramiento debido a mecanismos auditivos en los niveles más altos de procesamiento. En contraste con el enmascaramiento energético, el enmascaramiento informativo se define en términos del cambio de umbral en la estructura estadística, resultante de la presencia de una señal cercana de similar amplitud [33]. Aunque no hay superposición en el patrón de excitación en la membrana basilar como en el enmascaramiento energético en frecuencia, el enmascaramiento se puede producir [32]. El enmascaramiento informativo se relaciona con los mecanismos de atención en los niveles corticales superiores del sistema auditivo, que no logran separar la información deseada y la señal enmascaradora en diferentes corrientes, y los agrupan como una sola unidad informativa.

Tan pronto como grabamos cualquier sonido, éste se convierte inevitablemente, en un objeto descontextualizado y, cuando lo reproducimos, no pertenece al lugar que rodea al oyente. Sin embargo, son las propias obras o información complementaria de estas grabaciones las que llevan a relacionarlo con las particularidades acústicas y sonoras del periodo y el lugar representado [34].

14. Entorno sonoro natural y urbano

El entorno sonoro contiene generalmente, múltiples fuentes sonoras, algunas deseadas y otras no. En los

entornos urbanos, el ruido de tráfico constituye la fuente sonora más extendida en área y en población afectada. Diversos estudios, indican que la exposición a largo plazo al ruido de tráfico, puede causar problemas fisiológicos y psicológicos, sobre las personas afectadas y también afecta a la calidad del descanso nocturno, y al aprendizaje. El entorno sonoro urbano está dominado actualmente, por las fuentes de ruido que la actividad humana genera. En un futuro próximo, la electrificación de los vehículos de transporte, tanto privados como colectivos, reducirá drásticamente los niveles sonoros, acercándolos a los experimentados en todo el mundo, con el confinamiento obligado en 2020.

Los entornos urbanos donde el cemento y asfalto dominan, no son considerados espacios agradables, mientras que los espacios verdes que incluyen fuentes o altos de agua, se les considera más saludables [35]. Los comportamientos que promueven la salud (por ejemplo, la actividad física) que reducen el estrés, son más frecuentes en áreas con fácil acceso a parques y espacios naturales y en las proximidades de la costa.

La reducción del nivel de ruido ambiental en las zonas urbanas, es un paso previo para mejorar el paisaje sonoro, sin embargo esta reducción puede dejar un ambiente sonoro poco agradable. En aras a mejorar la calidad sonora, los sonidos ambientales deben contener informaciones que sean agradables a los humanos. Hay dos categorías de sonidos que pueden realizar esta función y que no son excluyentes. Por un lado el sonido de la fauna, principalmente aves, y por otro el sonido del agua en forma de fuentes, saltos de agua, etc. Son los llamados sonidos naturales más comúnmente utilizados para mejorar el paisaje sonoro.

15. Estrategias para enmascarar el ruido de tráfico

El ruido de tráfico es el que actualmente está presente en la mayoría de calles de las ciudades. Cuando la reducción del volumen de tráfico no sea suficiente, para mejorar la calidad sonora del espacio, se suele recurrir a enmascarar el ruido de tráfico con otros sonidos. Es una estrategia bastante arriesgada y que puede en ocasiones tener una valoración negativa por parte de la población. La estrategia consiste en utilizar sonidos relacionados con el agua para camuflar el ruido de tráfico, es decir añadimos sonido al ya existente. Es sabido que los sonidos generados por las fuentes y saltos de agua, tienen una limitada capacidad enmascarante, y que depende esencialmente del tamaño de la fuente. Desde el punto de vista acústico, esta técnica puede ser rentable cuando el sonido a tapar, tiene un nivel mo-

derado. En el caso del ruido de tráfico, los niveles pueden llegar a ser notables, con el agravante de tener mucha energía en bandas de muy baja de frecuencia, por debajo de los 60 Hz, muy difíciles de camuflar con sonidos naturales.

La adición del sonido deseado, puede influir en la calidad del entorno acústico de dos maneras. Primero, el sonido agregado puede hacer que el sonido no deseado parezca menos fuerte. En segundo lugar, si el entorno acústico es el resultado de la suma de sonidos procedentes de distintos focos, entonces es factible pensar que un sonido considerado muy agradable, aumentaría el placer del entorno acústico [36].

Como los sonidos de la naturaleza se han considerado más agradables que los sonidos creados por el hombre, agregar un sonido de agua muy agradable, mejora el agrado del paisaje sonoro [37].

También se ha encontrado que el sonido rítmico de las olas del mar se considera el más agradable, respecto del sonido del fluir del agua, que se califica como neutral en calidad, mientras que el sonido menos agradable es el sonido de la cascada. Para el sonido del agua más agradable, es decir, el sonido de las olas del mar, el sonido combinado es decir, las olas del mar más el ruido de tráfico, fue más agradable que cualquiera de los sonidos de tráfico, lo que respalda la idea de que agregar un sonido de agua muy agradable, mejora el agrado del paisaje sonoro [38]. La figura 11, muestra los espectros sonoros de dos casos de olas de mar rompiendo “suavemente” en la arena.

La estructura rítmica de la cadencia del rompiente de las olas sobre la playa, tiene un claro efecto relajante, y su variabilidad puede ser el motivo de la preferencia por este sonido. Lo que no reflejan los espectros mostrados,

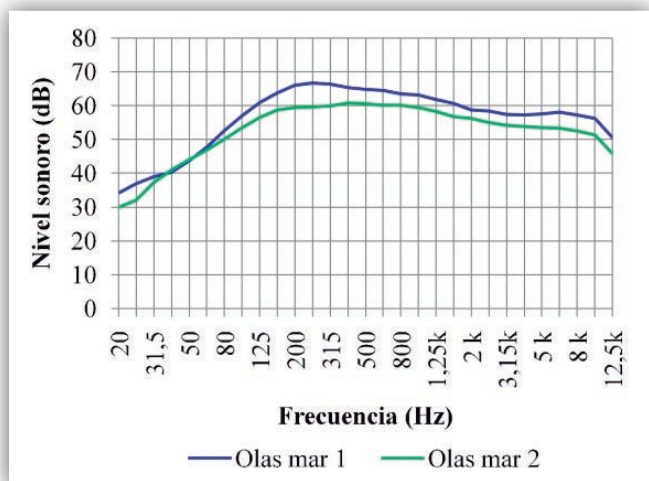


Figura 11. Espectro sonoro de olas del mar rompiendo “suavemente” en una playa de arena.

es la variación rítmica temporal de los niveles sonoros, que resulta muy agradable para las personas.

Mejorar el paisaje sonoro con un enmascaramiento energético, se ha comprobado que resulta difícil. Si los espectros del sonido enmascarado y del sonido enmascarador son diferentes, se reduce la efectividad del método [39] [40] [41]. Para poder camuflar el sonido procedente del tráfico rodado, se deben usar fuentes de alto poder enmascarante. Las fuentes capaces de enmascarar los ruidos de tráfico son grandes fuentes con multitud de surtidores y grandes caudales de agua. Estas fuentes grandes pueden generar niveles del orden de los 80 dBA en las cercanías.

Un aspecto importante es donde colocar estas fuentes. Tradicionalmente se ponen alejadas del ruido de tráfico, y se tiende a ponerlas en el centro del parque, aunque esta posición no resulta ventajosa. Otra posibilidad es ponerlas cerca de la fuente de ruido no deseada, de esta manera se evita que el ruido de tráfico se perciba en el interior del parque o plaza. Con esta disposición, se puede mejorar la calidad del paisaje sonoro en el centro del parque. Otras soluciones pasan por poner fuentes con fluctuación en la cantidad de surtidores y de caudal de agua. Estas irregularidades generan sonidos que varían, y eso atrae la curiosidad acústica del sentido auditivo, consiguiendo desviar la atención sonora hacia los sonidos de la fuente, dejando en un segundo plano el ruido de tráfico, que quedará siempre “de fondo” [42].

Sin embargo, existen ejemplos de fuentes en muchos espacios públicos abiertos. Muchas de ellas son grandes fuentes de chorros y balsa en la base con el carácter sonoro de las cascadas. Diversos estudios han demostrado que los sonidos de tipo cascada se consideran los sonidos de agua más desagradables, y en realidad empeoran el paisaje sonoro cuando se agregan con el objetivo de mitigar el ruido del tráfico [39] [38]. Una forma de solucionar este problema, podría ser alterar la morfología del paisaje sonoro agregando otros sonidos usados como captadores de atención. Estos sonidos agregados podrían alterar la amplitud del paisaje sonoro general al modificar algunas frecuencias, dando al sonido un carácter más fluctuante, que es más agradable para el humano.

Se ha comprobado que la fluctuación sonora es un factor importante en la percepción de agrado de los sonidos de las fuentes. Por lo tanto, es acertado concluir que se deben utilizar sonidos de agua rítmicos o fluctuantes, si el objetivo es crear paisajes sonoros agradables dentro de un contexto urbano [38].

Las características del agua se suman al atractivo visual y la calidad general de los paisajes sonoros. En la sociedad moderna, las casas y los edificios de apartamentos más atractivos son los que están frente al agua.

En algunas ciudades, las antiguas áreas portuarias han sido reemplazadas o reconstruidas para crear atractivos frentes de agua (Bilbao, Barcelona). El agua y los paisajes acuáticos tienen atributos visuales y acústicos que promueven la salud y el bienestar, reducen el estrés y promueven la restauración personal. La presencia de fuentes y saltos de agua, crea espacios de bienestar que invitan a poder relajarse del estrés diario. A la estética visual se suman otros efectos que se asocian a una mejor calidad de vida y a un efecto beneficioso para la salud. En este punto las grandes fuentes producen sonidos que no son agradables, pero que relajan. Esta es la paradoja, las preferencias auditivas, no coinciden con las saludables.

En el diseño de paisajes sonoros no solo hay que cuidar la estética audiovisual, sino que es importante que las personas perciban un efecto beneficioso para su salud y estado de ánimo. Hay sonidos, como los saltos de agua, las olas del mar, la lluvia, que se consideran “relajantes”. Ciertamente las personas que escuchan estos sonidos “en directo”, experimentan una sensación de relax apreciable. Sin embargo las que escuchan sonidos grabados, no. Erróneamente se atribuye a los sonidos del agua estos efectos relajantes cuando en realidad, el sonido no tiene nada que ver. El único sonido relajante es el silencio. Los sonidos con ambientación oriental, en un ambiente con una luz tenue y unos aromas, pueden invitar a la relajación, pero no relajan.

Los efectos relajantes hay que imputarlos a la ionización del aire. Todos los saltos de agua, cascadas, etc. producen iones negativos en el ambiente. Los efectos de la ionización sobre el humano, se estudiaron intensamente en el siglo XX. A mediados del siglo XX en algunos hospitales del centro de Europa, no se hacían intervenciones quirúrgicas, a menos que fuera cuestión de vida o muerte, cuando soplaban el Föhn, porque los postoperatorios presentaban una tasa de complicaciones muy superior a la normal, sin saber la causa concreta. Los investigadores observaron que estos vientos tienen una carga de iones positivos y observaron que eso producía problemas en los postoperatorios. Mediante generadores de iones negativos se compensaron estas cargas y se comprobó que la mejora de los pacientes se aceleraba notablemente. Por ejemplo para cicatrizar más rápidamente una herida, se aplicaba localmente ionización negativa.

Los iones negativos se generan de forma natural en cualquier salto o cascada de agua. Los iones positivos se generan de forma natural por los vientos y la actividad humana principalmente. Los iones positivos hacen que las personas sean activas, pero con una componente de agresividad manifiesta. Los iones negativos también ha-

cen que las personas sean activas, pero sin la componente de agresividad. Después de una noche de lluvia copiosa pero no intensa, las personas están más relajadas y la circulación urbana las primeras horas es más relajada. Aplicando máquinas para la ionización negativa del aire en los ambientes de trabajo, se ha comprobado que se consigue que las personas mejoren el ritmo de trabajo, obteniendo una mayor productividad y un mejor ambiente de trabajo [43].

El efecto beneficioso de los saltos y cascadas de agua, no se limita pues a lo audiovisual, sino que realmente mejora la salud física y psicológica de las personas que se encuentren cercanas a estos espacios donde pueden recibir iones negativos. La interacción entre la percepción auditiva y visual, puede dar a las personas una sensación de participación y generar una sensación de comodidad [44]. Por esa razón, los aspectos visuales y auditivos juegan un papel importante en la percepción subjetiva.

Los resultados obtenidos por diversos estudios, muestran que en términos de preferencias, el sonido y no el componente visual, dominó el patrón de preferencia debido a la naturaleza más variada de los sonidos en comparación con la calidad relativamente homogénea de las escenas visuales mostradas. Los sonidos naturales fueron mucho más preferidos al “sonido de parque” artificial, y los sonidos de los pájaros y el movimiento del agua fueron los más preferidos.

En un estudio sobre el efecto del grado visual de urbanización sobre las valoraciones auditivas, se evaluó la interacción entre ocho entornos sonoros urbanos y cinco entornos visuales. Los resultados indicaron que la influencia visual sobre la percepción del sonido variaba con las escenas visuales y el tipo de sonidos en cuestión [45].

Algunos tipos de entornos sonoros se juzgan significativamente más negativamente, cuando se asocian con escenas visuales más urbanas, como los cantos de pájaros y el ruido del tráfico, pero en cambio para otros sonidos, como los entornos sonoros que involucran actividades humanas, especialmente el habla, no se vieron afectados por las imágenes urbanas.

La relajación con sonidos originados por humanos, puede ser más difícil que con sonidos naturales porque el oyente puede experimentar un mayor grado de implicación hacia el entorno sonoro y la información auditiva. Los sonidos humanos siempre llevan información sea o no deseada, y por tanto despiertan la “curiosidad acústica” del sentido auditivo, lo que redundaría en una mayor dificultad para rebajar el estrés. En estos casos, el sonido se convierte por tanto, en el principal foco de atención, y el entorno visual no tiene tanta importancia. Esto es es-

pecialmente significativo, para los espacios abiertos tipo plazas o pequeños parques, con cierta aglomeración de gente, y donde las distancias de separación no permiten un cierto “aislamiento” del entorno. Las distintas conversaciones que se puedan escuchar a nuestro alrededor, van a impedir que nuestro sentido auditivo, se deje llevar por los sonidos naturales que puedan estar presentes en el ambiente, y entremos en una fase de relajación.

Diversos estudios corroboran que el porcentaje de elementos naturales y artificiales en un paisaje, determinan el grado de aceptación del entorno. Si predominan los elementos considerados naturales, la calidad del paisaje es superior [46]. Por otro lado otros trabajos puntualizan que la proximidad a los focos naturales de sonido es importante para una valoración positiva de la calidad paisajística visual. Sin embargo la calidad sonora no depende tanto de la distancia a la que se encuentra el foco sonoro natural, siempre que sea audible. Esto requiere “de facto”, de unos niveles de ruido de fondo bastante moderados, cosa bastante difícil en entornos urbanos con vías de circulación en las inmediaciones [47]. Algunos trabajos, sugieren que para percibir un elevado grado de tranquilidad en un paisaje sonoro, el nivel producido por los focos sonoros artificiales, debe cumplir $L_{Amax} \leq 55$ dBA o $L_{Aeq} \leq 42$ dBA [48].

16. La semiótica del paisaje sonoro

La semiótica es la ciencia que estudia los diferentes sistemas de signos, que permiten la comunicación entre individuos, sus modos de producción, de funcionamiento y de recepción. Woodside señala que cada expresión sonora está ubicada en un contexto socio - histórico particular y toma referentes de paisajes sonoros específicos [49]. De esta forma, Michael Southworth, desde el año 1967, acuña el término “Soundscape” paisaje sonoro, refiriéndose a los sonidos producidos en un espacio determinado, por la presencia de distintas fuentes sonoras, y con un sentido otorgado por el entorno social en el que se producen y que además indican la evolución de dicho entorno o sociedad.

En los procesos de intercambios sonoros (percepción-producción) el cerebro humano configura y organiza los elementos percibidos, lo cual significa que el conjunto de percepciones llega a agruparse y a organizarse de manera coherente asignando valores de detección, discriminación y estimación, aspectos estudiados principalmente por la psicoacústica [50].

El estudio del campo simbólico requiere de la comprensión de los signos sociales de una comunidad, situación que le atañe a la semiología, en tanto que es una ciencia que se ocupa del estudio de los signos que surgen en la cotidianidad [51].

Un Paisaje Sonoro depende de la relación explícita existente entre el entorno y el humano, dado que este último está rodeado de sonidos. Esta relación permite explicar que el Paisaje Sonoro no tiene una valoración única o exclusiva, sino que hay diferentes niveles de acuerdo a los matices percibidos, experiencia, cultura, etc. de los individuos. Podemos hablar pues de una percepción sonora basada en la experiencia, a lo largo de la vida de un sujeto, desde la infancia hasta la edad adulta. A partir de los denominados sistemas de comunicación extralingüísticos, y de las formas de definición existentes para los términos signo, símbolo y código, el Paisaje Sonoro se encuentra relacionado mayormente, con este último, el código, debido a que un signo es una representación de un objeto o un fenómeno o una acción material, definición que también podría aplicarse en el caso de una señal.

Pierre Giraud, lingüista francés, definió la semiología como el estudio de los sistemas de signos no lingüísticos, refiriéndose a los sonidos de campanas, sirenas, tambores o toques. Considera que son señales de advertencia convertidos en códigos, cargados con una significación capaz de ser entendida por cualquier individuo.

En términos de sintaxis, la teoría del Paisaje Sonoro comprendería los siguientes niveles fónicos:

- a) Sonido fundamental. Es el sonido que sirve como referente y alrededor del cual los demás sonidos asumen su cometido. Este sonido no es oído conscientemente la mayor parte del tiempo, ya que existe un hábito auditivo. Son sonidos que se escuchan diariamente y que se considera que forman parte del paisaje sonoro “per se”. En otras palabras, es el sonido de fondo de un Paisaje Sonoro. Justamente el confinamiento en 2020, permitió que este sonido fundamental, cambiara radicalmente durante unos meses, al reducir al mínimo el volumen de tráfico rodado en las ciudades y poblaciones.
- b) Señales sonoras. Son aquellos sonidos que conscientemente se escuchan, por ser los que resaltan o se destacan, en mayor medida, de un entorno sonoro, por este motivo se les considera como figuras por su preponderancia dentro del entorno sonoro, y que se encuentran en un primer plano de audición. Ejemplo de señales sonoras podría ser el claxon de un vehículo, las señales acústicas de los pasos de peatones para invidentes, las sirenas de los servicios de emergencia, etc.
- c) Marca sonora o sonidos importantes. Existen sonidos que son característicos de un ambiente particular, sea este rural o urbano, y es a estos soni-

dos a los que se les denomina marcas sonoras. En otras palabras, son las que determinan la singularidad sonora de cualquier espacio. Por ejemplo el sonido de los pasos sobre un suelo arenoso, la reverberación percibida en entornos semi-cerrados en calles estrechas, etc.

- d) Repertorio sonoro. Sonidos característicos de ciertos ambientes o comunidades. Semejante a marcas sonoras y también denominados de primer plano (“Foreground” [52]). Por ejemplo en espacios con vegetación y árboles, el sonido de los pájaros, en el interior de un centro comercial, el sonido de la “música ambiente”, etc.

En los paisajes sonoros hay nuevas incorporaciones, que siguen las tendencias impuestas por los avances tecnológicos y la evolución de las costumbres y hábitos sociales. Escuchar la fanfarria o la música procedente de un dispositivo móvil, no sorprende a nadie hoy en día. Tampoco escuchar a gente “hablando sola”. Aparecen pues sonotipos que se van incorporando gradualmente al paisaje sonoro sea o no urbano. Lo mismo ocurrirá con los vehículos propulsados eléctricamente, sus sonidos naturales (no añadidos artificiales) se podrán escuchar cuando el resto de vehículos que circulen sean también eléctricos. Cuando esto suceda, podremos afirmar que estamos en entornos sonoros saludables, es decir con niveles sonoros inferiores a los 45 dBA.

17. Acciones para mejorar el paisaje sonoro

Haciendo una recopilación de lo expuesto en los apartados anteriores, se resumen los pasos a seguir para mejorar el paisaje sonoro en tres fases. Las acciones propuestas pueden servir como una hoja de ruta para establecer un procedimiento. Las necesidades de cada espacio pueden modular estas acciones. Es recomendable ser realista en las estimaciones. No se puede obtener un paisaje sonoro de calidad extrema, en un entorno muy degradado acústicamente. Se empieza por actuar sobre los focos sonoros más importantes en cuanto a dominancia acústica sobre el paisaje sonoro.

17.1. Fase 1: Estado inicial del paisaje sonoro

Lo primero que hay que saber es el punto de partida. Para esto es necesario seguir los siguientes pasos:

17.1.1. Caracterización acústica del espacio actual

Se realiza mediante una toma de muestras de sonido calibrada en nivel, para evaluar su calidad sonora. Lo recomendable es usar un equipo binaural, sea con un headset o un maniquí binaural, que permite grabar el so-

nido y tomar muestras de éste para su posterior análisis de forma simultánea y en el mismo punto. Como alternativa se puede usar un equipo de medida (sonómetro) para obtener las métricas del sonido, y simultáneamente y en un punto cercano, grabar el sonido en soporte digital y formato estéreo. En estos registros, las diferencias de las señales de audio estéreo respecto las binaurales son mínimas, y en todo caso los matices pueden ser imperceptibles para la gran mayoría de oyentes, ya que no se trata de localizar fuentes sonoras sino de valorar el ambiente sonoro en un lugar.

Es recomendable grabar el tono del calibrador del sonómetro (94 dB) al inicio de cada registro de audio, y mantener el mismo nivel de grabación, por ejemplo -20 dBFS, para que las grabaciones de sonido sean todas comparables en nivel y poder hacer las pruebas de calidad subjetiva correctamente. El nivel de grabación en soporte digital, debe ajustarse en función del nivel sonoro del entorno. Las grabaciones deben hacerse en un horario que sea representativo de los eventos sonoros que acontecen habitualmente.

17.1.2. Análisis de los registros de audio

Por un lado se obtienen las métricas para el fragmento sonoro, que definen las características acústicas del sonido. Siguiendo el estándar ISO 12913 partes 1 y 2, se mide el nivel de presión sonora, el espectro en frecuencia y los criterios psicoacústicos. Es aconsejable, evitar registros excesivamente largos. La variabilidad temporal de los sonidos presentes, marcará el tiempo razonable. Los espacios urbanos, rodeados de calles con circulación, suelen presentar patrones cíclicos de nivel sonoro, por la regulación semafórica. Promediar diversos ciclos no es beneficioso, obteniendo resultados alejados de la realidad. En caso de existir un ciclo de nivel sonoro, es aconsejable estudiar por separado el sonido que presenta mayor nivel, y el que presenta un menor nivel.

17.1.3. Descripción detallada de todas las fuentes sonoras detectadas

Hacer una relación de las fuentes sonoras que se pueden escuchar y/o ver desde el punto de observación. Identificar los eventos sonoros dominantes. Identificar las fuentes sonoras que están presentes en el sonido de fondo, quitando los eventos sonoros dominantes.

17.1.4. Visual 360° del punto de observación

Hacer una descripción detallada con imágenes desde el punto de observación de las imágenes que se pueden ver alrededor. Considerar todos los elementos, tanto los que pueden afectar al sonido (reflexiones, absorción), como los elementos estéticos visuales. Separar los ele-

mentos naturales de los artificiales. Valorar distancias a todos los objetos. También a las fuentes sonoras detectadas. Dibujar los recorridos de las distintas fuentes móviles.

