



Revista de

acústica

Vol. 56 | Núms. 1 y 2 | 1.º y 2.º Trimestres 2025

Publicación periódica de la Sociedad Española de Acústica, SEA



FORUM ACUSTICUM
EURONOISE 2025



BRT – una
herramienta para
auralización 3D
en tiempo real
Página 3

Ilusión docente
en acústica
de recintos:
*100 proyectos,
muchos nombres*
Página 14

Acústica y
cientificismo en
la España del XIX
Página 29

Medida de
respuestas
impulsivas con
MTS
Página 40

La Salle URL – 25
años del Máster
en Acústica
Arquitectónica y
Medioambiental
Página 44



FORUM ACUSTICUM EURONOISE 2025

23-26 JUNE 2025 | Málaga, Spain.



fa-eurnoise2025.org

Revista de Acústica

Publicación periódica de la
Sociedad Española de Acústica,
SEA

Portada: *Forum Acusticum
Euronoise 2025*

Edita

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

Director

Daniel de la Prada Caballero
revista@sea-acustica.es

Administración, suscripciones y publicidad

secretaria@sea-acustica.es

Comité de redacción

María Larrosa Navarro, Ana Delgado
Portela, Jaime Ramis Soriano,
María Ángeles Navacerrada,
Jesús Alba Fernández, Noé
Jiménez, Jerónimo Vida

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. 56 | Núms. 1 y 2 | 1.º y 2.º Trimestres 2025

Sumario

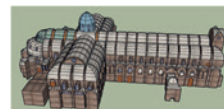
3 Binaural Rendering Toolbox (BRT). Una herramienta de auralización 3D en tiempo real para investigación en psicoacústica y realidad virtual

Arcadio Reyes-Lecuona, María Cuevas-Rodríguez, Daniel González-Toledo y Pablo Gutiérrez-Parera



14 100 Proyectos, Muchos Nombres

Juan José Gómez Alfageme



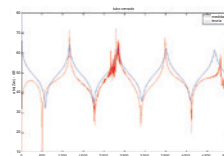
29 La acústica en el científicismo español a fines del siglo XIX y la primera cátedra independiente de acústica en 1900

Walter Alfredo Montano Rodríguez



40 Medidas de Respuestas al Impulso con MTS

Joaquín Martínez Vizuete y Jaime Ramis Soriano



44 La Salle-URL, líder en formación e investigación en acústica, celebra los 25 años del Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental

La Salle – Universitat Ramon Llull



48 III Ciclo de conferencias organizado por el CD de la Federación Iberoamericana de Acústica

50 Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido 2025

55 Tesis

57 Publicaciones

63 Novedades técnicas

69 Noticias

73 Normativa

75 In Memoriam

76 Agenda

Las soluciones acústicas completas que tus proyectos necesitan

- ENVOLVENTE
- ACRISTALAMIENTOS
- TABIQUERÍA
- TECHOS

Adaptados a las necesidades
de cada proyecto aportando el mayor
confort acústico y estético.

*Nos comprometemos a construir mejor
para las personas y el planeta*

Binaural Rendering Toolbox (BRT). Una herramienta de auralización 3D en tiempo real para investigación en psicoacústica y realidad virtual

Binaural Rendering Toolbox (BRT): A Real-Time 3D Auralization Tool for Research in Psychoacoustics and Virtual Reality



Arcadio Reyes-Lecuona¹, María Cuevas-Rodríguez¹, Daniel Gonzalez-Toledo¹, Pablo Gutierrez-Parera^{1,2}

¹ Instituto Universitario de Investigación en Telecomunicación (TELMA), Universidad de Málaga

² Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (ITEAM), Universitat Politècnica de València

Resumen

Binaural Rendering Toolbox (BRT) es un conjunto de herramientas diseñadas para la simulación acústica espacial 3D en tiempo real, que incluyen, como núcleo principal, una librería C++ de código abierto. Su arquitectura flexible permite la creación de cadenas de procesamiento personalizadas mediante modelos acústicos independientes de fuente, entorno y oyente, así como filtros postbinaurales. BRT se adapta a diversas aplicaciones en acústica aplicada, como la auralización de salas reales, la simulación de acústica virtual para realidad extendida interactiva y la investigación en psicoacústica. Este artículo presenta los conceptos clave que sustentan la herramienta e ilustra su funcionamiento mediante una serie de casos de uso representativos.

Palabras clave: Renderizado Binaural, Acústica Virtual, Psicoacústica.

Abstract

Binaural Rendering Toolbox (BRT) is a set of modular tools designed for real-time 3D spatial acoustic simulation, including, as its main core, an open-source C++ library. Its flexible architecture allows the creation of customized processing chains using independent acoustic models for sources, environments, listeners, and post-binaural filters. BRT is suited to various applications in applied acoustics, such as room auralization, virtual acoustic simulation for interactive virtual reality, and psychoacoustic research. This paper presents the core concepts behind the toolbox and illustrates its use through a series of representative case studies.

Keywords: Binaural Rendering, Virtual Acoustics, Psychoacoustics.

1. Introducción

La simulación acústica en entornos virtuales ha cobrado una relevancia creciente en campos como la psicoacústica experimental o la realidad virtual. La posibilidad de recrear experiencias auditivas realistas en entornos controlados ofrece un potencial sin precedentes para la investigación y el desarrollo de aplicaciones inmersivas. En este contexto, el *Binaural Rendering Toolbox* (BRT) surge como una solución modular para abordar los desafíos de la simulación acústica espacial en tiempo real. Este conjunto de herramientas incluye una librería principal en C++ de código abierto (librería BRT), la cual implementa todos los algoritmos de renderizado ofrecidos por la herramienta. Adicionalmente, cuenta con una serie de aplicaciones que incluyen: *BeRTA Renderer*,

una aplicación *standalone* que admite control remoto a través del protocolo de audio *Open Sound Control* (OSC) y que proporciona acceso a todas las funcionalidades de la librería BRT; y *BeRTA GUI*, una interfaz gráfica para controlar dicha aplicación.

El propósito de este artículo es presentar las características, la arquitectura y las aplicaciones del BRT, así como ejemplos de diversos casos de uso en el ámbito de la acústica aplicada. En la Sección 2 se abordan los fundamentos del audio espacial y la simulación acústica en tiempo real, proporcionando el contexto necesario para comprender la importancia de una simulación precisa en entornos interactivos. La Sección 3 describe la arquitectura de la librería BRT, detallando su estructura modular y las distintas aplicaciones que ofrece. En la

Sección 4, se exponen tres casos que ilustran el uso del BRT en diferentes contextos. Finalmente, en la Sección 5 se presentan las conclusiones y se esbozan las futuras líneas de desarrollo.

2. Renderizado espacial para aplicaciones acústicas

2.1. Fundamentos del audio espacial

En el ámbito de la acústica aplicada, la simulación y reproducción de señales sonoras con información espacial tiene múltiples aplicaciones, que abarcan desde la auralización arquitectónica y el diseño de entornos sonoros hasta la realidad virtual inmersiva y los estudios de percepción auditiva. El objetivo principal del audio espacial es proporcionar al oyente una experiencia sonora coherente con la distribución tridimensional de fuentes, superficies y condiciones acústicas de un entorno, empleando para ello diversas estrategias de síntesis y procesamiento [1,2].

En el caso de reproducir el sonido a través de auriculares, el enfoque predominante es el del renderizado binaural [3], el cual se basa en la aplicación de filtros que simulan cómo el sonido se transforma al interactuar con la anatomía del oyente (cabeza, torso y pabellones auditivos). Estas transformaciones se recogen en las funciones de transferencia relativas a la cabeza (*Head Related Transfer Function* o HRTF) [4,5]. A diferencia de la simple reproducción estéreo, este enfoque reproduce indicios espectrales y temporales que permiten la localización aparente de una fuente en los tres ejes espaciales [6].

Aunque los mecanismos perceptuales que permiten la localización auditiva (diferencias interaurales de tiempo y nivel, y variaciones espectrales monaurales) son bien conocidos en el ámbito de la psicoacústica [7,8], su implementación práctica en sistemas de renderizado requiere consideraciones técnicas específicas. Entre ellas, destacan la gestión del movimiento del oyente, la coherencia entre la escena visual y sonora, y la personalización de las HRTF, que influyen directamente en la naturalidad del sonido percibido [9].

Una experiencia sonora verdaderamente espacial no consiste únicamente en la ubicación espacial de las fuentes, sino que también debe integrarlas dentro de un entorno acústico concreto. La reverberación, las reflexiones tempranas y la geometría del espacio no solo contribuyen a la percepción de la distancia, sino que también afectan a la credibilidad global del escenario sonoro [10–12]. Por lo tanto, para una auralización precisa de entornos dinámicos se requieren modelos acústicos que simulen adecuadamente tanto la propagación directa como los efectos del entorno.

Este conjunto de elementos — localización, propagación, reverberación y movimiento dinámico del oyente — constituyen el núcleo de lo que entendemos por audio espacial. En las siguientes secciones se explica cómo el BRT ha sido diseñado para abordar estos componentes de manera flexible, precisa y modular.

2.2. Simulación acústica en tiempo real para aplicaciones interactivas

La simulación del entorno acústico es una herramienta importante en campos como la arquitectura o el diseño de espacios, donde los modelos acústicos se aplican en entornos estáticos o con condiciones bien definidas. En estos casos, la precisión del modelo es prioritaria y el procesamiento puede realizarse de forma *offline*, sin restricciones de tiempo. Sin embargo, en el contexto de las aplicaciones interactivas, como los entornos de realidad virtual o aumentada, la simulación debe realizarse en tiempo real y responder de forma inmediata a los cambios en el escenario acústico, como el movimiento del oyente o de las fuentes sonoras [13].

La principal consecuencia de este contexto es que el proceso de simulación se convierte en un sistema basado en bloques (*frame-based processing*). En cada ciclo de procesamiento, se dispone únicamente del tiempo de un bloque de audio (por ejemplo, 512 muestras a 48 kHz corresponden a unos 10,7 ms) para simular la evolución de la escena sonora. Esta limitación temporal afecta tanto a la eficiencia de los algoritmos como a la arquitectura del sistema. Además, es necesario que la simulación pueda adaptarse dinámicamente, ya que las posiciones y orientaciones de las fuentes y los oyentes pueden variar de bloque a bloque, así como otros parámetros del entorno. Esta situación puede dar lugar a transiciones abruptas entre bloques consecutivos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden introducir artefactos audibles, como clics, escalones de ganancia o discontinuidades en la respuesta. De hecho, cambiar la respuesta al impulso entre bloques rompe la suposición de que el sistema es lineal e invariante en el tiempo (LTI), lo que añade un nivel de complejidad adicional a la implementación y puede afectar la estabilidad perceptiva si no se gestionan adecuadamente las transiciones. Por este motivo, se requiere la aplicación sistemática de mecanismos de suavizado temporal, tales como la interpolación de parámetros, los filtros adaptativos o las transformaciones graduales, que aseguren una continuidad perceptual del campo sonoro [14]. Por otro lado, cuando se emplean técnicas de convolución con respuestas al impulso largas, como es el caso de las respuestas al impulso de salas (RIR), es conveniente utilizar algoritmos optimizados como la convolución particionada [15]. Estos métodos segmentan la respuesta al impulso en secciones, lo

que optimiza la eficiencia de la convolución por bloques, incluso con filtros largos.

3. Estructura de BRT

3.1. Arquitectura modular de la librería

La simulación del entorno acústico en tiempo real para aplicaciones interactivas conlleva exigencias particulares de eficiencia, adaptabilidad y estabilidad perceptual. Sin embargo, las limitaciones computacionales pueden hacer inviable la implementación de ciertas estrategias. En consecuencia, la arquitectura de la librería BRT se ha diseñado desde el principio bajo un enfoque modular, lo que permite la construcción de cadenas de procesamiento adaptadas a cada aplicación concreta. Esto habilita la selección de componentes que prioricen los parámetros más relevantes para cada simulación, así como la implementación de soluciones híbridas en las que diferentes modelos se complementan.

La librería se organiza en torno a un conjunto de módulos funcionales independientes, entre los que se incluyen modelos de fuente sonora, entorno, oyente y módulos adicionales de filtrado o control. Cada uno de estos módulos implementa una parte concreta del procesamiento acústico y puede ser activado, parametrizado o reemplazado de forma autónoma. La cadena de renderizado se constituye mediante la conexión de estos módulos en una estructura dirigida, en la que el flujo de audio y de información posicional puede seguir trayectorias diferentes según las necesidades del escenario. Esta flexibilidad permite, por ejemplo, combinar en paralelo un modelo de propagación directa con un modelo de reverberación, o incorporar modelos de oyente alternativos para comparar distintos métodos de espacialización.

Cuando se trabaja en contextos experimentales, de simulación o de diseño acústico virtual, es habitual que las condiciones de trabajo — por ejemplo, el número de fuentes, la geometría del entorno o la precisión buscada — varíen entre proyectos. Una estructura modular permite adaptar el sistema sin necesidad de reescribir componentes centrales y facilita la experimentación con nuevas variantes de modelos, el testeo controlado de hipótesis perceptivas o la comparación entre métodos.

La arquitectura de la librería BRT ha sido presentada previamente en otras publicaciones [16,17], en las que se muestran ejemplos de cómo distintas combinaciones de módulos permiten implementar cadenas de procesamiento personalizadas. En la versión actual, el sistema ofrece también un mecanismo de configuración basado en archivos JSON, en el que el usuario especifica explícitamente los módulos a utilizar y la manera en que estos deben conectarse, lo que permite reproducir con exactitud una determinada topología de procesamiento acústico.

Este enfoque responde a las necesidades funcionales del desarrollo de aplicaciones inmersivas y, además, respalda los principios de la **investigación reproducible**, al permitir documentar con precisión la configuración empleada en cada simulación. La modularidad no se presenta, por tanto, como una simple conveniencia técnica, sino como una condición necesaria para garantizar la trazabilidad, la extensibilidad y el control metodológico de los resultados obtenidos con el sistema.

3.2. Tipos de modelos acústicos disponibles

La arquitectura modular de la librería BRT se fundamenta principalmente en lo que denominamos modelos acústicos, cada uno de los cuales representa una función específica dentro del proceso de renderizado espacial. Estos modelos son instanciables y configurables de forma independiente, y se conectan entre sí formando una cadena de procesamiento que refleja la estructura lógica de la escena sonora.

En la Figura 1 se muestra un esquema general de esta arquitectura, en el que se aprecian los diversos tipos de modelos que pueden intervenir, así como las posibles conexiones entre ellos. Esta flexibilidad permite construir simulaciones muy diversas, desde escenarios simples, como la propagación directa en campo abierto, hasta entornos más complejos, con directividad, reverberación y procesamiento post-biaural.

Varios de los modelos acústicos implementados en la librería BRT requieren descripciones detalladas de características acústicas externas, tales como funciones de transferencia del oyente (HRTF), respuestas al impulso binaurales de salas (BRIR), funciones de directividad de fuentes o bancos de filtros definidos por secciones de segundo orden (SOS). Con el propósito de asegurar la compatibilidad, la trazabilidad y la reutilización de estos datos, la librería BRT adopta el formato SOFA (*Spatially Oriented Format for Acoustics*) para la carga de este tipo de recursos. SOFA es un formato definido por la AES (*Audio Engineering Society*) a través de su grupo de trabajo AES69 [18]. El uso de este estándar, ampliamente adoptado en el ámbito de la investigación acústica, refuerza el compromiso del BRT con la ciencia reproducible, al permitir compartir configuraciones experimentales completas de forma clara y estandarizada.

Los modelos disponibles se agrupan, en términos generales, en las siguientes categorías:

- **Modelos de fuente sonora**

Cada fuente puntual monofónica en la escena requiere una instancia de modelo de fuente. Estos modelos se encargan de representar propiedades

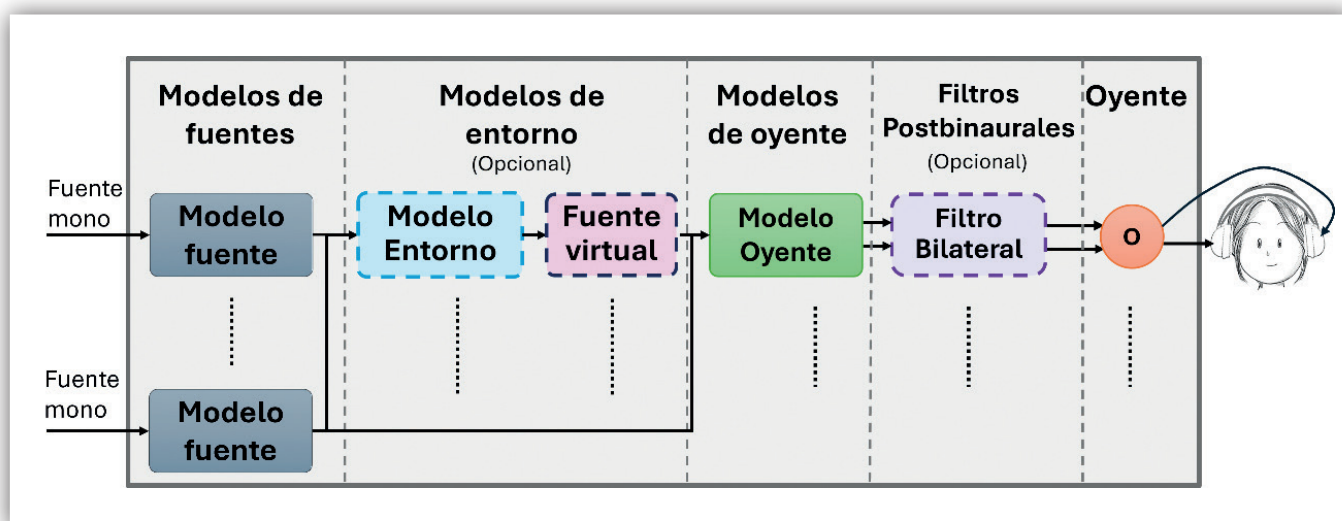


Figura 1. Esquema general de la arquitectura BRT.

como la posición, la orientación y, en algunos casos, la **directividad** de emisión.

- **Fuente omnidireccional:** modelo base que propaga la señal sin modificaciones espectrales.
- **Fuente direccional:** aplica una directividad angular basada en un fichero SOFA de funciones de transferencia de fuente (DTF), modulado de acuerdo con la orientación relativa de la fuente y el oyente.

• Modelos de entorno

Simulan el espacio acústico entre la fuente y el oyente. Son opcionales, ya que las fuentes pueden conectarse directamente al modelo de oyente si se desea una simulación simplificada.

- **FreeField:** modelo de propagación en campo abierto, con simulación de retardo y atenuación por distancia, incluyendo ajuste dinámico y efecto Doppler.
- **SDN (Scattering Delay Network):** basado en una red de retardo que simula múltiples reflexiones en una sala tipo “*shoe-box*”, siguiendo el planteamiento propuesto por De Sena et al. [19].
- **Image Source Method (ISM):** modelado geométrico de las primeras reflexiones, concebido para geometría de salas arbitrarias y futuras combinaciones híbridas. En fase de desarrollo en el momento de redactar este artículo.

• Modelos de oyente

Procesan la señal en función de la posición y orientación del oyente. El BRT ofrece diferentes varian-

tes para adaptarse al tipo de respuesta al impulso utilizada.

- **Convolución directa con HRTF:** procesamiento individual por fuente, simula el campo acústico en el oído mediante filtros binaurales estándar.
- **Convolución ambisónica con HRTF:** mezcla ambisónica de múltiples fuentes y posterior convolución con HRTF en posiciones virtuales.
- **Convolución directa con BRIR:** utiliza respuestas al impulso binaurales de salas (BRIR), simula entorno y oyente en un solo modelo.
- **Convolución ambisónica con BRIR:** similar al anterior, pero en dominio ambisónico. Ofrece la posibilidad de enventanado y fusión de modelos híbridos.

Todos los modelos de oyente ofrecen funciones avanzadas como corrección de paralaje, simulación de campo cercano y separación del ITD (*Interaural Time Difference*) para fines de investigación.

• Filtros bilaterales post-binaurales

Aplican un procesamiento adicional al final de la cadena. Pueden ser utilizados para simular dispositivos de protección auditiva, pérdidas de audición o compensación de auriculares.

- **Actualmente disponibles:** filtros IIR definidos por secciones de segundo orden cargadas desde fichero SOFA.
- **En desarrollo:** filtros FIR de alta resolución y filtros no lineales para simulaciones perceptuales avanzadas.

Este sistema de modelado permite, por ejemplo, crear una arquitectura con una fuente direccional conectada simultáneamente a un entorno de propagación libre y a una convolución BRIR, y con un modelo híbrido de oyente que combine ambas rutas. La flexibilidad de conexión y combinación de estos modelos es la que permite ajustar el sistema a una amplia gama de aplicaciones.

3.3. Aplicación *BeRTA Renderer* y flujo de trabajo

Aunque el BRT se distribuye como una librería en C++ pensada para ser integrada en aplicaciones personalizadas, muchos usuarios potenciales, especialmente en contextos experimentales o de simulación, no desean desarrollar una aplicación que gestione la comunicación con la interfaz de audio ni la lectura de archivos de sonido. Para estos casos, se ha desarrollado **BeRTA Renderer** (*Binaural Rendering Toolbox Application*), una aplicación ejecutable independiente que incluye el motor de renderizado de la librería BRT y permite su uso directo sin necesidad de programación adicional.

BeRTA Renderer, Figura 2, actúa como un motor de audio de propósito general, capaz de recibir comandos externos mediante el protocolo OSC [20] con el fin de crear y controlar dinámicamente fuentes sonoras, oyentes y configuraciones de entorno. De este modo, se puede integrar fácilmente en simuladores o motores gráficos como Unity o Unreal, que tienen la capacidad de enviar en tiempo real las posiciones, orientaciones y eventos necesarios para la escena acústica. La aplicación se ejecuta en paralelo a la plataforma que genere la escena visual y, gra-

cias al uso de OSC sobre UDP, puede funcionar en la misma máquina o en una configuración distribuida.

El flujo de trabajo estándar con *BeRTA Renderer* se estructura en dos fases principales. En primer lugar, se realiza una configuración inicial mediante un fichero en formato JSON que define la arquitectura de modelos (fuentes, entornos, oyentes y filtros) y sus conexiones, así como parámetros globales como la frecuencia de muestreo, el tamaño del *buffer* de audio o los archivos SOFA que contienen las características acústicas. Esta configuración se carga al iniciar la aplicación y define el marco operativo de la simulación. En segundo lugar, durante la ejecución, el usuario (o la aplicación externa que lo controle) puede interactuar en tiempo real con *BeRTA Renderer* mediante comandos OSC. Estos comandos permiten, por ejemplo, mover una fuente, modificar su ganancia, cambiar su orientación, activar o pausar la reproducción de una señal, o actualizar la posición del oyente según el seguimiento de cabeza en un entorno de realidad virtual. Además, permite cargar nuevos recursos (archivos de sonido u otros SOFA) en cualquier momento, así como el cambio en tiempo real entre cualquier recurso cargado previamente (escuchar distintas HRTF, distintas reverberaciones, etc.).

Este enfoque modular y externo, con una configuración reproducible y un control dinámico estandarizado, convierte a *BeRTA Renderer* en una herramienta versátil no solo para el desarrollo de aplicaciones, sino también para entornos de investigación, donde se requiere un control detallado, trazabilidad y estabilidad temporal en las condiciones de simulación acústica.

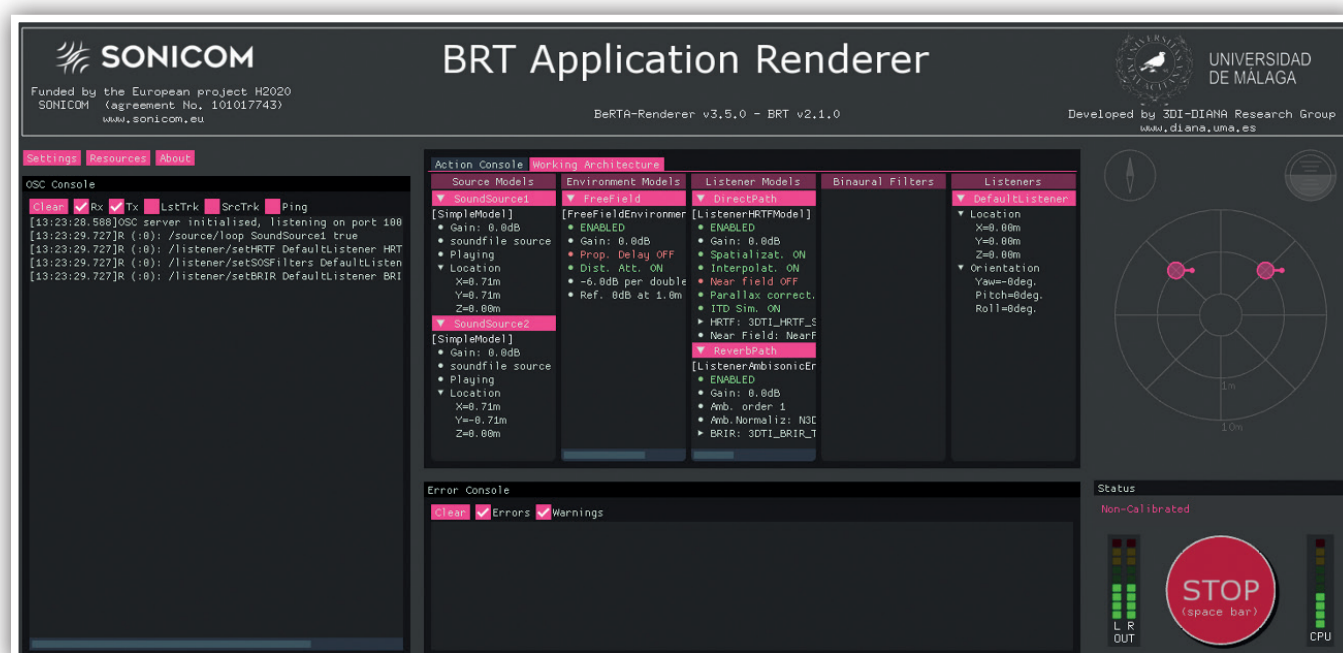


Figura 2. Interfaz de *BeRTA Renderer*.

Tabla 1. Flujo de trabajo típico con *BeRTA Renderer*.

Fase	Acción principal	Medio utilizado
Configuración inicial	Definición de arquitectura acústica (modelos y conexiones)	Archivo JSON
	Carga de recursos acústicos (HRTF, BRIR, DTF y filtros SOS)	Archivos SOFA (según archivo JSON)
	Ajuste de parámetros globales (frecuencia de muestreo, tamaño de bloque, número de buffers, etc.)	Archivo JSON
Ejecución dinámica	Envío de comandos para actualizar posición/orientación de fuentes y oyente	Mensajes OSC
	Carga de recursos acústicos (HRTF, BRIR, DTF y filtros SOS)	Archivos SOFA (mensajes OSC)
	Control de reproducción, ganancia y activación/desactivación de fuentes	Mensajes OSC
	Monitorización y respuesta a eventos de la aplicación externa	Mensajes OSC

3.3.1. Configuración mediante archivo JSON

La definición de la arquitectura acústica que *BeRTA Renderer* ejecuta en tiempo real se especifica completamente a través de un archivo de configuración en formato JSON, lo que permite separar de forma clara la construcción del sistema (estática) de su control dinámico (mediante OSC). Este archivo contiene tanto los parámetros globales del sistema de audio, así como la descripción detallada de los modelos acústicos a utilizar, sus identificadores, parámetros específicos y conexiones entre ellos.

La estructura general del archivo JSON se compone de las siguientes secciones:

- **GeneralSettings:** define parámetros básicos como la frecuencia de muestreo, el tamaño del bloque de audio, el número de buffers de seguridad, y el puerto OSC de escucha.
- **ModelsArchitecture:** describe los distintos modelos que conforman la cadena de procesamiento, los cuales se dividen en fuentes, entornos, oyentes, filtros y conexiones entre ellos. En esta sección se especifica qué modelos se conectan entre sí y cómo se asocian a cada fuente u oyente.
- **SoundSources:** lista de las fuentes definidas en la configuración inicial, incluyendo su identificación, posición inicial, orientación y, en su caso, el archivo de audio asociado.

- **Oyentes:** descripción de los oyentes disponibles, junto con su posición y orientación inicial, así como posibles ajustes relacionados con el modelo binaural utilizado.
- **Resources:** lista de los ficheros en formato SOFA necesarios para el funcionamiento de los modelos (HRTF, BRIR, DTF y filtros SOS), incluyendo identificadores y rutas relativas o absolutas.

Este esquema permite definir con precisión tanto arquitecturas simples como configuraciones más complejas con múltiples rutas paralelas, modelos híbridos y distintos tipos de escucha. La existencia de este archivo facilita la replicación de simulaciones y refuerza el carácter documentado y reproducible de cualquier escenario generado con *BeRTA Renderer*.

4. Casos de uso

4.1. Auralización de una sala real en el contexto de una simulación virtual

Un caso de uso ilustrativo del BRT es la auralización dinámica de una sala real dentro de un entorno virtual interactivo, utilizando datos acústicos medidos de forma experimental. En este ejemplo, el objetivo es emular la experiencia auditiva que tendría un oyente móvil dentro de una sala física concreta, pero recreada digitalmente en un simulador. La base de la simulación es la respuesta al impulso binaural (BRIR), medida en dicha sala. En esta medición se utiliza una cabeza artificial (*dummy head*) situada en el centro de la sala y una fuente sonora colocada secuencialmente en diferentes ubicaciones. A partir de estas respuestas, codificadas en formato SOFA, se construye una simulación híbrida en tiempo real compuesta por dos rutas acústicas paralelas (para más detalles sobre esta estrategia, véase [14]):

- **Ruta del camino directo:** implementada mediante un modelo de Oyente basado en convolución directa con una HRTF, que puede ser genérica o individualizada. Este modelo incluye también mecanismos de simulación de campo cercano, corrección de paralaje y una atenuación dependiente de la distancia (6 dB por cada duplicación de la distancia). El propósito de esta ruta es ofrecer una representación detallada de la componente directa de la propagación.
- **Ruta de reverberación:** que emplea un modelo de Oyente alternativo basado en la convolución ambisónica de primer orden, utilizando altavoces virtuales con BRIR. En este caso, las respuestas al impulso utilizadas fueron medidas situando la fuente sonora en seis ubicaciones distribuidas en las direcciones cardinales (delante, detrás, izquierda,

derecha, arriba y abajo), lo que permitió una codificación de primer orden ambisónica. Esta ruta se alimenta de una mezcla ambisónica de las fuentes activas y aplica decodificación hacia canales binaurales mediante altavoces virtuales. Además, se aplica un enventanado temporal para eliminar la componente del camino directo de las respuestas al impulso de reverberación utilizadas, evitando redundancias con la ruta del camino directo.

El resultado es una simulación que responde dinámicamente a los movimientos del oyente y de las fuentes: el camino directo se recalcula en tiempo real, adaptándose a las nuevas posiciones, mientras que la reverberación permanece fija, lo que constituye una simplificación aceptable para muchas aplicaciones [21]. La Figura 3 muestra la configuración de la cadena de procesamiento de este caso de uso.

Con el mismo esquema de uso, el BRT se puede emplear sin simulaciones visuales, pero con sincronización espacial con la realidad, pudiéndose así construir fácilmente aplicaciones de realidad aumentada auditiva. Un ejemplo es [22], donde una versión previa del BRT se utilizó para sonORIZAR una obra pictórica de gran tamaño. Según el punto de vista del oyente frente al cuadro, es posible explorar el diseño sonoro de forma interactiva, activando o desactivando la sonorización espacializada inspirada en la obra (ver Figura 4).

4.2. Simulación acústica para prevención de riesgos laborales por exposición al ruido

El BRT también se ha utilizado en el ámbito de la prevención de riesgos por exposición al ruido en entornos de trabajo. Por ejemplo, se puede plantear la simulación

de una planta industrial al aire libre, donde no existe reverberación significativa y las fuentes sonoras están distribuidas a lo largo de un espacio abierto. En este contexto, la simulación del entorno acústico se simplifica mediante un modelo de entorno tipo campo libre, que aplica un retardo y una atenuación por distancia a cada fuente activa. La escena auditiva se reproduce utilizando dos modelos de oyente simultáneos, aprovechando la capacidad de la librería para simular múltiples receptores independientes:

- **Modelo de oyente binaural:** procesa la señal mediante convolución con una HRTF y representa al operario que recorre la planta industrial. A este modelo se le añade un filtro post-binaural bilateral, cuya función es simular la atenuación producida por un



Figura 4. Aplicación en realidad aumentada auditiva.

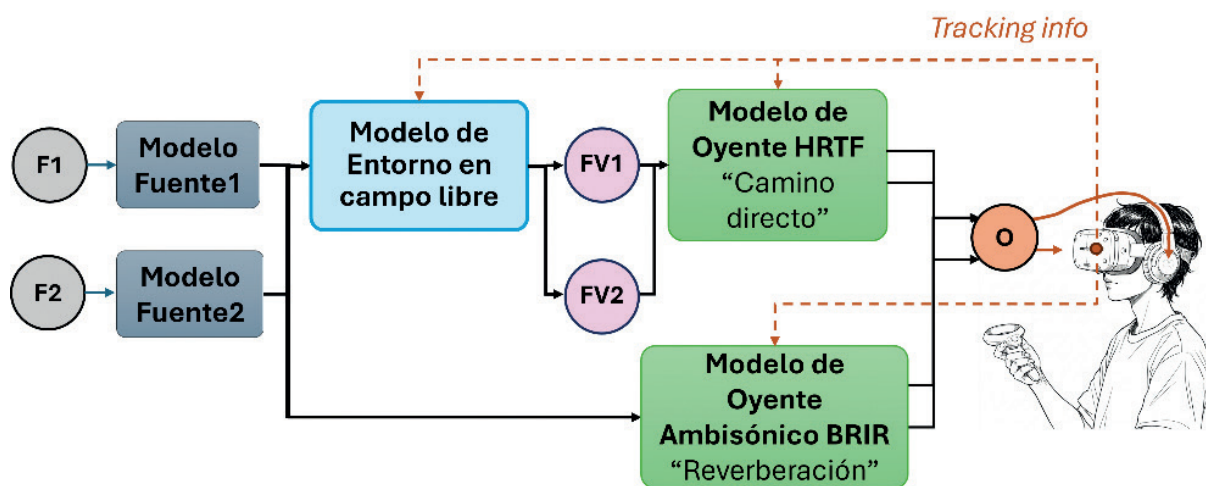


Figura 3. Diagrama de Caso de Uso 1: auralización de una sala real.

equipo de protección auditiva, como orejeras o tapones. En el caso de las orejeras, usaríamos la HRTF de una cabeza esférica, ya que estos dispositivos anulan la contribución de la oreja. Este filtro se puede definir mediante una estructura SOS y cargarse desde un fichero SOFA.

- **Modelo de oyente omnidireccional:** simula el comportamiento de un sonómetro virtual. A este oyente no se le aplica HRTF ni filtrado alguno, sino que se recoge el nivel sonoro calibrado de la escena desde un punto determinado, lo que permite simular la medición de un sonómetro de mano virtual. Además, se utilizaría la función de calibración de que dispone *BeRTA Renderer* para controlar los niveles de señal SPL entregados con precisión.

La configuración necesaria se muestra en la Figura 5. Para obtener más información sobre este caso de uso, consulte [23].

4.3. Uso de BRT como laboratorio virtual de psicoacústica

El BRT también se puede aplicar en el campo de la psicoacústica experimental, donde se requiere un control preciso y reproducible de las condiciones auditivas para estudiar la percepción sonora.

Aprovechando las capacidades de procesamiento en tiempo real del BRT, se puede llevar a cabo un experimento para estudiar el impacto de la individualización de la HRTF en la precisión de la localización de fuentes sonoras en situaciones con movimiento. Los participantes realizan tareas de localización dinámica, que consisten en mover la cabeza dentro de un entorno virtual mientras indican la dirección percibida de una fuente sonora en movimiento. Este entorno se genera íntegramente con el BRT, lo que proporciona un control total sobre los estímulos auditivos.

Para este tipo de experimentos se requieren varios elementos clave:

- **Fuentes sonoras y oyente dinámicos** que puedan moverse libremente por el espacio virtual, con posiciones y orientaciones actualizadas en tiempo real para simular trayectorias complejas.
- **Modelo de Oyente basado en convolución con HRTF** que aplica filtros binaurales personalizados o genéricos, según la condición experimental.
- **Cambio dinámico de la HRTF:** la capacidad del BRT para cargar y cambiar la HRTF durante la ejecución permite comparar, en tiempo real, la respuesta del participante a diferentes HRTF (individualizadas, genéricas o de otros participantes).

En este contexto, el experimentador puede, por ejemplo, alternar entre HRTFs sin detener la simulación y evaluar cómo cambia la precisión o la naturalidad de la localización percibida de la fuente sonora. Esta flexibilidad es valiosa para estudios en los que se pretende discernir el impacto de la personalización acústica en la percepción espacial. En la Figura 6 se muestra la configuración necesaria. Para más detalles sobre este caso de uso, véase [24].

5. Conclusiones y líneas futuras

La librería BRT se ha presentado como una herramienta modular para la simulación acústica en tiempo real en entornos virtuales, que destaca por su capacidad para satisfacer diversas necesidades experimentales. Gracias a su arquitectura modular, esta librería permite configurar distintas cadenas de procesamiento acústico, lo que la hace adaptable a aplicaciones que van desde la auralización de espacios reales hasta experimentos de psicoacústica en entornos controlados.

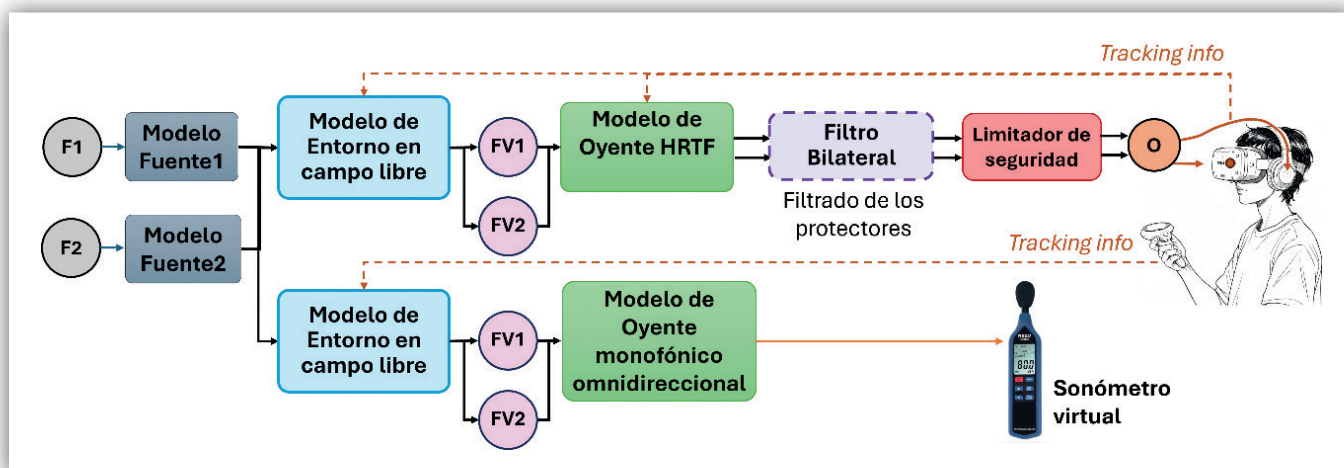


Figura 5. Diagrama de Caso de Uso 2: simulación acústica para prevención de riesgos laborales.

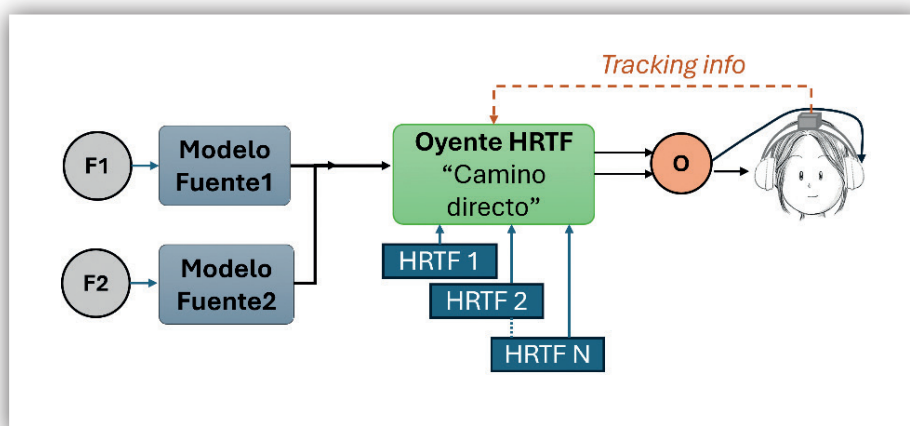


Figura 6. Diagrama de Caso de Uso 3: uso del BRT como laboratorio de psicoacústica.

La capacidad de la librería BRT para gestionar modelos de fuentes, entornos y oyentes, así como filtros post-biaurales, la convierte en una herramienta flexible para abordar problemas de investigación en acústica aplicada y psicoacústica. Además, el uso de formatos estándar, como SOFA, facilita la reproducibilidad y el intercambio de configuraciones experimentales, lo que contribuye al avance de la ciencia reproducible en este campo.

La librería BRT continuará ampliándose con la inclusión de modelos de entornos híbridos, que permitirán combinar la simulación de las primeras reflexiones mediante el método de fuentes imagen con técnicas de reverberación difusa, ya sea mediante convolución o métodos sintéticos. Asimismo, está previsto implementar filtros post-biaurales más sofisticados, capaces de realizar compensación de auriculares o, en casos más complejos, simular pérdidas auditivas. Por último, se está trabajando en optimizar el rendimiento mediante ejecuciones multihilo y facilitar una integración más directa con plataformas como Unity, proporcionando un paquete específico que permita ejecutar el renderizado de audio desde dentro de esta plataforma.

La librería BRT está disponible bajo la licencia GPL-3 en un repositorio oficial de GitHub¹. Desde este repositorio, también se pueden descargar diversas aplicaciones², como la aplicación *BeRTA Renderer* descrita en este artículo, y otras herramientas que facilitan su uso. Entre ellas se encuentra una interfaz gráfica de usuario sencilla llamada *BeRTA GUI*, diseñada para enviar los comandos OSC más importantes a *BeRTA Renderer*, lo que permite pruebas rápidas y demostraciones sin necesidad de desarrollo adicional. Además, se ofrece un *patch* para *Pu-*

reData que implementa el envío de comandos OSC. También se proporciona una plantilla de proyecto para Unity, que simplifica la integración del envío de comandos OSC desde una aplicación Unity. Por último, el BRT dispone de documentación en línea que se va actualizando conforme avanza el proyecto³.

6. Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el contexto del proyecto SONICOM (www.sonicom.eu) que ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención nº 101017743, y del proyecto nacional español SONIX (PID2023-152547NB-I00). También ha recibido apoyo del programa postdoctoral APOSTD (nº CIA-POS/2021/132) financiado por la Generalitat Valenciana y el Fondo Social Europeo.

7. Referencias

- [1] Blauert J. Spatial hearing - the psychophysics of human sound localization. MIT Press; 1997.
- [2] Vorländer M. Auralization. Cham: Springer International Publishing; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51202-6>.
- [3] Algazi VR, Duda R. Headphone-based spatial sound. IEEE Signal Process Mag 2011;28:33–42. <https://doi.org/10.1109/MSP.2010.938756>.
- [4] Wightman FL, Kistler DJ. Headphone simulation of free-field listening. II: Psychophysical validation. J Acoust Soc Am 1989;85:868–78.