17.2. Fase 2: Reducción de los sonidos no deseados

El primer paso es hacer una lista con las fuentes sonoras no deseadas en el lugar, estableciendo un orden de prioridades empezando por las que contribuyen más al nivel sonoro, que suelen ser las que destacan más auditivamente.

En segundo lugar, se identifican las superficies, particularmente edificios, que pueden reforzar el nivel sonoro con sus reflexiones acústicas. Esto permitirá descartar aquellas superficies que no aportan reflexiones sobre la zona de estudio. Para cada superficie considerada, debe valorarse la distancia hasta el punto de observación, y las características acústicas de absorción - reflexión (dispersión) del material de la superficie.

En tercer lugar, se establece que fuentes se van a desplazar o quitar, y cuales se van a modificar, para disminuir el nivel sonoro producido. No solo debe valorarse el nivel sonoro radiado (L_{eq}) sino la percepción sonora de cada fuente, (calidad acústica). El campo de acciones puede ser muy diverso. Respecto al ruido de tráfico, la reducción de la velocidad de los vehículos y el uso combinado con asfalto sonorreductor, disminuyen apreciablemente, los niveles sonoros del tráfico rodado. Las paradas de bus con motores de combustión interna, independientemente del combustible fósil utilizado, son focos sonoros importantes de baja frecuencia.

En cuarto lugar, respecto a los focos sonoros fijos, las acciones individuales sobre cada foco suelen dar los mejores resultados. Para las fuentes móviles debe actuarse sobre las estructuras presentes. El ruido procedente de los neumáticos se produce a ras de suelo, por lo que pequeñas estructuras verticales, interpuestas entre el paso de los vehículos y el punto de observación, pueden actuar fácilmente de barrera acústica, y reducir significativamente el nivel sonoro percibido.

Nótese que las bandas con más energía del ruido de neumático, se sitúan alrededor de 1,2 KHz, por lo que no es necesario estructuras importantes para atenuar este sonido. Resulta ventajoso hacer movimiento de tierras, levantando pequeños taludes que actúan de barrera acústica, y que además pueden albergar vegetación y fauna. La parte alta del talud debe estar lo más cerca posible de la calzada. El uso de superficies irregulares para la superficie de la barrera, mejora el rendimiento del apantallamiento acústico. Se añade una mejora notable si estas superficies son absorbentes a las bandas de interés.

17.2.1. Fase 3. Introducción de los sonidos deseados

En las fases anteriores se “sacan” o minimizan sonidos no deseados, y los resultados serán siempre positivos, al margen del grado de reducción del nivel sonoro. Con menos focos sonoros no deseados el paisaje sonoro mejora momentáneamente. Sin embargo en esta fase, se añaden fuentes sonoras, y por tanto, se corre el riesgo de empeorar el paisaje sonoro. El uso de fuentes sonoras consideradas “naturales”, mejoran el paisaje sonoro, pero las actuaciones deben ser muy cuidadosas.

En general lo que funciona a pequeña escala, no lo hace a gran escala. Es el caso de las fuentes o saltos de agua. Al margen de usar el agua como foco sonoro deseado, también se suele propiciar la fauna, y suelos sonoros al paso de la gente, en base a gravilla, grava, o similares. Una táctica que funciona muy bien ya comentada anteriormente, consiste en añadir sonidos, que capten la atención de los usuarios. Estos sonidos deben tener una variabilidad temporal adecuada que genere curiosidad acústica, sin excederse. Un ejemplo clásico es la fauna. No obstante mantener la fauna en un entorno, requiere de unas condiciones propicias del hábitat que debe tenerse en cuenta.

Una ave muy frecuente en los parques y jardines, es el mirlo común (*Turdus merula*). El canto del mirlo suele dar valoraciones contradictorias por parte de quien escucha los sonidos. En ocasiones los sonidos impiden la relajación y recuperación del estrés y en otras simplemente es un foco de atención, que si bien tiene un efecto de “distracción”, no impide la recuperación del estrés. En general el canto del mirlo común se valora positivamente. La figura 12, muestra el espectro del sonido de un mirlo común (*Turdus merula*) en pleno canto. Se pueden apreciar claramente las evoluciones tonales. Las de color más oscuro corresponden al primer formante que oscila entre los 1.000 Hz y los 3.800 Hz. Sobre estos trazos se pueden apreciar unas réplicas en tonos azules más suaves que van perdiendo intensidad. Estas señales son los armónicos que dan la riqueza tonal inconfundible al sonido.

Se pueden observar las evoluciones de modulación en frecuencia, del canto del mirlo común, que es especialmente rápida en el segundo 8 con una subida y bajada repentina pero continua de la tonalidad, algo muy característico del canto del mirlo común. Hacia el segundo 12, se puede apreciar la variación tonal más rápida que puede hacer esta ave.

Pero además esta ave puede hacer sonidos con más de una componente de frecuencia de forma simultánea, por ejemplo en los segundos 3, 9 y 10, se distingue un trazo corto y oscuro que corresponde a la frecuencia fun-

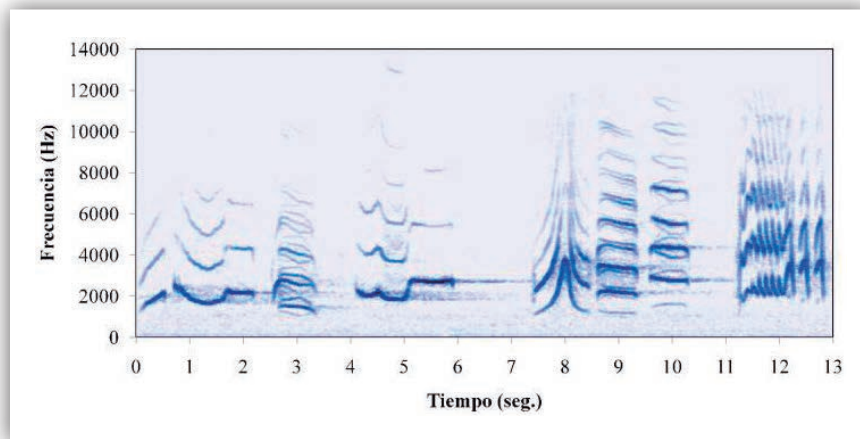


Figura 12. Evolución del espectro sonoro del canto tonal del mirlo común.

damental, y superpuesto a éste, otros trazos con trazo más diluido, que no son réplicas del primero (armónicos). Este contenido en frecuencia da al canto del mirlo un elevado contenido multitonal armónico de gran belleza sonora. Los sonidos presentados en la figura 12, transmiten información tonal.

El contenido tonal, da una connotación positiva al canto, y se valora como un elemento positivo, dentro de los sonidos percibidos en un paisaje sonoro. Recordemos que los sonidos como las voces o las melodías musicales, son un conjunto de señales tonales con cierta cadencia, lo que nos transmite información que nuestro cerebro “entiende”.

La estrategia de agregar sonidos de pájaros al paisaje sonoro, produce un efecto enmascarador, solo para ruidos con niveles estables sin interrupciones, como es el caso de los grandes ejes viarios. Una posible explicación de este fenómeno, es la curiosidad acústica, donde se llama la atención auditiva hacia el sonido que tiene la mayor variabilidad temporal, en el nivel sonoro conjunto. Es decir, el ruido de tráfico si es continuo y poco variable, queda en un segundo plano, cuando otros sonidos variables aparecen en la escena sonora. Estos resultados sugieren que la calidad del paisaje sonoro está fuertemente influenciada por el significado asociado a los diferentes sonidos que se escuchan, por lo que los diseñadores acústicos, no deben dirigir su atención únicamente al nivel de los sonidos no deseados.

18. Tipologías de paisajes sonoros

El paisaje sonoro va a ser utilizado por distintas personas con sensibilidades, cultura, educación y gustos distintos. Es pues lógico que las valoraciones de un mismo paisaje sonoro no contenten completamente a toda la población. El diseño del paisaje sonoro debería considerar esta variedad de personas, grupos y culturas, para

que encontraran su propio y apropiado nivel de complejidad en su vida cotidiana. Hay cuatro tipologías de paisajes sonoros, que pueden ayudar a desarrollar dicho diseño [22].

18.1. Paisaje sonoro dual

El más tradicional es el paisaje sonoro dual. El concepto surge de la estructura general de las ciudades europeas históricas. El concurrido mercado y la concurrida calle principal forman una imagen de la ciudad. La tranquila iglesia o el monasterio, la plaza de un barrio, un parque, un jardín, forman otra imagen de la ciudad. El paisaje sonoro dual se correlaciona con una organización dual del espacio y el tiempo en general. Entonces percibimos el espacio como urbano o rural, el tiempo como día o noche, la vida como pública o privada, la estructura social como rica o pobre, la situación demográfica como joven o vieja.

Todos estos patrones duales están asociados con culturas y paisajes sonoros específicos, en su mayoría tradicionales. El paisaje sonoro de un pueblo se ha asociado con canciones tradicionales, el repique de la campana de la iglesia y el ritmo del trabajo en una tienda de artesanías. La ciudad está asociada con el ruido del tráfico, el ruido de la gente caminando, las sirenas de los vehículos de emergencia, el ruido de la recogida de residuos. Esta nube de sonidos, no se encuentran en la misma proporción y nivel sonoro, en poblaciones más pequeñas. En un patrón de paisaje sonoro dual, uno puede cambiar fácilmente de un nivel de complejidad a otro.

Las zonas tranquilas de la ciudad suelen estar colonizadas por el turismo; el espacio privado es penetrado con el sonido procedente de reproductores audiovisuales, voces y teléfonos. Por otro lado, la esfera de lo público se vuelve más privada con los teléfonos móviles y la organización social altamente fragmentada. Y esto también es cierto para la mayoría de los otros pares dua-

les, especialmente para la diferencia entre lo urbano y lo rural. A veces solo se necesitan pequeñas intervenciones para transformar una plaza en un lugar de contemplación o para organizar un diálogo entre un jardín de bolsillo y una calle muy frecuentada.

El sonido del agua corriente constante hace que esta plaza sea tranquila, aunque miles de visitantes esperan allí. Se puede intentar desarrollar partes de la ciudad para diferentes culturas y ayudar de esta manera a diferenciar el paisaje sonoro y reducir el nivel de complejidad. Diferenciar el sonido con patrones de tiempo y espacio dotará a las ciudades de un paisaje sonoro más plural.

18.2. Paisaje sonoro conversacional

Se puede definir un paisaje sonoro, que se basa en diálogos. Para percibir un paisaje sonoro como conversacional, el entorno acústico debe entenderse como un proceso. A veces, este diálogo comienza auto organizado. Un ejemplo característico, son las cotorras que se pueden encontrar en algunos jardines y parques de Barcelona. Estas aves se comunican entre ellas cacareando, de manera que tan pronto como una comience a cacarear, el resto responderá y después de unos minutos, el proceso se ha extendido entre diversos ejemplares en una zona, y como resultado, se crea un paisaje sonoro conversacional. Hay otros ejemplos muy habituales en las calles de algunas ciudades del sureste asiático, donde los conductores hacen sonar el claxon para pedir paso, a pesar del colapso circulatorio.

18.3. Paisaje sonoro sintético

El tercer patrón de paisaje sonoro es sintético. Sintético significa la combinación de diferentes imágenes y sonidos, que normalmente no van de la mano. Con su unión se crea un nuevo paisaje sonoro. Por ejemplo, en el campo de la música, la mezcla de música andaluza y magrebí es un caso de éxito. Sin embargo, la mezcla de los sonidos del ferrocarril y el canto de un ruiseñor, presenta un resultado muy distinto. A medida que el mundo se vuelve intercultural, mayor es la posibilidad de crear paisajes sonoros sintéticos. En consecuencia, los paisajes sonoros sintéticos serán más experimentales y pueden encajar mejor en un medio subcultural.

Los tres tipos diferentes de patrones de paisajes sonoros se correlacionan con diferentes niveles de complejidad. El patrón dual es el menos complejo; los patrones sintéticos poseen la mayor complejidad. La situación perceptiva actualmente está muy diferenciada. Diferentes individuos y diferentes subculturas necesitan diferentes niveles de complejidad. Si el área urbana está diseñada de manera que la gente pueda encontrar los

diferentes patrones de paisajes sonoros en diferentes partes de la ciudad, entonces obtendrá una situación en la que la gente puede elegir su lugar de sonoridad óptimo. De esta manera, un diseño de paisaje sonoro pluralista puede ser apropiado para una sociedad, que se diferencia cada vez más.

19. La electrificación del transporte urbano como catalizador de cambio del paisaje sonoro

La circulación urbana tiene restringida la velocidad máxima de los vehículos, estableciendo en general, los límites de 30, 50 Km/h para las vías urbanas, y los 80 Km/h para las vías de circunvalación. La situación más frecuente en entornos urbanos es la arrancada de los vehículos cuando están parados en un semáforo o un cruce. En este proceso, el ruido del grupo motriz destaca notablemente durante el proceso de inicio de marcha, radiando energía de baja frecuencia, que no puede ser absorbida por los elementos constructivos cercanos. Esta energía de baja frecuencia, puede entrar con facilidad en las viviendas, generando niveles sonoros que pueden llegar a ser molestos. En las vías más rápidas (80 Km/h), o cuando la circulación es fluida a 50 Km/h, se tiende a utilizar marchas largas. Esto reduce el régimen de giro del motor, que a su vez reduce el nivel de ruido radiado, y en consecuencia domina el ruido de neumático. Las componentes de baja frecuencia radiadas por el grupo motor, están relacionadas con el tipo de motor y su régimen de giro.

En este sentido, a determinadas velocidades y condiciones de circulación, el ruido de un vehículo eléctrico puede ser muy similar a uno con MCI. Donde se observa mayor diferencia es en el arranque del vehículo de parado. El ruido emitido por un vehículo eléctrico sólo es perceptible en entornos relativamente silenciosos, es decir suficientemente alejado de la presencia de vehículos con MCI. La reducción sonora prevista con el 100% de vehículos eléctricos se estima que sea algo menos de 3 dBA, aunque la sensación sonora percibida por las personas será notablemente superior, gracias a la desaparición de la energía de baja frecuencia.

Sin embargo, la actividad humana puede llegar a enmascarar estos sonidos, creándose situaciones de peligro con las personas invidentes. Por este motivo, y cediendo a las presiones de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), la UE ha adoptado la decisión de que los vehículos eléctricos emitan un sonido que permita detectarlos acústicamente, cuando circulan a velocidades inferiores a los 20 Km/h, aunque no haya nadie a su alrededor.

19.1. Detección sonora de la presencia de un vehículo

La circulación de vehículos silenciosos en entornos urbanos, crea problemas entre las personas que se encuentran en las proximidades y que se guían por el sonido, para saber si hay un vehículo cerca. El aumento de colisiones entre peatones y bicicletas o patinetes, se produce porque los primeros no se percatan de la presencia de los segundos. Este problema se agrava para las personas sin visión. Para tratar de dar una solución a este problema, se han realizado muchos estudios, tratando de comparar la facilidad de detección sonora, entre vehículos con MCI y con ME. En estas pruebas intervienen personas con discapacidad visual, que tratan de detectar el sonido de un vehículo que se aproxima a su posición. El parámetro que se mide es el tiempo de detección del vehículo, como se muestra en la figura 13.

Este parámetro se evalúa con vehículos de ambas motorizaciones circulando a una velocidad constante en un entorno urbano. Obviamente la distancia a la que un vehículo es detectable acústicamente, depende fundamentalmente del nivel de ruido ambiental presente en los ensayos, ya que los niveles radiados por los vehículos, no dependen del nivel de ruido ambiental.

19.2. Sistema AVAS

Todo empieza en 2003, cuando Deborah Kent Stein, una escritora ciega y activista de la Federación Nacional de Ciegos (NFB), conoce a través de un amigo el Toyota Prius, un vehículo híbrido que “es completamente silencioso cuando funciona con su batería, no es broma, no puedes oír nada” le dijo el amigo. Stein describió más tarde este fatídico encuentro con el automóvil eléctrico en un ensayo que publicó en la web de la NFB:

Me paré en la acera y escuché mientras nuestro amigo se subía al asiento del conductor y cerraba la puerta. Esperé a escuchar el sonido del motor del Prius co-

brando vida y avanzando. Después de un par de minutos escuchando el canto de los gorriones, el rugido lejano de un soplador de hojas escuché la apertura de la puerta del coche. Entonces pregunto: Cuándo vas a empezar? Ya empecé respondió el amigo. Conduje hasta el final de la calle, luego retrocedí y volví a pasar frente a ti. En ese momento, sentí una fría sensación de temor. Tenemos un problema real, pensé. La NFB popularizó la necesidad de que los coches hicieran ruido de coches [53].

Unos años más tarde, Lawrence D. Rosenblum, profesor de psicología en la Universidad de California, Riverside, leyó algo sobre el peligro de los vehículos silenciosos. Había realizado una investigación que mostraba que el cerebro presta especial atención a los sonidos que se mueven hacia el oyente, calculando automáticamente lo que Rosenblum llamó “tiempo hasta la llegada”, que publicó en 2010 [54].

La National Federation of the Blind (NFB) (equivalente a la ONCE) gestó la idea del concepto de “mínimo ruido” que deberían hacer los vehículos eléctricos para ser detectables acústicamente. Esta entidad, que tiene mucho poder, exige a los fabricantes de vehículos, que tengan en cuenta los accidentes producidos y adopten una solución que los evite. Pocos años después en Enero de 2011, se aprueba el Pedestrian Safety Enhancement Act, que establece los medios para alertar a los peatones sin visión y otros peatones de la presencia del vehículo eléctrico. La solución propuesta fue que los vehículos eléctricos, emitieran un sonido que permitiera identificarlos acústicamente. Toyota, fue pionera en implementar un sistema de alerta llamado Approaching Vehicle Alerting Systems (AVAS) en 2009 en su modelo Prius. Finalmente para los vehículos “silenciosos” se adoptó la necesidad de disponer de un sistema de alerta llamado Audible Vehicle Alerting Systems (AVAS). El sistema AVAS genera un ruido artificial, en la parte delantera del vehículo, y la trasera en marcha atrás, para alertar de su presencia a las personas cercanas. Unos años más tarde, la UE adopta esta solución.

Con la reducción de la velocidad de circulación urbana, a un máximo de 30 Km/h, los sistemas AVAS estarán en funcionamiento durante largos períodos de tiempo, especialmente en el cruce de calles. El resultado va a ser una cacofonía de sonidos tonales que sin duda va a generar todo tipo de comentarios nada favorables entre la población. La sensación de desagrado generalizado que producen los sonidos artificiales del AVAS, se agudizarán con la reducción de vehículos con MCI que estén en circulación. Con niveles sonoros ambientales más moderados, se hace evidente que el sistema AVAS debería incorporar un sistema automático que active el sonido, en los momentos que sea necesario, en lugar de estar activo siempre cuando el vehículo se desplace hasta velocidades de 20 Km/h.

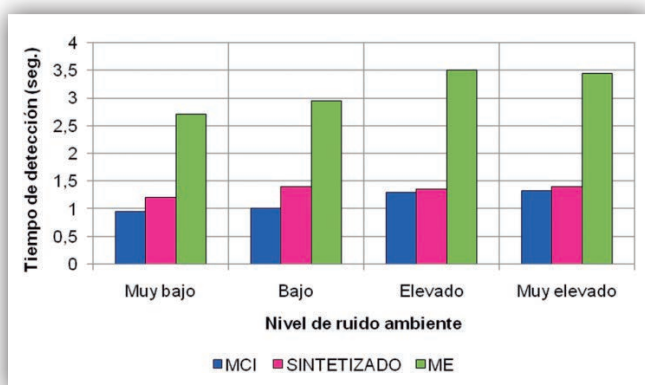


Figura 13. Tiempo de detección para vehículos con MCI y con MCE (sin AVAS).

En este sentido, la tecnología actual permite activar el sonido de un paso de peatones cercano, cuando se detecta en las cercanías a personas invidentes, y eso les permita guiarse y saber el estado del paso (luz verde o luz roja) mediante sonidos “ad hoc”. Una vez se aleja la persona, el semáforo deja de sonar. Esto probablemente disminuiría la sensación de molestia o desagrado que estos sonidos van a producir entre la población, y no se contaminaría de forma innecesaria, el entorno [55]. La mejor solución para lograr una mayor seguridad, debería basarse en un sistema como el indicado anteriormente, en lugar de un sistema de sonido de advertencia indiscriminado como el sistema AVAS. De esta manera, se garantizará la seguridad de las personas invidentes, así como también de las personas mayores ante la presencia de los vehículos con ME, sin necesidad de añadir más de ruido, mediante un sistema de alerta individual. Los resultados de diferentes estudios, muestran que en la transición a la movilidad eléctrica, quizás no sea necesario regular por ley, las advertencias sonoras para los vehículos eléctricos a velocidades bajas.

La bicicleta, el patinete eléctrico, monociclo y otros medios de locomoción urbanos, pueden alcanzar velocidades superiores a los 20 Km/h. El aumento notable de estos vehículos en la circulación urbana, unido al poco o nulo respeto por las normas de circulación de sus usuarios, están causando un número creciente de accidentes e incidencias, con los peatones. No es un problema menor, puesto que algunos accidentes han tenido un resultado fatal, con la muerte del peatón. Todos estos vehículos pasan muy cerca de los peatones, incluso por el mismo camino y sin embargo no se les exige llevar ningún sistema AVAS, que alerte de su presencia, lo cual pone en grave peligro a los transeúntes. Tampoco están matriculados, ni precisan de carnet para conducirlos, ni pagan impuestos, ni tienen seguro obligatorio, ni control de ITV, ni llevan elementos de seguridad, lo que redundará en una mayor impunidad.

20. Conclusiones

El objetivo del análisis del paisaje sonoro debería estar armonizado con el enfoque clásico del control del ruido. Este enfoque, se centra en un tipo de fuente sonora, y todas las herramientas y la experiencia que se utilizan para controlar el ruido, están especializadas en un tipo particular de sonido. Esto permite optimizar recursos y aplicar las soluciones adecuadas.

Esta técnica aplicada al paisaje sonoro, sería descomponer el paisaje sonoro en sus componentes indeseables y deseables para que cada uno de ellos, pueda abordarse con las herramientas y la experiencia adecuadas, de cara a obtener el máximo rendimiento y beneficio.

La medida y análisis del paisaje sonoro, no se puede realizar con los indicadores clásicos como el L_{Aeq} . La percepción sonora en humanos es mucho más compleja, y todos los matices y apreciaciones que se pueden dar, exige el uso de nuevos indicadores que reflejen de forma objetiva las sensaciones percibidas por los ciudadanos. La norma ISO 12913 sobre paisaje sonoro es un primer paso que va más mucho allá del L_{Aeq} . Sin embargo el no disponer de indicadores binaurales (de momento) hace que los resultados, aún siendo mucho mejores que los obtenidos con la medida de la presión sonora, todavía están lejos de las sensaciones subjetivas de los ciudadanos. Nótese que a pesar de usar tecnología puntera, obteniendo registros binaurales de un paseo sonoro, debemos escoger un canal para obtener los parámetros psicoacústicos.