¹ <https://github.com/GrupoDiana/BRTLlibrary>

² <https://github.com/GrupoDiana/BRTLlibrary/releases>

³ <https://grupodiana.github.io/BRT-Documentation/>

- [5] Xie B. Head-related transfer function and virtual auditory display. J. Ross Publishing; 2013.
- [6] Begault DR. 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc.; 1994.
- [7] Middlebrooks JC, Green DM. Sound Localization by human listeners. 1991.
- [8] Hartmann WM. How We Localize Sound. *Phys Today* 1999;52:24–9. <https://doi.org/10.1063/1.882727>.
- [9] Reyes-Lecuona A, Bouchara T, Picinali L. Immersive Sound for XR. In: Alcañiz JGTMSM, editor., Wiley; 2022. <https://doi.org/10.1002/9781119865810.ch4>.
- [10] Kolarik AJ, Moore BCJ, Zahorik P, Cirstea S, Pardhan S. Auditory distance perception in humans: a review of cues, development, neuronal bases, and effects of sensory loss. *Atten Percept Psychophys* 2016;78:373–95. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-1015-1>.
- [11] Zahorik P. Assessing auditory distance perception using virtual acoustics. *J Acoust Soc Am* 2002;111:1832–46. <https://doi.org/10.1121/1.1458027>.
- [12] Välimäki V, Parker JD, Savioja L, Smith JO, Abel JS. Fifty Years of Artificial Reverberation. *IEEE Trans Audio Speech Lang Process* 2012;20:1421–48. <https://doi.org/10.1109/TASL.2012.2189567>.
- [13] Serafin S, Geronazzo M, Erkut C, Nilsson NC, Nordahl R. Sonic Interactions in Virtual Reality: State of the Art, Current Challenges, and Future Directions. *IEEE Comput Graph Appl* 2018;38:31–43. <https://doi.org/10.1109/MCG.2018.193142628>.
- [14] Cuevas-Rodríguez M, Picinali L, González-Toledo D, Garre C, de la Rubia-Cuestas E, Molina-Tanco L, et al. 3D Tune-In Toolkit: An open-source library for real-time binaural spatialisation. *PLoS One* 2019;14:e0211899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211899>.
- [15] Wefers F. Partitioned convolution algorithms for real-time auralization. Aachen University, 2015.
- [16] Gonzalez-Toledo D, Molina-Tanco L, Cuevas-Rodríguez M, Majdak P, Reyes-Lecuona A. The Binaural Rendering Toolbox. A virtual laboratory for reproducible research in psychoacoustics. *Forum Acusticum* 2023, Turin, Italy: 2023.
- [17] González-Toledo D, Cuevas-Rodríguez M, Molina-Tanco L, Picinali L, Reyes-Lecuona A. New Release of the Binaural Rendering Toolbox: Introducing Version 2.0. *Forum Acusticum and Euronoise* 2025, Málaga, Spain: 2025.
- [18] Majdak P, Zotter F, Brinkmann F, De Muyne J, Mihocic M, Noisternig M, et al. Spatially Oriented Format for Acoustics 2.1: Introduction and Recent Advances. *Journal of the Audio Engineering Society* 2022;70:565–84. <https://doi.org/10.17743/jaes.2022.0026>.
- [19] De Sena E, Hacıhabiboğlu H, Cvetković Z, Smith JO. Efficient Synthesis of Room Acoustics via Scattering Delay Networks. *IEEE Trans Audio Speech Lang Process* 2015;23:1478–92. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2015.2438547>.
- [20] Wright M. Open Sound Control 1.0 Specification 2002.
- [21] Engel I, Craig H, Amengual Garí S V., Robinson PW, Picinali L. Perceptual implications of different Ambisonics-based methods for binaural reverberation. *J Acoust Soc Am* 2021;149:895–819. <https://doi.org/10.1121/10.0003437>.
- [22] Valle M, Belloch JA, Gutierrez-Parera P, de la Prida D. Detección de movimientos de cabeza para la implementación de un sistema binaural en el ámbito cultural. *Tecniacústica 2024 - 55º Congreso Español De Acústica, 13 Congreso Ibérico De Acústica, Faro, Portugal: 2024*, p. 513–20.
- [23] Cuevas-Rodríguez M, Gonzalez-Toledo D, Lawson A, Keren N, Reyes-Lecuona A. Addressing Acoustic Simulation Pitfalls in Virtual Reality for Occupational Safety Research. *Forum Acusticum and Euronoise* 2025, Málaga, Spain: 2025.
- [24] Gonzalez-Toledo D, Gutierrez-Parera P, Soto-Romero C, Cuevas-Rodríguez M, Reyes-Lecuona A. A pilot experiment on user individualization for sound localization within interactive virtual environments. *21st EuroXR International Conference, Athens, Greece: 2024*. <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2024.T4232>.



Diseño sin límites.

Cree espacios únicos con Rockfon Mono® Acoustic.

Deje volar su imaginación.
soundsbeautiful.com/es

Sounds Beautiful

100 proyectos, muchos nombres

100 projects, many names



Juan José Gómez Alfageme¹

¹ GAMMA-GAV, ETSIST, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
juanjose.gomez.alfageme@upm.es

Resumen

En este artículo, pretendo repasar los últimos veintitrés años de mi experiencia profesional en el campo de la simulación acústica de recintos sonoros mediante modelos geométricos. Esta experiencia está estrechamente relacionada con mi actividad como docente de la Universidad Politécnica de Madrid y con la realización de proyectos fin de carrera, proyectos fin de grado y trabajos fin de máster. El título, *100 proyectos, muchos nombres*, me va a permitir recordar el trabajo de muchas personas que han sido fundamentales en mi carrera profesional y poner en valor cómo, con pocos recursos, se puede llevar a cabo una cantidad ingente de trabajo de investigación en los ámbitos de las medidas acústicas de recintos, del diseño y la validación de modelos geométricos, de la simulación acústica y de la virtualización de espacios sonoros. La actividad investigadora, la vocación docente y, sobre todo, la ilusión que me han proporcionado las muchas personas a las que voy a hacer alusión a lo largo del artículo han supuesto el impulso necesario para culminar una vida profesional y personal que, en muchos momentos, pareció carecer de sentido.

Palabras clave: simulación acústica, modelos geométricos, medidas acústicas, virtualización de espacios.

Abstract

In this article, I intend to review the last twenty-three years of my professional experience in the field of acoustic simulation of sound enclosures using geometric models. This experience is closely related to my activity as a lecturer at the Universidad Politécnica de Madrid and to the completion of final degree projects, bachelor's degree projects and master's degree projects. The title, *100 projects, many names*, will allow me to remember the work of many people who have been fundamental in my professional career and to highlight how, with limited resources, a huge amount of research work can be carried out in the fields of acoustic measurements of enclosures, the design and validation of geometric models, acoustic simulation and the virtualisation of sound spaces. The research activity, the teaching vocation and, above all, the enthusiasm that the many people to whom I am going to allude throughout this article have given me have provided the necessary impetus to culminate a professional and personal life that, at many moments, seemed to lack meaning.

Keywords: acoustic simulation, geometric models, acoustic measurements, virtualization of spaces.

Introducción

Cuando el director de esta revista, Daniel de la Prida, me contactó para escribir un artículo, sentí una gran responsabilidad y un gran orgullo, al mismo tiempo que una cierta sensación de vértigo ante qué contar. Después de aceptar, le pregunté de qué trabajo de investigación prefería que escribiese, a lo cual contestó: "Cuéntalo todo". Se trata de una respuesta que, si bien es inspiradora, también es arriesgada. Decidí hacerle caso e intentarlo,

pero con un enfoque diferente. A continuación, relataré la investigación que llevé a cabo durante los últimos años de mi carrera profesional, cuando se me sugirió empezar a trabajar en un ámbito que no había abordado previamente como docente: la simulación acústica de recintos.

De los treinta y siete años que he ejercido como docente e investigador en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), veintitrés de ellos se han centrado en los trabajos que les voy a detallar. Desde el inicio de mi tra-

yectoria profesional, he estado vinculado al diseño y la caracterización de transductores piezoeléctricos para el ámbito de la acústica submarina, al diseño de sistemas de altavoces y de sistemas de refuerzo sonoro en diferentes tipos de recintos, y al desarrollo de herramientas informáticas destinadas a facilitar el estudio de la acústica. No fue hasta 2002 que inicié mi incursión en el diseño y la caracterización de recintos acústicos, aunque casi siempre con especial atención al diseño de sistemas de refuerzo sonoro. Estos primeros años me permitieron acercarme al ámbito de la acústica arquitectónica, al cual me aproximé gracias a mi experiencia previa con programas de simulación como EASE. Los años siguientes, hasta 2012, estuvieron marcados por la puesta en marcha de las nuevas titulaciones de grado tras la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Años que fueron poco productivos a nivel investigador, pero muy emocionantes a nivel académico y de gestión. Desde 2012 hasta 2016, trabajé con los futuros egresados de los títulos de grado y máster impartidos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST) de la UPM. Nuevas titulaciones, nuevas competencias y nuevas formas de trabajar. A partir de 2016, comenzó la fase más productiva de mi carrera. Conocí a personas que han sido muy importantes para mi vida, tanto profesional como personal. Personas *multidisciplinares*, como digo yo. No eran ingenieros, sino arquitectas. Me permitieron ampliar mis horizontes y pensar “en grande”. Me hicieron entender que la vida investigadora que estaba desarrollando no tenía límites y que la experiencia que habíamos alcanzado se debía extender al mayor número de personas posible. Después de la pandemia de 2020, pusimos en práctica todo lo aprendido de estas personas y han sido los 5 años más productivos de esta maravillosa experiencia.

Dado que esta es una publicación científica, no solo hablaré de proyectos y personas, sino que también explicaré cuál es nuestra metodología: cómo medimos, cuáles son nuestros criterios de valoración de salas, cómo diseñamos los modelos arquitectónicos y cómo validamos los modelos geométricos. Además, revelaré otros “trucos” que no siempre se cuentan.

Otro aspecto fundamental de este trabajo es la innovación educativa y la aportación que hemos podido hacer a la adquisición de nuevas competencias por parte de los alumnos que han participado en los proyectos. La única forma de poder llevar a cabo un elevado número de proyectos de fin de grado es fomentar el trabajo en equipo, con los diferentes roles que ello implica. En estos casos, es necesario inculcar la importancia que tiene el trabajo de cada alumno en el de los demás. También hemos conseguido que nuestros alumnos adquieran

competencias transversales al hacerles trabajar con materias que no se estudian en nuestras titulaciones, como los programas de representación 3D. Además, han adquirido competencias relacionadas con la organización del trabajo de campo y con toda la logística que implica movilizar equipos de medida y grupos de personas (que a veces son muy numerosos o que afectan a múltiples jornadas de trabajo con horarios peculiares). La propuesta que realizamos, especialmente a partir de 2016, era arriesgada, ya que nunca habíamos trabajado de esa forma, pero creo que los resultados que contaré han sido muy fructíferos, no solo a nivel profesional e investigador, sino también a nivel personal, tanto para mí como para los alumnos.

En este artículo voy a contar la experiencia de muchas personas que han colaborado conmigo durante estos últimos veintitrés años: algunos midiendo, otros enseñando, otros soportando y otros ilusionando; pero todos confiando en que se podía hacer y que se podía transmitir a todos aquellos interesados en aprender conmigo en este increíble camino que se inició en 2002.

Espero que el lector no considere que la historia que voy a contar sea pretenciosa. No pretendo que sea una autobiografía, ya que no soy más que otro profesor de acústica profundamente enamorado de lo que hace. Lo que deseo es mostrar lo que muchas personas han podido realizar bajo mi tutela, y lo que esto ha podido inspirarles para su futura trayectoria profesional en este maravilloso ámbito de la simulación acústica. Este relato va dedicado a todos ellos (y espero no dejarme a ninguno en el tintero de mi ordenador).

Los inicios: 2002-2006

El primer contacto con la simulación virtual de salas lo tuve gracias a Beatriz y David (2002) [1], dos alumnos que hicieron una estancia Erasmus en Noruega. Esta primera propuesta consistió en la sonorización de un estadio de hockey sobre hielo. Se trató del primer modelo, que se realizó en EASE. Para llevarlo a cabo, solo disponíamos de los planos y de una medida del tiempo de reverberación. Diseñaron un sistema de sonorización distribuido con altavoces configurados en forma de cuña. El único ajuste que se hizo al modelo fue tratar de que el tiempo de reverberación medido y el tiempo de reverberación calculado por teoría estadística se asemejaran lo máximo posible.

Posteriormente, llegó Amaica (2004) [2]. Era de Talavera de la Reina y me propuso hacer un estudio acústico del Teatro Palenque. Fue mi primera experiencia de medición del tiempo de reverberación en un recinto, donde se tuvieron en cuenta múltiples posiciones. También se

midió el sistema de refuerzo sonoro del teatro (espectro de nivel promedio) y se hizo una propuesta de mejora del sistema existente, que consistía en cambiarlo por otro en forma de *line array*.

Luego llegó Rafael (2005) [3], que simuló el Salón de Actos de Palazuelos de Eresma a partir de mediciones del tiempo de reverberación. Al año siguiente, Carlos (2006) [4] realizó la simulación del proyecto de la cafetería del Campus Sur de la UPM. Trabajó con planos previos a la construcción, a partir de los cuales hizo propuestas de modificación de materiales y comprobó la bondad del modelo mediante mediciones del tiempo de reverberación una vez finalizada la obra de la nueva cafetería.

Estadios deportivos: 2007-2015

Gracias a una colaboración con Bosch, se nos presentó la oportunidad de empezar a estudiar y modelar estadios deportivos. Como no podía ser de otra manera, decidimos empezar con “uno pequeño”: el Estadio Santiago Bernabéu. Se realizaron dos proyectos diferentes: por un lado, Estela y Manuel (2007) [5] se atrevieron a hacer un modelo acústico virtual del estadio, proponiendo el cierre de la parte superior y el diseño de un gran *cluster* de altavoces centralizado para la sonorización del estadio; por otro, Laura (2008) [9] abordó una propuesta más acorde con los tiempos y diseñó un sistema de refuerzo sonoro distribuido similar al que se montó después de la remodelación del estadio en 2009.

Con Isabel y Roberto (2008) [8] fuimos a medir el Palacio de Vistalegre, una antigua plaza de toros que en dicho año era utilizada como cancha de baloncesto cubierta donde jugaban los equipos madrileños de la ACB. Crearon el modelo acústico a partir de las medidas del tiempo de reverberación y diseñaron una propuesta de sonorización que consistía en un anillo de *arrays* de altavoces y un refuerzo especial para la zona de la cancha deportiva.

En 2012, Yolanda [17] modeló el pabellón cubierto de los Juegos del Mediterráneo de Almería y realizó una propuesta de sistema de sonorización que consistía en la distribución de pequeños *line array*. Tres años después, en 2015, Iván [31] se atrevió a modelar el Estadio Metropolitano del Atlético de Madrid cuando todavía no estaba construido. Además, diseñó un sistema de sonorización para los posibles Juegos Olímpicos de Madrid 2020. Alfonso (2018) [40], aprovechando el trabajo previo del Iván, generó el modelo del Estadio Metropolitano en SketchUp y diseñó dos sistemas de refuerzo sonoro para grandes eventos de música en directo, que incluían sistemas de escenario *line array*, *arrays* de subgraves, torres de *delay* y sistemas de refuerzo para zonas específicas de los graderíos.

Todos los proyectos anteriormente mencionados se desarrollaron íntegramente en el software de simulación acústica EASE, tanto el levantamiento del modelo, como la adjudicación de materiales acústicos y el diseño de la sonorización.

Kinépolis: 2009-2015

Gracias a la colaboración de los antiguos alumnos Ricardo Viñas (Dolby) y Roberto Rello (Kinépolis), comenzó una experiencia muy fructífera para todos los involucrados. Kinépolis tiene un complejo de cines en Pozuelo de Alarcón con 25 salas, agrupadas en seis formatos de aforo distintos que abarcan desde las 250 hasta las 1000 butacas. La alumna que comenzó los trabajos en este espacio fue Lucía (2009) [6], con la sala 25. A continuación, fueron Raquel (2010) [12], con las salas 6 y 7; Sara y Celia (2011) [15], con las salas 10 y 11; y, dos años después, Sara (2013) [24], que realizó el diseño de la remodelación de la sala 6 para la instalación de un sistema de refuerzo sonoro Dolby Atmos, que todavía no existía en ninguna sala de Madrid en ese momento. Posteriormente, Kinépolis llevó a cabo este proyecto, aunque con otros modelos de altavoces.

A partir de 2014 comenzamos a utilizar el sistema de medida Dirac, lo que supuso entender de otra forma la validación de los modelos geométricos que seguíamos diseñando enteramente en EASE. Gracias a este software, era posible adquirir un gran número de parámetros acústicos a partir de la medición de la respuesta al impulso. Cristina (2014) [27] caracterizó y modeló la sala 5. Empezamos midiendo la sala con una fuente sonora omnidireccional, pero pronto comprendimos que, en el caso de una sala de cine, también era necesario hacer mediciones con el propio sistema de sonido de la sala. De este modo, Helena (2014) [26] pudo validar el modelo de la sala 6, diseñado por Raquel, considerando todos los canales de sonido (sistema 6.1) de la sala. Creemos que es la primera vez que a alguien se le ocurrió algo tan peculiar. Le siguieron Adrián (2014) [29], con la sala 4, y Guillermo (2014) [33], con la sala 17. Con estos proyectos se caracterizaron y modelaron en EASE todos los formatos de salas de Kinépolis. También se les proporcionó la planimetría de conexionado de todas las salas medidas.

Cámara anecoica de la ETSIST: 2009-2014

La construcción de la nueva cámara anecoica de la ETSIST en 2008 hizo necesario realizar investigaciones detalladas para calificar la cámara. Se llevaron a cabo varios proyectos que trataron de determinar la dimensión del campo libre dentro de la cámara y, lo que es más

interesante, el tiempo de reverberación en su interior. Óscar (2009) [11] y Teresa (2011) [13] desarrollaron los procedimientos de medida y Manuel (2012) [16] diseñó y validó el modelo de la cámara anecoica en EASE. Francisco Javier (2012) [21] y Peter (2014) [28] diseñaron los filtros necesarios para estimar el tiempo de reverberación dentro de la cámara anecoica.

El diseño y puesta en marcha de los títulos de grado: 2011-2013

Durante el proceso de puesta en marcha de las nuevas titulaciones de grado en la ETSIST, los trabajos de investigación se ralentizaron debido a mi dedicación como Subdirector de Calidad de la Escuela. En esos años, Juan Marcos (2011) [14] diseñó el modelo de la Iglesia Adventista de Madrid, Francisco (2011) [15] modeló diferentes trenes de Siemens para mejorar el confort acústico de los pasajeros, Felipe (2012) [19] diseñó diferentes sistemas de acondicionamiento acústico para el recinto Tabacalera de Madrid, Pablo (2012) [30] y Javier (2012) [31] diseñaron una escuela de música en Santiago de Compostela y Sara (2012) [24] generó el modelo acústico del Teatro El Bosque de Móstoles.

El cambio de estilo: 2014-2016

Tal y como he comentado anteriormente, la utilización de Dirac supuso la modificación de la forma en que realizábamos la validación de los modelos geométricos que diseñábamos en EASE. La artífice de nuestro cambio fue Elena (2014) [30], que realizó el modelo del último formato de salas de Kinépolis. Con Elena, replanteamos el procedimiento de medida (norma UNE-EN ISO 3382), el procesamiento de los datos medidos, la eliminación de datos estadísticamente poco representativos, la creación de una métrica JND y la validación de los modelos a partir de los valores promedio de un total de 12 parámetros acústicos. Tras este trabajo, quedaron establecidas las bases de nuestro procedimiento y pudimos empezar a trabajar con una metodología clara y extensible a futuros proyectos.

Sara (2012) [23] se encargó de levantar y validar el modelo del nuevo Auditorio del Campus Sur de la UPM, así como de diseñar el sistema de sonorización mediante *line arrays*. Borja y Bascués (2015) [32] me convencieron para realizar nuestro primer trabajo fuera de Madrid, que también fue nuestro primer teatro. Entre los dos, diseñaron y validaron el modelo del Teatro Arriaga de Bilbao, que necesitó dos días de mediciones y supuso nuevos retos logísticos. Con Carlos (2016) [34] fuimos a Burgos a generar el modelo del Teatro Fórum de la Evolución. Jorge (2016) [35] llevó el procedimiento a Noruega para diseñar el modelo de un teatro al aire libre en el bosque,

para lo que se grabaron audios del propio sistema de sonorización siendo excitado con un barrido de tonos exponencial y, posteriormente, se calcularon en formato *off-line* las respuestas al impulso a partir de estas señales.

Acreditación ABET: 2016-2018

En estos años, nuestra escuela apostó por obtener acreditaciones internacionales de los nuevos títulos de grado, siendo la primera conseguida la acreditación ABET, lo que supuso tener que modificar las características de nuestros PFG. Gracias al trabajo previo de Elena, fue posible mantener el formato de nuestros proyectos, que se adaptaban perfectamente a los requisitos de ABET.

Sergio (2016) [36] realizó el modelo acústico del auditorio Alfredo Kraus de Majadahonda. Con Álvaro (2016) [37], Jorge (2016) [38] y Hatty (2016) [39] fuimos a la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña para medir el Aula Magna, dos salas especiales y la cafetería de la escuela. María (2017) [41] llevó a cabo nuestra primera incursión eclesial en la parroquia de la Virgen de Begoña de Madrid. Nacho (2018) [42] diseñó el modelo de la sala de conciertos El Sol de Madrid y propuso un nuevo sistema de refuerzo sonoro. Francisco (2018) [44] diseñó el salón de actos de la Dirección General de la Guardia Civil de Madrid y Patricia (2018) [45] diseñó el modelo del Teatro Alfíl de Madrid.

Para terminar este apartado, mencionaremos a Ángela (2018) [43], nuestra primera arquitecta, aunque por aquel entonces yo no sabía que había estudiado dos años de arquitectura antes de venir a nuestra escuela. Su proyecto consistió en darle una nueva vida al Palacio de la Música de Madrid, que cerró sus puertas en 2011. Fue el primer proyecto cuyo modelo arquitectónico se realizó enteramente en SketchUp y, posteriormente, se exportó a EASE para crear el modelo acústico. El proyecto contemplaba el uso de acondicionamiento acústico de geometría variable para poder utilizar el recinto en cuatro configuraciones diferentes con el fin de albergar conciertos, ópera, teatro y cine. Francisco Javier (2018) [46], arquitecto técnico, diseñó el modelo del Auditorio Municipal de Linares durante su periodo de construcción, se encargó también de validar el modelo en fase de obra y aportó propuestas de acondicionamiento acústico de la sala para su finalización.

Un nuevo paradigma: 2018-2020

Después de Ángela y Francisco, conocí a Janet, arquitecta y estudiante del Máster en Ingeniería Acústica

de la UPM. Janet me enseñó a comprender a los arquitectos y amplió mi forma de entender el mundo de la acústica y su conexión con la arquitectura. Janet me propuso hacer los modelos en SketchUp, algo que seguimos haciendo, y empezó a dar algunas clases magistrales a los alumnos más interesados en el modelado de recintos.

En abril de 2018, y como continuación de los trabajos realizados en A Coruña por intermediación de mi gran amigo Pedro Nogueira, profesor de la Universidad de A Coruña, surgió la posibilidad de caracterizar acústicamente la Catedral de Santiago de Compostela. En ese momento conocí a dos estudiantes italianas de Erasmus en A Coruña, Francesca y Federica, estudiantes de arquitectura e ingeniería civil en la Universidad de Bari, quienes fueron las promotoras de esta idea. Unos días más tarde, nos reunimos para medir en la Catedral un grupo variopinto: Lidia Álvarez y su grupo de la Universidad de Sevilla, Francesco Martellotta de la Universidad de Bari, Pedro Nogueira y su grupo de la Universidad de A Coruña y yo de la UPM. La Catedral se encontraba en obras de rehabilitación y coordinar a cuatro equipos de investigación no fue fácil, pero nosotros, desde la UPM, pudimos medir todo lo que estaba planificado, que consistía en una noche completa de mediciones (de 21:00 a 7:00 h). Ahí comenzamos nuestro primer trabajo de gran envergadura. Volvimos a medir a la Catedral de Santiago en otras dos ocasiones: en noviembre de 2018 estuvimos tres noches con la Catedral todavía en obras (Janet, Mariene, Federica, Francesca, Elena y yo); y en marzo de 2020 estuvimos otras tres noches, pero en esta ocasión con las obras de rehabilitación ya finalizadas (Mariene, Francesca, Juan Carlos, Elena y yo).

Estos trabajos comenzaron a dar sus frutos casi de inmediato: Diego (2019) [47], Juan Carlos (2019) [48] y Marcos (2020) [65] modelaron, respectivamente, la Capilla de la Corticela, la Capilla de la Comunión y la Capilla del Pilar de la Catedral de Santiago. José David (2019) diseñó el sistema de sonorización distribuido de la Catedral, en el que se basa el actual. Los trabajos de la Catedral culminaron con el TFM de Francesca (2020) [58] y la entrega de un exhaustivo informe a la Casa da Fábrica, fundación encargada de la gestión de las actividades de restauración de la Catedral.

Pero lo más importante no fue eso, sino que posteriormente Francesca se vino desde Italia para estudiar el Máster en Ingeniería Acústica. Desde su llegada a Madrid, se incorporó a nuestro grupo de investigación GAMMA, formando junto con la profesora Elena Blanco y yo el subgrupo de Acústica Virtual (GAV). Francesca nos ayudó con los siguientes proyectos de los alumnos de grado, al tiempo que iniciaba sus estudios de máster.

Nos enseñó a trabajar con SketchUp y nos contagió a todos con su ilusión y predisposición al trabajo. A partir de entonces, comenzamos a trabajar con un nuevo paradigma: el trabajo en equipo.

En paralelo, comenzó otro de nuestros grandes proyectos: el Auditorio Nacional de Música de Madrid. La idea partió de Patricia, otra alumna de máster que había empezado un año antes de la llegada de Francesca. Se trata del proyecto más amplio que hemos realizado, ya que se extendió a lo largo de diez sesiones de medición e involucró a catorce personas que estaban empezando sus trabajos de fin de grado o que colaboraban con GAMMA-GAV. El modelado de las salas y las auralizaciones, en esta ocasión, se realizó en ODEON. Gadea (2020) [52] diseñó y validó el modelo de la Sala Sinfónica, y Andrés (2020) [59] diseñó y validó el modelo de la Sala de Cámara. Patricia (2020) [51] llevó a cabo la auralización de 39 posiciones de escucha entre la Sala Sinfónica y la Sala de Cámara, con una configuración de orquestal en ambos casos.

Fabián (2020) [55], otro alumno del máster, realizó el diseño constructivo del Centro de Artes Escénicas de Bogotá, que se presentaría posteriormente a un concurso patrocinado por el ayuntamiento de dicha ciudad.

La era más productiva: 2020-2025

Simultáneamente a los dos grandes trabajos anteriores, comenzamos otros trabajos de diseño y validación de modelos geométricos centrados en un tipo de edificio particular: los teatros a la italiana. Lo comienza Daniel (2020) [50] con el Teatro Principal de Alicante, y lo continúan Mario (2020) [53] con el Teatro Español de Madrid, Elena (2020) [54] con el Corral de Comedias de Alcalá de Henares, María (2020) con el Real Coliseo Carlos III de San Lorenzo de El Escorial, Irene (2020) [57] con el Real Teatro Carlos III de Aranjuez, Alejandro (2020) [60] con el Teatro María Guerrero de Madrid, Daniel (2020) [61] con el Teatro de la Comedia del Príncipe de Madrid, Daniel (2020) [62] con el Salón Cervantes de Alcalá de Henares, David (2020) [63] con el Teatro Diéguez de Colmenar de Oreja, y Alberto (2020) [64] con el Teatro Cervantes de Chinchón.

También diversificamos nuestro alcance con nuevos proyectos: Nuria (2021) [66] diseñó el modelo de la Iglesia de Nuestra Señora de la Granada de Llerena, Raquel (2021) [67] diseñó el modelo del Cine Capitol de Madrid, Cristina (2021) [68] diseñó la transformación del Cine Capitol en una sala de cine con formato Dolby Atmos, y Ricardo (2021) [73] diseñó una sala de cine *Premium Large Format*.

En 2021, volvimos a los modelos de teatros a la italiana: Alfonso (2021) [69] modeló el Teatro de la Zarzuela de

Madrid, Sara (2021) [70] el Teatro Nuevo Alcalá de Madrid y Eduardo (2021) [71] el Teatro Liceo de Salamanca.

Otro de nuestros grandes proyectos fue el diseño y la validación de las diferentes salas del Teatro Real de Madrid: Jordán (2021) [72] se encargó de la Sala de Ópera del Teatro Real de Madrid, para lo que fueron necesarias tres jornadas de medición y la colaboración de diez personas; Rosario (2024) [90] realizó la sala de Ensayo de Coro; Sergio (2024) [91] se encargó de la Sala de Ensayo Sinfónica; y Juanjo (2025) [108] hizo la Sala Gayarre.

En 2022 continuamos con los teatros: Arturo (2022) [77] hizo el Teatro Lara de Madrid; Javier (2022) [79], el Teatro Reina Victoria de Madrid; y Gonzalo (2022) [80], el Teatro Victoria de Talavera de la Reina. También se realizaron proyectos en otros recintos: Samuel (2022) [74] se encargó de la Iglesia de San Francisco Javier de Nuevo Baztán; Pablo (2022) [75], de la Iglesia de San Juan de los Caballeros de Segovia; y Claudia (2022) [78] del Gran Auditorio del Colegio Oficial de Médicos de Madrid.

Los teatros que se midieron y simularon en 2023 fueron: el Teatro Cervantes de Valladolid, por Jaime (2023) [81]; el Corral de Comedias de Almagro, nuestro primer teatro abierto, por Beatriz (2023) [82]; y el Teatro Municipal de Almagro, por Solomiya (2023) [83].

En 2024 seguimos modelando teatros: Pablo (2024) [85] hizo el Teatro Juan Bravo de Segovia; Marcos (2024) [86], el Teatro Principal de Mora de Toledo; Natalia (2024) [88], el Teatro Infanta Isabel de Madrid; Eva (2024), el Teatro Circo de Murcia; Gonzalo (2024), el Teatro Zorrilla de Valladolid; y Alba (2024) [97], el Teatro de Rojas de Toledo. Otros recintos modelados fueron: el diseño de una sala de cine con formato Dolby Atmos, a cargo de Rubén (2024) [84]; el Auditorio de la ETSSSP de la UPM, por Manuela (2024) [87]; el Auditorio de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la UPM, por Andrea (2024) [95]; la Sala Sinfónica del Auditorio de San Lorenzo del Escorial, por Álvaro (2024) [94] y la Basílica de la Catedral de Cuenca, por Sara (2024) [96].

Y por último, en 2025 estamos modelando los siguientes recintos: Sergio (2025) [97] está trabajando en las cuatro capillas mayores de la Catedral de Cuenca; Gonzalo (2025) [98], en la Sala de Cámara Sinfónica del Auditorio de San Lorenzo del Escorial; Paulo César (2025) [99], en el Auditorio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM; Vera (2025) [100], en la Iglesia del Monasterio de Montserrat de Madrid; Inés (2025) [101], en la Iglesia del Monasterio de Uclés en Cuenca; Ana (2025) [102], en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias Químicas de la UPM; Farah (2025) [103], en la Iglesia de San Fermín de los Navarros de Madrid; Juan Carlos (2025) [104], en la Iglesia del Convento de

San Bernardo de Alcalá de Henares; Álvaro (2025) [105], en el Teatro Municipal de Almodóvar del Campo; María José (2025) [106], en el Teatro Romea de Murcia; y Sergio (2025) [107], en el Auditorio de la Escuela Superior de Enfermería de la UPM.

Con esto llegamos al final de la reseña biográfica de muchas personas excelentes que han colaborado en nuestros trabajos de investigación, que todavía hoy siguen adelante.

Nuestro procedimiento de procesamiento de datos, diseño y validación de los modelos geométricos

A continuación, voy a intentar explicar brevemente nuestro procedimiento de medición in situ, de diseño del modelo arquitectónico simplificado y del modelo geométrico, y de validación del modelo de acuerdo con las mediciones in situ.

El procedimiento de medición se realiza de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN ISO 3382-1, con las adaptaciones necesarias en función del tipo de recinto (teatro, auditorio, iglesias, etc.). Las mediciones se realizan con una fuente sonora omnidireccional AVM DO-12, un micrófono omnidireccional AKG CK92, un micrófono bidireccional AKG CK94, un simulador de cabeza y torso B&K 4128, un amplificador de potencia CROWN 2022, un sonómetro B&K 2260, un calibrador sonoro B&K 4130, un software de medición Dirac 6 y un ordenador portátil.

Tras evaluar la planimetría del recinto, se determina el número de fuentes y receptores que se colocarán en la sala (Figura 1). Si la sala es simétrica desde el punto de vista arquitectónico, la mayoría de los receptores se dispondrán en una mitad de la sala, respetando la simetría axial de esta. En este caso, se situarán algunas posiciones de micrófono de control para comprobar la hipótesis de simetría. Se intentará disponer, al menos, de dos posiciones de fuente en todas las salas: una colocada axialmente y otra desplazada ortogonalmente hacia la mitad de la sala donde se sitúan los micrófonos. En salas como auditorios e iglesias, el número de fuentes se incrementa en función de las fuentes reales o de los usos específicos que tengan.

Se utiliza como señal de excitación en Dirac un barrido exponencial de tonos de duración variable (depende del tipo de recinto) y se mide la respuesta al impulso para cada pareja de posiciones fuente-receptor. Una vez medidas todas las respuestas al impulso, que se guardan en formato .wav, se extraen todos los parámetros acústicos de nivel, temporales, energéticos, espaciales y de inteligibilidad en bandas de octava y tercio de octava.

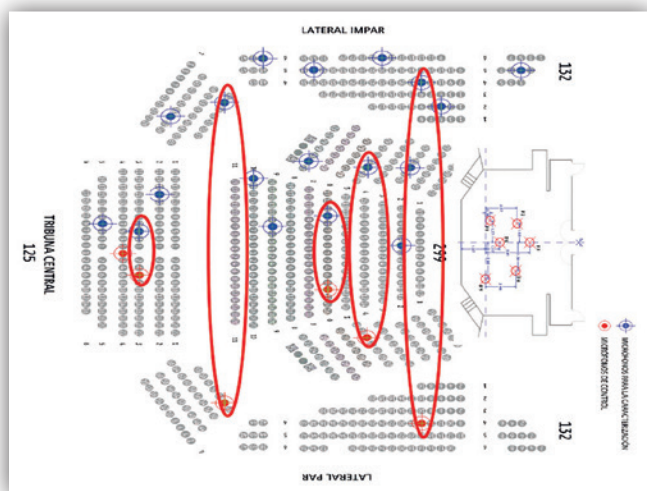


Figura 1. Disposición de fuentes y receptores en la Sala de Cámara del Auditorio Nacional de Música de Madrid [59].

En primer lugar, todos los datos se procesan en bruto en bandas de octava sin aplicar ningún tipo de tratamiento. Posteriormente, se procesan en bandas de octava y de tercio de octava aplicando el criterio de nivel INR superior a 35 dB y el criterio estadístico de Chauvenet para eliminar valores estadísticamente poco representativos de cada uno de los parámetros acústicos medidos. En el caso de las bandas de octava, los datos se obtienen desde 31,5 Hz hasta 16 kHz. En el caso de las bandas de tercio de octava, los datos se obtienen desde 20 Hz hasta 20 kHz. Con los datos procesados de cada parámetro, se obtiene el valor promedio y la desviación estándar por zonas de audiencia diferenciadas (ver Figura 2), así como el valor promedio y la desviación estándar del conjunto de todas las medidas realizadas.

El diseño del modelo arquitectónico simplificado se realiza en EASE, como hacíamos al principio, o en SketchUp, como hacemos en la actualidad. El modelo arquitectónico 3D debe ser fiel a la sala real, pero hay que considerar que la validación posterior se va a realizar en EASE, lo que conlleva la necesidad de realizar simplificaciones, intentando siempre que tengan una justificación acústica y conociendo el tratamiento de la geometría de EASE. En SketchUp también se definen diferentes capas, que dependen del comportamiento acústico de las superficies de la sala y a las que posteriormente se les asignarán materiales acústicos. Estas capas se referirán a superficies límite de la sala (superficies de una cara en EASE) y a superficies interiores de la sala (superficies de doble cara en EASE).

El punto de partida del modelo arquitectónico simplificado (ver Figura 3) es la planimetría existente de la sala, que puede estar en formato fotogrametría, nubes de puntos, modelos 3D, planos 2D hiperdetallados en Auto-

Medias Datos por zonas										
Frecuencias	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1ANFITEATRO	2,211	2,198	2,153	2,246	2,429	2,259	1,904	1,314		
2ANFITEATRO	2,221	2,219	2,158	2,278	2,444	2,317	1,997	1,437		
CORO	2,096	2,213	2,158	2,250	2,406	2,215	1,789	1,158		
GALERIA	2,175	2,223	2,160	2,237	2,413	2,222	1,842	1,341		
LATERAL_1ANFITEATRO	2,105	2,235	2,146	2,246	2,407	2,214	1,813	1,174		
LATERAL_2ANFITEATRO	2,093	2,219	2,151	2,284	2,414	2,252	1,875	1,261		
PATIBUTACAS	2,055	2,195	2,157	2,246	2,401	2,198	1,772	1,111		
TRIBUNA	2,108	2,207	2,111	2,242	2,384	2,247	1,892	1,327		
MEDIA	2,137	2,212	2,151	2,235	2,410	2,245	1,868	1,259		
Desviaciones Datos por zonas										
Frecuencias	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1ANFITEATRO	0,195	0,129	0,070	0,057	0,035	0,036	0,068	0,087		
2ANFITEATRO	0,187	0,119	0,071	0,051	0,038	0,031	0,038	0,053		
CORO	0,174	0,147	0,072	0,063	0,047	0,034	0,043	0,065		
GALERIA	0,126	0,126	0,048	0,057	0,039	0,026	0,050	0,030		
LATERAL_1ANFITEATRO	0,181	0,110	0,058	0,063	0,046	0,030	0,042	0,056		
LATERAL_2ANFITEATRO	0,235	0,119	0,082	0,049	0,041	0,027	0,031	0,046		
PATIBUTACAS	0,180	0,109	0,065	0,055	0,039	0,044	0,076	0,093		
TRIBUNA	0,169	0,147	0,057	0,053	0,037	0,028	0,038	0,062		
MEDIA	0,196	0,125	0,069	0,058	0,044	0,035	0,055	0,079		
SDV IND	2	2	1	1	1	1	2	3		

Figura 2. Valores promedio y desviación estándar (también en métrica JND) de T_{30} de las diferentes zonas de audiencia de la Sala Sinfónica del Auditorio Nacional de Música de Madrid [52].

CAD, planos 2D de AutoCAD en formato .pdf (escalados o no), planos de hace mucho tiempo o, en algunos casos, no existe planimetría. En cualquier caso, es imprescindible comprobar y medir in situ las dimensiones reales de los recintos y los detalles específicos que no aparecen en los planos, así como realizar un exhaustivo reportaje fotográfico del recinto.

El modelo geométrico se diseña en el entorno de simulación de EASE (ver Figura 4) a partir de la importación del modelo 3D de SketchUp. En este programa, se asignan materiales acústicos a las diferentes capas definidas previamente en SketchUp. Esta primera asignación de materiales (que denominamos mod0), se realiza con materiales genéricos de bases de datos o bibliografía.

A partir de este momento comienza el procedimiento de validación, que comprende varias fases:

- **Fase 1:** dado que EASE solo permite incluir datos de geometría y características acústicas de los materiales (coeficientes de absorción y dispersión, especificados en bandas de tercio de octava de 100 Hz a 10 kHz), solo se podrán variar los coeficientes de algunos materiales asociados a superficies específicas de la sala. En esta primera fase, se intenta ajustar de forma adecuada el tiempo de reverberación simulado mediante la teoría acústica estadística (RT Eyring) al tiempo de reverberación medido en DIRAC (RT).
- **Fase 2:** se simulan en baja resolución los parámetros tiempo de reverberación, C_{50} y C_{80} , utilizando tanto la teoría acústica estadística (*Standard Mapping* en EASE) como la teoría acústica geométrica (*AURA Mapping* en EASE). Se compara la distancia entre el valor promedio de los parámetros simulados y el valor promedio de los medidos utilizando

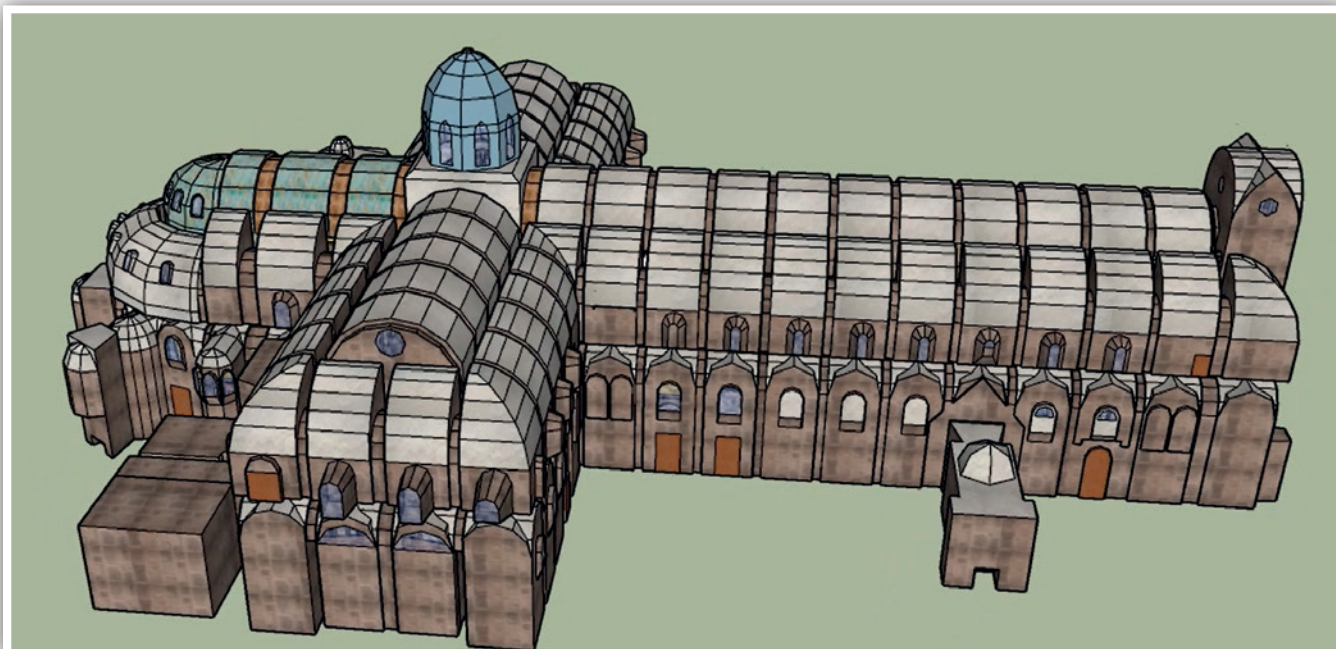


Figura 3. Modelo arquitectónico simplificado en SketchUp de la Catedral de Santiago de Compostela [58].

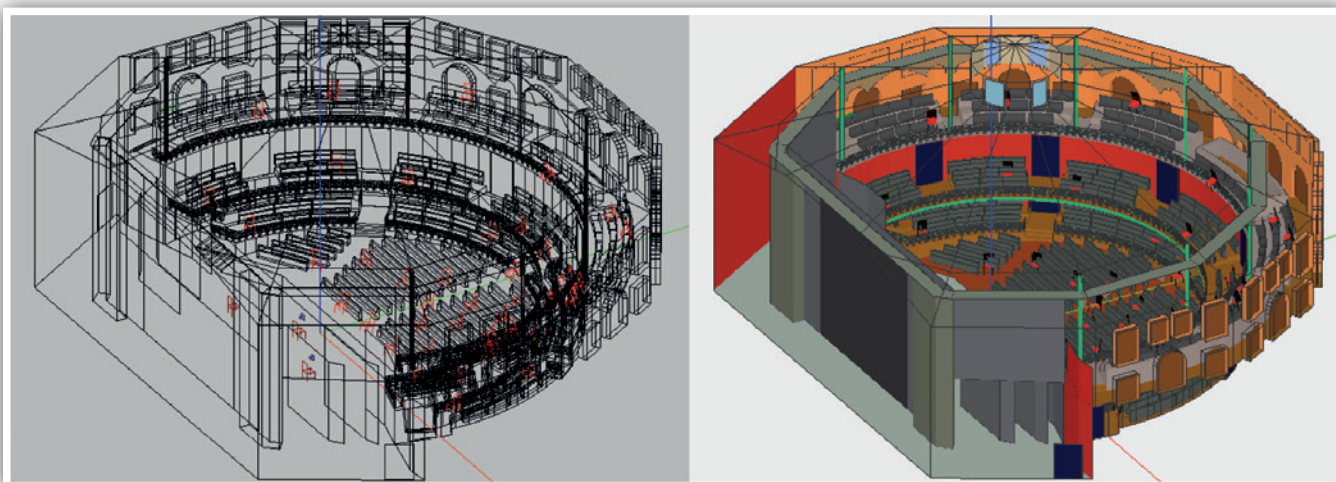


Figura 4. Modelo geométrico en EASE del Teatro Circo de Murcia [89].

la métrica común JND. En función del resultado, que se plasma en una matriz con código de colores (ver Figura 5), se vuelve a la Fase 1, donde se modifican las características de algunos materiales utilizando criterios acústicos lógicos y realizando pequeñas modificaciones de materiales contrastables. A continuación, se repite la Fase 2 hasta que la distancia de estos tres parámetros, medidos y simulados, proporcione un resultado aceptable.