Un aspecto a tener muy en cuenta, y que la ISO 12913 no trata, es que no es posible encontrar un indicador universal que valore la calidad acústica del paisaje sonoro. Esto va mucho más allá de los parámetros binaurales que aparecerán en un futuro. La experiencia personal y sobre todo cultural, influyen en gran medida sobre la percepción sonora y su calificación cualitativa.

Se han mostrado algunas de las técnicas para minimizar la principal fuente de ruido en las calles, el ruido de los vehículos. Esencialmente se han mostrado las tendencias para reducir el nivel sonoro del ruido de neumáticos. Para ello se puede actuar sobre el diseño de éstos elementos y también modificando la superficie por la que transitan. Actuar sobre las fuentes sonoras, es la mejor técnica para reducir la contaminación acústica. En este caso particular, lo más aconsejable es actuar simultáneamente sobre el diseño de los neumáticos y sobre las superficies sobre las que circula. A estas acciones se pueden añadir elementos como las barreras, que pueden ayudar a minorar los niveles sonoros, sin embargo en entornos urbanos su uso no es recomendable por generar barreras arquitectónicas.

Siendo el ruido de tráfico la principal fuente de ruido en las calles de las ciudades, la electrificación de todos los vehículos, supondrá un cambio de paradigma. El vehículo eléctrico será sin duda el medio de transporte futuro. Lo que va a cambiar será el concepto de almacenar la energía, que salvo nuevas tecnologías por descubrir, es una tarea muy difícil para asegurar autonomías y sobre todo tiempo de recarga de energía comparables a los actuales. Se impondrá el concepto de generar energía cuando sea necesaria, en lugar de almacenarla.

Por otro lado actualmente el concepto de la “propiedad de los vehículos” se va disipando con las nuevas generaciones, y se va a sustituir masivamente por el car-sharing. Ante esta situación, a quien le importa como suene un vehículo si no es suyo? Por tanto los sonidos

de las marcas, el AVAS y otras cuestiones relacionadas irán perdiendo importancia. El sonido del transporte con vehículos, tenderá a ser mayoritariamente como el de los aviones, los trenes o los barcos, todos “sonaran igual”, y donde los distintos fabricantes deben cumplir unos niveles máximos de emisión, pero nadie se va a preocupar por un sonido “branded content”. En un futuro, sólo los que puedan adquirir un vehículo, podrán “disfrutar” de esta cualidad.

En la etapa de transición, que no se prevé que sea corta, tendremos un número creciente de sonidos procedentes del AVAS, que sumados a los “branded content” de los distintos vehículos, lucharán por destacar en un mar de cacofonías que probablemente, no va a ser del agrado de los ciudadanos.

21. Referencias

- [1] **Europa, Consejo de.** *Convenio Europeo del Paisaje.* Florencia : s.n., 2000.
- [2] **Almo, F.** *Soundscape Ecology.* s.l. : Springer Netherlands, 2014.
- [3] **Truax, B.** *Handbook for Acoustic Ecology.* s.l. : Cambridge Street Publishing, 1999.
- [4] *Soundscape Quality in Suburban Green Areas and City Parks.* **Nilsson, Mats E. i Berglund, Birgitta.** 2006, Acta Acústica united with Acustica 92, p. 903-911.
- [5] *Multiple ratings of sound stimuli.* **Kerrick, JS, Nagel, DC i Bennett, RL.** 1969, Journal of Acoustical Society of America, p. 1014-1017.
- [6] *Perceived sound quality of sound reproducing systems.* **Gabrielsson, A. i Sjögren, H.** 1979, Journal of Acoustic Society of America, p. 1019-1033.
- [7] *The perceived quality of natural sounds.* **Björk, E.A.** 1985, Acustica, 57, p. 185-188.
- [8] **Berglund, Birgitta, Eriksen, Claire Anne i Nilsson, Mats E.** *Exploring Perceptual Content in Soundscapes.* Stockholm : s.n., 2001.
- [9] *On a tool for measuring soundscape quality in urban residential areas.* **Nilsson, Mats i Berglund, Birgitta.** 2006, Acta Acustica united with Acustica., p. 938-944.
- [10] *Emotional dimensions of a soundscape.* **Cain, R. i Jennings, P.** Ottawa. Canada : s.n., 2009. Internoise 2009. p. 11.
- [11] *Personal evaluation structure of environmental sounds: Experiments of subjective evaluation using subjects' own terms.* **Kawai, K., et al.** 2004, Journal of Sound and Vibration., p. 523-533.
- [12] *Urban soundscapes: Experiences and knowledge.* **Rainbault, M. i Dubois, D.** 2005, Elsevier, p. 339-350.
- [13] *A model of aesthetic appreciation and aesthetic.* **Leider H., Beike B., Oeberst A., Augustin D.** 2004, British Journal of Psychology, p. 489-508.
- [14] *Acoustic indicators of soundscape quality and noise annoyance in outdoor urban areas.* **Nisson, M., Botteldooren, D. i De Coensel, B.** Madrid : s.n., 2007. Proceedings of 19th International Congress on Acoustics ICA 2007. p. 6.
- [15] *Uso de indicadores de calidad acústica, para la valoración cualitativa de los ambientes sonoros (“soundscapes”).* **Barti, Robert i Vida, Jerónimo.** Madrid : s.n., 2018. CONAMA 2018. p. 30.
- [16] *The Ideal Urban Soundscape: Investigating the Sound Quality of French Cities.* **Guastavino, Catherine.** 2006, Acta Acustica united with Acustica., p. 945-951.
- [17] **Daró, Carlotta.** *Avant-gardes sonores en architecture.* Dijon : Presses du Reel, 2013.
- [18] **Southworth, Michael.** *The Sonic Environment of Cities.* Boston : MIT, 1967.
- [19] *The state of tranquility: subjective perception is shaped by contextual modulation of auditory connectivity.* **Hunter, M., et al.** 2010, Neuroimage 53, p. 611-618.
- [20] **Kaplan, R. i Kaplan, S.** *The experience of nature: A psychological perspective.* s.l. : Cambridge University Press., 1989.
- [21] *Road Traffic Noise and Annoyance: A Quantification of the Effect of Quiet Side Exposure at Dwellings.* **de Kluzenaar Y., Janssen S. A., Vos H., Salomons E. M., Zhou H., van den Berg F.** 2013, International Journal of Environmental Research and Public Health., p. 2258-2270.
- [22] *The Urban Nightingale or some theoretical considerations about sound and noise.* **Ipsen D.** 2002, Finnish Society for Ethnomusicology., p. 1-11.
- [23] *Human strategies to provide overall assessments of unsteady sound episodes.* **Fiebig A.** 2016, Proceedings Internoise 2016, p. 6711-6716.
- [24] *Binaural Technique for the Objective Measurement of Subjectively Perceived Sound Quality.* **Genuit, Klaus.** 1991, Congress Proceedings NOISE-CON 91, p. 451-458.
- [25] *Ruido de tráfico en la ciudad. Propuesta de nueva normativa.* **Barti, R.** 1995, Publicación oficial Técnica-cústica 95.

- [26] *Sound Quality Aspects for Environmental Noise*. **Genuit, K.** 2002, Congress Proceedings Internoise 2002, p. 6.
- [27] *Uso del contraste acústico para evaluar la molestia percibida por el ruido*. **Barti, R.,** Valencia : Sociedad Española de Acústica SEA., 2015. Publicación Oficial del Congreso Tecniacústica 2015. pág. 8.
- [28] **Sandberg, U. i Ejsmont, J.A.** *Tyre/road Noise Reference Book*. Kisa : Informex, 2002.
- [29] *Soundscape and community noise annoyance in the context of environmental impact assessment*. **Lercher, P i Schulte-Fortkamp, B.** 2003, Proceeding of Congress Internoise 2003, p. 2815-2824.
- [30] *Semantic differencial analysis of the soundscape in urban open public spaces*. **Kang, J i Zhang, M.** 2010, Building and Environment, p. 150-157.
- [31] *A principal components model of soundscape perception*. **Axelsson, Ö, Nilsson, M i Berglund, B.** 2010, The Journal of Acoustical Society of America, p. 2836-2846.
- [32] *Note on informational masking*. **Durlach, N, et al.** 2003, The Journal of Acoustical Society of America, p. 2984-2987.
- [33] *Auditory informational masking*. **Pollack, I.** 1975, The Journal of Acoustical Society of America.
- [34] **Chion, M.** *L'audio-vision*. Paris : Éditions Nathan, 1993.
- [35] *The impact of blue space on human health and well-being - Salutogenetic health effects of inland surface waters: A review*. **Völker, Sebastian i Kistemann, Thomas.** 2011, International Journal of Hygiene and Environmental Health, p. 449-460.
- [36] *Models of integration given multiple sources of information*. **Massaro, D W i Friedman, D.** 1990, Psychological Review, p. 225-252.
- [37] *Measurement and subjective Assessment of Water Generated Sounds*. **Watts, G R, et al.** 2009, Acta Acustica united with Acustica, p. 1032-1039.
- [38] **Radsten-Ekman, Maria.** *Wanted Unwanted Sounds*. Stockholm : s.n., 2015.
- [39] *Acoustical and perceptual assessment of water sounds and their use over road traffic noise*. **Galbrun, L i Ali, T T.** 2013, The Journal of Acoustical Society of America, p. 227-237.
- [40] *Acoustical characteristics of water sounds for soundscape enhancement in urban open spaces*. **Jeon, J Y, Lee, P J i Kang, J.** 2012, The Journal of Acoustical Society of America.
- [41] *Application of a model for auditory attention to the design of urban soundscapes*. **De Coensel, B, et al.** 2010, Proceedings of the 1st EAA-Euroregio 2010. Congress on Sound and Vibration.
- [42] *A model of auditory pattern analysis based on component-relative-entropy*. **Lutfi, R A.** 1993, The Journal of Acoustical Society of America.
- [43] **Barti, Robert.** *Aplicación de equipos inonizadores en la mejora de las condiciones de trabajo*. Barcelona : s.n., 1983.
- [44] *Acoustic confort evaluation in urban open public spaces*. **Yang, W i Kang, J.** 2005, Applied Acoustics, p. 211-229.
- [45] *Influence of visual setting on sound ratings in an urban environment*. **Viollon, S, Lavandier, C i Drake, C.** 2002, Applied Acoustics, p. 493-511.
- [46] *Effects of landscape on soundscape perception*. **Liu, J, et al.** 2014, Landscape and Urban Planning, p. 30-40.
- [47] *Effercts of the visual landscape factors of an ecological waterscape on acoustic comfort*. **Ren, X i Kang, J.** 2015, Applied Acoustics, p. 171-179.
- [48] *The acoustic and visual factors influencing the construction of tranquil space in urban and rural environments tranquil spaces-quiet places?* **Pheasant, R, et al.** 2008, The Journal of Acoustical Society of America, p. 1446-1457.
- [49] *La historicidad del paisaje sonoro y la música popular*. **Woodside, J.** 2008, Revista trabsultural de música, p. 1-17.
- [50] *El desarrollo de la audición humana*. **Munar, E, et al.** 2002, Psicothema, p. 247-254.
- [51] **Sandoval, C.** *Especialización en teoría, métodos y técnicas de investigación social-investigación cualitativa*. Colombia : ARFO Editores, 2002.
- [52] **de Blas, Felisa i Chías, Pilar.** *Paisajes y Objetos Sonoros* . 2009.
- [53] *We Want Cars that Sound like Cars*. **Frye, D.B.** 2007, Braille Monitor NFB.
- [54] **Rosenblum, L.D.** *See What I'm Saying*. New York : W.W. Norton & Company, 2011.
- [55] *El Vehículo Eléctrico y la Reducción del Ruido Ambiente en Ciudades*. **Barti, Robert.** 2016, Comunicaciones EuroRegio 2016.
- [56] *The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework*. **Kaplan, S.** 1995, Journal of Environmental Psychology., p. 169-182.

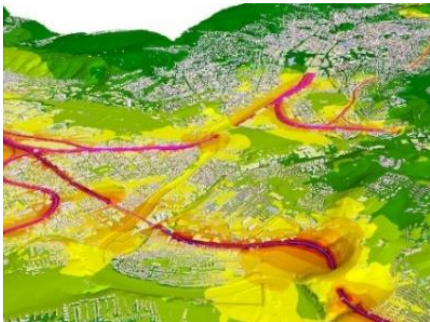


Common
Noise Assessment Methods
in Europe (CNOSSOS-EU)

SoundPLAN_{noise}

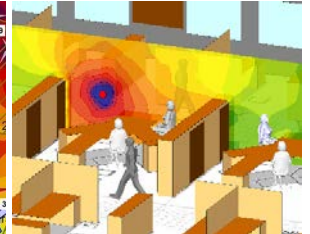
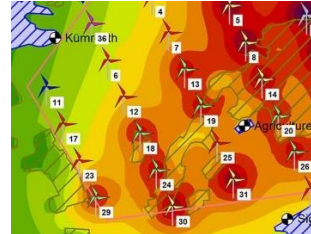
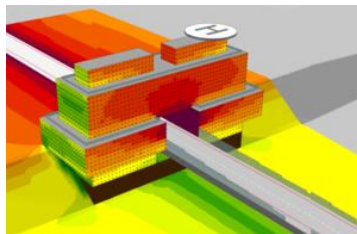
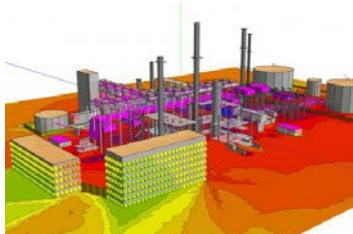
La solución profesional para CNOSSOS-EU

- Estructura modular: configuración adaptable.
- Acústica ambiental e interior en un modelo.
- Escenarios ilimitados en un único proyecto.
- Potentes herramientas para modelizar, calcular y analizar resultados.
- Elevada capacidad gráfica y de presentación de resultados. No requiere programas adicionales.
- Amplias bibliotecas.
- Conexión con WMS Server.
- Cálculo distribuido en red con múltiples PC.
- Permite trabajar con el modelo mientras calcula.



En común, para cualquier configuración:

- Todos los métodos de cálculo disponibles, incluido CNOSSOS-EU
- Elevada velocidad de cálculo
- Ilimitado número de fuentes, receptores y objetos
- Conexión a Google Maps y OSM
- La mejor relación calidad / precio



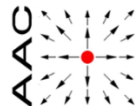
El software de acústica adecuado para cada necesidad

SoundPLAN_{essential}

La mejor alternativa para estudios convencionales

- Compacto y eficiente.
- Sencillo e intuitivo.
- Calcula simultáneamente focos de: tráfico viario, ferroviario e industria.
- Cálculo del DGM.
- Mapas de ruido y de receptores.
- Opción de incluir aislamiento de fachada.
- Dos escenarios por proyecto: sin y con soluciones.
- Vista 3D del modelo de datos.

Solicite información sin compromiso al distribuidor para España y Portugal de **SoundPLAN**:



AAC CENTRO DE ACÚSTICA APLICADA
Ingeniería + Laboratorio

AAC Centro de Acústica Aplicada SL, es una ingeniería y consultoría independiente y privada, con más de 25 años de recorrido y amplia experiencia. Amplio alcance acreditado por ENAC desde 1996. Especialistas en situaciones complejas en acústica, ruido y vibraciones. Métodos basados en la experiencia y el rigor técnico. Larga tradición en proyectos de I+D+i. Productos y procesos innovadores: Acústica 4.0.

MEDIO URBANO INFR. TRANSPORTE INDUSTRIA EDIFICACIÓN
MONITORIZADO MAPAS DE RUIDO ANÁLISIS DE CAUSAS PLANES DE ACCIÓN SOLUCIONES

AAC Centro de Acústica Aplicada S.L.
Parque Tecnológico de Álava (VITORIA-GASTEIZ) – España
TEL. (+34) 945 298 233 www.aacacustica.com
Sucursal en Colombia
aac@aacacustica.com soundplan@aacacustica.com



De Harpócrates a Estruendópolis y la falsa leyenda de Madrid como una de las ciudades más ruidosa del mundo



Walter A. Montano Rodríguez*¹; M. Noel Martínez Pascal²

¹ ARQUICUST Laboratorio de acústica «Joseph Sauveur». Gualeguaychú, ER, Argentina

² UADER Profesorado en Lengua y literatura. Concepción del Uruguay, ER, Argentina

* wmontano@arquicust.com – Miembro del Comité de Archivo e Historia de la ASA –
orcid: 0000-0002-0059-5257

PACS: 01.65.+g; 43.05.Dr; 43.10.Mq; 87.23.Ge

Resumen

En los medios de comunicación se ha repetido ‘hasta el hartazgo’ que Madrid está entre las ciudades más ruidosas del mundo, pero ¿Esto es algo nuevo? ¿Desde cuándo se sostiene? Se considera que la discusión se inicia en 1987 cuando se publica un informe que edita un supuesto ranking ‘de ciudades ruidosas’, sin embargo, ese documento sólo menciona países. En 1854 ya se anunciaba en la prensa local que Madrid era una ciudad ruidosa, y durante el siglo XX Madrid a veces recibió el mote de ‘la más ruidosa de Europa’. Un artículo de 1890 irónicamente se refiere a Madrid como Estruendópolis, y posteriormente otros escritores reclamaban por Harpócrates para silenciarla. Este artículo propone una discusión filosófica histórica desde lo que se escribió en los medios sobre la ruidosa Madrid, que se mantiene como algo perenne y ya es hora de entender el inconsciente colectivo para desmitificar esa falsa leyenda.

Palabras clave: Acústica, Historia de la ciencia, Ruido, Filología, Estruendópolis.

Abstract

In the media it has been repeated ‘to boredom’ that Madrid is among the noisiest cities in the world, but is this something new? How long has this been true? It is considered that the discussion begins in 1986 with a report that publishes a supposed ranking ‘of noisy cities,’ however that document only mentions countries. In 1854 it was announced in the local press that Madrid was a noisy city, and during the 20th century Madrid sometime was given the nickname of ‘the noisiest in Europe.’ An 1890 article ironically refers to Madrid as Estruendópolis, and later other writers claimed by Harpocrates to silence it. This article proposes a historical philosophical discussion from what was written in the media about the noisy Madrid, which remains as something perennial, and it is time to understand the collective unconscious to demystify that false legend.

Keywords: Acoustics, History of Science, Noise, Philology, Estruendópolis.

1. Introducción

La importancia que tiene la prensa es indiscutible: poseen un papel fundamental en la difusión de las libertades. No obstante, algunas veces, los medios de comunicación motivados por la necesidad de tener noticias de impacto social recurren a dar información sin suficiente verificación de datos. A modo de ejemplo, en relación con la contaminación acústica en las ciudades, en 1987, a posterior de la difusión de un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) –con datos sobre la problemática del ruido–, algunas personas afirmaron públicamente que «España es el país europeo con mayor índice de ruido después de

Japón», mientras otros medios analizaron dicha situación ambiental sin adjetivar los datos.

En algún momento, que no se puede precisar, a ese dato de que ‘España es la más ruidosa’ la prensa lo proyectó a la ciudad de Madrid, y al igual que un gen del ADN que se mantiene congelado en el tiempo, se ha repetido erróneamente que ‘Madrid es la más ruidosa después de Tokio’, hecho que ya fue desmitificado por nuestro colega Plácido Perera Meleró en el 2011 en esta misma revista. En esa línea, los autores del presente artículo intentan dar comprensión del por qué, desde algunos medios de comunicación, se continúa insistiendo que Madrid es una de las ciudades más ruidosas del mundo.

Pero resulta que Madrid no fue la única ciudad española en recibir ese tipo de mote por parte de la gente, en 1898 el escritor Eusebio Blasco Soler (1844–1903) publicó en el suplemento *Blanco y Negro* (del diario *ABC*), un largo artículo acompañado de viñetas comentando que San Sebastián era «la ciudad del ruido» (Blasco, 1898), y a posterior esa categorización se adjudicarán a Bilbao, Barcelona, Madrid, y hasta Buenos Aires.

Para este artículo se analizaron y describieron publicaciones de la hemeroteca digital de la Biblioteca Nacional de España, específicamente aquellas que relacionan al ruido con molestia psicológica, porque las menciones poéticas o de prosa al ruido son numerosas, así como también las metafóricas hacia actitudes de políticos o alusiones irónicas y humorísticas sociales, que no son termómetro social de análisis para el objeto de este trabajo. Los autores pudieron encontrar para compartir aquí la tabla publicada en el informe de la OCDE de 1986, tabla que dio origen a la leyenda y al mito acerca de que Madrid y España son 'lugares ruidosos'. Este trabajo concluye con una breve discusión filosófica sobre el tema.

2. Pianópolis o Madrid, la villa del ruido de los pianos

En un mordaz artículo publicado en el semanario madrileño *La Ilustración* el 6 de octubre de 1849 titulado «Yo y mis vecinos», un escritor relata cómo padece los ruidos que lo molestan y no le permiten escribir a pesar de que vive en un barrio tranquilo alejado del centro madrileño –donde se encontraban los barrios más ruidosos–; entre todos los ruidos que sufre destaca que «Al rededor de mí jardín hay siete pianos. ¡Maldición sobre los barrios tranquilos! (SIC)». Continúa narrando que suenan a la madrugada, a la noche, a cualquier hora del día, además de mencionar la forma en la que sus protestas no fueron escuchadas, «transcurrida una semana ya me juzgué en estado de responder dignamente á los cencerreos de los pianos con los rugidos nasales de la trompa (SIC)», pero con el pasar del tiempo sus vecinos se acostumbraron a escucharla, por lo que continuaron tocando el piano. Este ciudadano termina su columna burlescamente diciendo que «Preciso será poner término á esta opresión; y supuesto que mi trompa no es ya desagradable á mis vecinos, pongo en conocimiento del público todo, que de hoy en adelante me veré en la necesidad de tomar discípulos (SIC)» (Ilustración, 1849), es decir, combatir el ruido con ruido.

Al escribir desde la Madrid de 1854, es decir, cuando todavía no era una metrópoli, es de imaginar que cualquier sonido repetitivo podría resultar molesto para las personas que necesitaban de silencio para trabajar, y

este es el caso de otro escritor –también de ese mismo semanario– que escribió sarcásticamente una columna el 18 de junio de 1854 titulada «PIANOPOLIS» (Ver Figura 1), que con un lenguaje florido narra cómo su vida es atravesada por el sonido de los pianos, el cual parece que además fue motivo de reclamo social porque «Las quejas que se elevan contra los pianos, han llegado á hacer casi tanto ruido como los pianos mismos; de suerte, que es tan urgente hacer que cesen estas quejas, como que odien los pianos (SIC)»; el periodista –que firma con las siglas R.F.M.– primero alega a favor del piano en la música, para después culpar a los pianistas de la molestia y no al piano, proponiendo que se lleven a todos los pianistas juntos a una isla, como único camino de salvación (Ilustración, 1854).

3. Los sonidos de la villa de Madrid se convierten en molestia

En una descripción con mucha ironía del paisaje sonoro de Madrid, que fue publicada en una columna del periódico *La España* del 1 de febrero de 1865, el escritor con mucha ironía dice «Si en efecto la música á las fieras domestica, Madrid debe ser el pueblo mas civilizado de universo» (SIC); partiendo desde las murgas, se va narrando cada uno de los sonidos musicales que se escuchan y padecen tanto en las calles de la villa (cencerreo de guitarras, pianos, cantos, organillos ambulantes, etc.) como al interior de las viviendas, agregando que «Madrid viene á formar en conjunto una especie de cencerrada perpetua que se desenvuelve, digámoslo así sobre las dos notas



Figura 1. Madrid la ciudad de los pianos.

fundamentales que resultan, cortándose recíprocamente, del murmullo profundo de la población y del ruido sordo de los coches» (SIC); es interesante la analogía del sonido del cencerro como sinonimia al ruido urbano que ‘suena como un instrumento’, diciendo que si una persona se sube a lo alto de una vivienda «sentirá todo el movimiento musical de esta gran orquesta» (España, 1865).