- **Fase 3:** se simulan en alta resolución el tiempo de reverberación, C_{50} , C_{80} , STI, ALcons (*Standard Mapping*) y EDT, T_{20} , T_{30} , D_{50} , C_{50} , C_{80} , T_s , LF, LFC, STI, ALcons (*AURA Mapping*) y se compara la distancia entre los valores promedio de los parámetros simu-

lados y los medidos utilizando la métrica común JND. Si fuese necesario, se repetiría el procedimiento volviendo a las fases 1 y 2. El resultado final de la distancia entre los parámetros medidos y los simulados queda plasmado en la matriz en métrica JND en 21 bandas de tercio de octava que contiene 256 celdas de validación. El mismo procedimiento se realiza en la Fase 3 en bandas de octava, que queda plasmado en la matriz en métrica JND en 8 bandas de octava que contiene 100 celdas de validación. Con estas tres fases, el procedimiento de validación de los valores promedio quedaría terminado.

El procedimiento de validación local consta de diferentes fases, que todavía están en desarrollo y que se

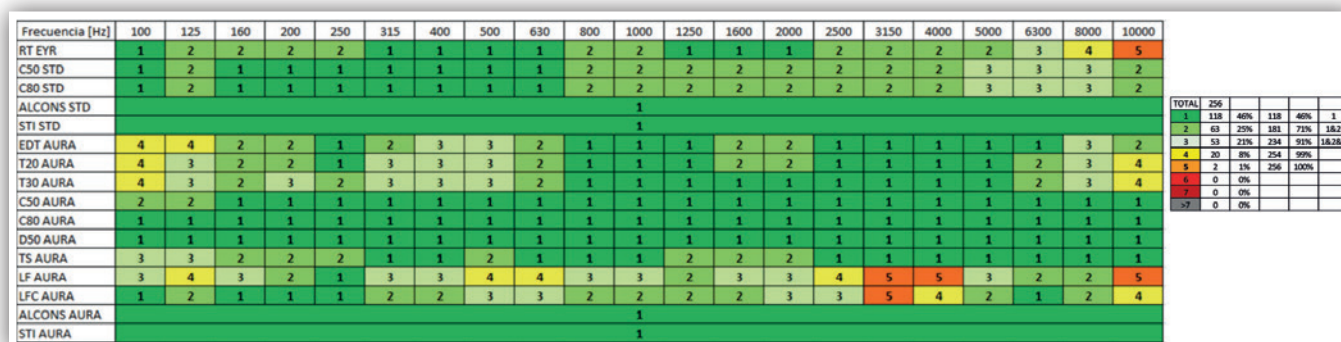


Figura 5. Resultado del procedimiento de validación en tercio de octava de la Sala Sinfónica del Auditorio Nacional de Música de Madrid [52].

están aplicando en algunos casos concretos. En él se comprueba la distancia local de los parámetros punto a punto, que se compara con la distancia local de cada parámetro con respecto al valor promedio utilizado en las tres fases anteriores, tanto para valores medidos como simulados. También se calcula la función de transferencia local y se vuelve a estimar la distancia entre la medida y la simulada. Como siempre, la validación final consistirá en la comparación psicoacústica entre las auralizaciones de las respuestas al impulso medidas y simuladas.

Conclusiones

La intención de este artículo era reconocer el trabajo de muchas personas magníficas que, durante los últimos veintitrés años, han colaborado con el grupo de investigación GAMMA-GAV y conmigo para poder obtener información muy valiosa sobre una gran cantidad de recintos acústicos de diferentes tipos. También quería destacar que este tipo de trabajos se pueden realizar sin financiación ajena de ninguna institución, solo con la ilusión que se ha transmitido dentro de este grupo de personas.

También es importante destacar lo interesante que ha resultado poner en práctica un proyecto de innovación educativa que nos ha permitido trabajar con hasta veinte alumnos a lo largo de un curso académico. No es fácil ni planteárselo, pero creo que se puede hacer, y a las pruebas de los últimos años me remito.

¿Qué han conseguido los alumnos? Han aprendido a responsabilizarse en el trabajo en equipo, en el que todos deben desempeñar papeles distintos y todos son importantes para el trabajo final de cada uno de los otros. Aprenden, ponen en práctica lo aprendido, enseñan lo aprendido y participan en los trabajos de los demás. Han aprendido a utilizar nuevas herramientas de representación gráfica, nuevos sistemas de medida, gestión de proyectos, nuevas herramientas de simulación y nuevos métodos científicos.

¿Qué hemos conseguido los docentes? Hemos visto crecer a nuestros alumnos como personas y como inge-

nieros. También hemos aprendido a gestionar grandes equipos de personas, grandes recintos, trabajos complejos en tiempos muy reducidos, a no rendirnos ante las adversidades, a esperar pacientemente a que un recinto donde queríamos medir estuviera libre y a perderle el miedo a llegar a determinados lugares o personas. Hemos aprendido a convencer a los que muchas veces han sido reticentes a dejarnos acceder a sus recintos. Pero, sobre todo, nos hemos alimentado de la ilusión de nuestros alumnos, porque sin ellos esta curiosa historia no se habría podido llevar a cabo.

¿Qué he conseguido yo? He conocido a todos los alumnos que han querido colaborar en este periplo científico, he aprendido muchas cosas nuevas, he aprendido a convencer a los agentes externos de la utilidad que tienen este tipo de trabajos multidisciplinares y he aprendido a escuchar a mis alumnos e intentar que se involucren en el trabajo en equipo. He vuelto a ilusionarme con mi trabajo después de algunos momentos muy complicados, he hecho grandes amigos a lo largo de estos años y, lo mejor de todo, he visto la cara de orgullo de los padres, amigos y parejas de mis alumnos el día que por fin defienden el proyecto de fin de grado.

Si revisáis las referencias, comprobaréis que hay un total de 108, lo que no coincide con el título del artículo, pero me pareció que 100 era un número más sugestivo. Realmente tampoco han sido 108, sino muchos más, pues en mi colaboración con el Máster de Ingeniería Acústica de Granada también tutoricé diez TFM relacionados con esta temática, que se encuentran depositados en la Universidad de Granada. Además de estos proyectos dedicados a la simulación acústica de modelos geométricos, he tutorizado otros 100 proyectos de fin de grado y trabajos de fin de máster en otros ámbitos de la enseñanza y el aprendizaje, como son el diseño de transductores electroacústicos y el procesado de señal.

Como profesor universitario, uno de los mayores orgullos que se puede tener es ver cómo sus alumnos culminan una carrera, que no siempre es corta ni fácil. Pero

el mayor de todos ellos es ver cómo se realizan como profesionales mientras llevan a cabo sus proyectos. De los 120 proyectos que he tutorizado en esta temática, me resulta muy difícil decidir cuál ha sido el mejor o el que más me ha aportado. Creo que eso se podría hacer fríamente, viendo la calificación obtenida por los alumnos, pero yo no soy así, no puedo ordenarlos por sus calificaciones. Cada uno de ellos me ha aportado cosas que no es fácil valorar ni ordenar. Todos son importantes para mí, muy importantes. Sé que esto no debería hacerlo por el riesgo que corro de olvidarme de alguien, pero siempre hay que recordar a algunas personas por lo que han aportado, ya sea a mí o al conjunto de todos los alumnos con los que han colaborado a lo largo de los años.

Así, que allá vamos: Francesca, por ser mi amiga y aportar ilusión y trabajo sin fin. Sin ella no habríamos podido hacer tantísimos trabajos. Janet, por hacerme entender la multidisciplinariedad y por incitarme a seguir haciendo más trabajos. Amaica, por el primer teatro en España. Estela, el primer estadio deportivo. Francisco y Manuel, los primeros TFM del Master en Ingeniería Acústica. Lidia, del Máster de Granada, por haber cultivado esta amistad a lo largo de los años. Elena, por establecer el procedimiento científico que luego hemos seguido. Iván, por atreverse con el Metropolitano en EASE. Borja y Bascués, por llevarnos a hacer medidas fuera de Madrid y perderle el miedo. Ángela, por ser la primera en introducirnos en SketchUp. Juan Carlos y Mariene, por ser grandes amigos y por dejar sus trabajos para venirse a medir a Santiago. Nuria, por creerse que lo podía hacer cuando no era capaz de ver su iglesia en el espacio. Ricardo, por ser mi amigo y fiel colaborador con la escuela desde hace 30 años. Sara, por colaborar con muchos de sus compañeros a lo largo de los años. Claudia, por creer en si misma cuando ni ella misma se lo creía. Solomiya, por ser una ternura como persona y siempre querer aprender. Eva, por su tenacidad y sus ganas de venir a apoyar cuando ya había acabado sus estudios. Vera, el número 100 de la lista, por sobreponerse a muchas dificultades, por creer en mí y por aguantarme a pesar de ser muy pesado.

Después del recuerdo, vienen los agradecimientos. En general, quiero expresar mi agradecimiento a todos los que han participado con sus trabajos de fin de carrera, fin de grado y fin de máster. A mis buenos amigos de Arquilav, María Ángeles Navacerrada, Antonio Pedrero y Daniel de la Prida. A mis amigas valencianas Alicia Jiménez y Rosa Cibrián. A Pedro Nogueira, el acústico de A Coruña, por presentarme a Francesca. A Lidia Álvarez, Francesco Martellotta y todos los que fueron conmigo la primera vez a Santiago. A mis grandes amigos de Catedrais por compartir conmigo seis noches en la Catedral de Santiago. A María Larrosa, por dejarme compartir al-

gunos momentos únicos de su doctorado. Y, cómo no, a Elena Blanco, mi fiel compañera de la Escuela, que siempre me ha apoyado, entendido y soportado durante casi todos estos años, y que continuará con otra faceta de nuestra investigación con la publicación de nuestra base de datos de recintos (base de datos que esperamos que esté disponible a partir de 2026).

Gracias a todos. Sin vosotros no habríamos hecho posible este maravilloso sueño.

Referencias

- [1] Díez Cubillo B., Sánchez Clemente, D. "Estudio Acústico Y Electroacústico del Pabellón de Hockey Sobre Hielo Valkky Arena de Pirkkala (Finlandia)", PFC, UPM, 2002.
- [2] García Fuentes A., "Estudio Acústico y Electroacústico Del Teatro del Palenque de Talavera de la Reina" PFC, UPM, 2004.
- [3] Tomé Junciel R., "Simulación Acústica del Salón de Actos Municipal de Palazuelos de Eresma (Segovia)", PFC, UPM, 2005.
- [4] Vázquez Badiola C., "Estudio Acústico y Electroacústico de la Cafetería de la E.U.I.T.T. Y E.U.I.I.", PFC, UPM. 2006.
- [5] González Colilla E., Morillo Osorio M, "Diseño de un Cluster Centralizado para el Estadio Santiago Bernabéu Cubierto y Estudio del Sistema De Megafonía Actual", PFC, UPM, 2007.
- [6] García Martínez L., "Estudio Acústico y Electroacústico de la Sala 25 de Kinépolis Madrid", PFC, UPM, 2007.
- [7] García Rodríguez S., "Sonorización del Estadio de Fútbol El Molinón (Gijón)", PFC, UPM, 2008.
- [8] Alonso Jaén M.I., Salinas González R., "Estudio Acústico y Electroacústico del Palacio de Vistalegre (Madrid)", PFC, UPM, 2008.
- [9] Municio Blázquez L., "Estudio Acústico y Electroacústico del Estadio Santiago Bernabeu", PFC, UPM, 2008.
- [11] Villarejo Villanueva O., "Calificación de la Cámara Anecoica de la E.U.I.T.T." . PFC, UPM, 2009.
- [12] Gómez Alonso R., "Estudio Acústico y Electroacústico de las Salas 6 y 7 De Kinépolis (Madrid)", PFC, UPM, 2010.
- [13] Haro Marino T., "Medias Multicanal para la Calificación de la Cámara Anecoica de la E.U.I.T.T.- UPM" PFC, UPM, 2011.

- [14] Fustero Laveda M., "Estudio Acústico y Electroacústico de la Iglesia Adventista de Alenza (Madrid)" PFC, UPM 2011.
- [15] Sánchez Felguera F., "Estudio de la Calidad Acústica de dos Sistemas de Megafonía en Diferentes Modelos de Trenes", TFM, UPM, 2011.
- [16] Maldonado Nieto S., Pérez García C., "Diseño Acústico y Electrosacústico de las Salas 10 y 11 del Complejo Kinépolis de Madrid", PFC, UPM, 2012.
- [17] Villanueva Gil M., "Simulación de Entornos Anecoicos Reales", TFM, UPM, 2012.
- [18] Rollan Seco Y., "Acondicionamiento Acústico y Diseño del Refuerzo Sonoro del Pabellón Juegos del Mediterráneo de Almería". TFM, UPM, 2012.
- [19] Reinoso Carvalho F., "Proyecto de Acondicionamiento Acústico de la Nave Central del Centro Social Autogestionado Tabacalera", TFM, UPM, 2012.
- [20] Gómez Pérez P., "A Casa Do Son. Diseño Acústico y Arquitectónico de un Complejo Musical Integral Parte I", TFM, UPM, 2012.
- [21] Sanz Soriano J., "A Casa Do Son. Diseño Acústico y Arquitectónico de un Complejo Musical Integral Parte II", TFM, UPM, 2012.
- [22] García Fernández F.J., "Estudio de Técnicas de medida de la Respuesta Impulsiva de Recintos Acústicos con Bajo Tiempo de Reverberación Mediante el Empleo de Diferentes Tipos de Señales", TFM, UPM, 2012.
- [23] García Rodríguez S., "Diseño Acústico Y Electroacústico Del Auditorio Del Campus Sur de la UPM", TFM, UPM, 2012.
- [24] Martín Segovia S., "Estudio Acústico y Electroacústico del Teatro del Bosque (Móstoles)", PFC, UPM; 2013.
- [25] García González S., "Diseño de la Sala 6 de Kinépolis (Madrid) con cn Sistema DOBY ATMOS", PFC, UPM, 2023
- [26] Alves Santos H., "Estudio Comparativo de los Parámetros Acústicos de la Norma UNE-EN ISO 3382-1 Medidos con Fuente Puntual y con el Sistema de Refuerzo Sonoro en Salas de Cine", TFM, UPM, 2014.
- [27] Sánchez Peña, C., "Estudio Acústico y Electroacústico de la Sala 5 de los Cines Kinépolis Madrid", PFC, UPM, 2014.
- [28] Lorenzen P., "Reverberation Ttime Measurement in Special Enclosures with Low RT Using Cross Spectrum Techniques", TFM, UPM, 2014.
- [29] Sánchez Jiménez A., "Medida de Características Acústicas de la Sala 4 de Kinépolis Madrid", PFG, UPM, 2014.
- [30] Burdiel Pérez E., "Estudio de las Características Acústicas de Salas de Cine", PFG; UPM, 2014.
- [31] Nieto Berrueto I., "Sonorización del Estadio de la Peineta", PFC, UPM, 2015.
- [32] Loroño Parla B., Romero Cereceda B., "Estudio Acústico del Teatro Arriaga De Bilbao" PFG, UPM, 2015.
- [33] Schoch López G., "Estudio Acústico de una Sala de los Cines Kinépolis Madrid", PFG, UPM, 2015.
- [34] Pérez Cebrecos C., "Estudio Acústico del Auditorio Fórum Evolución", PFG, UPM, 2015.
- [35] Díaz Albuerne J., "Instalación Electroacústica del Teatro Namsskogan Familiepark (Noruega)", PFC, UPM, 2016.
- [36] Rodríguez Audu S., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio Alfredo Kraus (Majadahonda)", PFG, UPM, 2016.
- [37] Santa Cruz Alonso A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio de Distintos Parámetros Acústicos de una Sala", PFG, UPM, 2016.
- [38] Ibáñez Ávilas J., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio de Distintos Parámetros Acústicos de Aulas Especiales" PFG, UPM, 2016.
- [39] García Escabias J., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio de Distintos Parámetros Acústicos del Aula Magna de la EUAT-UAC", PFG, UPM, 2017.
- [40] Gabarrón González A., "Diseño de un Sistema de Refuerzo Sonoro para un Concierto en el Estadio Wanda Metropolitano", PFG, UPM, 2017.
- [41] Sánchez Sánchez M., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio de Parámetros Acústicos de la Parroquia Virgen de Begoña (Madrid)", PFG, UPM, 2017.
- [42] Moreno Ledesma I., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio de la Sala de Conciertos El Sol (Madrid)", PFG, UPM, 2018.

- [43] Redondo Rodríguez A., "Diseño De Cuatro Modelos Acústicos Virtuales para la Recuperación del Palacio de la Música de Madrid como Sala de Conciertos y Estudios de Viabilidad Acústica Bajo Demanda", PFG, UPM, 2018.
- [44] Mingorance Aguilera F.M., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica del Salón de Actos de La Dirección General de la Guardia Civil (Madrid)", PFG, UPM, 2018.
- [45] Kulpa P., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico del Teatro Alfil de Madrid", PFG, UPM, 2018.
- [46] Sánchez Jiménez F.J., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio Municipal de Linares", TFM, UPM, 2018.
- [47] Moreno Iglesias D., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Capilla de la Corticela (Santiago de Compostela)", PFG, UPM, 2019.
- [48] Reina Sances J.C., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Capilla de la Comunión (Santiago de Compostela)", PFG, UPM, 2019.
- [49] Guerrero García J.D., "Diseño de un Nuevo Sistema de Sonorización de la Catedral de Santiago de Compostela", PFG, UPM, 2019.
- [50] Ruiz García D., "Modelo Virtual Para El Estudio Acústico del Teatro Principal de Alicante" TFM, UPM, 2020.
- [51] Redondo Martínez P., "Auralizaciones en las Salas del Auditorio Nacional de Música de Madrid", TFM, UPM, 2020.
- [52] Brechard Alarcia G.N., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico de la Sala Sinfónica del Auditorio Nacional de Música de Madrid", PF, UPM, 2020.
- [53] Gómez Leal M., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Español de Madrid", PFG, UPM, 2020.
- [54] Gozalo Ángel E., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica del Corral de Comedias en Alcalá De Henares", PFG, UPM, 2020.
- [55] Parra Lozano L.F., "Centro De Artes Escénicas De Bogotá", TFM, UPM, 2020.
- [56] Alonso García M., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Real Coliseo de Carlos III (San Lorenzo de El Escorial)", PFG, UPM, 2020.
- [57] Sánchez Gass I., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Real Teatro Carlos III (Aranjuez)", PFG, UPM, 2020.
- [58] Balestra F., "Estudio Acústico de la Catedral de Santiago de Compostela". TFM, UPM, 2020.
- [59] Martínez Banda A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Sala de Cámara del Auditorio Nacional de Música de Madrid", PFG, UPM, 2020.
- [60] Serrano Martínez Osorio A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica del Teatro María Guerrero (Madrid)", PFG, UPM, 2020.
- [61] Martínez Pérez D., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro de La Comedia del Príncipe (Madrid)", PFG, UPM, 2020.
- [62] del Río Alonso D., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica del Teatro Salón Cervantes (Alcalá De Henares)", PFG, UPM, 2020.
- [63] Alarcia Torres D., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Diéguez (Colmenar de Oreja)", PFG, UPM, 2020.
- [64] López Rodríguez A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Lope De Vega (Chinchón)", PFG, UPM, 2020.
- [65] Muñoz Reyes M., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Capilla del Pilar (Santiago de Compostela)", PFG, UPM, 2020.
- [66] Musat Pérez N., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica de la Iglesia de Nuestra Señora de la Granada en Llerena (Badajoz)", PFG, UPM, 2021.
- [67] Macía Romero R., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico de la Sala de Cine Capitol de Madrid", PFG, UPM, 2021.
- [68] Arrojo Rivera C., "Estudio Acústico y Diseño del Cine Capitol para la Implementación del Sistema de Sonido DOLBY ATMOS", PFG, UPM, 2021.
- [69] Perruca Santos A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica

- del Teatro de la Zarzuela de Madrid”, PFG, UPM, 2021.
- [70] Pérez Rodríguez S., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Nuevo Alcalá de Madrid”, PFG, UPM, 2021.
- [71] Martín Ríos E., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica del Teatro Liceo de Salamanca”, PFG, UPM, 2021.
- [72] Montañés de Castro J., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Real de Madrid”, PF, UPM, 2021.
- [73] Viñas Sanz R., “Diseño de una Sala de Cine Premium Large Format”, PFG, UPM, 2021.
- [74] Benayas Romero S., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Iglesia de San Francisco Javier (Nuevo Baztán)”, PFG, UPM, 2022.
- [75] González Jiménez P., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Iglesia de San Juan de los Caballeros (Segovia)”, PFG, UPM, 2022.
- [76] Fernández López-Romero J., “Validación Local de Modelos Geométricos”, TFM, UPM, 2022.
- [77] Alonso Prieto A., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Lara de Madrid”, PFG, UPM, 2022.
- [78] Lloret Anguera C., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Gran Anfiteatro del Colegio de Medicos de Madrid”, PFG; UPM, 2022.
- [79] Gómez-Pastrana Bueno J., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Reina Victoria”, PFG, UPM, 2022.
- [80] Leal Castillo G., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Victoria en Talavera de la Reina (Toledo)”, PFG, UPM, 2022.
- [81] Montañés Sotoca, J., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Carrión (Valladolid)”, PFG, UPM, 2023.
- [82] Ramos García B., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Corral de Comedias de Almagro (Ciudad Real)”, PFG, UPM, 2023.
- [83] Yaskiv Tvarok S., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Municipal de Almagro (Ciudad Real)”, PFG, UPM, 2023.
- [84] Alonso Fernández R., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Sala 1 de Cines Odeón (Majadahonda)”, PFG, UPM, 2024.
- [85] Gago García P., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Juan Bravo (Segovia)”, PFG, UPM, 2024.
- [86] Arreza Jiménez M., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Principal De Mora (Toledo)”, PFG, UPM, 2024.
- [87] Oyamburu Beneit M., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio de la ETSCCP-UPM”, PFG, UPM, 2024.
- [88] del Pozo Rodríguez N., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para la Caracterización Acústica del Teatro Infanta Isabel de Madrid”, PFG, UPM, 2024.
- [89] Gómez Soldevila E., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Circo de Murcia”, PFG, UPM, 2024.
- [90] González Nunes R., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de las Salas de Ensayo del Teatro Real de Madrid (Coro)”, PFG, UPM, 2024.
- [91] García Carmona S., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de las Salas de Ensayo del Teatro Real de Madrid (Sinfónica)”, PFG, UPM, 2024.
- [92] Sánchez Morales A., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro de Rojas de Toledo”, PFG, UPM, 2024.
- [93] Pérez Robador G., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Zorrilla de Valladolid”, PFG, UPM, 2024.
- [94] Marín Velázquez A., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio de San Lorenzo de El Escorial (Sala Sinfónica)”, PFG, UPM, 2024.
- [95] González Colilla A., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio de La FCAFD-INEF-UPM”, PFG, UPM, 2024.
- [96] Pérez Rodríguez S., “Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Catedral de Cuenca”, TFM, UPM, 2024.

- [97] Lobo Montealegre S., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de las Capillas de la Catedral De Cuenca", PFG, UPM, 2025.
- [98] Martín Muñoz G., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio de San Lorenzo de El Escorial (Sala de Cámara)". PFG, UPM, 2025.
- [99] Calzado Mendoza P.C., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio de la ETSII-UPM", PFG, UPM, 2025.
- [100] Navarro Tejedor V., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Iglesia del Monasterio de Montserrat (Madrid)", PFG, UPM, 2025.
- [101] Nuñín Monreal I., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Iglesia del Monasterio de Ucles (Cuenca)", PFG, UPM, 2025.
- [102] Pascual Porras A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Aula Magna de la Facultad de CC. Químicas de la UCM", PFG, UPM, 2025.
- [103] M'hamed Aldelkader, F., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Iglesia de San Fermín de los Navarros (Madrid)", TFM, UPM, 2025.
- [104] Reina Sances J.C., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Iglesia del Monasterio de San Bernado (Alcalá De Henares)", TFM, UPM, 2025.
- [105] Lozano Peñas A., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Municipal de Almodóvar del Campo (Ciudad Real)", PFG, UPM, 2025.
- [106] Monserrat Díaz M.J., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Teatro Romea de Murcia", PFG, UPM, 2025.
- [107] Roldán Gadea S., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico del Auditorio de la ETSE-UPM", PFG, UPM, 2025.
- [108] Gómez Alfageme J.J., "Diseño y Validación de un Modelo Geométrico para el Estudio Acústico de la Sala Gayerre del Teatro Real de Madrid", UPM, 2025.

La mayor parte de estas referencias se pueden consultar a través del Archivo Digital de la UPM: <https://oa.upm.es/>. También están disponibles en el depósito de la Biblioteca del Campus Sur de la UPM. En cualquier caso, siempre podréis contactar conmigo a través de mi correo electrónico.



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: _____

CESVA

NOISE MEASURING INSTRUMENTS SINCE 1969

SONÓMETRO **SC250** **CLASE 1** TOUCH & CLOUD

*Cuando 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 Backbase de
los últimos 10 s

PERFECTAMENTE SIMPLE

SIMPLEMENTE PERFECTO

La acústica en el cientificismo español a fines del siglo XIX y la primera cátedra independiente de acústica en 1900

Acoustics in Spanish scientism at the end of the 19th century and the first independent chair of acoustics in 1900



Walter Alfredo Montano Rodríguez^{1*}

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

* wmontano@arquicust.com. ORCID: 0000-0002-0059-5257 – Scopus Author ID: 57205127863

Resumen

Cuando la física deja de enseñarse en las facultades de filosofía y pasa a las facultades de ciencia, el cientificismo comienza a delinearse en España, tomando las aplicaciones de la acústica relevancia en 1877, a partir de la introducción de la telefonía y el fonógrafo. Este artículo examina el trabajo de cuatro personalidades que, dentro de la ola científicista europea de finales del siglo XIX, se interesaron por la acústica experimental y que fomentaron el asentamiento, en España, de las bases de que la acústica es una disciplina que posee la misma rigurosidad que otras. Este trayecto lo iniciaron dando charlas y conferencias, para continuarlo con la difusión desde artículos en revistas y culminándolo con la publicación de libros dedicados a la acústica. El artículo culmina con la revisión de la creación, en 1900, de la primera cátedra independiente de acústica (que se daba junto a óptica), así como comentando la breve visita de Helmholtz a Barcelona en 1880.

Palabras clave: acústica, Historia de la ciencia, España, cientificismo.

Abstract

When physics ceased to be taught in philosophy faculties and was transferred to science faculties, scientism began to emerge in Spain, and the applications of acoustics became relevant in 1877 with the introduction of telephony and the phonograph. This article reviews the work of four personalities who, within the European scientific wave of the late 19th century, became interested in experimental acoustics and laid the foundations in Spain for acoustics to be a discipline with the same rigor as others. They began the process with lectures and conferences, continuing the spreading from articles in magazines to the publication of books dedicated to acoustics. The article ends revisiting the creation of the first independent Chair of Acoustics in 1900 (together with optics) and comments on Helmholtz's brief visit to Barcelona in 1880.

Keywords: acoustics, History of science, Spain, scientism.

1. Introducción

El objeto de esta publicación, tal y como en artículos anteriores que el autor viene publicando en esta revista, es el rescatar las labores de académicos españoles que fueron personalidades de su época, y que a pesar de sus denodados esfuerzos por divulgar la acústica como disciplina, no contaron con una continuidad en sus trabajos. Esta falta de continuidad se debió a la falta de centros de investigaciones (entre otras situaciones) para dotar de un hilo conductor a sus potenciales discípulos, tal y como sí existieron en algunas universidades francesas, alemanas o inglesas.

El desarrollo industrial de mediados del siglo XIX impulsó, directa o indirectamente, sus reglas en la producción científica desde los gabinetes universitarios. Esta realidad contribuyó a la paulatina eliminación de la escolástica en aquellos ámbitos en los que la Ilustración no había logrado influir en las decimonónicas instituciones educativas españolas del siglo XIX. Al mismo tiempo, se fortaleció una diferencia clave en las incipientes carreras de ingeniería: los estudios de matemáticas y física se orientaban de forma distinta a los de las facultades de ciencias naturales. El objetivo no era ya el de formar matemáticos puros, sino ingenieros que contribuyesen a hacer avanzar los desarrollos y aplicaciones

tecnológicas de la época, tales como aquellas originadas por la introducción del electromagnetismo: la dinamo, la electricidad, el telégrafo y la telefonía, entre otras. De esas carreras de ingeniería españolas influenciadas por el cientificismo surgió Leonardo Torres Quevedo (1852–1936), quien en 1893 presentó una máquina mecánica de cálculo que es considerada como la primera calculadora de precisión analógica. Posteriormente, mejoró dicho dispositivo para resolver operaciones logarítmicas con una incógnita, y años más tarde lo perfeccionó nuevamente para construir la primera máquina de juego de ajedrez. Estas invenciones se suman a otras máquinas calculadoras o de control programable que desarrolló a lo largo de su carrera (Bales, 2023) (Lee, 2013).

Este artículo se focaliza en analizar el trabajo de cuatro personalidades de la ciencia española, a saber: Gumersindo Vicuña, Francisco de Paula Rojas, José Cabello Roig y Eduardo Lozano. A juicio de este autor, estos científicos son de vital importancia para comprender la difusión que tuvo la acústica en la España de finales del siglo XIX. Algunos de ellos fueron desacreditados desde diferentes vertientes del *statu quo* de su tiempo, ya fuese por las afiliaciones políticas o ideológicas. Por esta razón, se omite aquí un análisis de sus labores científicas desde perspectivas sociales, religiosas o políticas, adoptándose un enfoque estrictamente relacionado con la Historia de la Ciencia.

2. La discusión científicista y las universidades españolas en 1875

De acuerdo con el físico e historiador de la ciencia José Manuel Sánchez Ron (1992, p. 53), el desarrollo de la física española en el siglo XIX fue muy pobre por razones principalmente de índole educativa. Esta situación no fue exclusiva de España, sino que se dio también en otros países europeos, cada uno con sus características particulares. A ello se sumaron las continuas convulsiones políticas y las desavenencias entre las autoridades de turno, más ocupadas en resolver sus problemas gubernamentales que en mejorar la formación científica en las universidades.

Sánchez Ron apunta que, si bien hubo cátedras aisladas de físico-matemáticas que alcanzaron cierto nivel en algunas universidades, todos los esfuerzos estaban concentrados en la Universidad Central de Madrid. Esta institución tenía más facilidades para desarrollar actividades académicas y era la única institución que ofrecía gra-

dos doctorales en ciencias exactas. Sólo a partir del último cuarto del siglo XIX comenzaron a destacar otras universidades e institutos en el resto de España.

Muchos profesores, herederos del legado de los Ilustrados, abogaron por la modernización de la enseñanza científica de la física, con el objetivo de mejorar la producción tecnológica. Sin embargo, se podría establecer que fue en 1875 cuando Gumersindo Vicuña manifestó públicamente esta necesidad. Lo hizo en un extenso discurso durante la apertura del curso académico 1875–1876 en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, al que tituló «Cultivo actual de las ciencias físico matemáticas en España»¹. En líneas generales, el discurso ofrece una recapitulación del estado de la ciencia española y denuncia «el gran atraso en que se halla el cultivo de la Física en España comparada con el de otras ciencias», así como la falta de laboratorios adecuados para la experimentación. En lo que respecta a la acústica, Vicuña la agrupa junto a la óptica y al calor radiante, clasificándolas como *física orgánica*, ya que comparten como base la teoría general de los movimientos vibratorios (ver Fig. 1). Esta conceptualización había sido introducida por Enrique Serrano Fatigati en sus *Apuntes para un programa de Física* (Serrano Fatigati, 1875, p. 387).

Sánchez Ron explica que fue la industria la que impulsó, desde las universidades, el perfeccionamiento del estudio de las ciencias físicas y químicas. La razón era simple: se necesitaban profesionales preparados académicamente capaces de implementar los avances tecnológicos en fábricas y talleres, especialmente aquellos derivados del uso de la electricidad y el electromagnetismo. A partir de ello, se infiere que esta demanda industrial es la razón por la cual la difusión de la acústica aplicada y experimental en España provino, en buena medida, de ingenieros industriales. En este contexto, el presente trabajo busca rescatar la labor de tres de estos ingenieros que se destacaron en la difusión de la disciplina acústica.

3. Gumersindo Vicuña

Gumersindo Vicuña y Lazcano (1840–1890) nació en La Habana, pero a los tres años se trasladó con su familia a Bilbao, de donde eran originarios (ascendencia vizcaína). Se graduó como Ingeniero Industrial en 1862 y, más tarde, obtuvo el título de Doctor en Ciencias Exactas. Gracias a su excelente desempeño académico, obtuvo una pensión del gobierno para visitar distintos centros científicos y técnicos en Bélgica, Francia e Inglaterra

¹ El documento completo aún no está disponible en formato digital en un único ejemplar. Sin embargo, se encuentra publicada la transcripción del discurso en el diario *El Constitucional* de Alicante, distribuido en veintiún ejemplares que pueden descargarse desde el sitio de la Hemeroteca Digital de la Biblioteca Nacional de España.

Los elementos de que debe ser formada se encuentran hoy, como ya hemos dicho, y con pequeñas excepciones, comprendidos en los tres tratados de Acústica, Óptica y Calórico radiante: allí estudiase, en efecto, dentro de diversos límites el modo de esparcirse la actividad desde un centro á todo lo que le rodea;

Domina, como acabamos de decir, completamente en este estudio, una hipótesis, que es la llamada de las ondulaciones.

Tal concepcion, aplicada para el sonido por la existente circunstancia de los movimientos vibratorios y de la impresion experimentada por nuestros oidos dentro de determinados límites; llevada al calor por verse á éste sustituir á los movimientos mecánicos que aparecen como destruidos, y por las analogías de muchos de sus fenómenos con los que ofrece la luz; desarrollada, para terminar, en esta última por la necesidad de explicarse curiosísimos hechos que sólo pueden hallar su interpretacion en las leyes de las composiciones de distintos movimientos, ha conducido á notables consecuencias,

El cuadro de la interpretacion de los fenómenos está, no obstante, muy léjos de hallarse completo: la propagacion de los efectos acústicos, luminosos y caloríficos, parece exigir la existencia de vibraciones que formen ondas, den origen á otras nuevas, y así sucesivamente; que en ciertos puntos se destruya parte de su accion por la superposicion de sus movimientos para aumentarse ésta proporcionalmente en otros obedeciendo á la ley de la conservacion de la fuerza; que engendren nuevos hechos desde el momento en que por cualquier accidente no se permita la propagacion en un medio cualquiera sino aparte de la onda, y sufran de los distintos medios acciones que tiendan á uniformar la direccion de tales agitaciones elementales, viniendo á realizar así los diversos fenómenos de propagacion, interferencias y difraccion que presentan todos los movimientos vibratorios, y las diversas clases de polarizacion que pueden ofrecer únicamente aquellos que se admiten como procedentes de vibraciones transversales.

Figura 1. Extractos de física orgánica en «Apuntes para un programa de Física», 1875.

(Entziklopedia, n.d.), donde muy probablemente estuvo en contacto directo con los avances tecnológicos más recientes de la época.

Como ya se ha mencionado, en 1875 Vicuña hizo público el mal estado de la enseñanza de la física en España. Sus críticas estaban fundamentadas en el conocimiento adquirido durante sus viajes formativos a estos países, donde pudo comparar el desarrollo científico y tecnológico con el panorama español.

A diferencia de otros ingenieros del tiempo, Vicuña se dedicó por completo a la docencia y a la divulgación de la física aplicada a la tecnología, conocida entonces como las «artes útiles». Fue uno de los pioneros en promover en España la introducción de la llamada «Física matemática», convencido de que el uso de las matemáticas confería mayor rigor a la física y facilitaba su aplicación en la resolución de problemas de ingeniería. En este marco, en 1869 se convirtió en el primer catedrático en España en impartir la entonces nueva asignatura de Física-Matemáticas en la Universidad Central (Paz, 1869, p. 2). Además, como académico, introdujo en España los primeros estudios sistemáticos de Termodinámica.

Entre los documentos que están digitalizados, se encuentra evidencia de que Vicuña fue también uno de los primeros en difundir científicamente la telefonía en España. A finales de 1877 publicó un extenso artículo titulado *La telefonía eléctrica*, que transcribe una conferencia en la cual mostró láminas y figuras para explicar, en términos sencillos, los fenómenos acústicos implicados en la telefonía. Como ejemplo, mencionó un juguete de aquellos años conocido como «la telefonía acústica», consistente en dos tamborcitos de cartón unidos por un hilo tenso que transmite las vibraciones de la voz desde un extremo para ser escuchados en el otro (Vicuña, 1877).

Posteriormente, el 21 de enero 1878, ofreció una nueva conferencia sobre la telefonía en *El Ateneo* de Madrid. Según la crónica periodística, el evento despertó gran interés, llegando incluso a compartir con los asistentes la experiencia directa de hablar a través de dos teléfonos. Respecto a la disposición de Vicuña de acercar la ciencia a la gente, el periodista destaca que Vicuña «no se propuso en su discurso lucir las galas de la dicción ni adoptar esas formas oratorias que entusiasman y enardecen al auditorio, no», agregando que «el asunto no se prestaba a ello, ni el público allí congregado lo exigía. Su discurso fue, como decimos vulgarmente, liso y llano, sin que por eso la exposición científica dejase de ser tan clara y metódica como se requería» (Globo, 1878, p. 2). A diferencia de su conferencia anterior de 1877, en esta ocasión incluyó, además, la descripción del fonógrafo.

Puede considerarse a Gumersindo Vicuña como pionero en explicar los vínculos entre el fenómeno sonoro y vibratorio con otras disciplinas en el capítulo titulado «Acústica» de su libro «Manual de física popular». A lo largo de veinte páginas expone, mediante ejemplos y analogías, cómo la acústica se experimenta con la música, la fisiología, la física de ondas, la arquitectura de recintos (ver Fig. 2), la telefonía, el fonógrafo, entre otros ámbitos (Vicuña, 1878, p. 68). Finalmente, se encuentran dos menciones aisladas a Vicuña: una de octubre de 1879 que alude a su labor docente en la Universidad Central (Tiempo, 1879, p. 1), y otra de marzo de 1883 que reseña una conferencia en *El Ateneo* de Madrid, en la que «con los aparatos necesarios hizo ver los sonidos a la concurrencia» (Correo, 1883, p. 2).

En los últimos años de su vida, Gumersindo Vicuña compaginó la actividad científica, publicando varios tratados matemáticos, y la labor docente, promoviendo la

Las resonancias son ecos difusos. Cuando la distancia del que habla á una pared es tan pequeña que el sonido reflejado llega á su oído antes de concluir netamente cada sílaba, se producen las resonancias, las cuales debilitan la trasmisión y claridad del sonido. Las resonancias se originan cuando la superficie reflectora está á una distancia del sujeto menor de 17 metros. Las resonancias se notan en las habitaciones grandes y sin muebles: éstos quiebran las ondas y disminuyen la reflexión. De aquí la conveniencia de los tapices y colgaduras para este objeto: hay salas cuyas paredes tersas producen resonancias que, como vulgarmente se dice, comen la voz; las cuales desaparecen tapizando las paredes ó poniendo un papel grueso en lugar del estuco.

Condiciones acústicas.—De lo anterior se desprenden algunos elementos para aplicarlos á las condiciones que deben tenerse presentes en la construcción de los salones destinados á espectáculos públicos. En los dedicados á congresos y reuniones en que habla ó actúa una sola persona cada vez, debe situarse ésta en un sitio que se halle casi equidistante de los espectadores: de aquí la forma semicircular que suele darse á los congresos, aunque si cada cual debe hablar desde su sitio, como sucede en Inglaterra, en España y aún en otros países, dicha forma no es la mejor.

Figura 2. Extractos del capítulo Acústica del libro «Manual de física popular» (1878).

mejora de los estudios secundarios, con su incursión en la política. Ocupó diversos cargos gubernamentales y, como diputado, representó los intereses vizcaínos. Falleció el 10 de septiembre de 1890 en Portugalete, y hoy es considerado una figura destacada de la ingeniería en el País Vasco (Icaza Zabala, 1994).

4. Francisco de Paula Rojas

Francisco de Paula Rojas y Caballero-Infante (1832–1909) nació en Jerez de la Frontera y fue un destacado ingeniero industrial de su época. Gracias a sus esfuerzos por difundir la acústica experimental, recibió el apodo de «el Tyn-dall español» (Rodríguez Mourelo, 1909, p.675). Ocupó cátedras de física en Valencia y Barcelona, asumiendo las cátedras de Física-Matemáticas en la Universidad Central, tras el fallecimiento de Gumersindo Vicuña. Paula Rojas fue miembro de diversas academias de ciencias, ateneos y de la primera Asociación de Ingenieros Industriales de España. En su labor docente, se dedicó activamente a la divulgación de diversas ramas de la física aplicadas a la ingeniería. Se le reconoce, además, como el primer difusor del uso de la energía eléctrica en el país. Según los documentos digitalizados disponibles, su actividad en acústica se concentró entre 1877 y 1879. A continuación se resumirán las conferencias, disponibles actualmente en formato digital, que brindó en el *Ateneu Barcelonès*, así como las clases impartidas en dicha institución.

Conferencias sobre «El sonido»

El ciclo de charlas impartido por Francisco de Paula Rojas se tituló «El sonido como fenómeno físico, fisiológico y psíquico», y se desarrolló en dos presentaciones: una el 8 y otra el 19 de febrero de 1877. Las transcripciones de ambas conferencias fueron publicadas posteriormente en la *Revista contemporánea*, a fines de 1878. En ellas, mediante analogías simples accesibles, el autor va explicando el fenómeno acústico. En la primera conferencia, puede observarse un estilo de alocución amplio y florido, probablemente en respuesta a la heterogeneidad del público asistente, en su mayoría lego en cuestiones relacionadas con el fenómeno de ondas. Para transmitir con claridad los conceptos de la física de ondas, de la fisiología y del fenómeno psicológico que provoca el sonido en el cerebro, éste recurrió a extensas parábolas de tono casi religioso. Su objetivo se evidencia claro: hacer comprensible la acústica experimental mediante comparaciones con otros fenómenos sensoriales. Además, señala que las dificultades de comprensión no se limitan a la acústica, sino que también se encuentran en la óptica y otras ciencias afines (Paula Rojas, 1878-a, p. 283).

La segunda conferencia se centra en el fenómeno vibratorio y oscilatorio, utilizando el mismo lenguaje accesible que el de la primera. Por ejemplo, para ilustrar que parte de la energía del sonido se convierte en calor al impactar sobre una superficie, emplea simpáticas frases: «Si los sonidos se convierten en calor, como así es la verdad, yo estoy ahora calentando esta sala con mi palabra [...] yo estoy haciendo ahora el papel de estufa». A lo largo de la charla, continúa utilizando analogías para explicar el comportamiento de las ondas dentro de un recinto, en función de las características de sus superficies (duras o blandas) y de su geometría (plana o abovedada). Resulta especialmente interesante su descripción

del mecanismo cerebral implicado en la percepción musical. Aunque mantiene un lenguaje sencillo, logra explicar perfectamente el fenómeno psicoacústico del placer auditivo que produce la música. También expone la diferencia entre el sonido y el ruido, señalando que el sonido se compone de frecuencias que pueden ser calculadas dependiendo del cuerpo emisor (como un sólido o una cuerda, etc.) y que dan una identidad posiblemente musical, al contrario del ruido que es discordante (Paula Rojas, 1878-b, p. 413).

Clases de «Acústica experimental»

Al final del texto correspondiente a la segunda conferencia aparece una nota que indica «Se continuará». Sin embargo, en los números siguientes de Revista Contemporánea no se encuentra la continuación ni la finalización de sus presentaciones. Cabe señalar que dichas conferencias fueron dictadas en febrero de 1877, mientras que las publicaciones datan de diciembre de 1878, por lo que es razonable suponer que la charla pendiente sí fue impartida, aunque nunca llegó a editarse.

Según Villar Piñón (2014, p. 119), Paula Rojas presentó el 7 de diciembre de 1877 ante la junta directiva del Ateneu Barcelonès un «Programa de las lecciones de acústica» con el objetivo de difundir esta nueva disciplina. Se puede corroborar que efectivamente impartió algunas clases públicas de acústica en los salones del Ateneu, ya que diversos avisos publicados en diarios de la época así lo documentan.