Asimismo, el poeta y político Ernesto García Ladevese (1850–1914) cuando regresó a España en 1885, después de nueve años de exilio, escribió una columna para el diario *El Liberal* titulada «Regreso á la patria» (Ver Figura 2), en uno de sus pasajes comenta la impresión que se tiene cuando un viajante llega a Madrid, en la misma línea que las columnas anteriormente mencionadas, lo primero que le choca es el ruido «Los fustazos de los cocheros, las campanillas de los caballos, los saludos de acera á acera, los diálogos en voz alta, los gritos de todo el mundo, forman tal algarabía que aturden al que se halla habituado al silencio de las más grandes capitales de Europa»; escribe sobre los ruidos madrileños, que persiguen a las personas a todas partes, de día y de noche, ruido del cual nadie se puede refugiar; sin embargo, lo hace sin darle un sentido negativo a esa realidad –por haber estado tanto tiempo exiliado– finaliza diciendo «(sobre los ruidos) Madrid, más que una ciudad, es una gran familia, cuyo medio millón de individuos hacen la vida común en la más estrecha de las intimidades» (García, 1885).

4. La villa de Madrid se convierte en Estruendópolis

Una de las primeras menciones sobre lo que sufrían los madrileños a causa de la música de los organillos

ambulantes, la escribió el profesor y crítico musical Eduardo Velaz de Medrano Álava (1814–1865) el 9 de septiembre de 1849, en el diario *La España* (Velaz, 1849), bajo el título de «Ópera de los pobres» describe al ‘organote’, instrumento que era un gran organillo que se acoplaba encima de un carro que circulaba por las calles de Madrid (España, 1852). Es de imaginar la molestia que debía producir ese instrumento mecánico, que resonaba a cualquier hora por las calles y que a veces congregaba a murgas que cantaban a la par de su música. Se puede leer en los diarios de la época que algunas personas arrojaban agua desde sus ventanas a los organilleros ambulantes para acallarlos, generando disputas.

Tanto eran los disturbios a la tranquilidad que producían esos aparatos, que el 26 de febrero de 1890 todos los tenientes de alcalde de Madrid acordaron en suprimir los organillos ambulantes; semejante decisión provocó que el escritor y crítico taurino Mariano Francisco de Cavia y Lac (1855–1920), escriba una columna cargada de humor e ironía el 28 de febrero en el diario *El Liberal* acerca de esa decisión política; sin nombrar a Madrid eufemísticamente la renombra como **Estruendópolis** ubicando esta hipotética ciudad mediante sus coordenadas geográficas (Ver figura 3), y sarcásticamente apunta que «La lectura de ese suelto [la orden de supresión] me ha sumido en profundo desconsuelo; porque Estruendópolis es para mí la primera ciudad del mundo, por ser la más ruidosa y bullanguera» y que «la supresión de que se habla en la mencionada noticia no es sino el principio de la decadencia de Estruendópolis ¿Qué va á ser de Estruendópolis sin organillos ambulantes?» (SIC) (Cavia, 1890-a, p.2).

Con gran sentido del humor, Cavia da a entender que al eliminar el sonido de los organillos la gente será capaz

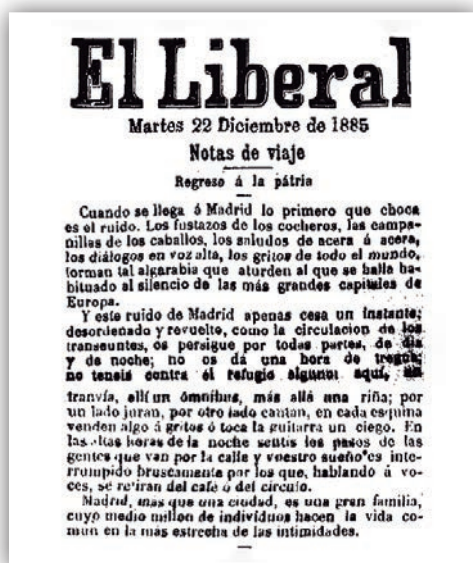


Figura 2. De regreso a la familia madrileña.

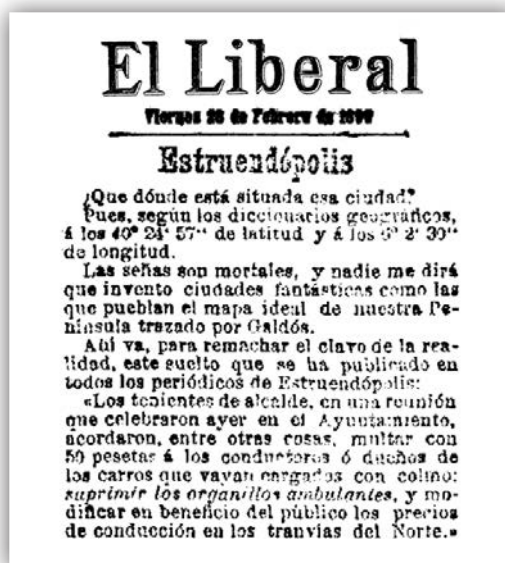


Figura 3. Estruendópolis ingresa al imaginario (1890).

de escuchar los ruidos que están enmascarados por ellos, y más atrayente aún es que Cavia llama la atención a las condiciones acústicas de las viviendas «Hasta las casas están construidas en Estruendópolis de manera que se transmiten de cuarto á cuarto los ruidos y rumores de todo género, sin que pueda usted libertarse de oír cuanto dice y hace el vecino de al lado, el de abajo y el de arriba» (SIC) (1890-a, p.2), lo anterior fue escrito en 1890, no en el año 2022.

Las reacciones a favor que tuvo esa columna periodística fueron inmediatas. Cavia compartió ocho de las cartas enviadas por sus lectores «Mi artículo de anteayer ha parecido bien á muchos madrileños, á juzgar por las numerosas cartas que he recibido en el mismo son y compás. Elegiré entre ellas las que vienen á completar la descripción de Estruendópolis» (SIC) (Cavia, 1890-b, p.2); las cartas son interesantes porque en tono de queja las personas describen el paisaje sonoro madrileño. En 1892, el escritor incluye, en su libro *Salpicón*, ambas columnas sobre Estruendópolis acompañadas de viñetas dibujadas por el caricaturista Ángel Pons (Ver figura 3).

Esa columna no pasó desapercibida para el resto del periodismo, y el 5 de abril el diario *La Vanguardia* aludió que «No fuera Barcelona ciudad meridional, no fuera ciertamente hermana gemela de la Estruendópolis descrita por Cavia, si hoy entre diez y once no disparara sus cañones, pistolas, revolvers, morteretes, etc.» agregando que «sus chiquillos no subieran á las azoteas para armar un ruido infernal con sus golpes y su gritería» (*Vanguardia*, 1890, p.2); se puede ver que los barceloneses comparan su propio ruido ciudadano con el madrileño; para el caso del diario *ABC*, en 1895, aparece una primera mención a Estruendópolis (*ABC*, 1895, p.13).

5. La controversia sobre Estruendópolis y la defensa de los sonidos

En general, el resto de la prensa compartía la queja sobre Madrid como ciudad ruidosa. Olvidándose que Estruendópolis no era un mote a Madrid sino que se trató de una ironía inventada por Cavia, así y todo se comenzó a decir que ‘Madrid es la ciudad más ruidosa del mundo’, pero en una nota del 22 de marzo de 1892 del médico y político Ángel Pulido Fernández (1852–1932), bajo el título de «Fonofobia», primero comenta la ironía de Cavia, para después iniciar una defensa a los sonidos en la ciudad porque muchos de ellos son saludables, y porque definen la diversidad cultural que puede tener una ciudad. En realidad, la preocupación de Pulido era la cuestión de las prohibiciones, aportando también él mismo una ironía «Hoy estruendópolis combatiendo los ruidos callejeros, sirve de tema al artículo de un escritor de ta-

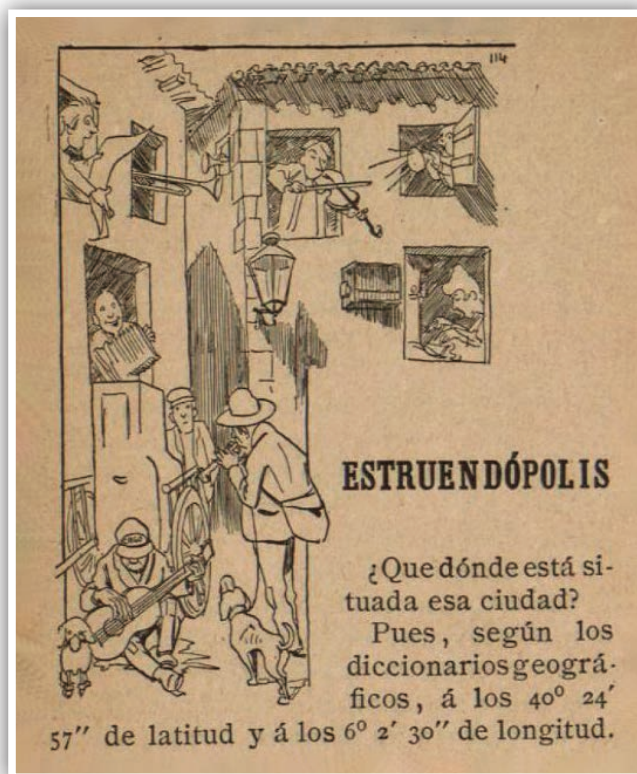


Figura 4. Dibujo de Ángel Pons (1892).

lento y de gracia; mañana foto-polis servirá para que un periodista adocenado pida que se persigan los colores y se llene todo con el dulce gris» (Pulido, 1892, p.5).

La controversia generada por la ironía de Cavia, lamentablemente, fue mal interpretada por muchas personas, para lo cual el periodismo – incluido sus lectores – se quejaban a través de sus notas en los medios de comunicación, condujeron a repetir a que ‘Madrid era la más ruidosa del mundo’.

En 1914 se publicó un libro titulado *Un mundo silencioso* que trata sobre la situación de los sordomudos; al capítulo dedicado al problema del ruido el autor lo titula *Estruendópolis* diciendo que «Uno de nuestros más preclaros ingenios ha inventado esta palabra híbrida, pero significativa para calificar a las ciudades modernas, rodeadas siempre de una atmósfera de ruido y confusión muy nociva para la salud del cuerpo», a posterior va describiendo los inconvenientes en la comunicación de las personas a causa del ruido de la ciudad, comentando que a veces los sonidos musicales no son ruido (López, 1914, p.51).

6. Harpócrates y el pedido de silencio

De acuerdo con la arqueóloga de la Universidad Complutense de Madrid, M^a Amparo Arroyo de la Fuente, la iconografía original de Harpócrates representada como

un joven que se lleva un dedo a la boca es de Egipto, que en realidad servía para identificar a los niños de cualquier ámbito como símbolo de la infancia, empero cuando esa divinidad fue adoptada por los romanos, ese gesto perdió su significado originario relacionado con la niñez. Dicha arqueóloga comenta que «se entendió esta actitud como una petición del silencio necesario en los oficios religiosos, por lo que algunas de sus imágenes presidieron los templos de diversas divinidades con este sentido» (Arroyo, 2006); dicha figura icónica después pasó a estar en cualquier lugar que se necesitaba silencio como en los hospitales, y hasta se utilizó en las viviendas de gente adinerada.

Algunos escritores, retomando la ironía de Cavia, pidieron por la presencia de *Harpócrates el Dios del Silencio* a modo de plegaria para acallar los ruidos; bajo el seudónimo de Antoñito, inmediatamente después de que se publicara la columna de Cavia; en el semanario infantil barcelonés *Camarada* del 15 de marzo, Antoñito describe los ruidos callejeros iniciando la narración (sin aludir a Madrid) diciendo: «Un distinguidísimo escritor de la corte llamaba la atención reciente sobre el ruido insoponible de que es víctima la capital del reino, enumerando los diversos estruendos que molestan á las personas amantes del sosiego» (Antoñito, 1890); retoma además la advertencia de Cavia hacia el problema del ruido dentro de las viviendas «¿Qué hacer? Yo recomendarla á los arquitectos estudiaran la cuestión acústica de las habitaciones, haciéndolas impenetrables al ruido exterior» añadiendo que también encargaría a los maestros «que hiciesen colocar en medio de las aulas una estatua de Harpócrates» (SIC) (Antoñito, 1890), seguramente con la intención e idea de que los niños guarden silencio.

7. El primer ranking de ‘ciudades ruidosas’ es de 1909 y no incluía a Madrid

Dentro de una de las investigaciones realizadas por los autores de este artículo –respecto a los primeros grupos y sociedades anti-ruido– se encuentra el dato acerca de que en 1909 se realizó una Convención Internacional de movimientos anti-ruido en Londres (Montano & Martínez, 2021). Asistieron a ella participantes de Alemania, EE. UU. y Gran Bretaña, cuatro personas estuvieron deliberando sobre esta problemática bajo la consigna «Por la supresión del ruido de las calles», llegaron a la conclusión que su ciudad de origen era la más ruidosa del mundo, dejando en claro que esa situación se trata de una percepción subjetiva individual (Montano, 2020).

Una vez más la prensa hizo sus propias interpretaciones alrededor de ese tipo de discusiones, y el diario *Daily*

Mail de Londres en su edición del 14 de agosto de 1909 (que aún no está en Internet) proclamó que según la Sra. Julia Rice, –presidenta de la sociedad anti-ruido de Nueva York– las ‘capitales más ruidosas’ del mundo eran «París, seguida de Nueva York, Londres y Berlín», aunque ella misma sostenía que Nueva York era la más ruidosa. Pareciera que la discusión sin sentido que se presenta incluso en el siglo XXI sobre «cuáles son las ciudades más ruidosas del mundo», tuvo su origen en 1909.

En cuanto a los medios madrileños (de aquella época) se encuentra que compartieron noticias del exterior, y cuando desde otras ciudades diarios locales proclamaban que su ciudad ‘era la más ruidosa del mundo’, los periodistas madrileños replicaban que esos periodistas sostenían eso porque no conocían el ruido de Madrid. En septiembre de 1927, el psicólogo y acústico norteamericano Donald Laird, después de realizar una campaña de mediciones de ruido urbano, promulgó que «Chicago es la ciudad más ruidosa del mundo», y un periodista del diario *La Nación* le responde poéticamente «Permita que en buena lid // con su afirmación acabe // doctor, porque usted no sabe // lo que es la siesta en Madrid» (Nación, 1927).

8. Algunas menciones en la prensa del siglo XX

A partir de 1928 es cuando en la prensa local son más asiduas las menciones alusivas a que Madrid es la ciudad más ruidosa del mundo, lo que llevó al Ayuntamiento en ese año a iniciar lo que se podría considerar como la primera campaña contra el ruido, ahora bien, los autores destacan dos columnas de 1924 que pueden aclarar mejor la concepción subjetiva acerca de la percepción del ruido durante esos años.

En un editorial del diario *El Sol* del 12 de noviembre de 1924, con el título «El tráfico de Madrid», se relata la percepción que tiene una persona que regresa a esa ciudad después de estar ausente algún tiempo, «El sentido que primero advierte esta novedad es el auditivo. No creemos que actualmente haya en el mundo ciudad tan ruidosa como Madrid. Las bocinas no descansan un momento, pasen o no por una calle transversal, haya o no gente delante» (Sol, 1924). Esta nota también estuvo motivada por los dichos de un visitante norteamericano que «nos decía con acento de desesperación, que para no sucumbir al homicida ruido madrileño, se veía obligado a volver antes de lo previsto al silencio de Nueva York. No podían sufrir más sus nervios»; la nota se terminó luego de hablar en torno al tráfico de Madrid indicando que el ruido también se debía a la gran cantidad de tranvías, concluyendo dicha afirmación con que la red tranviaria debería tener menor extensión.

El prolífico escritor y periodista Alberto Insúa (1883–1963) continuó con la discusión de ese editorial escribiendo una columna de opinión en el diario *La Voz*, titulada «La ciudad más ruidosa», en la que a modo de conversación con ‘el yanqui de *El Sol*’ va analizando el ruido madrileño producido básicamente por el uso y abuso de las bocinas (también conocidas como ‘klaxon’ por su nombre comercial), diferencia aquellos barrios donde vive la gente importante donde no circulan los tranvías del resto; no sólo describe el paisaje sonoro de Madrid, sino que también relata ‘sonidos típicos madrileños’ que se producen dentro de la vida familiar. Acaba su extensa columna argumentando que «Por mi parte, renuncio a todo género de protestas. Me limito a levantar acta de nuestros ruidos y a reconocer que Madrid es la ciudad más ruidosa del mundo», y lo que sigue nos da la pista de por qué el periodismo recurre a esa misma muletilla: «Siempre conviene ser el primero en algo» (Insúa, 1924).

Llegados a este *nudo gordiano*, los autores de este artículo se preguntan retóricamente ¿Será que con el afán de ser ‘primeros en algo’ nace el mito y la leyenda de que Madrid es la ciudad más ruidosa del mundo? ¿Será esto tal vez la razón por la cual los medios insisten en que ‘Madrid es la más ruidosa del mundo’?

9. Discusión sobre si Estruendópolis es ‘la ciudad más ruidosa después de Tokio’

Bajo el título *Fighting noise: Strengthening noise abatement policies* publicado por la OCDE en 1986, entre muchos aspectos sobre la problemática del ruido en sus

países miembro, presenta una tabla **con el porcentaje de población que está expuesta al ruido de transporte** en la cual **no mencionan ciudades** sino países (OECD, 1986, pp. 46-48), tal como se puede ver en la figura 5:

Entonces, si se ordenara los datos por país, del porcentaje de personas expuestas a ruido de tráfico mayor a 55 dBA, España queda en segundo lugar, después de Japón. Respecto de dónde los especialistas de la OCDE tomaron esos valores, no hay referencias sobre qué base de datos española utilizaron; al final de ese apartado aclaran que «La exposición al ruido dentro de un país varía considerablemente de una región a otra y de una ciudad a otra. Factores como la densidad de población y el tamaño de la ciudad son importantes» (OECD, 1986), con lo anterior queda en claro la subjetividad de haber generalizado un solo nivel sonoro para ‘representar’ a un país en su conjunto.

En España la primera mención a dicho informe fue publicada el 18 marzo de 1987 en el suplemento científico del diario *ABC*, bajo el título «El ruido, algo más que la principal causa de sordera» la autora en dos páginas completas da cuenta de la problemática del ruido desde distintos aspectos (salud, laboral, urbano). A propósito del informe de la OCDE, comenta que «España, Japón y Grecia batieron todos los récords en cuanto a circulación ruidosa, y la zona latina es considerada como un sector especialmente ruidoso en comparación con los ‘silenciosos’ nórdicos» (González, 1987), no agrega adjetivos ni clasificaciones ‘de ruidosidad’.

La segunda mención, se trata más bien de un comentario publicado en el diario *El País* el 12 de abril de 1987

Table 1
NATIONAL POPULATION EXPOSURE TO TRANSPORT NOISE
Selected countries, early 80s

Percentage (c)

Country		Sound level in Leq [dB(A)] Outdoors														
		Road Traffic Noise					Aircraft Noise					Railway Noise				
		>55	>60	>65	>70	>75	>55	>60	>65	>70	>75	>55	>60	>65	>70	>75
United States	b)	37.0	18.0	7.0	2.0	0.4	9.0	4.0	2.0	0.4	0.1	2.4	1.4	1.0	0.2	-
Japan	a)	80.0	58.0	31.0	10.0	1.0	3.0	1.0	0.5	0.2	0.1	-	-	-	-	-
Austria	a)	50.0	35.0	16.0	7.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Belgium	a)	69.0	39.0	12.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Denmark	b)	38.0	24.0	12.0	4.0	1.0	2.5	1.1	0.5	0.2	-	0.5	0.1	-	-	-
France	a)	44.0	25.0	13.0	4.0	0.4	-	-	-	-	-	1.2	0.8	0.4	0.2	-
Germany	a)	34.0	17.0	8.0	3.0	-	-	-	1.0	0.2	-	13.0	5.0	1.0	-	-
Greece	b)	50.0	30.0	20.0	10.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Netherlands	a)	40.0	18.0	6.0	0.6	-	0.3	0.2	0.1	-	-	0.5	0.2	0.1	-	-
Norway	b)	32.0	17.0	8.0	3.0	-	5.0	3.0	1.0	0.5	0.3	0.4	-	-	-	-
Spain	a)	74.0	50.0	23.0	7.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sweden	b)	38.0	24.0	11.0	4.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Switzerland	a)	54.0	28.0	11.0	4.0	1.0	2.0	1.0	0.6	0.2	-	20.0	11.0	4.0	1.0	0.4
United Kingdom	a)d)	50.0	25.0	11.0	4.0	0.6	-	-	-	-	-	-	0.9	0.3	0.1	-

Notes: a. Daytime Leq (6-22 hours or 8,20 hours).
b. Leq over 24 hours.
c. Percentages are cumulative and not additive (for example: percentage of persons exposed to 55 dB(A) includes percentage of persons exposed to 60 dB(A), etc.).
d. Road traffic noise: Leq averaged (06,00 - 24,00), 1973 Survey, England only.

Source: OECD.

Figura 5. Extracto de la Tabla 1 del Anexo I del documento *Fighting noise...* (OECD, 1986).

con el título «España es el país europeo con mayor índice de ruido»; el periodista da cuenta de una ponencia que se presentó en el congreso nacional *El ruido como agente contaminante* organizado por el Ayuntamiento de Zaragoza y la Mutua de Accidentes, diciendo que «España es el país de Europa que registra el mayor índice de ruido y el segundo del mundo, después de Japón (...) Estos datos fueron expuestos por Fernando Fuentes, de la Dirección General de Medio Ambiente» (Ortega, 1987); lamentablemente no está disponible en Internet la ponencia mencionada (Fuentes, 1987), por lo que no se puede corroborar lo que ahí se dice, pero sí se podría decir que el nacimiento del mito 'España es el país más ruidoso después de Japón' fue en abril de 1987.

Otro de los informes de la OCDE, al que generalmente se alude en los medios como fuente de datos, es uno de 1991 titulado *Lutter contre le bruit dans les années 90*, que al igual que el de 1986 tampoco se mencionan ciudades y mucho menos presenta un ranking 'de ciudades ruidosas', sino que se trata de un resumen de la lucha contra el ruido en seis países: Alemania, Australia, Francia, Japón, Países Bajos y Suiza (OCDE, 1991). Los autores buscaron exhaustivamente en los repositorios digitales de la OCDE, tanto de los documentos vigentes como aquellos dados de baja, y hasta la fecha no han encontrado ninguno que mencione ese 'supuesto ranking' de ciudades ruidosas.

10. Conclusiones

Parafraseando a Insúa en que «siempre conviene ser el primero en algo», los autores consideran que es probable que algunas personas ya conocieran las menciones en la prensa del siglo XIX y XX referentes a que 'Madrid es la ciudad más ruidosa del mundo'. Se preguntan si lo anteriormente mencionado, sumado a la existencia de la denominación a dicha ciudad como Estruendópolis, porque es más 'terrenal' ubicar una ciudad como ruidosa que un país entero, ¿Pudo haber contribuido al inconsciente colectivo de la prensa, congelado en el tiempo, para decir que 'Madrid es la ciudad más ruidosa después de Tokio', en vez de mencionar a España y Japón? Las motivaciones que tuvo y tiene la prensa en decir que 'Madrid está entre las ciudades más ruidosas del mundo', mantienen dicha falacia equivocadamente como si fuese un dogma que no puede ser discutido.

A la gente le basta el *Ipse dixit* sin poner las fuentes de información en discusión, esto se entiende como la falta de capacidad de quien interpreta un texto para comprenderlo en el contexto en el cual fue escrito, de esa manera los medios de comunicación construyeron un mito y una falsa leyenda sin corroboración, en acumulación con la necesidad de presentar noticias impactan-

tes –y tomando palabras de Perera Melero escritas en esta revista– se creó esa falsa leyenda de que 'Madrid es la más ruidosa después de...'

En definitiva, que todavía en 2022 se continúe tomando como verosímil una nota que nació con humor e ironía en 1890 –como si eso tuviese grado de verdad– primero se debería tener en cuenta que Cavia mordazmente se refirió a Madrid como 'la ciudad más ruidosa– hace más de 130 años, respondiendo eso a la percepción subjetiva que tenían las personas de esa época frente a los nuevos ruidos, cuando Madrid estaba dejando de ser una pequeña ciudad para convertirse en una gran urbe y capital de España. Es pertinente concluir con que nuestro colega Plácido Perera en 2011, sesudamente, analizó con datos objetivos que no es posible comparar el ruido entre ciudades.

Los autores presentaron este artículo bajo una única agenda de pura investigación de Historia de la Ciencia, de ninguna manera están 'produciendo un informe' que argumente en contra del periodismo o los medios de comunicación, sino todo lo contrario, intentan proveerles datos históricos que colaboren a desmitificar una falsa leyenda, un mito.

Los autores agradecen a revisores y editores de la *Revista de Acústica* de la SEA, por la publicación de este artículo. Además, declaran que no existen conflictos de intereses (siempre se mencionan las fuentes de datos), y tanto la investigación como la redacción del artículo no tienen financiamiento externo, ambos fueron realizados en su tiempo libre.

11. Referencias

Nota: A los artículos del diario ABC® o de *La Vanguardia*® se accede únicamente desde sus sitios web, introduciendo en su buscador la fecha mencionada.

- [1] ABC (1895) El campeonato de España. Diario ABC, 12/10/1895.
- [2] Antoñito (1890) Un rato de charla. El Camarada. Semanario infantil ilustrado. Año III N° 124, 15/03/1890, Barcelona. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=5d169c40-0c8c-4c38-9d56-92449879be2d>
- [3] Arroyo de la Fuente, M. A. (2006) *Iconografía de las divinidades alejandrinas*. Universidad Complutense Madrid. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/1888-2019-12-01-Divinidades%20alejandrinas.pdf>
- [4] Blasco Soler, E. (1898) La ciudad del ruido. Revista Blanco y Negro, diario ABC, 26/11/ 1898.
- [5] Cavia y Lac, M. F. de (1890-a) Estruendópolis. El plato del día. El Liberal, 28/02/1890. <https://heme->

rototecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=e137ba0d-92d5-4d67-8e67-c219dd30cbc6&page=2

- [6] Cavia y Lac, M. F. de (1890-b) Más sobre Estruendópolis. El plato del día. El Liberal, 03/03/1890. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=40d6c543-ac8f-44d1-b5a2-ee8300daa250&page=2>
- [7] Editorial (1924) El tráfico de Madrid. Editoriales. Diario El Sol, 12/11/1924. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=292260fc-edcb-4f1f-8555-c601661e7d08&page=5>
- [8] España (1852) Ópera de los pobres. Gacetilla. La España, n.º 1.214, 14/3/1852. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=bd2c1ce5-3606-4ffc-bc7a-7e63df6d97ff&page=3>
- [9] España (1865) *Variedades. Revista de Madrid*. La España N.º 5.686, 01/02/1865, Madrid. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=24926a8e-9cc9-4464-b3cf-15a8b17560bb&page=4&search=ruido>
- [10] Fuentes Bodelón, F. (1987) Política ambiental sobre ruido en el ámbito internacional. El ruido como agente contaminante. Congreso Nacional (6, 7 y 8 de abril de 1987). Ayuntamiento de Zaragoza y La Mutua de Accidentes de Zaragoza. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=379163>
- [11] García Ladevese, E. (1885) *Notas de viaje. Regreso á la patria*. El Liberal 22/12/1885, Madrid. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=5c41324a-1be3-4f48-9dcd-72f6a468e5a7>
- [12] González, J. (1987) El ruido, algo más que la principal causa de sordera. Ciencia y futuro. Diario ABC, 18/03/1987.
- [13] Ilustración (1849) Yo y mis vecinos. La Ilustración. Periódico Universal, 6/10/1849 Madrid. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=acfa5502-6df4-44df-aca7-026a01ba9150&page=3&search=ruidosos>
- [14] Ilustración (1854) *Pianópolis*. La Ilustración. Periódico Universal, 19/6/1854 Madrid. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=ed92663a-48a7-4805-8770-e3416c3ba95a&page=7>
- [15] Insúa, A. (1924) La ciudad más ruidosa. Perspectivas. Diario La Voz, 18/11/1924. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=968a8815-d8b5-4461-96ae-909c267795ef>
- [16] Lander (n.d.) Argumentum ad Ignorantiam: The Argument from Ignorance. Introduction to Logic. *Lander University*. <https://philosophy.lander.edu/logic/ignorance.html>
- [17] López Núñez, Á. (1914) El mundo silencioso: Ensayos para la vulgarización de los problemas de la sordomudez. Madrid: Imprenta Hispano-Alemana. <https://bibliotecadigital.jcyl.es/es/consulta/registro.do?id=5442>
- [18] Montano, W. A. (2020). The First International Anti noise Conventions/Congresses: 1895 1912. *Noise/News International* V2.8(4) pp 14 19 http://noise-newsinternational.net/wpcontent/uploads/2021/01/NNI_284.pdf
- [19] Montano Rodríguez, W. A.; Martínez Pascal, M. N. (2021). Los primeros grupos anti-ruido con sus campañas por la lucha de un «Día sin ruido». *Revista ECOS*, 2(1), 12-19. <https://doi.org/10.36044/EC.V2.N1.2>
- [20] Nación, La (1927) *Poco más de nada*. Diario La Nación, 16/09/1927. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=814dae10-8a2b-460a-97b7-6814d6483ffb>
- [21] OCDE (1991) Lutter contre le bruit dans les années 90. *[Rapport de recherche] Organisation de coopération et de développement économiques*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01510605/document>
- [22] OECD (1986) Fighting noise: Strengthening noise abatement policies. Annex I- The impact of noise: Assessment and forecasts. 2- The present state of the noise environment. A- Data available. Paris. <https://archive.org/details/fightingnoisestr0000unse/page/n3/mode/2up>
- [23] Ortega, J. (1987) España es el país europeo con mayor índice de ruido. Diario El País, 12/04/1987. https://elpais.com/diario/1987/04/13/sociedad/545263209_850215.html
- [24] Perera Melero, P. (2011) Falsa leyenda: Madrid es la ciudad más ruidosa después... *Revista de Acústica* Vol. 42, N.º 1 y 2. Año 2011. <http://www.sea-acustica.es/index.php?id=523>
- [25] Pulido Fernández, Á. (1892) Fonofobia. El Álbum Ibero Americano n.º 11 p.4, 22/3/1892, <http://hemerotecadigital.bne.es/issue.vm?id=0003033620&page=2&search=fonofobia&lang=es>
- [26] Sol, El (1924)
- [27] Vanguardia, La (1890) Aleluya. Diario La Vanguardia, 05/04/1890.
- [28] Velaz de Medrano Álava, E. (1849) La España n.º 434. 9/9/1849. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=f4408179-4d98-4e2b-8874-b3720c395852&page=2>

CESVA

NOISE MEASURING INSTRUMENTS SINCE 1969

SONÓMETRO **SC250** CLASE 1 TOUCH & CLOUD

*Quando el sonido
se puede tocar*



info@cesva.com
www.cesva.com



Pantalla
táctil
a color



Rango
único de
medición



Sonómetro
ampliable a
1/3 de octava



WIFI
Bluetooth
para App



Con memoria
y ficheros
en CSV



Curvas NC/NR
y Backerase de
los últimos 10 s

PERFECTAMENTE SIMPLE

SIMPLEMENTE PERFECTO



> Pantalla táctil a color



> Rango único de medición



> Sonómetro ampliable a 1/3 de octava

SONÓMETRO **SC202** CLASE 2 TOUCH & CLOUD

Quando el sonido se puede tocar

PERFECTAMENTE SIMPLE
SIMPLEMENTE PERFECTO



> WIFI + Bluetooth para App



> Con memoria y ficheros en CSV



> Curvas NC/NR y Backerase de los últimos 10 s



CESVA

NOISE MEASURING
INSTRUMENTS SINCE 1969



info@cesva.com
www.cesva.com

Influencia de los materiales de fabricación de boquillas de trombón en su calidad acústica



Romina Del Rey Tormos¹, Miguel Ángel Peydro Rasero², Christian González Ferrer³, Jesús Alba Fernández⁴

¹ Departamento Física Aplicada. Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València. roderey@fis.upv.es.

² Departamento Ingeniería Mecánica y Materiales. Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València. mpeydro@upv.es

³ Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València. chgonfer@epsa.upv.es

⁴ Departamento Física Aplicada. Escola Politècnica Superior de Gandia. Universitat Politècnica de València. jesalba@fis.upv.es.

PACS: 43.75.Fg

Resumen

La boquilla de un instrumento es una parte fundamental para el instrumentista. No solamente es importante la elección de la gama del instrumento, sino, puede ser aún más importante la elección de la boquilla. Una de las decisiones a tomar por todo músico intérprete es el material del que está hecho su boquilla, y el abanico de posibilidades, cada vez es más amplio en los instrumentos de viento metal. Aunque las boquillas de trombón suelen fabricarse con metales, recientemente existe una corriente de fabricación con otros materiales alternativos. En este trabajo se estudiarán diferentes boquillas de trombón, elaboradas con distintos materiales: Ácido Poliláctico (PLA), Nailon, Aluminio y Latón.

En el trabajo se presenta un estudio de diferentes propiedades mecánicas de los materiales, comparando la sonoridad del instrumento. Se realiza el análisis de armónicos en cámara anecoica, para evaluar y comparar entre sí frecuencias de armónicos, energía y anchura de los picos, desde las notas con frecuencias más graves hasta las más agudas. Con estos datos, se obtiene información del efecto que tiene en la ejecución de notas la elección de distintos materiales en la fabricación de boquillas de trombón.

Palabras clave: calidad acústica, trombón, materiales, armónicos.

Abstract

The mouthpiece of an instrument is a fundamental part for the instrumentalist. Not only is the choice of instrument range important, but the choice of mouthpiece can be even more important. One of the decisions to be made by every musician is the material of which his mouthpiece is made, and the range of possibilities is becoming wider and wider in brass instruments. Although trombone mouthpieces are usually made of metal, recently there is a trend of manufacturing with other alternative materials. In this work, we will study different trombone mouthpieces, made with different materials: Polylactic Acid (PLA), Nylon, Aluminum and Brass.

The work presents a study of different mechanical properties of the materials, compared with the sonority of the instrument. Harmonic analysis is performed in an anechoic chamber, to evaluate and compare harmonic frequencies, energy and width of the peaks, from the lowest to the highest frequency notes. With these data, information is obtained on the effect that the choice of different materials in the manufacture of trombone mouthpieces has on the execution of notes.

Keywords: acoustic quality, trombone, materials, harmonics.

1. Introducción

La boquilla de un instrumento musical, en este caso de un trombón, es una de las partes más importantes del instrumento. Por este motivo el tiempo y esfuerzo que se invierte por un músico en la elección de su boquilla puede ser elevado. A través de la boquilla, el músico genera

el sonido mediante la vibración de los labios, ya que la boquilla se apoya contra los labios del ejecutante (o intérprete), por eso es esencial que la boquilla se acomode a cada labio en particular.

Las boquillas de trombón clásicas consisten en una copa de metal, generalmente de latón. En estos instru-

mentos es posible cambiar de nota sin hacer uso de nada más que de la propia boquilla, modificando la velocidad del aire y la presión de apoyo sobre ella.

Son varios los criterios a tener en cuenta para la elección de una boquilla: el diseño, características físicas y anímicas de cada intérprete, tipo de música a interpretar (jazz, música de cámara, etc.). Este trabajo se centra en el uso del trombón en la música de banda.

En la figura 1 se detallan las partes de una boquilla de trombón [1].

El diámetro interior, grosor del borde, contorno del borde y borde interior forman el aro o anillo. En el diámetro interior es donde el intérprete hace vibrar los labios. Estos labios reposan sobre el grosor del borde. La zona donde se concentra la presión de los labios contra la boquilla es en el contorno del borde y en el borde interior es donde los labios vibran. La copa de la boquilla del trombón se define por la profundidad y por su forma (forma tipo C o forma tipo V). El grano se puede entender como el regulador de presión y cantidad de aire que llega al instrumento. Su anchura se relaciona con la columna de aire y puede llevar al intérprete a modificar la fisiología de la garganta para tocar con comodidad. El cono interior es la parte interna de la boquilla, que comprende desde el grano hasta la salida de la boquilla. Su diseño es complejo y sus dimensiones afectan al registro. Su diámetro influye significativamente en el timbre y en la resistencia. El tudel exterior es la parte de la boquilla que encaja con el receptor del instrumento.

El diseño de una boquilla influirá en la forma de tocar el trombón, y puede que también en su sonoridad. Existen trabajos que estudian la influencia del diseño en otros instrumentos de viento-metal [2,3], pero en este trabajo nos centramos en la influencia no en el diseño, sino en el material de fabricación de estas boquillas de trombón, y de su influencia en la calidad acústica.

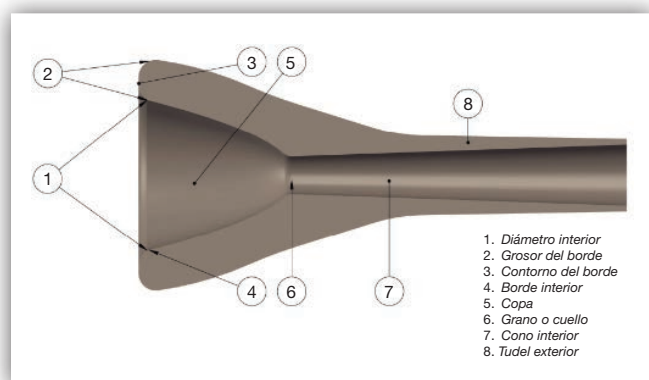


Figura 1. Sección longitudinal de una boquilla de trombón. Detalle de cada una de sus partes.

2. Características de los materiales

Se decide fabricar 4 boquillas de trombón idénticas en diseño y de 4 materiales diferentes, estos son: Ácido Poliláctico (PLA), Nailon, Aluminio y Latón. El motivo de la elección de estos materiales, así como detalles del diseño, se pueden encontrar en [4]. En la figura 2 se pueden observar estas 4 boquillas.

La elección de los materiales para la fabricación de las boquillas de trombón ha estado marcada principalmente por dos factores: las propiedades físicas de los materiales y la disponibilidad del material desde los departamentos implicados en este trabajo. Se pueden encontrar detalles del análisis económico, durabilidad y otros factores en [4]. Los materiales elegidos han sido:

- Ácido Poliláctico (PLA): Este material también ha sido el utilizado en la fabricación de los prototipos previos a las boquillas de trombón, ya que es el material comúnmente utilizado en las impresoras 3D.
- Nailon (PA-6): Este material presenta una ventaja frente a los otros elegidos, y es que existen personas con alergia al metal, y cada vez es más extensiva la utilización de boquillas de este material. Además, su peso es menor que el de los metales, por lo que ofrece comodidad al músico.
- Aluminio: Se disponía de stock suficiente en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Alcoy, que es donde se han fabricado las boquillas, de este material. El tipo de aluminio utilizado (AW-2030) cuenta con una baja densidad, por eso también se ha decidido utilizarlo.
- Latón: es el material más utilizado comúnmente para la elaboración de boquillas de instrumento viento-metal. El latón utilizado en este proyecto ha sido facilitado por un lutier.

En la tabla 1 se detallan algunas de estas propiedades de los 4 materiales utilizados en este trabajo.



Figura 2. Resultado final de la fabricación de las 4 boquillas.

Tabla 1. Algunas características de los materiales utilizados para la fabricación de boquillas.

Material	Ácido Poliláctico (PLA)	Nailon (PA-6)	Aluminio (L-3121)	Latón (C-6440)
Densidad (kg/m ³)	1240	1120-1150	2850	8400
Precio (€/Kg)	2.57-3.13	1.91-2.38	2.96	10.4
Módulo de Young (GPa)	3.3-3.6	1.3-1.6	71-73	93
Coefficiente de Poisson	0.38-0.40	0.34-0.36	0.33	0.35
Límite elástico (MPa)	55-72	40-50	250	138
Resistencia a tracción (MPa)	47-70	51-62	370	413
Elongación (%)	3-6	41-59	12	30
Punto de fusión (°C)	145-177	227-238	510-640	890
Temperatura de vitrificación (°C)	52-60	44-56		
Conductividad térmica (W/m °C)	0.13-0.16	0.26-0.27	140	121
Calor específico (J/kg °C)	1180-1210	1590-1650	909	380

3. Medidas realizadas

La medida y posterior análisis de la calidad acústica de las 4 boquillas de trombón se lleva a cabo con grabaciones en la cámara anecoica de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universitat Politècnica de València. Se evalúa a un mismo intérprete, con un mismo trombón, pero con las 4 boquillas: PLA, Nailon, Aluminio y Latón. Los registros se llevan a cabo con un analizador de frecuencias Bruel&Kjaer 2270 y con un micrófono también Bruel&Kjaer tipo 4189. El intérprete se sitúa en una esquina de la cámara anecoica y el analizador a 2 metros de éste. La configuración del espectro de medida se decide en pruebas previas al estudio, para asegurarnos que la amplitud en frecuencia, la resolución y la longitud del registro es la adecuada para poder analizar

un espectro lo suficientemente amplio, y acorde con el registro del trombón. Se decide analizar desde un FA2 hasta un FA4. En la figura 3 se muestra una imagen de uno de estos registros en cámara anecoica.

Todos los datos registrados han sido tratados por códigos propios en Matlab que nos proporcionan información de: los registros de cada nota con el espectro de cada armónico para cada una de las 4 boquillas, localización de los picos de estos armónicos y amplitud/calidad de cada pico.

A continuación, se muestran medidas realizadas y su procesamiento para centrarse en el análisis de armónicos. Aunque todo el estudio se ha realizado para las 15 notas comprendidas entre el FA2 y el FA4, se muestran sólo los resultados de 9 notas, distribuidos en 3 registros

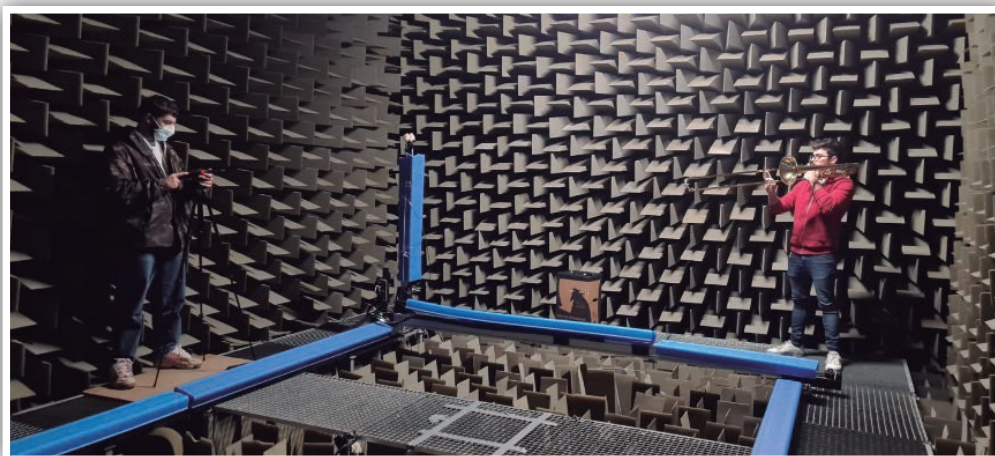


Figura 3. Ejemplo de registro en cámara anecoica de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universitat Politècnica de València.

distintos: registro grave (FA2, SOL2, LA2), registro medio (MI3, FA3, SOL3) y registro agudo (RE4, MI4, FA4). Con esta distribución se pretende facilitar al lector la lectura de los resultados. En las figuras 4, 5 y 6 respectivamente, se muestran los registros de los espectros grave, medio y agudo.

Se representan en las siguientes figuras las frecuencias centrales de los armónicos de las notas elegidas para representar los resultados de este trabajo. En la fi-

gura 7 se representan las notas de los registros graves (FA2, SOL2 y LA2), en la figura 8 se representan las notas de los registros medios (MI3, FA3 y SOL3), y en la figura 9 se representan las notas de los registros agudos (RE4, MI4 y FA4).

En las figuras 10, 11 y 12 se representan para registros graves, medios y agudos, los valores del ancho de banda de cada armónico en función del material de la boquilla. Y en las figuras 13, 14 y 15 se representan,

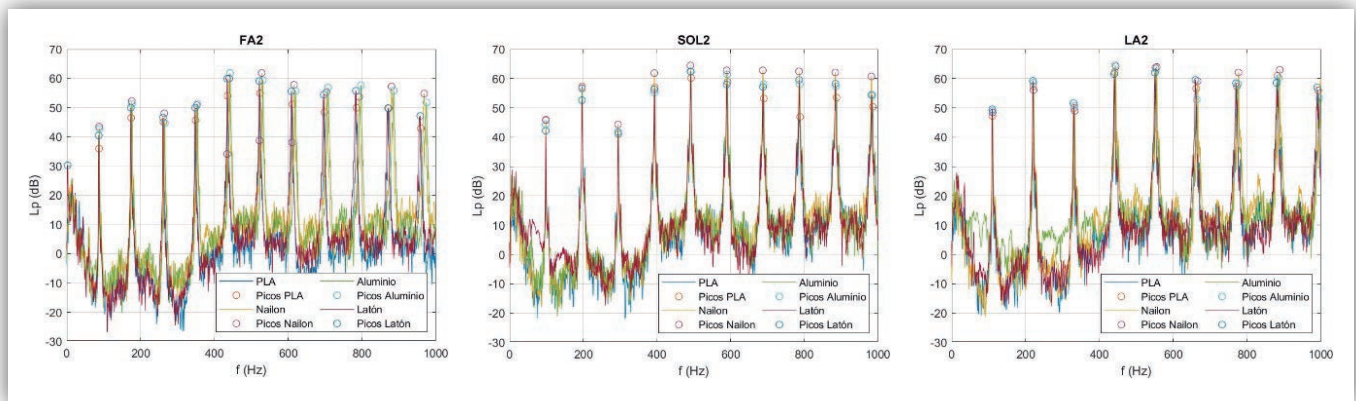


Figura 4. Registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave) con las diferentes boquillas fabricadas con PLA, Nylon, Aluminio y Latón.