Por ejemplo, el 17 de diciembre de 1877 se anunció que «dará su segunda lección pública sobre Acústica experimental» (Imprenta, 1877, p. 8823). Posteriormente, el 16 y el 23 de abril de 1879 ofreció conferencias tituladas «Acústica experimental. Fonógrafo. Condensador. Teléfono cantante» (Diluvio, 1879, p. 1715; Publicidad, 1879, p. 3). Sobre esta última, se publicó un comentario el 29 de abril en el que se destacaba lo notable de la exposición, subrayando que el conferenciante explicó «la teoría del fonógrafo, omitiendo de intento el tecnicismo tan pesado a los profanos a la ciencias» (Público, 1879, p. 3).

La visita de Helmholtz a Barcelona en 1880

Un dato curioso y poco difundido es la breve visita que Hermann von Helmholtz realizó a Barcelona a finales de marzo de 1880. Este acontecimiento fue comentado en la Revista Tecnológico-Industrial (ver Fig. 3), publicación de la Asociación de Ingenieros Industriales. Según la nota, uno de los profesores que lo acompañó durante su visita al laboratorio de la Escuela de Ingenieros Industriales fue Francisco de Paula Rojas. En cuanto a la fecha exacta, una carta que Helmholtz escribió a su esposa permite situar su presencia en la universidad el 21 de

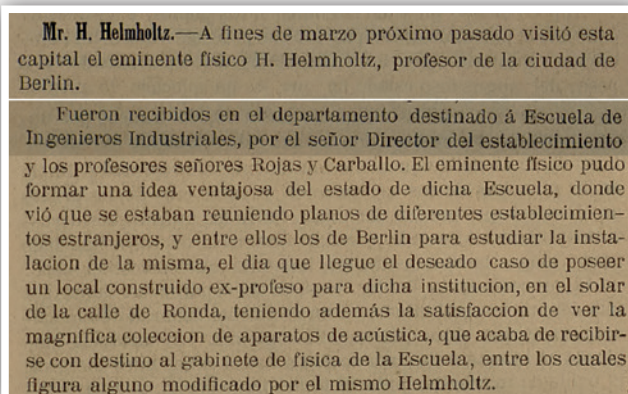


Figura 3. Comentario sobre la visita de Helmholtz a Barcelona, marzo de 1880.

marzo de 1880. En ella, expresa su impresión al ver los instrumentos acústicos diseñados por él mismo: «Ich hatte die Befriedigung, meine akustischen Apparate ziemlich vollständig beisammen zu finden...» [«Tuve la satisfacción de encontrar mi aparato acústico casi todo junto»] (Koenigsberger, 1902, p. 266).

Reconocimientos a su trayectoria

Francisco de Paula Rojas y Caballero-Infante falleció en Madrid el 18 de febrero de 1909 y, sin lugar a duda, fue una personalidad influyente de su época (hay diversas biografías publicadas a poco de su deceso). Prueba de ello son los múltiples reconocimientos que obtuvo en vida, uno de los cuales fue la obtención, en octubre de 1880, de la *Encomienda ordinaria de la Real Orden de Isabel la Católica* (Política, 1880, p.1), y póstumos, tal y como el que realizaba la antigua *Asociación Nacional de Ingenieros Industriales* (disuelta en 1978), que otorgaba anualmente el premio «Francisco de Paula Rojas» (Albornoz, 1977, p. IX). Se agrega que desde el periodismo especializado y varias instituciones, incluyendo la Universidad Politécnica de Madrid, se está abogando desde el 2012 para que se le otorgue un homenaje en su ciudad natal de Jerez, para que al menos una calle lleve su nombre (Jiménez, 2024).

5. José Cabello Roig

José Cabello Roig, o José Cabello y Roig (1844–1918), nació en Moixent, Valencia (PARES, 1863). Obtuvo el título de bachiller en ingeniería industrial en 1863 en la Escuela de Valencia, y al año siguiente, en 1864, recibió el grado de Ingeniero en la Universidad Central. Dedicó su vida profesional a la docencia en el área de la física. Comenzó enseñando en Játiva y, posteriormente, ejerció durante más de treinta años como profesor en el Instituto de Cabra (Córdoba), institución que también dirigió. Durante su estancia en Cabra, formó parte de di-



Figura 4. Conferencias de José Cabello Roig en la Academia Malagueña de Ciencias (a) en mayo de 1905; (b) en febrero de 1916.

versas academias y sociedades científicas, y desarrolló una intensa actividad como autor. Fue un prolífico escritor de artículos periodísticos, monografías y algunos libros.

Hasta la actualidad, no se han digitalizado ni puesto a disposición en Internet documentos escritos por José Cabello, como programas de estudio o apuntes de clase, que permitan conocer con detalle los contenidos que consideró relevantes para la enseñanza de la acústica. No obstante, una pista importante se encuentra en el prólogo de su libro *Acústica elemental*, publicado en 1892, el cual sugiere que efectivamente impartía esta materia. En dicho prólogo, Cabello afirma que su obra venía a cubrir una laguna existente en la literatura académica, al señalar: «Una de las partes de la Física en la que los autores de nuestros libros de texto han puesto menos esmero es, sin disputa, la Acústica». Añade, además, un dato significativo: en ese momento se estaba incorporando al programa de enseñanza media el estudio de la acústica, abordado desde el entendimiento del movimiento vibratorio (Cabello Roig, 1892, p. 6).

El libro *Acústica elemental* replica la estructura típica de los manuales de física extranjeros de finales del siglo XIX. Al estar dirigido a la enseñanza media, su redacción es eminentemente descriptiva y de fácil comprensión, con numerosos grabados que ilustran aparatos e instrumentos acústicos. La obra se divide en tres partes distribuidas en doce capítulos, que abordan los siguientes temas: naturaleza, cualidades y propagación del sonido; reflexión, refracción e inflexión del sonido; vibraciones de los cuerpos sólidos; vibraciones transversales y longitudinales; vibraciones de los líquidos; análisis y síntesis de los sonidos; composición de los movimientos vibratorios; interferencia, y teoría de la consonancia.

En 1902, José Cabello se trasladó a Málaga para ocupar las cátedras de Física y Química en el Instituto General y Técnico de esa ciudad, donde fue nombrado

director en 1908. Durante su estancia en Málaga, se integró a la Academia Malagueña de Ciencias, en la cual ofreció al menos dos conferencias sobre el sonido (ver Fig. 4). De estas, sólo se ha localizado un resumen de la segunda (Popular, 1905, p. 1; Popular, 1916, p. 2).

A fines de 1917, José Cabello fue designado presidente de la Academia Malagueña de Ciencias. Sin embargo, no llegó a ejercer plenamente este cargo debido a su fallecimiento en febrero de 1918. Su muerte no pasó desapercibida, como lo demuestra la gran cantidad de obituarios que pueden encontrarse hoy en medios digitalizados, reflejo de la trascendencia de su vida y obra. En marzo de 1919, se colocó una placa conmemorativa frente al Instituto General y Técnico, institución en la que había ejercido la docencia y la dirección. Actualmente, dicha lápida de mármol se conserva en el patio interior del Instituto Vicente Espinel (Corcelles, 2015). Según reportes de la prensa de la época, en el acto de inauguración de la placa estuvo presente Federico García Lorca, quien pronunció un discurso en homenaje a Cabello (Marina, 1919, p. 6).

6. Eduardo Lozano

Eduardo Lozano y Ponce de León (1844–1927) nació en Campanario, Badajoz, y obtuvo su doctorado en Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Central en 1880. Tuvo un largo camino como docente en Teruel, Toledo y Málaga, y entre 1896 y 1900 se hizo cargo de cátedras de Física en Barcelona, antes de trasladarse a Madrid. Formó parte de varias sociedades y academias de ciencias y artes, así como de la *Sociedad de Profesores de Ciencias*, la presidió en 1872. Desde esta institución promovió activamente los trabajos del físico irlandés John Tyndall, con quien mantuvo correspondencia personal (Villar Piñón, 2014, p.26).

Durante sus años de formación doctoral y mientras ejercía como profesor del Instituto de Segunda Enseñan-

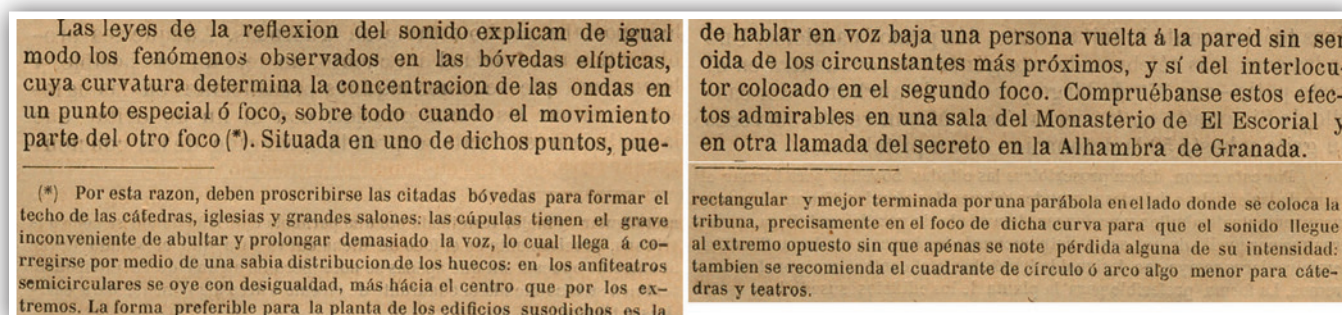


Figura 5. Extracto del libro «Tratado de acústica» sobre reflexión del sonido, 1880.

za de Teruel, publicó en 1880 el libro «Tratado de acústica» (ver Fig. 5), considerado una de las primeras obras vernáculas dedicadas a las aplicaciones del sonido y el fenómeno vibratorio. En este libro, Lozano expone el comportamiento de las ondas sonoras a través de analogías prácticas, referencias tecnológicas y demostraciones experimentales. El texto, si bien emplea un lenguaje académico no estrictamente riguroso, integra expresiones matemáticas, teoremas y definiciones desde la física (Lozano y Ponce de León, 1880). Es particularmente destacable el énfasis que otorga al análisis espectral del sonido, donde describe el uso de resonadores de Helmholtz y de aparatos diseñados por Köenig para examinar el contenido armónico de la palabra hablada, de las vocales y de las notas musicales.

Al final del libro, Eduardo Lozano y Ponce de León incluyó una nota en la que anunciaba que «se encuentra en prensa la segunda parte de la Acústica, titulada *La Música y las Vibraciones*, que formará el tomo III de los estudios físicos». Sin embargo, la obra quedó inconclusa. Al tratarse de una publicación autofinanciada, el propio autor explicó que no pudo continuarla por falta de financiamiento. Según sus palabras, la segunda parte del tratado tuvo poca aceptación y las ventas no alcanzaron las expectativas. A pesar de ello, en 1893 publicó el libro «Elementos de Física», en el cual retomó y condensó los contenidos de *Tratado de acústica*.

Si bien hasta la fecha no se han digitalizados los contenidos de las cátedras de física que Eduardo Lozano impartió en Toledo, Teruel y Málaga, el análisis de sus obras permite inferir que enseñaba acústica de manera sistemática. Durante su estancia en Barcelona, ocupó durante cuatro años la cátedra de Física Superior. En el programa académico correspondiente al curso 1899–1900, bajo el título «Ampliación de la Física», se incluyen cinco lecciones dedicadas a la acústica y una al movimiento vibratorio, cuyo contenido analítico coincide con el índice de su *Tratado de acústica* de 1880.

A finales de 1901, Lozano se trasladó a Madrid tras obtener por concurso la cátedra de «Acústica y Óptica»

en la Universidad Central, cargo que ejerció hasta su jubilación en 1916 (Oficial, 1902, p. 638). No obstante, los programas detallados de esta asignatura tampoco se encuentran digitalizados.

Eduardo Lozano fue un físico destacado, así como un pedagogo comprometido y un crítico incisivo de la situación política y educativa de su tiempo. Esta actitud crítica le granjeó numerosas enemistades con los gobiernos de turno, incluyendo autoridades universitarias, hasta el punto de que en algunas ocasiones se le negó el acceso a cargos académicos por sus ideas (Cobos Bueno & Vaquero Martínez, 2001). Hombre de profunda sensibilidad social, en los últimos años de su vida volcó sus esfuerzos hacia una intensa labor civil, cultural y filantrópica. Como reconocimiento a su trayectoria, hoy una plaza lleva su nombre en el distrito madrileño de Puente de Vallecas, entre otros homenajes (Campanario, 2024). Se ha señalado además que fue una de las personalidades que recibió a Albert Einstein durante su visita a España. Eduardo Lozano falleció en Madrid el 8 de junio de 1927.

7. Primera cátedra independiente de «Acústica y Óptica»

El doctor en física e investigador científico Antonio Moreno González, en su tesis doctoral titulada «Evolución de la física en España desde la Ilustración hasta 1900», señala que, con la reforma del plan educativo para las Facultades de Ciencia introducida en agosto del 1900, la cátedra de *Física Superior* fue dividida en tres asignaturas independientes: Termodinámica, Acústica y Óptica, y Electricidad y Magnetismo (Moreno González, 1985, p.615). De este modo, Acústica, junto a Óptica, se independizó como cátedra en las universidades españolas. Cabe recordar que ya en 1794 el Ilustrado Gaspar Melchor de Jovellanos había propuesto su diferenciación de las matemáticas, anticipando esta autonomía disciplinar (Montano, 2024, p.22).

En relación con el primer docente que impartió esta novel cátedra, la *Gaceta de Instrucción Pública* del 15 de diciembre de 1900 informa que fue Moisés Nacente

González (1875–1905), doctor en Ciencias Físico-Matemáticas por la Universidad Central, quien asumió por primera vez la asignatura de «Acústica y Óptica» en España, en este caso en la Universidad de Barcelona (Gaceta, 1900, p.2). Sobre la trayectoria de Moisés Nacente se dispone de escasa información. Se sabe que nació en Barcelona, que obtuvo su doctorado muy joven y que falleció de manera repentina. Aunque compartió espacios académicos con Eduardo Lozano entre 1899 y 1901, no se han encontrado hasta el momento evidencias documentales que sugieran una colaboración entre ambos, ni en temas de acústica ni en otras áreas de física.

Conclusiones

A mediados del siglo XIX, la acústica era considerada una rama altamente especializada dentro de la física, y su formalización teórica no comenzó sino a partir de los trabajos de Helmholtz. Bajo la influencia del cientificismo, su campo disciplinar se expandió notablemente con la aparición de nuevas tecnologías como la telefonía y el fonógrafo, invenciones basadas en el fenómeno vibratorio y el comportamiento de las ondas sonoras. Este proceso de consolidación también se manifestó tempranamente en España gracias a las figuras que se han analizado en este artículo. A juicio del autor, estos cuatro protagonistas fueron verdaderos visionarios, comprometidos con la divulgación de la acústica experimental en un contexto social y político que, en ocasiones, les fue desfavorable. A pesar de ello, promovieron activamente la disciplina desde las universidades y a través de sociedades culturales y científicas. Así, puede afirmarse con certeza que, con el cambio de siglo y la reforma educativa de 1900, la acústica alcanzó en España el estatus de cátedra universitaria independiente, junto a la óptica, marcando un hito en su institucionalización como campo de estudio autónomo.

Incluso en pleno siglo XXI, algunos autores continúan criticando a estas cuatro personalidades académicas sin aplicar un análisis desde la hermenéutica ni considerar el contexto histórico en el que desarrollaron su labor. Persisten juicios que acusan a Francisco de Paula Rojas y a Eduardo Lozano de haberse “apropiado” de la obra de John Tyndall, sin tener en cuenta que sus escritos no estaban traducidos al castellano en ese momento, y que, por tanto, alguien debía asumir el compromiso pedagógico de recopilar y transmitir esos conocimientos al público hispanohablante. Eso fue, precisamente, lo que ellos hicieron. Por otra parte, el reproche dirigido a estos académicos por emplear un lenguaje considerado “vulgar” o accesible podría responder más bien a celos académicos o a la defensa de una visión elitista del conoci-

miento científico. A diferencia de quienes pretendían reservar la ciencia a círculos reducidos, estas figuras se preocuparon activamente por hacer que la acústica, y la física en general, resultaran comprensibles y útiles para un público más amplio. Además, su filiación con ideas políticas progresistas para su tiempo no debe verse como un elemento negativo, sino como un componente que enriquece su legado. Desde diferentes vertientes ideológicas, abogaron por la mejora del sistema educativo español y por una enseñanza científica más moderna. En este marco, impulsaron decididamente los métodos de la acústica experimental, contribuyendo a su consolidación como disciplina científica en España.

Es digno de admiración, y merece ser destacado, el esfuerzo que estos académicos realizaron al ofrecer conferencias experimentales de acústica en los salones de los ateneos. Para ello, debían trasladar desde los gabinetes de los institutos educativos voluminosos y pesados instrumentos, como sonómetros (grandes aparatos de madera), ruedas de Savart de dimensiones comparables a una mesa, placas de Chladni, entre otros. Estas actividades, que solían desarrollarse por la noche, implicaban sin duda una logística compleja, considerando que al día siguiente el instrumental debía ser devuelto a su lugar de origen. Este compromiso evidencia el entusiasmo y la vocación divulgadora de estos profesores, que no se conformaron con transmitir conocimientos dentro del ámbito estrictamente académico, sino que se esforzaron por acercar la acústica a públicos amplios y diversos.

Este artículo constituye un metaestudio sustentado en fuentes primarias digitalizadas y actualmente accesibles en línea. No obstante, para ampliar y profundizar en el conocimiento de estas figuras, será necesario realizar futuras investigaciones mediante un proceso de arqueología archivística, orientado a revisar documentos almacenados en bibliotecas, hemerotecas, ateneos, sociedades científicas y culturales, ayuntamientos, e instituciones educativas. Asimismo, sería conveniente indagar en los archivos universitarios para identificar los contenidos curriculares de los programas de física y los apuntes utilizados en clase, así como determinar qué instrumental acústico formaba parte de sus gabinetes. Esta labor permitirá complementar, y eventualmente revisar, la biografía y el legado de las personalidades analizadas en este estudio.

Por último, el autor considera oportuno señalar que, en línea con las iniciativas promovidas por diversas instituciones, tal vez la Sociedad Española de Acústica podría sumarse a la propuesta de rendir un homenaje en Jerez de la Frontera a Francisco de Paula Rojas, reconociendo así su valiosa contribución al desarrollo y la difusión de la acústica en España.

El autor es socio de la SEA y Miembro del *Comité de Archivo e Historia* de la ASA, y también integra la asociaciones acústicas de Argentina (AdAA) y Uruguay (AUA).

Agradecimientos. El autor quiere agradecer a Fernando Orellana Ramos presidente de la Academia Malagueña de Ciencias, y a Jesús Corcelles Santiago fotógrafo de Málaga; también a revisores y editores de la *Revista de Acústica* de la SEA, por las sugerencias, observaciones y la publicación de este artículo.

Responsabilidad. Se presenta bajo una única agenda de pura investigación acústica en *Historia de la Ciencia*. Se declara que no existen conflictos de intereses (siempre se mencionan las fuentes de datos), y tanto la investigación como la redacción del artículo no tuvieron financiamiento, se hizo en el tiempo libre del autor.

Referencias

Nota. Las referencias sin enlaces están disponibles en: <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/advanced>

Albornoz, Mario (1977) Una solución de hoy para el transporte del futuro el mono-rail «Trans-Unión S 21». *Revista Mundo Hispánico* N° 357, p. IX. https://archive.org/details/RevistaMundoHispanico_357_diciembre-1977/page/80/mode/2up?q=%22francisco+de+paula+rojas%22

Bales, Rebecca (2023) Leonardo Torres's Calculating Machine Explained: Everything You Need to Know. *History-Computer*. <https://history-computer.com/technology/leonardo-torress-calculating-machine/>

Cabello Roig, José (1892) *Acústica elemental*. Madrid. Librería de la Viuda de Hernando y Cía.

Campanario (2024) Homenaje a Eduardo Lozano y Ponce de León en el Centro de Ocio. Ayuntamiento de Campanario. <https://campanario.es/homenaje-a-eduardo-lozano-y-ponce-de-leon-en-el-centro-de-ocio/>

Cobos Bueno, J. M.; Vaquero Martínez, J. M. (2001) Eduardo Lozano y Ponce de León: Una aproximación a su pensamiento científico. *Actas del I Simposio "Ciencia y Técnica en España de 1898 a 1945, Cabrera, Cajal, Torres Quevedo"*, 1999. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=616984>

Corcelles, José (2015) Placa al D. José Cabello y Roig. Blog Málaga en imágenes. http://www.corcelles.info/foto_detalle.php?id=942

Correo, El (1883) Al menudeo. *Diario El Correo*. Año IV Número 1087, 04/03/1883. https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=238072&interno=S&texto_busqueda=

Entziklopedia (n.d.) Vicuña y Lazcano, Gumersindo. Ingenieros, Auñamendi Eusko Entziklopedia. <https://aunamendi.eusko-ikaskuntza.eus/es/vicuna-y-lazcano-gumersindo/ar-142286/#>

Gaceta (1900) Facultades. Universidad de Barcelona. Gaceta de instrucción pública del 15/12/1905, Año XII N° 481

Globo, El (1878) *Ateneo*. *Diario El Globo* p. 2, Madrid 22/01/1878.

Imprenta, La (1877) Crónicas locales. *Diario La Imprenta*, No. 350 (16/12/1877) Ed. De la mañana https://arca.bnc.cat/arcabib_pro/es/inicio/inicio.do

Icaza Zabala, Juan José (1994) Gumersindo Vicuña. La modernización de la ciencia y la introducción de la física matemática en España. *Perfiles vascos en la ciencia y la ingeniería del periodo 1850-1950*, pp. 91-96.