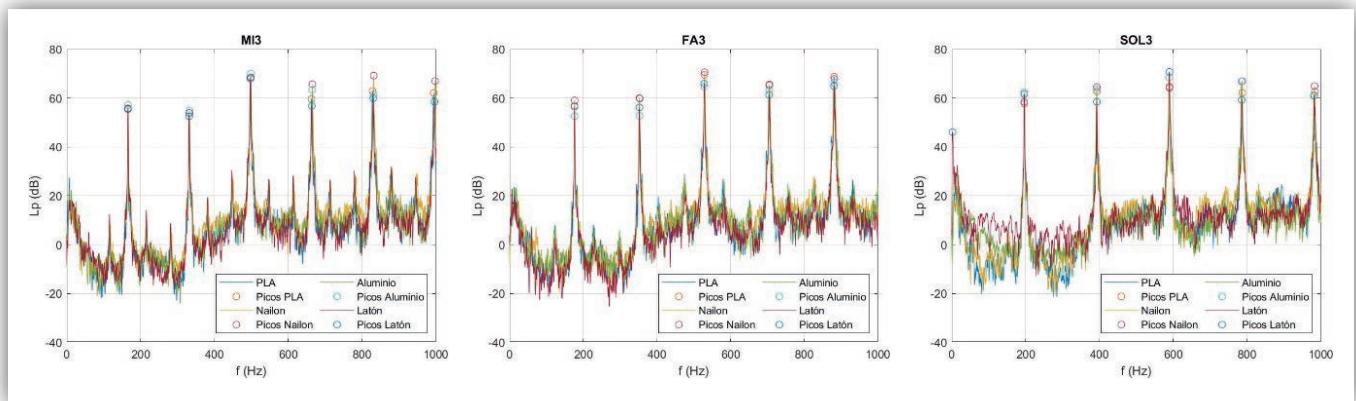


Figura 5. Registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio) con las diferentes boquillas fabricadas con PLA, Nylon, Aluminio y Latón.

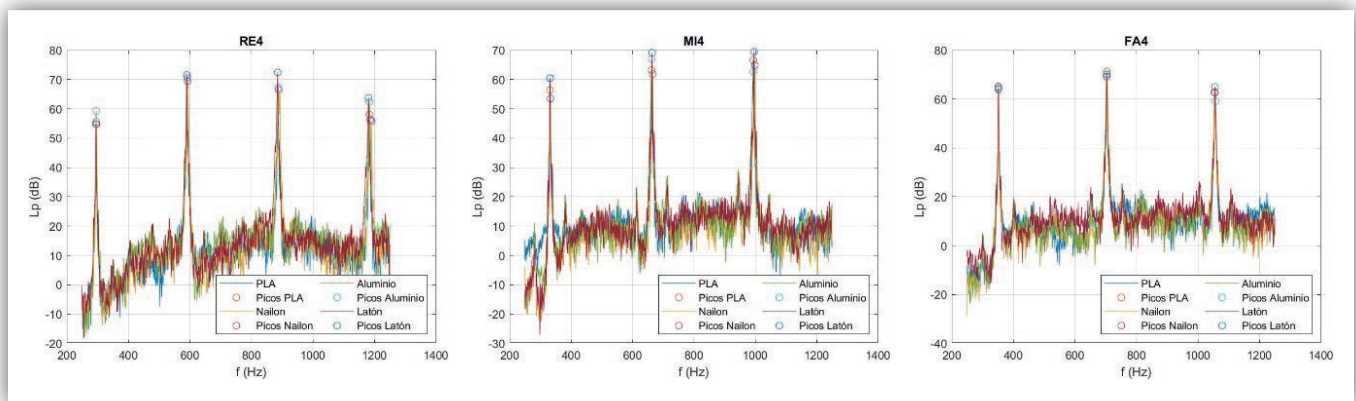


Figura 6. Registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo) con las diferentes boquillas fabricadas con PLA, Nylon, Aluminio y Latón.

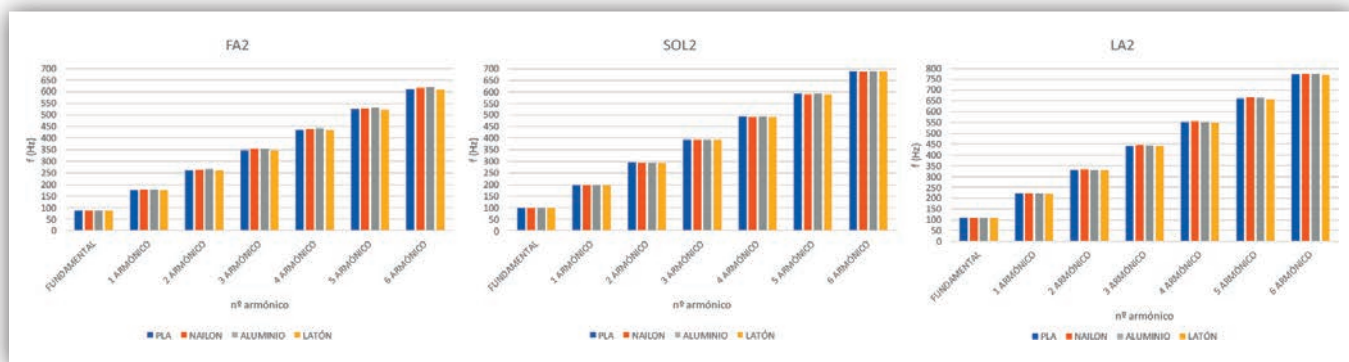


Figura 7. Posiciones (frecuencia, Hz) centrales de diferentes armónicos en los registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave).

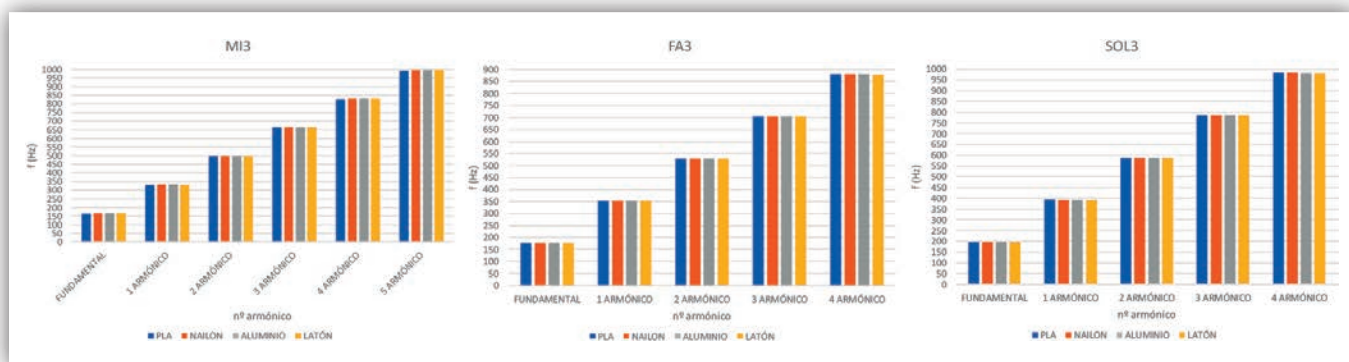


Figura 8. Posiciones (frecuencia, Hz) centrales de diferentes armónicos en los registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio).

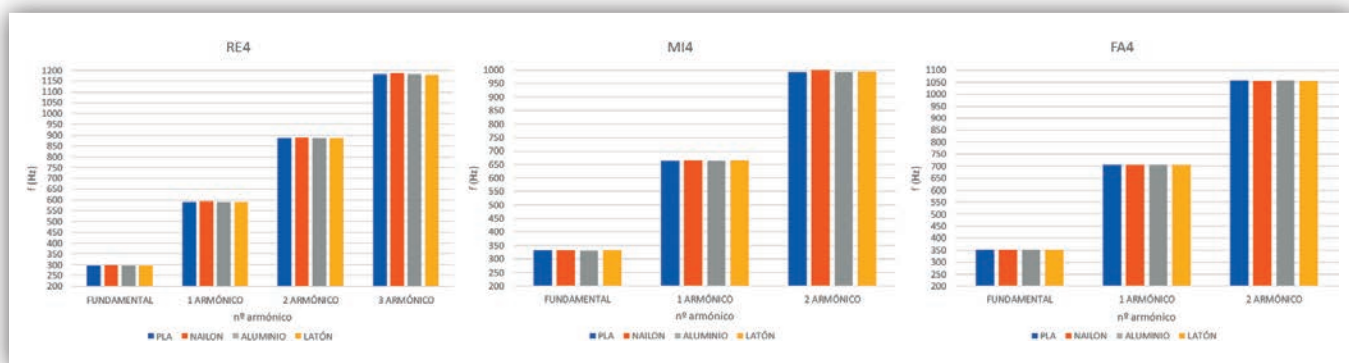


Figura 9. Posiciones (frecuencia, Hz) centrales de diferentes armónicos en los registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo).

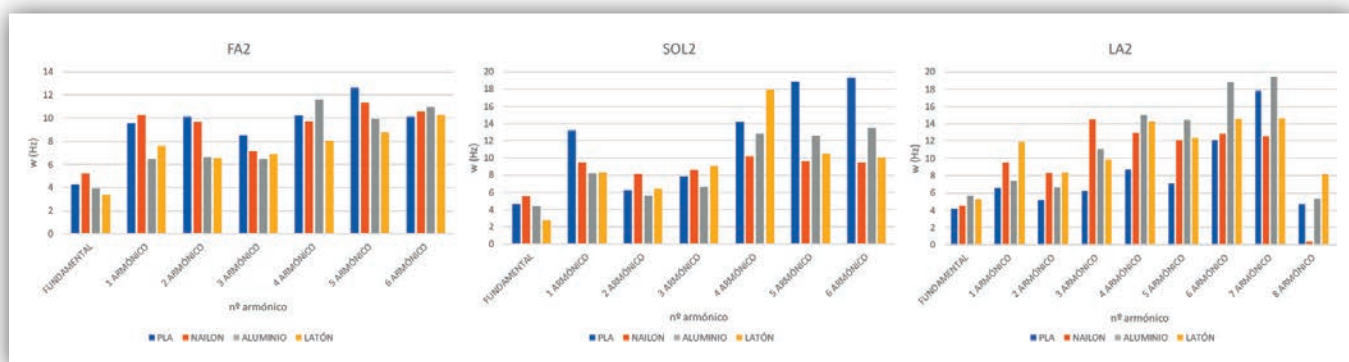


Figura 10. Ancho de banda de diferentes armónicos en los registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave).

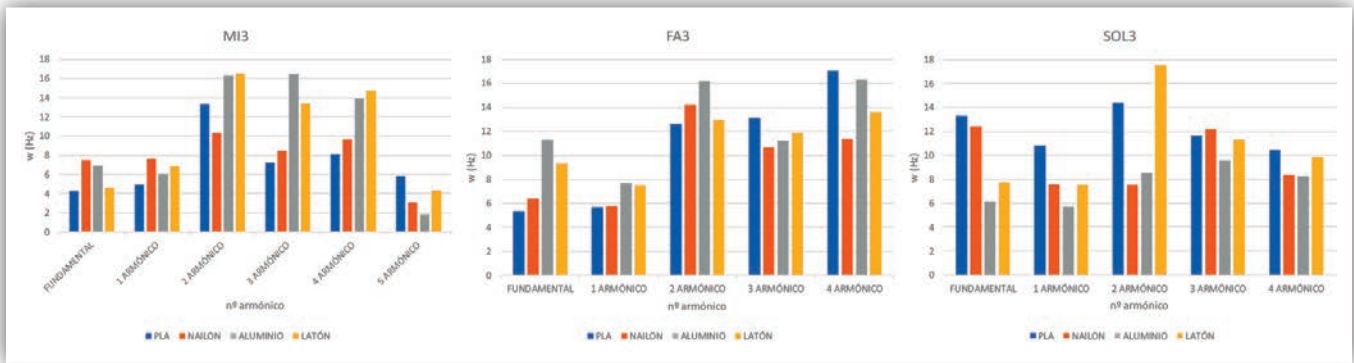


Figura 11. Ancho de banda de diferentes armónicos en los registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio).

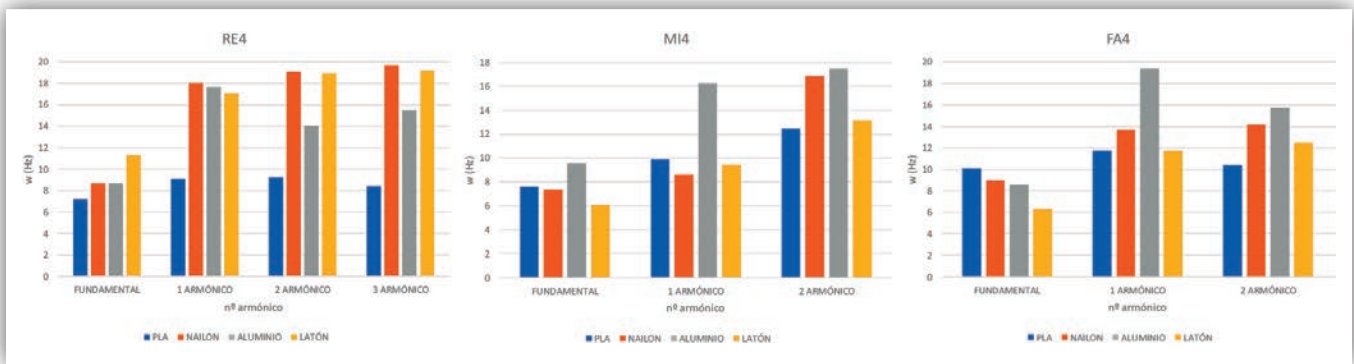


Figura 12. Ancho de banda de diferentes armónicos en los registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo).

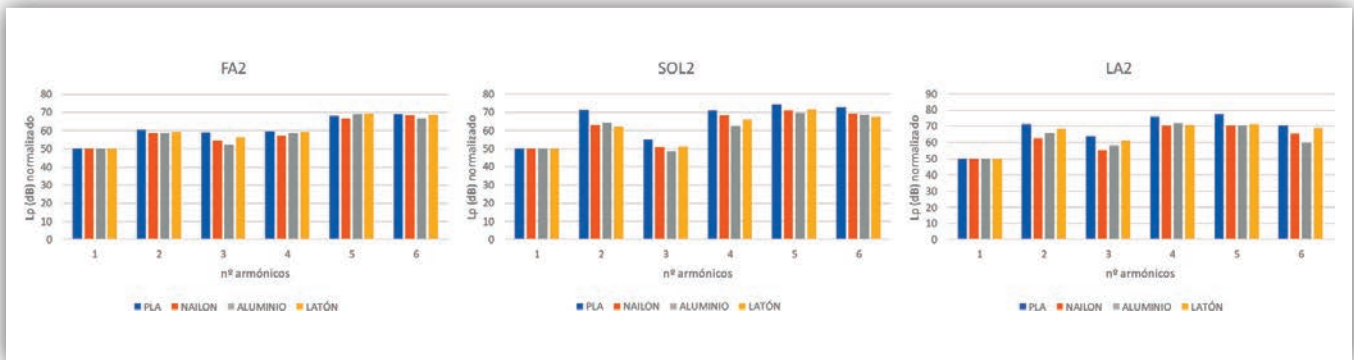


Figura 13. Lp (dB) de diferentes armónicos en los registros de las notas FA2, SOL2 y LA2 (espectro grave).

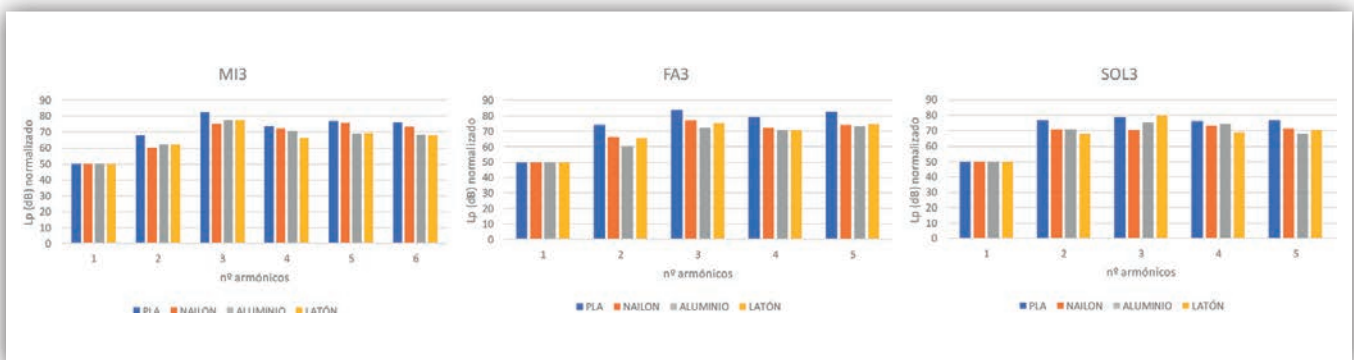


Figura 14. Lp (dB) de diferentes armónicos en los registros de las notas MI3, FA3 y SOL3 (espectro medio).

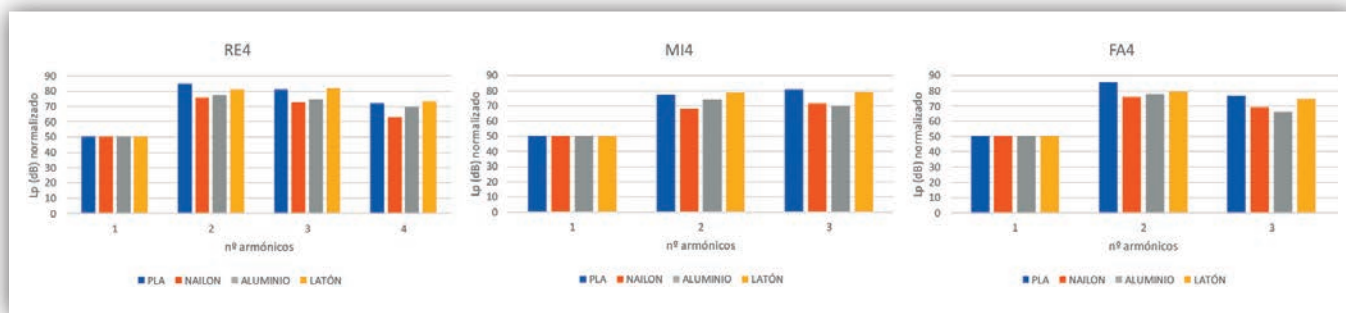


Figura 15. Lp (dB) de diferentes armónicos en los registros de las notas RE4, MI4 y FA4 (espectro agudo).

también respectivamente para registros graves, medios y agudos, los niveles de presión sonora (Lp (dB)), de estos armónicos. Para facilitar la lectura, se han normalizado respecto al primero.

4. Conclusiones

En este trabajo se presentan medidas y análisis acústico de boquillas de trombón fabricadas con diferentes materiales, que tienen propiedades mecánicas distintas. Las medidas se realizaron en la cámara anecoica de la EPS Gandía, y el intérprete es profesional experimentado.

Se observa que la afinación del trombón no depende del tipo de material de la boquilla, ya que todos los registros presentan una similitud en las frecuencias centrales de los distintos armónicos. Se han estudiado estos datos de forma estadística y las coincidencias son del 98%. Esto se refleja en las figuras 7 a 9.

Se analiza también el ancho de banda de cada armónico. Con menor ancho de banda, se podría asociar un factor de calidad mayor, y se podría considerar con menos pérdidas. Puede verse, a rasgos generales, valorando el conjunto de armónicos después del fundamental, que la boquilla fabricada con PLA presenta de media anchos más grandes, lo que indica pérdidas mayores. Después se encontraría el Nailon, y, por último, los otros dos materiales. Este efecto, además se deforma con la frecuencia (figuras 10 a 12), lo que no deja sacar conclusiones claras de este parámetro.

También se muestran los valores normalizados (respecto a la fundamental) del nivel de presión sonora, en las figuras 13 a 15. De esta manera, se puede comparar el timbre que se tiene para cada nota, en función de la boquilla usada.

Es de destacar que el timbre de un instrumento se conforma por la suma de los armónicos y dependiendo de la intensidad con la que un armónico destaque va a tener un sonido más oscuro (menos armónicos con frecuencia alta) o más brillante (más armónicos con frecuencia alta).

Al llegar a este punto, se advierte que la boquilla de PLA, fabricada en impresión 3D, no es maciza, sino que tiene espacios huecos en la copa de la boquilla, lo que se piensa hace que las medidas no sean comparables con el resto de boquillas. Hay un cambio en su morfología interna. Se muestra una sección que lo confirma (figura 16).

Respecto al resto, el latón reproduce los armónicos de las frecuencias graves con una mayor intensidad que el resto, siendo el nailon y el aluminio prácticamente similares y produciendo estos dos un sonido más oscuro. Se puede afirmar que el latón tiene un sonido más brillante, pero entre el Nailon y el Aluminio, dependiendo del armónico uno es más brillante que el otro, por lo que no se puede concluir que uno sea más brillante que el otro.

En futuros trabajos se plantea el estudio del efecto del intérprete. El intérprete, sobre todo el profesional experi-



Figura 16. Diferentes secciones transversales de la boquilla de PLA.

mentado, siempre tiende a buscar el sonido de cada nota que tiene como modelo. El cambio entre intérpretes profesionales, o amateurs, seguramente nos puede llevar a conclusiones sobre la estabilidad del timbre en función de la boquilla en el caso de profesionales, o a que en amateurs (que no tienen una referencia de la nota tan clara) no se note tanto el efecto del material de la boquilla.

5. Referencias

- [1] Doctoral. Programa de maestría en música. Universidad de Panamá 2012.
- [2] Tarrazó Serrano, D; Castiñeira Ibáñez, S; Rubio C.; Sánchez Aparisi, E. Estudio comparativo de la calidad tímbrica de una trompeta utilizando boquillas clásicas de metal y de PLA impresas en 3D. 48º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica 2017. A Coruña, 2017.
- [3] Alba Fernández, J.; del Rey Tormos, R.; Bertó Carbó, L.; Ronda Sampayo, A.; Comparativa de armónicos en la reproducción de notas con diferentes trompetas. 42º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica 2011. Cáceres, 2011.
- [4] González Ferrer, C.; Diseño y fabricación de boquillas de trombón con diferentes materiales. Trabajo Final de Grado. Grado en ingeniería mecánica. Escuela Politécnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València, 2022.



Envíese a: **Revista Española de Acústica - SEA**
 e-mail: secretaria@sea-acustica.es
<http://www.sea-acustica.es>

Estoy interesado en:

- **ASOCIARME A LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ACÚSTICA**
- **SUSCRIBIRME A LA REVISTA DE ACÚSTICA**

Apellidos: _____ Nombre: _____

Dirección para correspondencia: _____

C.P.: _____ Ciudad: _____ Provincia: _____

Tel.: _____ Fax: _____ e-mail: _____

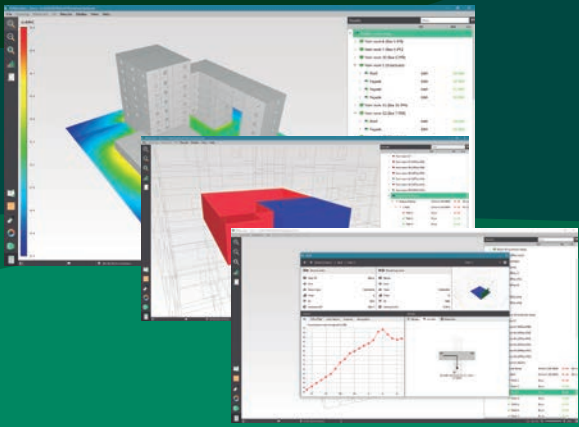
Centro de trabajo: _____

Puesto de trabajo: _____

Dirección: _____

C.P.: _____ Ciudad: _____ Provincia: _____

Tel.: _____ Fax: _____ e-mail: _____



SOUND OF NUMBERS

Desarrolladores y proveedores de tecnología para ingeniería acústica



www.acousticware.com

Crónica 53º Congreso Español de Acústica -Tecniacústica 2022

Después de dos años en los que, debido a la pandemia, TECNIACÚSTICA no se ha podido celebrar de manera presencial, los acústicos ibéricos, y nuestros colegas internacionales, hemos tenido la oportunidad de encontrarnos en el 53º Congreso Español de Acústica -Tecniacústica 2022 que se ha celebrado en el Centre de Congressos "Ciutat d'Elx" (Elche) los días 2, 3 y 4 de noviembre de 2022, organizado por la Sociedad Española de Acústica (SEA), la Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA) y la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), con la colaboración del Ayuntamiento de Elche y la Generalitat Valenciana y el auspicio de la International Commission for Acoustics (ICA) y la European Acoustic Association (EAA).

Tecniacústica 2022- ha incorporado el XII Congreso Ibérico de Acústica, así como el European Symposium on NVH in Electric Vehicles.

Como es tradicional, en paralelo al congreso se ha celebrado la Exposición de Productos y Servicios en Acústica y Vibraciones, EXPOACÚSTICA 2022, en la que han participado las siguientes 14 empresas del sector: AAC Centro de Acústica Aplicada, S.L.; AMC Mecanocau-



cho; Audiotec Ingeniería Acústica y Control del Ruido; CDM Stravitec; HEAD ACOUSTIC GmbH; Hottinger Brüel Kjaer Iberica S.L.; IDEATEC Advanced Acoustic Solutions; IAG Ingeniería Acústica García Calderón S.L.L.; ISINAC Acoustics World S.L.; SAES. Sociedad Anónima de Electrónica Submarina; Saint-Gobain Isover Ibérica, S.L.; Sound of Numbers S.L.; Sto SDF Ibérica SLU; Svantek España S.L.

Como novedad, y con objeto de que Tecniacústica 2022 ofrezca un valor añadido a la sociedad en general, se han programado diversas actividades de acceso libre. Por una parte, se ha desarrollado un Workshop sobre Clasificación Acústica de Edificios, en el que se han analizado los desafíos y las oportunidades en este ámbito propiciadas por la reciente publicación de la norma UNE 74201:2021 y en el que han



participado como ponentes Amelia Romero Fernández del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), y Carmen Carro Rejas de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).

Tras las ponencias, se mantuvo un debate/mesa redonda titulada *Esquema de clasificación de las prestaciones acústicas, valoración de los agentes de la edificación*, moderado por Ana Espinel, Directora General de Audiotec Ingeniería Acústica, y con la participación de Carlos Pérez – Arquitecto / Colegio de Arquitectos de Alicante CTA, Jose Luis Galán - Production area manager / Constructora Sorigué y Juan Venero – Ingeniero / Productos Acústicos.

Por otra parte, en colaboración con el Ayuntamiento de Elche y diversas empresas del sector se ha ofrecido a la ciudadanía la posibilidad de experimentar los llamados Paseos Sonoros (una excursión cuyo principal propósito es escu-



char un ambiente exponiendo nuestros oídos a todos los sonidos que nos rodean en el entorno en el que estemos). Los paseos han sido diseñados por un equipo multidisciplinar conformado por Francesc Daumal i Domènech, Arquitecto y Catedrático Emérito ETSAB (UPC Barcelona), Jerónimo Vida, Físico y profesor Titular de la Universidad de Granada, Miguel Ausejo, Dr. En Ingeniería Acústica y Vicepresidente de la SEA y Sergio Herguedas, Ingeniero eléctrico y electrónico, Máster en Ingeniería Acústica, de HEAD Acoustics. La supervisión fue realizada por Jerónimo Vida en el caso de los paseos realizados de acuerdo al método ISO 12913 de caracterización del Paisaje Sonoro y por Francesc Daumal cuando se seguía el método Daumal de escucha activa para la percepción acústica del espacio con los ojos vendados.



Además, en este congreso se ha llevado a cabo la reunión del inicio del proyecto europeo SONORA, que pretende profundizar en dos aspectos: a) Los efectos de contaminación acústica antropogénica en los ecosistemas marinos y b) las fuentes sonoras innovadoras como opción de alternativas más silenciosas y eficaces en la exploración geofísica marina convencional. Este Proyecto está coordinado por la Universidad de Alicante y respaldado por el IOC. (Intergovernmen-



tal Oceanographic Commission) formando parte de UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development .

El congreso se ha complementado con actividades sociales paralelas que han permitido disfrutar del entorno privilegiado de la ciudad de Elche, sus Patrimonios de la Humanidad, su gastronomía y su cultura.

En la ceremonia de apertura dieron la bienvenida a la ciudad y participaron de la inauguración del Congreso diversas autoridades locales y los Presidentes de las Sociedades Portuguesa y Española de Acústica, entre otros: Dña. Esther Díez Valero - Concejala de Movilidad, Tráfico y Medio Ambiente, D. Pedro Ginés Vicente Quiles – Vicerrector de Infraestructuras UMH, D. Jorge Patricio - Presidente de la Sociedad Portuguesa de Acústica, D. Antonio Pedrero - Presidente de la Sociedad Española de Acústica, D. Sergio Luzzi – Miembro del Comité Organizador del IYS2020+

y Dña. Nuria Campillo – Representante del equipo organizador UMH. Durante la ceremonia, D. Antonio Pérez López, Ex Presidente y fundador de la SEA, hizo entrega del máximo galardón otorgado por la SEA, la Caracola SEA, a D. Sergio Luzzi en reconocimiento a su larga trayectoria e implicación en diversas Sociedades de Acústicas (Italiana, EAA, ICA) y su permanente colaboración con la SEA.



Las sesiones temáticas discurrieron conforme a la dinámica prevista a lo largo de los tres días, presentándose finalmente 149 comunicaciones de las 155 comunicaciones recibidas.

Además de comunicaciones presentadas en las sesiones estructuradas, cada día se ha podido disfrutar de una magistral conferencia plenaria en la que se ha presentado el estado del arte y las aplicaciones de temas tan diversos y novedosos como son el desarrollo de nuevos materiales acústicos, la detectabilidad sonora de los vehículos eléctricos o el sonido del habla en el ámbito del diagnóstico médico.

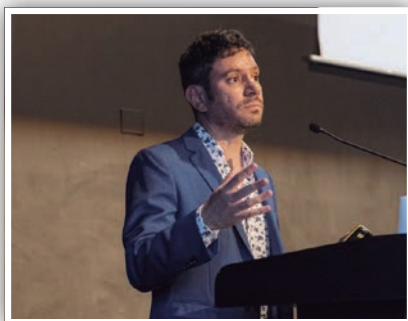
- *The advanced technical materials for noise mitigation in buildings and in the environment.* Dr. Paulo Amado Mendes. Universidad de Coimbra



- *Soluciones para mejorar la detectabilidad sonora del vehículo eléctrico en entornos urbanos.* Dr. Ramón Peral Orts. Universidad Miguel Hernández de Elche



- *El sonido del habla en la medicina del futuro.* Dr. Laureano Moro Velázquez de la Johns Hopkins University



Por lo que respecta a las actividades sociales paralelas al congreso, cabe destacar el concierto celebrado a puerta cerrada el 2 de noviembre en la Basílica de Santa

María de la Asunción de Elche, donde se pudo disfrutar de diversos fragmentos del famosísimo Misterio de Elche, considerado Obra Maestra del Patrimonio Oral e Inmaterial de la Humanidad por la UNESCO.

Finalmente, la cena de Clausura, que tuvo lugar el jueves 3 de noviembre en las instalaciones del Huerto del Cura, supuso una oportunidad adicional para el reencuentro más distendido entre todos los asistentes al congreso y acompañantes, en un entorno de especial belleza como es el Palmeral de Elche, con música en directo y con la consabida entrega de premios generosamente donados por diversas empresas e instituciones participantes en el Congreso.





Desde la intranet del Congreso se puede acceder a un excelente reportaje gráfico de los distintos momentos del Congreso, realizado por un fotógrafo profesional que nos acompañó con entusiasmo, diligencia y paciencia a lo largo de todo el congreso.

Nuevos Consejos de las Asociaciones Acústicas

International Commission for Acoustics –ICA–

En la última Asamblea General de la **INTERNATIONAL COMMISSION FOR ACOUSTICS –ICA–** celebrada durante el Congreso ICA en Gyeongju, Corea, fue elegido por votación de los representantes de las 52 Asociaciones nacionales miembros y de los 8 “International Affiliates” de ICA el siguiente **Consejo**:

Presidenta: DORTE HAMMER-SHØI, Sociedad Danesa de Acústica, [Dansk Akustik Selskab \(DAS\)](#), Dinamarca

Secretario General: ANTONINO DI BELLA (reelegido), Asociación Italiana de Acústica- [Associazione Italiana di Acustica \(AIA\)](#), Italia

Vicepresidente: JORGE PATRICIO ARENAS BERMUDEZ, Sociedad Chilena de Acústica ([SOCHA](#)), Chile

Tesorero: PETER BALAZS, Sociedad Austriaca de Acústica - [Oesterreichische Gessellschaft fuer Akustik – AAA](#), Austria

Past President: MARK FRANCIS HAMILTON, Sociedad Americana de Acústica - [Acoustical Society of America \(ASA\)](#), Estados Unidos de América

Miembros:

- AKIO ANDO (reelegido), Sociedad Japonesa de Acústica - [Acoustical Society of Japan \(ASJ\)](#), Japón
- UMBERTO BERARDI, Asociación Acústica de Canadá - [Canadian Acoustical Association \(CAA-ACA\)](#), Canadá
- CHRISTINE ERBE, Sociedad Australiana de Acústica, [Australian Acoustical Society \(AAS\)](#), Australia
- FENGHUA LI (reelegido), Sociedad Acústica de China, [Acoustical Society of China \(ASC\)](#), Republica de China.
- JORGE VIÇOSO PATRÍCIO, Sociedad Portuguesa de Acústica, [Sociedade Portuguesa de Acústica \(SPA\)](#), Portugal.

- **ANTONIO PEDRERO GONZALEZ** (reelegido), [Sociedad Española de Acústica \(SEA\)](#), España.
- JEAN-DOMINIQUE ANDRÉ MARIE POLACK, [Sociedad Francesa de Acústica, Société Française d’Acoustique \(SFA\)](#), Francia.
- SUNG HWAN SHIN, [Sociedad Acustica de Corea, Acoustical Society of Korea \(KAS\)](#), República de Corea.
- JESKO LARS VERHEY, [Sociedad Alemana de Acústica, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. \(DEGA\)](#), Alemania.
- LAURA JOSETTE WEBB (reelegida), [Instituto de Acústica, Institute of Acoustics \(IoA\)](#), Reino Unido

Nuevo Consejo Directivo de la European Acoustics Association -EAA-

El pasado mes de mayo en la Asamblea General de la **EUROPEAN ACOUSTICS ASSOCIATION -EAA-** celebrada “on-line” durante el Congreso

EAA EUROREGIO 2022 – Aalborg, Dinamarca fue elegido por votación de las 34 asociaciones nacionales de Europa el siguiente **Consejo**:

- **Presidente:** DICK BOTTELDOOREN, [Sociedad Belga de Acústica –ABAV–](#)
- **Vicepresidentes:** ARIANNA ASTOLFI, [Asociación Italiana de Acústica -AIA-](#) y ANDRE FIEBIG, [Asociación Alemana de Acústica -DEGA-](#)
- **Tesorera:** BELEN CASLA HERGUEDAS (reelegida), [Sociedad Española de Acústica-SEA-](#)
- **Secretario General:** LUÍS MANUEL CORTESÃO GODINHO, [Sociedad Portuguesa de Acústica -SPA-](#)

Nuevo Consejo Directivo de la Federación Iberoamericana de Acústica -FIA-

Durante el FIA 2020/2022 que integro al XII Congreso Iberoamericano de Acústica y al XXIX Encontro da Sobrac celebrado el pasado mes de agosto en Florianópolis, Brasil, tuvo lugar la Asamblea General de la FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DE ACÚSTICA -FIA- en la que por votación de las sociedades nacionales miembros de FIA fueron elegidos los siguientes miembros del Consejo Directivo:

- **Presidenta:** Nilda Vechiatti, Asociación Argentina de Acústica -ADAA-
- **Vicepresidentes:** Jorge Moreno Ruiz, Sociedad Peruana de Acústica -SPeA- y Dinara Xavir da Paixao, Sociedad Brasileña de Acústica -SOBRAC-
- **Secretario General:** Jaime Ramis Soriano, Sociedad Española de Acústica -SEA-



- **Tesorera:** Elizabeth González, Asociación Uruguaya de Acústica -AUA-

Consejo Asesor:

- Antonio Pérez-López, SEA
- Jorge Patricio, SPA
- Samir Gerges, SOBRAC

Ganadores de los Premios Andrés Lara y Luis de Camoens

Durante el acto de clausura del 53º Congreso Español de Acústica, celebrado en la ciudad de Elche el pasado mes de noviembre, se han entregado los Premios Andrés Lara y Luis de Camoens, premios que han sido adjudicados a: PREMIO ANDRES LARA a Mateo Cámara Largo por su trabajo titulado Acercando los autocodificadores variacionales al gran público. PREMIO LUIS DE CAMOENS a Filipe Soares por su trabajo titulado The vibroacoustic interaction in mallet percussion instruments: modelling and experiments.

Premio Andrés Lara: [Acercando los autocodificadores variacionales al gran público.](#)

Premio Luis de Camoens: [The vibroacoustic interaction in mallet percussion instruments: modelling and experiments.](#)



La belleza crea valores duraderos.

Invierte en un futuro seguro con un diseño estético.

Deseas que tus proyectos de construcción también conserven su valor en el futuro. Permitimos edificios de alta calidad, económicos y estéticos para el sector de la vivienda que son atractivos para los residentes e inversores a largo plazo. Para un buen diseño con mayor rendimiento.

Por el amor a construir. **Construir con conciencia.**



www.sto.es

sto



Construir con conciencia.



Desde **Sound of Numbers** continuamos ofreciendo novedades tecnológicas en el ámbito de la ingeniería acústica, haciendo mucho más sencillo el desarrollo laboral de los profesionales que trabajan en él.

Nueva Fuente de ruido Nor282 con BATERÍA

La fuente de ruido Nor282 garantiza el máximo nivel de presión sonora de la gama de altavoces Norsonic Nor276 (altavoz omnidireccional), Nor279 (altavoz hemidireccional) y Nor225A (altavoz direccional).



Con la **Nor282** se ha eliminado la necesidad de utilizar señales de ruido externas gracias a su **generador interno** y a la intuitiva interfaz que le permite **comunicarse inalámbricamente** con sonómetros Norsonic de última generación. A través de una **batería de larga duración**, se puede prescindir del cable de alimentación, permitiendo realizar ensayos en situaciones donde aún no esté operativa la instalación eléctrica. Gracias a la gran **pantalla a color** y al **ecualizador gráfico**, es fácil adaptar la respuesta frecuencial del altavoz a la respuesta de la sala para cumplir con los requisitos de diferencia entre bandas de 1/3 de octava adyacentes según la **ISO 10140-5** y la **ISO 16283-1**.



AQCURA: Control de calidad al final de línea

AQCURA es la solución que combina tecnología de sensores de vanguardia y aprendizaje automático avanzado para **identificar, de manera objetiva, los defectos de fabricación y determinar la calidad de un producto en una línea de producción**.

AQCURA, de Microflow Technologies, proporciona una solución de medición sin contacto, capaz de caracterizar problemas vibroacústicos complejos en un **amplio rango de frecuencias (desde 20 Hz hasta 10 kHz)**. Las propiedades únicas que ofrece el sensor de velocidad de partículas Microflow, en términos de reducción natural del ruido de fondo, en combinación con una cubierta insonorizada simple pero efectiva, permiten a **AQCURA** realizar **mediciones acústicas en condiciones de fabricación ruidosas**. **AQCURA** proporciona una solución elegante y de bajo coste en mantenimiento, adecuada para verificar productos en cualquier entorno de fabricación y, debido a su simplicidad, se puede integrar de manera eficiente en las líneas de fabricación existentes.

Nueva versión de Scan&Paint 2D

La localización de fuentes sonoras es un aspecto muy importante en el campo de la evaluación del

ruido y de las vibraciones. **Scan & Paint 2D** es una herramienta que permite visualizar campos sonoros estacionarios en un amplio rango de frecuencias. Esta nueva versión del software es ahora compatible con las mediciones que se realizan desde el propio dispositivo portátil Voyager o también se puede usar la nueva cámara IntelSense con la nueva sonda PU Gen2 para un seguimiento de la sonda en tiempo real durante el escaneo.



Distribuidores oficiales de GRAS en España y Portugal

Sound of Numbers ha iniciado un acuerdo de distribución para España y Portugal de sensores y accesorios de la prestigiosa marca **GRAS**.

Los conjuntos de **micrófonos de medición GRAS** se pueden combinar para que satisfagan las necesidades de medición de todo tipo de usuarios, independientemente de su sistema de medición y aplicación. Los conjuntos de micró-

novedades técnicas

fonos se pueden conectar directamente a todos los sistemas de medición profesionales y, como se indica, están disponibles para entradas CCP y LEMO de 7 pines.



Los **oídos artificiales GRAS y los simuladores de oído y boca** están diseñados para permitir mediciones en condiciones acústicas bien definidas. Las soluciones disponibles pueden incluir:

- Cápsulas polarizadas externamente (200 V).
- Simuladores de boca.
- Cápsulas prepolarizadas (0 V).
- Sin Cápsulas de micrófono.



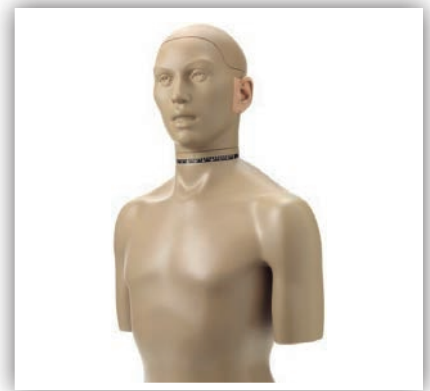
El **maniquí KEMAR** es el estándar industrial reconocido para pruebas antropomórficas in situ.

La principal diferencia entre KEMAR y los simuladores estándar de cabeza y torso (HATS) en el mercado es que KEMAR se basa en una gran investigación estadística del cuerpo humano promedio, lo que significa que KEMAR HATS tiene las mismas propiedades acústicas que un ser humano promedio, incluidos distintos rasgos faciales.

A lo largo de los años, **GRAS** ha desarrollado una gama de acceso-

rios y versiones especiales de KEMAR, lo que permite diseñar una configuración de ensayo ideal para una industria específica, ya sea para el desarrollo de teléfonos móviles de próxima generación o para el próximo superdeportivo.

Además, **GRAS** dispone de otros accesorios como kits de medición hemisféricos, sistemas de calibración, módulos de potencia y mucho más.



ELECTRÓNICA SUBMARINA

SAES



Sistemas de seguridad y defensa submarina con aplicaciones duales

Sistemas sonar y sistemas embarcados

Sistemas de procesamiento de sonoboyas

Vigilancia y protección de puertos e infraestructuras críticas

Medida de señales multi influencia submarinas

Simulación y adiestramiento

Servicios de ingeniería

Soporte al ciclo de vida



electronica-submarina.com

especialistas en sistemas acústicos submarinos

Rumore intrusivo



Authors:

Paolo Caporello – Engineer, technician competent in acoustics, he worked in various sectors acquiring a varied experience. Since 2008, first as a representative of his provincial Order, and then of the National Council of Engineers, he has participated in the regulatory work of the technical groups set up at UNI (National Standardization Body), contributing to the development of regulatory texts for the sector. Over the years he has published various articles in specialized journals.

Sergio Luzzi – Engineer, president and technical director of Vie en. ro.se. Ingegneria. Adjunct Professor of Risks from Physical Agents at the University of Florence, official technical consultant of the Court of Florence since 1999. President elect of the International Institute of Sound and Vibration and general secretary of the Acoustical Society of Italy, he deals at scientific and professional level with acoustics and noise control, with particular interest in forensic acoustics and noise problems in litigation. Author of 8

books and numerous scientific papers.

Contributions:

Giovanni Brambilla – Engineer, technician competent in acoustics, CNR researcher, is a distinguished scientist, one of the leading Italian and international experts in applied acoustics. Member of UNI Working Group 38 “Measurement and analysis of Intrusive Noise”

Andrea Cerniglia – Coordinator of UNI Working Group 38 “Measurement and analysis of Intrusive Noise” Expert acoustician, technical director of Accon Italia Srl. He has been dealing with acoustics and vibrations for over 35 years, both in the environmental and industrial fields. He is the author of numerous scientific papers.

Intrusive noise and its evaluation are among the main topics that characterize the activity of the expert in forensic acoustics. The book contains a collection of procedures that characterize the activity of the official expert consultants and the consultants of the parties in the litigation in civil courts, as they are asked to carry out assessments and appraisals on issues regarding noise pollution, damage and disturbance caused by exposure to noise, noise emissions and their tolerability.

The authors propose a correct conceptual and methodological interpretation of laws, norms and scientific references, useful to the acousticians for the evaluation of the intrusive noise entity and to the Judge for the evaluation of its tolerability, when it is introduced in the external and residential environ-

ments, in the public and private spaces, in the contexts of life and work.

Both legal and technical approaches are considered and exposed with a language that is easy to read for acousticians, lawyers and magistrates who are asked for judgments regarding noise problems.

The articulation of the volume includes case studies and scenarios, theory and examples, useful for carrying out the intrusive noise in judicial and extrajudicial contexts, with the most appropriate parameters and references to carry out the measurement and evaluation of intrusive noise and guaranteeing the protection of those who suffer from the acoustic disturbance.

Among these references, the recent guidelines of the World Health Organization, which introduced the concept of annoyance and the evidence of correlation between noise exposure and hearing and extra-auditory damage, and the recently published Italian technical standard UNI/TS 11844:2022 dedicated specifically to the measurement and analysis of intrusive noise.

The Signal Detection Theory applied to intrusive noise is described and the Detectability parameter is defined and applied in various acoustic scenarios.

The book is a very useful handbook for forensic acousticians faced with problems related to intrusive noise in both metrological and analytical fields, and it can be, at the same time, an important reference text for professional qualification and courses in forensic acoustics.

Rumore intrusivo



Autores:

Paolo Caporello – Ingeniero, técnico competente en acústica, trabajó en diversos sectores adquiriendo una variada experiencia. Desde 2008, primero como representante de su Orden provincial y luego del Consejo Nacional de Ingenieros, ha participado en los trabajos de reglamentación de los grupos técnicos creados en la UNI (Organismo Nacional de Normalización), contribuyendo a la elaboración de textos normativos para el sector. A lo largo de los años ha publicado diversos artículos en revistas especializadas.

Sergio Luzzi – Ingeniero, presidente y director técnico de Vie in ro.se. Ingegneria. Profesor adjunto de Riesgos por Agentes Físicos en la Universidad de Florencia, consultor técnico oficial del Tribunal de Florencia desde 1999. Presidente electo del Instituto Internacional del Sonido y la Vibración y secretario general de la Sociedad Acústica de Italia, se ocupa a nivel científico y profesional de la acústica y el control del ruido, con especial interés por la acústica forense y los problemas del ruido

en los litigios. Autor de 8 libros y numerosos artículos científicos.

Contribuciones:

Giovanni Brambilla – Ingeniero, técnico competente en acústica, investigador del CNR, es un distinguido científico, uno de los principales expertos italianos e internacionales en acústica aplicada. Miembro del Grupo de Trabajo 38 de UNI “Medición y análisis del ruido intrusivo”.

Andrea Cerniglia – Coordinador del Grupo de Trabajo 38 de la UNI “Medición y análisis del ruido intrusivo” Experto acústico, director técnico de Accon Italia Srl. Lleva más de 35 años dedicado a la acústica y las vibraciones, tanto en el ámbito medioambiental como industrial. Es autor de numerosos artículos científicos.

El ruido intrusivo y su evaluación se encuentran entre los principales temas que caracterizan la actividad del perito en acústica forense. El libro contiene una colección de procedimientos que caracterizan la actividad de los peritos consultores oficiales y de los consultores de las partes en litigio en los tribunales civiles, ya que se les pide que realicen evaluaciones y valoraciones sobre cuestiones relativas a la contaminación acústica, los daños y molestias causados por la exposición al ruido, las emisiones sonoras y su tolerabilidad.

Los autores proponen una correcta interpretación conceptual y metodológica de leyes, normas y referencias científicas, útiles a los acústicos para la evaluación de la entidad del ruido intrusivo y al Juez para la evaluación de su tolerabilidad, cuando se introduce en los am-

bientes externos y residenciales, en los espacios públicos y privados, en los contextos de vida y de trabajo.

Se consideran y exponen tanto los enfoques jurídicos como los técnicos con un lenguaje de fácil lectura para acústicos, abogados y magistrados a los que se solicitan dictámenes sobre problemas de ruido.

El articulado del volumen incluye casos prácticos y escenarios, teoría y ejemplos, útiles para llevar a cabo la intrusión acústica en contextos judiciales y extrajudiciales, con los parámetros y referencias más adecuados para realizar la medición y evaluación del ruido intrusivo y garantizar la protección de quienes sufren la perturbación acústica.

Entre estas referencias, las recientes directrices de la Organización Mundial de la Salud, que introdujeron el concepto de molestia y la evidencia de la correlación entre la exposición al ruido y los daños auditivos y extra auditivos, y la norma técnica italiana UNI/TS 11844:2022, recientemente publicada y dedicada específicamente a la medición y análisis del ruido intrusivo.

Se describe la teoría de detección de señales aplicada al ruido intrusivo y se define y aplica el parámetro de detectabilidad en diversos escenarios acústicos.

El libro es un manual muy útil para los acústicos forenses que se enfrentan a problemas relacionados con el ruido intrusivo, tanto en el ámbito metodológico como analítico, y puede ser, al mismo tiempo, un importante texto de referencia para la cualificación profesional y los cursos de acústica forense.

Sumamos ingeniería y fabricación.

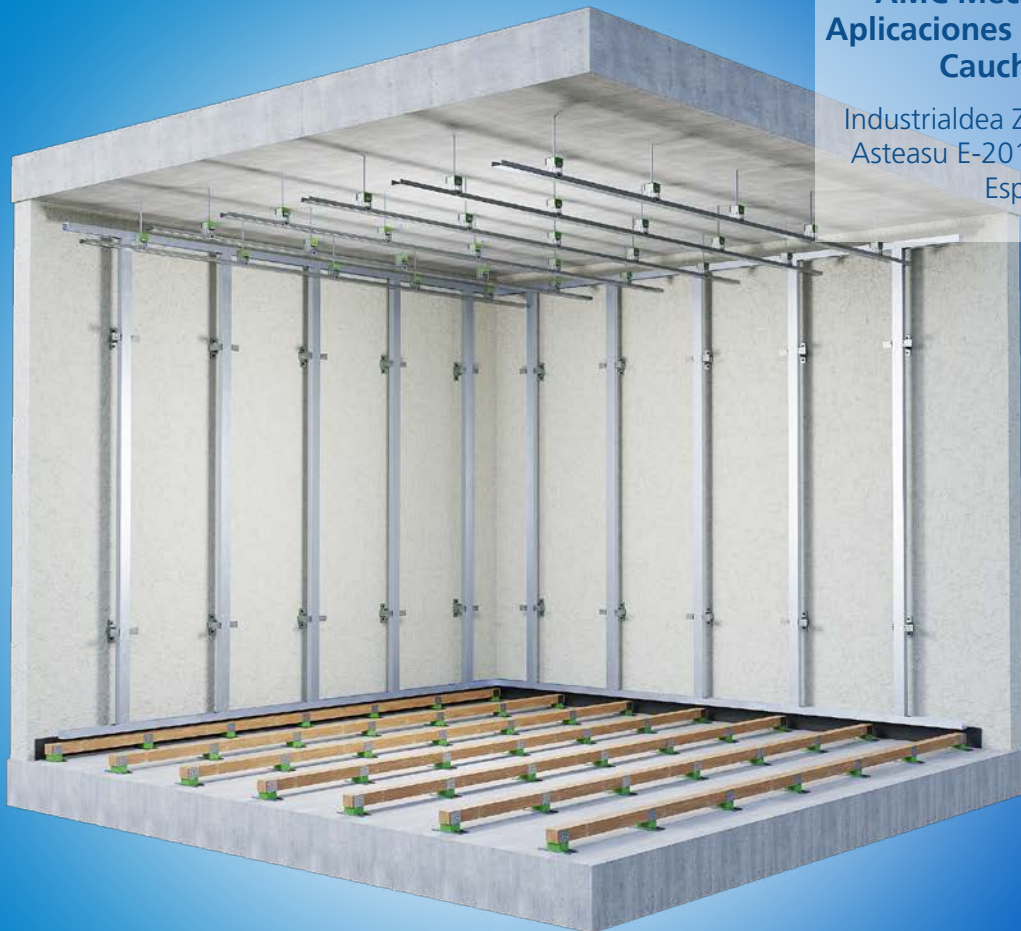
Soluciones para el ruido y las vibraciones

www.mecanocaucho.com



AMC Mecanocaucho
Aplicaciones Mecánicas del
Caucho S.A.

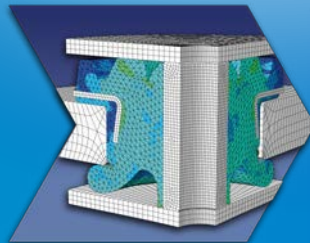
Industrialdea Zona A. Pab 35.
Asteasu E-20159, Gipuzkoa.
España



CÁLCULO ONLINE



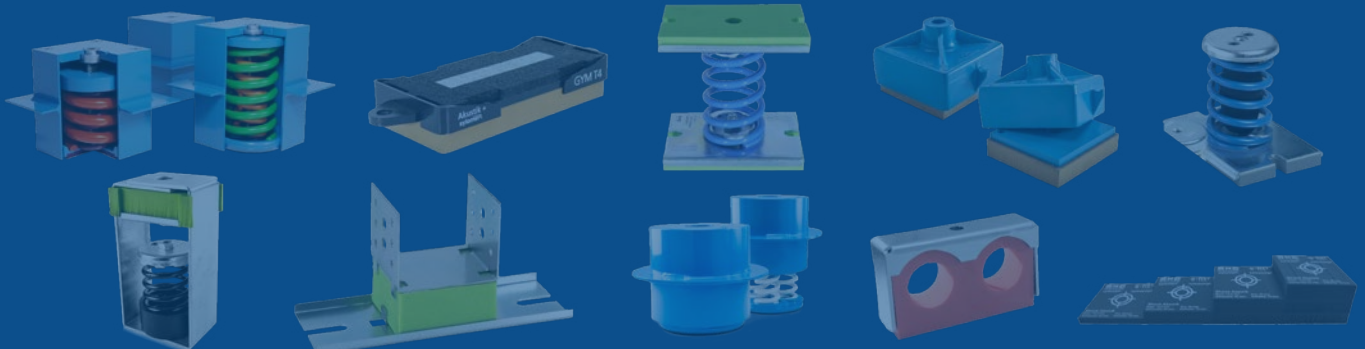
DISEÑO FEM



ENSAYO DINÁMICO



MEDICIÓN



In Memoriam

Prof. Félix Kolmer

El Prof. Ing. Félix Kolmer, Dr.Sc. nació el 3 de mayo de 1922 en Praga, Vinohrady, en una familia de un legionario italiano, ingeniero eléctrico y más tarde comerciante de electrodomésticos. Desde muy joven se interesó por la profesión de su padre y aspiraba a ser ingeniero eléctrico. Sin embargo, la crisis de la década de 1930 y luego la Segunda Guerra Mundial tuvo un duro impacto en su juventud.

El Prof. Kolmer dedicó gran parte de su tiempo a actividades en organizaciones sociales en el campo de la acústica. Durante muchos años representó regularmente a Checoslovaquia en las reuniones del Comité Técnico 43 Acústica de la Organización Internacional de Normalización, donde también representó a la IUPAP (Unión Internacional de Física Pura y Aplicada). Fue uno de los fundadores de la Federación de Sociedades Acústicas de Europa (FASE) y su Secretario General durante 12 años. En la Comisión Internacional de Acústica (ICA), subcomité de la IUPAP, fue Director del Centro de Información y Coordinación. Fue autor de más de 200 publicaciones y ha dado más de 190 conferencias en universidades, instituciones científicas y otras escuelas en Europa, América del Norte y del Sur y Australia.

Ha dado unas 60 conferencias en escuelas y sociedades alemanas sobre las relaciones checo-alemanas durante la Segunda Guerra Mundial y sobre la vida de los prisioneros en los campos de concentración. Fue miembro de la Junta de la Sociedad Acústica Checa y miembro honorario de varias otras sociedades checas y sociedades acústicas extranjeras en Polonia, Estados Unidos y Argentina. Ha recibido numerosos premios estatales en Checoslovaquia y la República Checa por el desarrollo de

la física y la acústica y la resistencia al nazismo. También ha recibido importantes premios en Argentina, Bélgica y Alemania. En sus últimos años activos, el Prof. Kolmer se dedicó principalmente a actividades relacionadas con las relaciones checo-alemanas y la compensación a las víctimas del trabajo forzoso y fue miembro de la directiva del Terezín.

¡Estará siempre en nuestra memoria!

EAA web: <https://euracoustics.org/>

CAS web : <https://www.czakustika.cz/cs/zemrel-profesor-felix-kolmer/>

Prof. Grażyna Grelowska

Prof. dr hab. Ing. Grażyna Grelowska fue Presidenta del Comité de Acústica de la Academia Polaca de Ciencias, Presidenta de la Sociedad Polaca de Acústica PAS en 2011-2014, Profesora en el Departamento de Hidromecánica e Hidroacústica, Facultad de Ingeniería Oceánica y Tecnología Naval, Universidad de Gdańsk Tecnología, profesora de la Academia Naval de Polonia, Vicerrector de Ciencias de la Academia Naval (2006-2011), miembro de la Comisión Internacional de Acústica. Nos deja una científica dotada de un carisma extraordinario, llena de energía y entusiasmo, que con su vida ha escrito una hermosa página en el desarrollo de la acústica. Fue un modelo de actitud científica confiable y pasión por la investigación. La muerte de la profesora Grelowska es una pérdida irreparable para la ciencia polaca y, en particular, para la comunidad acústica.

¡La guardaremos en nuestra memoria!

Sociedad Polaca de Acústica PAS

Año 2023

NOISE AND VIBRATION EMERGING METHODS (NOVEM 2023)

- 10 – 12 Enero

Auckland, New Zealand
<https://www.novem.ac.nz/>

DAGA 2023, 49th Annual Conference on Acoustics

- 06 – 09 Marzo

Hamburg, Germany
[DAGA 2023](#)

NOISE-CON 2023

- 15 – 18 Mayo

Grand Rapids, Michigan, USA
[NOISE-CON 2023 \(xcdsystem.com\)](#)

THE 29TH INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION (ICSV29)

- 09 – 13 Julio

Prague
The 29th International Congress on
Sound and Vibration ([icsv29.org](#))

INTER-NOISE 2023

- 20 – 23 Agosto

Chiba, Greater Tokyo (J)
[Internoise 2023 - Internoise 2023](#)

INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMMERSIVE AND 3D AUDIO

- 05 Septiembre – 07 Diciembre

Università di Bologna, Italia
[Home - I3DA 2023 International
Conference - Immersive and 3D
Audio](#)

FORUM ACUSTICUM 2023

- 11 – 15 Septiembre

Torino, Italy
[Forum Acusticum 2023 - Torino
from 11th to the 15th of September
2023. \(fa2023.org\)](#)

INTERNATIONAL CONGRESSES ON ULTRASONICS (ICU2023)

- 18 – 21 Septiembre

Beijing, China
<http://www.2021icu.org.cn/>

54º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA -TECNIACUSTICA 2023-

- 18 – 20 Octubre

Cuenca
[Más información](#)

ACOUSTICS23, SYDNEY: JOINT MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, WESPAC, THE AUSTRALIAN ACOUSTICAL SOCIETY AND THE PACIFIC RIM UNDERWATER ACOUSTICS CONFERENCE

- 04 – 08 Diciembre

Sydney, Australia
[Acoustics 2023 Sydney| 4 - 8
December 2023, International
Convention Centre, Sydney,
Australia \(acoustics23sydney.org\)](#)

Instituciones y empresas miembros de la S.E.A.

AAC CENTRO DE ACÚSTICA APLICADA, S. L.
<http://www.aacacustica.com>

ACÚSTICA I ENERGÍA LUZEA S. L.
<https://www.luzea.net/>

ACUSTTEL ACÚSTICA Y TELECOMUNICACIONES, S. A.
<http://www.acusttel.com>

ALAVA INGENIEROS, S. A.
<http://www.alava-ing.es>

AMORIM CORK COMPOSITES
<http://www.amorimcorkcomposites.com>

ANDIMAT. ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIAS
DE MATERIALES AISLANTES
<http://www.andimat.es>

ARAU ACÚSTICA
<http://www.arauacustica.com>

ARQUILAV. LABORATORIO DE ACÚSTICA Y VIBRACIONES
APLICADAS A LA EDIFICACIÓN, EL MEDIO AMBIENTE
Y EL URBANISMO
<http://arquilav.aq.upm.es>

ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUDIOPROTESISTAS
<http://www.audioprotesistas.org>

AUDIOTEC, INGENIERÍA Y CONTROL DEL RUIDO
<http://www.audiotec.es>

AYUNTAMIENTO DE MADRID. DELEGACIÓN
DE MEDIO AMBIENTE
<http://www.munimadrid.es>

AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA
<http://www.malaga.eu>

AYUNTAMIENTO DE VALENCIA. SERVICIO
DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA
<http://www.valencia.es>

BRÜEL & KJAER
<http://www.bksv.es>

CESVA INSTRUMENTS, S. L. U.
<http://www.cesva.com>

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS
DE TELECOMUNICACIÓN
<http://www.coitt.es>

DANOSA, DERIVADOS ASFÁLTICOS NORMALIZADOS, S. A.-
DELEGACIÓN MADRID
<http://www.danosa.com>

DATAKUSTIK GMBH
<http://www.datakustik.com/en>

dB COVER SOLUTIONS, S. L.
<http://dbcover.com/es>

DECIBEL INGENIEROS, S. L.
<http://www.decibel.es>

DECUSTIK
<http://www.decustik.com>

EMS BRUEL & KJAER IBÉRICA S.A. ENVIROSUITE
MariaJesus.Ballesteros@envirosuite.com

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DE TELECOMUNICACIÓN DE MÁLAGA
<http://www.uma.es>

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN
<http://www.etsist.upm.es/>

EUROCONTROL, S. A.
<http://www.eurocontrol.es>

FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH & INNOVATION
<http://www.tecnalia.com>

GRAS SOUND & VIBRATION
<https://www.grasacoustics.com/>

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ACÚSTICA VIRTUAL.
UPV-UVEG
<http://www.upv.es/contenidos/ACUSVIRT/>

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INSTRUMENTACIÓN
Y ACÚSTICA APLICADA -I2A2-
info@i2a2.upm.es

HEAD ACOUSTIC GMBH
<https://www.head-acoustics.com/>

HISPALYT, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES
DE LADRILLOS Y TEJAS
<http://www.hispalyt.es/>

IDEATEC ADVANCED ACOUSTIC SOLUTIONS, S.L.U.
www.ideatec.es

INGENIERÍA ACÚSTICA GARCÍA-CALDERÓN, S. L.
<http://www.garcia-calderon.com>

INGENIERÍA PARA EL CONTROL DEL RUIDO, S. L.
<http://www.icrsl.com/es>

INGENIERÍA Y SERVICIOS EN ACÚSTICA,
IBEACÚSTICA, S. L.
<http://www.iberacustica.com>

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN
EDUARDO TORROJA CSIC
<http://www.ietcc.csic.es/>

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN
INTEGRADA DE ZONAS COSTERAS. ESCUELA
POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDIA
<http://www.upv.es/entidades/EPSPG/>

INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS FÍSICAS Y DE LA
INFORMACIÓN «LEONARDO TORRES QUEVEDO»-
ITEFI (CSIC)
<http://www.itefi.csic.es/>

ISINAC ACOUSTICS WORLD, S. L.
<http://www.isinac.com>

LABORATORIO DE ACÚSTICA APLICADA.
UNIVERSIDAD DE LEÓN
<http://www.unileon.es/>

LABORATORIO DE ACÚSTICA. UNIVERSIDAD
DE EXTREMADURA
<http://www.unex.es/>

LABORATORIO DE INGENIERÍA ACÚSTICA Y
VIBRACIONES. UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
<http://www.umh.es>

LABORATORIO DE INGENIERÍA ACÚSTICA.
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
<http://www.uca.es>

MASON INDUSTRIES INC
<https://mason-ind.com/>

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA
<https://www.mitma.gob.es/>

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y RETO DEMOGRÁFICO
<https://www.miteco.gob.es/es/>

OVE ARUP & PARTNERS SAU
<http://www.arup.com>

OVERNOISE, S. L. L.
<https://overnoise.es/>

PROCESO DIGITAL DE AUDIO, S. L.
<http://www.ecudap.com/>

ROCKWOOL PENINSULAR, S. L.
<http://www.rockwool.es>

ROTHOBLAAS IBÉRICA, S. L.
<https://www.rothoblaas.es/>

SAES. SOCIEDAD ANÓNIMA DE ELECTRÓNICA
SUBMARINA
<http://www.electronica-submarina.com>

SAINT-GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S. L.
<http://www.isover.net>

SILENTIA, INGENIERÍA ACÚSTICA, S. L.
<http://www.silentia.es>

SINCOSUR INGENIERÍA SOSTENIBLE
<http://www.sincosur.es/>

SOUND OF NUMBERS, S. L.
<http://www.soundofnumbers.net/>

STO SDF IBÉRICA SLU
<http://www.sto.es>

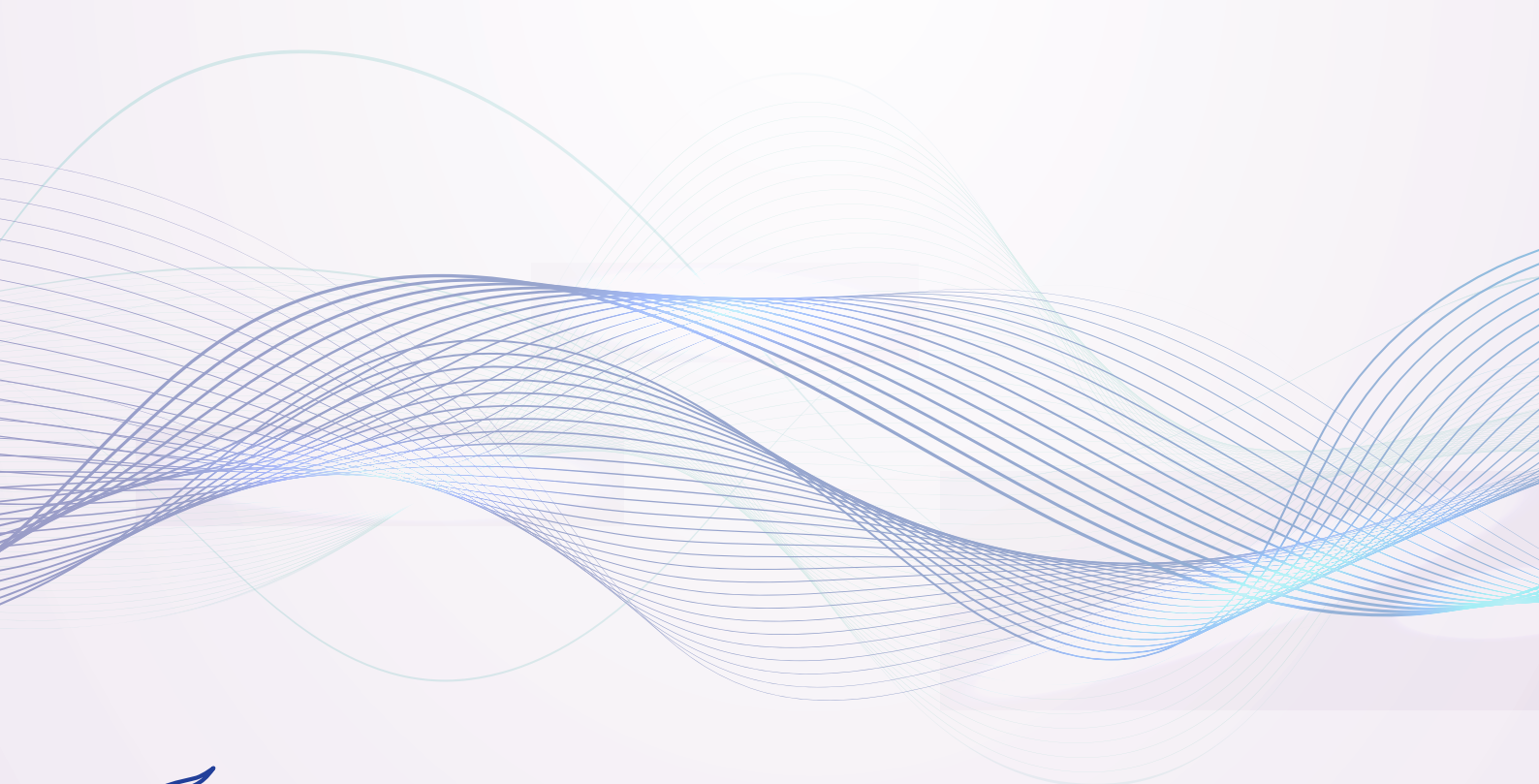
SVANTEK ESPAÑA, S. L.
<http://www.svantek.es>

TASVALOR MEDIO AMBIENTE S.L.
<http://www.tma-e.com/>

UNIVERSITAT D' INGENIERIA I ARQUITECTUURA
LA SALLE FUNDITEC
<http://www.salleurl.edu>

URSA IBERICA AISLANTES, S. A.
<http://www.ursa.es>

VIBRACHOC PAULSTRA, S. A.
<http://www.vibrachoc.es>



TECNIACÚSTICA

CUENCA 2023