Jiménez, José Luis (2024-02-12) Hágase la luz. El jerezano Francisco de Paula Rojas Caballero-Infante, Pionero de la electrotecnia española. *Diario de Jerez*. https://www.diariodejerez.es/jerez/rebusco-hagase-luz_0_1873914135.html

Koenigsberger, Leo (1902) Hermann von Helmholtz. Braunschweig. https://archive.org/details/gri_33125007822287/page/n9/mode/2up

Lee, J. A. N. (2013) Leonardo Torres y Quevedo. *Computer Pioneers*. IEEE computer society. <https://history.computer.org/pioneers/torres.html>

Lozano y Ponce de León, Eduardo (1880) *Tratado de acústica*. Estudios físicos tomo II. Imprenta de Gregorio Juste, Madrid. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/376601>

Marina, Diario de la (1919) Málaga. *Notas Andaluzas*, del 21/03/1919. <https://prensahistorica.mcu.es>

Montano Rodríguez, W. A. (2024) *Antoni Cibat: La física experimental y su conferencia «Ensayo sobre la acústica» en 1795*. *Revista Acústica*, SEA. <https://documentacion.sea-acustica.es/storage/publicaciones/6671ca75b8cde.pdf>

Moreno González, Antonio (1985) *Evolución de la física en España desde la Ilustración hasta 1900*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/4970>

Oficial, Guía (1902) Sección de Ciencias Físicas. Madrid. Guía oficial de España, enero 1902.

PARES (1863) Expediente Cabello Roig, José. Archivo histórico nacional. Portal de Archivos Españoles. <https://pares.mcu.es/ParesBusquedas20/catalogo/description/4364943?nm>

- Paula Rojas, Francisco de (1878-a) Sobre los órganos de los sentidos. *Revista Contemporánea* n.º 3, Vol. iv, Tomo XVIII (283-305). https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1006484050
- Paula Rojas, Francisco de (1878-b) Segunda conferencia. *Revista Contemporánea* n.º 3, Vol. iv, Tomo XVIII (413-431). https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1006484051
- Paz, La (1869) Noticias generales. *La Paz* periódico de noticias de Murcia: Año XII Número 3627, 20/07/1869. https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=2000584961&interno=S&texto_busqueda=
- Política, La (1880). Ministerio de Estado. *Diario La Política* 15/10/1880.
- Popular, El (1905) Conferencia. *Diario El Popular* del 19/05/1905. <https://bibliotecavirtual.malaga.es/es>
- Popular, El (1916) En la Sociedad de Ciencias. Conferencia del Sr. Cabello. *Diario El Popular* del 11/02/1916. <https://bibliotecavirtual.malaga.es/es>
- Rodríguez Mourelo, José (1909) D. Francisco de Paula Rojas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*. Tomo VIII N.º 9 1909, pp. 675-689. <https://archive.org/details/revistadelareala7190809real/page/n111/mode/2up>
- Sánchez Ron, José Manuel (1992) Las ciencias físico-matemáticas en la España del siglo XIX. *Ayer*, No. 7, La ciencia en la España del siglo XIX (1992), pp. 51-84. <https://www.jstor.org/stable/41324226>
- Serrano Fatigati, Enrique (1875) Apuntes para un programa de Física. *Revista de la Universidad de Madrid*. 2ª época.-Tomo V. Número 4, abril de 1875. <https://archive.org/details/revistadelauniv02madrgoog/page/68/mode/2up?q=%22serrano+fatigati%22>
- Vicuña y Lazcano, Gumersindo (1877) *La telefonía eléctrica*. La Academia. Tomo II N.º 23, 30/12/1877.
- Vicuña y Lazcano, Gumersindo (1878) *Manual de física popular*. Universidad Central, Madrid.
- Villar Piñón, José Antonio (2014) La apropiación de la obra científica de John Tyndall en España (1868-1898). Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=93971>

Índice de anunciantes

	Pág.
Saint-Gobain	2
Rockfon - ROCKWOOL Group	13
Cesva Instruments	28
SAES	39
Ingeniería Acústica García Calderón	47
Sound of Numbers	49
AAC - Centro de Acústica Aplicada	54
La Salle - Universidad Ramon Llull	62
Avantek	74

El futuro es un mundo apasionante. Hagámoslo seguro.

Especialistas en tecnología y protección submarina.



saes®

Innovar_Desarrollar_Proteger

Medidas de Respuestas al Impulso con MTS

Measurement of Impulse Responses with MTS



Joaquín Martínez Vizuete¹, Jaime Ramis Soriano²

¹ Audiogenome, LLC - info@audiogenome.com

² Universidad de Alicante - jramis@ua.es

Resumen

Se presenta MTS (*Measurement Test Sequences*) como una herramienta de software desarrollada para la obtención precisa y versátil de respuestas al impulso (IRs) mediante el uso de señales de excitación avanzadas como MLS, TSP, barridos senoidales (lineales y logarítmicos) y secuencias Zadoff-Chu, entre otras.

MTS integra el flujo de trabajo necesario para realizar mediciones acústicas, incluyendo configuraciones MIMO (Multiple Input Multiple Output), calibración independiente de micrófonos, visualización de las IRs y su análisis espectral mediante FFT.

Gracias a su interfaz intuitiva y a las opciones de exportación en múltiples formatos (.wav, .mat, .txt), MTS se posiciona como una herramienta eficaz para I+D, docencia y aplicaciones profesionales en acústica de salas, diseño de sistemas de sonido y caracterización de dispositivos electroacústicos en general.

Las respuestas al impulso obtenidas pueden ser utilizadas posteriormente para aplicar un amplio abanico de procedimientos y normas reconocidas en el ámbito de la acústica, como la ISO 3382 (parámetros acústicos en recintos), ISO 16283 (aislamiento acústico en edificios), ISO 10534 (mediciones en tubos de impedancia), el análisis de parámetros Thiele/Small o tareas de control de calidad acústico.

Palabras clave: software, respuesta al impulso, mediciones acústicas, secuencias de test.

Abstract

MTS (Measurement Test Sequences) is presented as a software tool designed for the precise and versatile acquisition of impulse responses (IRs) using advanced excitation signals such as MLS, TSP, sine sweeps (linear and logarithmic), and Zadoff-Chu sequences, among others.

MTS integrates the entire workflow required for acoustic measurements, including MIMO (Multiple Input Multiple Output) configurations, independent microphone calibration, IR visualization, and spectral analysis via FFT.

Thanks to its intuitive interface and support for exporting IRs in multiple formats (.wav, .mat, .txt), MTS stands out as an effective tool for R&D, education, and professional applications in room acoustics, sound system design, and general electroacoustic device characterization.

The acquired impulse responses can then be used to apply a wide range of recognized procedures and standards in the field of acoustics, such as ISO 3382 (room acoustic parameters), ISO 16283 (in situ building acoustic insulation measurements), ISO 10534 (impedance tube measurements), Thiele/Small parameter analysis, or acoustic quality control tasks.

Keywords: software, impulse response, acoustic measurements, test sequences.

1. Introducción

La medición de la respuesta al impulso (IR) constituye una de las herramientas fundamentales en el análisis y caracterización de sistemas acústicos y electroacústicos.

A lo largo de las últimas décadas, se han desarrollado diversas técnicas para obtener la IR de forma precisa, eficiente y robusta frente al ruido y las no linealidades del

sistema. Estas técnicas se apoyan en señales de excitación cuidadosamente diseñadas, conocidas como secuencias de test, cuya evolución ha acompañado el desarrollo tecnológico de la acústica aplicada.

Uno de los primeros avances significativos en este campo fue el uso de las MLS (*Maximum Length Sequences*), popularizadas en los años 70 y 80 por M. R. Schroeder y otros investigadores [1-3]. Las MLS son secuencias binarias pseudoaleatorias que permiten estimar la respuesta al impulso de sistemas lineales e invariantes en el tiempo (LTI) mediante correlación circular. Su implementación es computacionalmente eficiente y ofrece buenas prestaciones en entornos con ruido de fondo moderado. No obstante, su principal limitación reside en la sensibilidad frente a distorsiones no lineales, que pueden contaminar la IR medida con productos armónicos.

Para superar estas limitaciones, Angelo Farina introdujo, a finales de los años 90, el uso del barrido senoidal logarítmico (*Logarithmic Sine Sweep*) como señal de excitación [4]. Esta técnica permitió no solo mejorar la relación señal a ruido (SNR), sino también separar de forma efectiva las componentes de distorsión armónica del sistema bajo test, lo que resultó especialmente útil en la medición de altavoces, recintos y dispositivos con cierto comportamiento no lineal. El Log-Sweep se consolidó como un estándar de facto en muchas aplicaciones profesionales y científicas.

En paralelo, otros enfoques como el TSP (*Time-Stretched Pulse*), propuesto por Nobuharu Aoshima en los años 80 [2], ofrecieron alternativas con propiedades espectrales controladas y buena robustez frente al ruido, abriendo nuevas posibilidades para la medida precisa de la IR con tiempos de grabación reducidos y gran reproducibilidad.

Más recientemente, y procedente del campo de las telecomunicaciones, han comenzado a explorarse secuencias como la Zadoff-Chu (ZC), empleadas originalmente en sistemas LTE (4G) por sus propiedades de autocorrelación cero fuera de fase y amplitud constante. Aunque su uso en acústica es aún incipiente, estas secuencias ofrecen una excelente concentración de energía en el dominio temporal y espectral, lo que permite recuperar la respuesta al impulso con alta precisión y bajo nivel de distorsión. En herramientas como MTS, la secuencia ZC se implementa mediante la concatenación de sus partes real e imaginaria, permitiendo su aplicación práctica en entornos electroacústicos, aunque sin explotar directamente sus propiedades de ortogonalidad entre secuencias.

2. Fundamentos matemáticos

Las secuencias de excitación empleadas en la obtención de respuestas al impulso (IRs) se diseñan para cum-

plir propiedades específicas como una autocorrelación tipo delta, amplitud controlada, distribución espectral uniforme y buena relación señal a ruido. A continuación, se resumen las formulaciones matemáticas básicas que definen las principales secuencias utilizadas por MTS:

2.1. MLS (*Maximum Length Sequence*)

Las MLS son secuencias binarias pseudoaleatorias de longitud $L = 2^m - 1$, generadas mediante registros de desplazamiento con realimentación (LFSR, por sus siglas en inglés), donde m es el número de etapas del registro.

La recuperación de la respuesta al impulso a partir de una secuencia MLS se realiza habitualmente mediante correlación circular entre la salida del sistema y la secuencia original. En implementaciones eficientes, este proceso puede acelerarse mediante una Transformada Rápida de Hadamard (FHT), precedida por una permutación específica de los datos, basada en la estructura del generador de la MLS. Esta técnica, ampliamente documentada por Rife y Vanderkooy [5-6], permite obtener la IR con baja carga computacional y buena resolución temporal, siempre que el sistema bajo análisis sea lineal e invariante en el tiempo.

2.2. TSP (*Time Stretched Pulse*)

Propuesto por Nobuharu Aoshima, el TSP es un pulso senoidal cuya fase se ha diseñado para expandir el contenido frecuencial a lo largo del tiempo.

$$a[k] = \cos \Phi_k + j \sin \Phi_k$$

$$\Phi_k = \frac{2\pi}{\alpha L} k^2$$

$$X[k] = \begin{cases} a[k], & 0 \leq k \leq L/2 \\ a[L-k], & 0 < k < L \end{cases}$$

$$\alpha \in \mathbb{Z}^+$$

$$L = 2^N, N \in \mathbb{Z}^+ (N = \text{FFT order})$$

Ventaja de TSP: elevada SNR y menor sensibilidad a la distorsión que MLS.

Observación: requiere deconvolución para obtener la IR.

2.3. LSS (*Logarithmic Sine Sweep*)

El Log-Sweep, desarrollado por Angelo Farina, es una señal senoidal de frecuencia variable cuya evolución en el tiempo sigue una progresión logarítmica. Su expresión en el dominio temporal discreto es:

$$x[n] = \sin \left(\frac{2\pi f_0 T}{\ln \frac{f_1}{f_0}} \left(e^{\frac{n}{N} \ln \frac{f_1}{f_0}} - 1 \right) \right)$$

2.4. Zadoff-Chu (ZC)

Las secuencias Zadoff-Chu, utilizadas inicialmente en comunicaciones móviles (LTE), son secuencias complejas con módulo constante y autocorrelación cero (CAZAC - *Constant Amplitude Zero AutoCorrelation waveform*). La secuencia está definida por la siguiente ecuación:

$$x[n] = e^{-j\left(\frac{\pi u n(n+Cr+2q)}{N_{ZC}}\right)}$$

Donde,

$$0 \leq n < N_{ZC}; \quad 0 < u < N_{ZC} \quad \text{y} \quad \text{mcd}(N_{ZC}, u) = 1;$$

$$c_r = N_{ZC} \bmod 2; \quad q \in \mathbb{Z}$$

N_{ZC} es la longitud de la secuencia.

3. MTS (Measurement Test Sequences)

Uno de los principales valores diferenciales de MTS es la variedad de secuencias de excitación que ofrece, así como el alto grado de personalización en su configuración. El usuario puede seleccionar el tipo de señal, su duración, rango frecuencial, número de repeticiones y parámetros avanzados según el método elegido, todo ello desde una interfaz intuitiva.

3.1. Test Signal (Señal de Test)

En la sección *Test Signal*, Figura 1, es posible seleccionar entre distintos tipos de secuencias básicas como MTS, TSP, Sine Sweep o Zadoff-Chu.

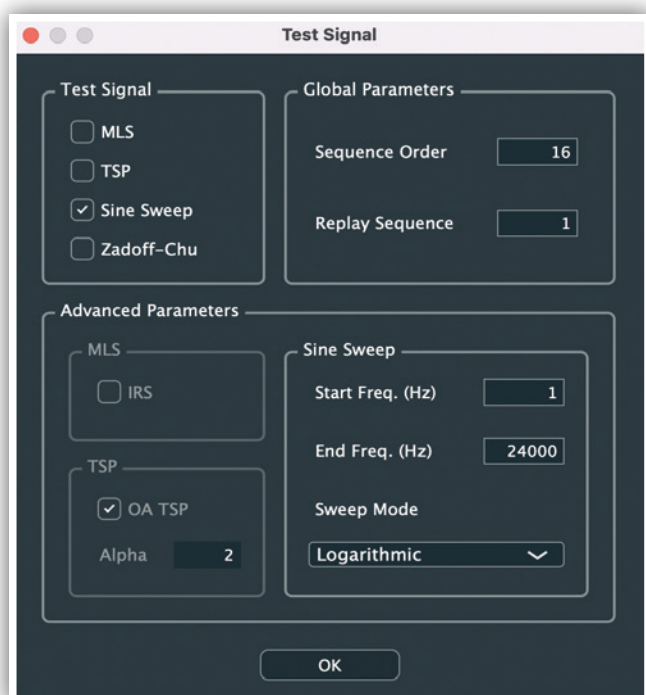


Figura 1. Ventana de selección del tipo de señal de test.

3.2. Global Parameters (Parámetros Globales)

Estos parámetros son aplicables a los diferentes tipos de secuencia.

3.2.1. Sequence Order (Longitud de la Secuencia)

Determina la longitud de la señal de excitación y, por tanto, la resolución temporal y frecuencial de la IR obtenida. En determinadas condiciones de medida es necesario ajustar la longitud de la secuencia para evitar situaciones de *time-aliasing* en la que se puede llegar a perder la cola de una reverberación si ésta es más prolongada que la señal de test seleccionada.

El valor máximo para este campo es 22, lo que proporciona secuencias de $2^{22} = 4.194.304$ muestras, es decir, 87.38 segundos ($f_s = 48$ kHz).

3.2.2. Replay Sequence (Repetir Secuencia)

El número de repeticiones de la secuencia. MTS realiza un promedio temporal de las respuestas captadas para mejorar la relación señal a ruido.

3.3. Advanced Parameters (Parámetros avanzados)

Es posible seleccionar variaciones de la señal de test seleccionada previamente y modificar parámetros específicos.

3.3.1. IRS

El modo IRS (*Inverse Repeated Sequence*) es una variante del método MLS que mitiga algunos efectos de las distorsiones no lineales mediante inversión de fase de la secuencia MLS en una concatenación de la secuencia original y la invertida.

3.3.2. OA-TSP

El modo *Optimized Aoshima TSP* permite modificar el parámetro α para ajustar la compresión temporal del pulso y controlar su duración efectiva.

3.3.3. Sine Sweep (Barrido Senoidal)

En barridos senoidales, puede elegirse entre barrido lineal (frecuencia constante por unidad de tiempo) o logarítmico (frecuencia creciente de forma exponencial en el tiempo). La frecuencia de inicio y final del barrido son totalmente configurables dentro del rango permitido por la frecuencia de muestreo.

4. Medidas

A continuación, en las Figuras 2 y 3 se muestran imágenes del procesamiento de IR registradas con diferentes propósitos, a modo de referencia.

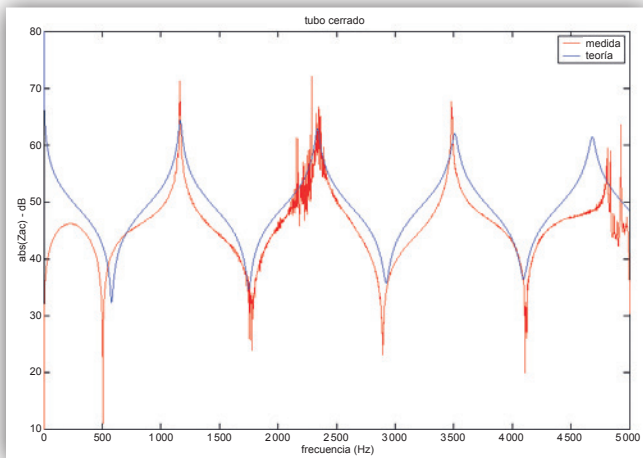


Figura 2. Medida de impedancia en tubo de Kundt (cerrado). Respuesta medida vs Respuesta teórica.

5. Conclusiones

La herramienta MTS ofrece una solución flexible, precisa y accesible para la obtención de respuestas al impulso. Su capacidad para generar diferentes tipos de secuencias de test, junto con el alto grado de personalización en los parámetros de medida, permite adaptar el sistema a múltiples escenarios experimentales.

Gracias a su enfoque modular, MTS no solo facilita la caracterización de sistemas electroacústicos, sino que también sirve como punto de partida para la aplicación de metodologías normalizadas y análisis avanzados, tanto en entornos profesionales como en contextos educativos o de investigación.

Referencias

[1] M. R. Schroeder, "Integrated-impulse method measuring sound decay without using impulses," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 66, no. 2, pp. 497–500, 1979.

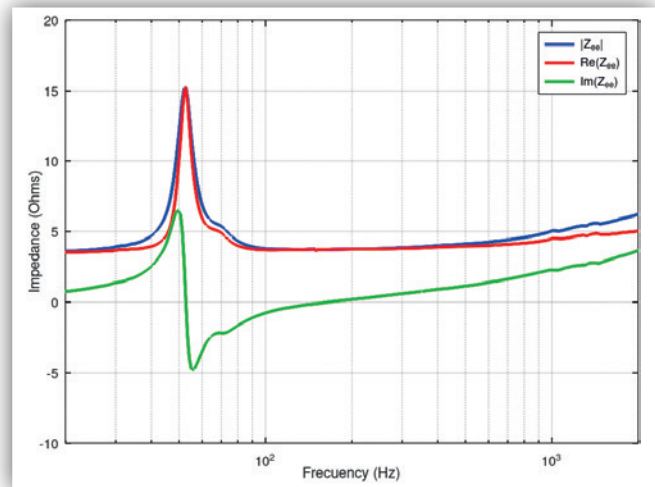


Figura 3. Medida de impedancia eléctrica de un altavoz dinámico.

- [2] N. Aoshima, "Computer-generated pulse signal applied for sound measurement," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 69, pp 1484–1488, 1981.
- [3] J. Borish and J. B. Angell, "An efficient algorithm for measuring the impulse response using pseudorandom noise," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 31, no. 7/8, pp. 478–488, 1983.
- [4] A. Farina, "Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique," in *Audio Engineering Society Convention 108*, Audio Engineering Society, 2000.
- [5] D. D. Rife and J. Vanderkooy, "Transfer-function measurement with maximum-length sequences," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 37, no. 6, pp. 419–444, 1989.
- [6] J. Vanderkooy, "Aspects of MLS measuring systems," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 42, no. 4, pp. 219–231, 1994.

La Salle-URL, líder en formación e investigación en acústica, celebra los 25 años del Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental

La Salle Campus Barcelona, miembro fundador de la Universitat Ramon Llull, cuenta con un laboratorio pionero en Europa donde convergen creatividad digital, inmersividad, IA, acústica y robótica.

La Salle-URL es un centro universitario de referencia en tecnología, humanismo e innovación, con un modelo educativo transdisciplinar que prepara a los líderes del presente y del futuro con programas de diversos ámbitos de conocimiento. La acústica es uno de ellos, disciplina en la que La Salle-URL tiene una larga trayectoria de formación universitaria, investigación aplicada y transferencia de conocimiento. Una de las líneas de investigación principales del campus es la de acústica y audio, integrada en el grupo *Human-Environment Research*, que trabaja en la relación entre las personas y su entorno, abarcando aspectos tecnológicos, artísticos y espaciales.

La Salle-URL, una larga trayectoria en acústica

La acústica ha tenido un gran peso en el desarrollo de la actividad formativa e investigadora de La Salle-URL desde que, en la década de 1960, el campus universitario iniciara los primeros estudios universitarios, en Cataluña, en Ingeniería de Telecomunicaciones y, poco más tarde, la especialidad en Imagen y Sonido. En la década de 1980, la acústica experimentó un gran crecimiento gracias a la construcción de un nuevo edificio en el campus, que sirvió para poner en marcha nuevos laboratorios. Este edificio ha sido recientemente reformado dando lugar al Interactive Arts & Science Laboratory (IASlab).

IASlab | Interactive Arts & Science Lab

El IASlab es el nuevo equipamiento singular de La Salle-URL e incluye, en un mismo edificio, una sala inmersiva, laboratorios de investigación en inteligencia artificial, efectos visuales, realidad virtual y aumentada, robótica y acústica. El IASlab es un *lab* para la investigación transdisciplinar y la creación artística pionero, que impulsa a Barcelona como referente del sur de Europa en artes digitales y proyectos de creación transdisciplinar, investi-



gación de excelencia en tecnología y transferencia de conocimiento.

Con más de 3.000 m², cuenta con una sala inmersiva de creación de arte digital; espacios de experimentación con tecnologías como los efectos visuales, realidad virtual y aumentada e inteligencia artificial; diversos laboratorios de creación de contenidos, de animación y de arte digital para desarrollar proyectos que interrelacionan el arte, la ciencia y la tecnología; un laboratorio de postproducción audiovisual; un laboratorio de robótica interactiva; una cámara reverberante y una anecoica para investigación en acústica, dotado también de una jaula de Faraday, y un estudio de grabación.

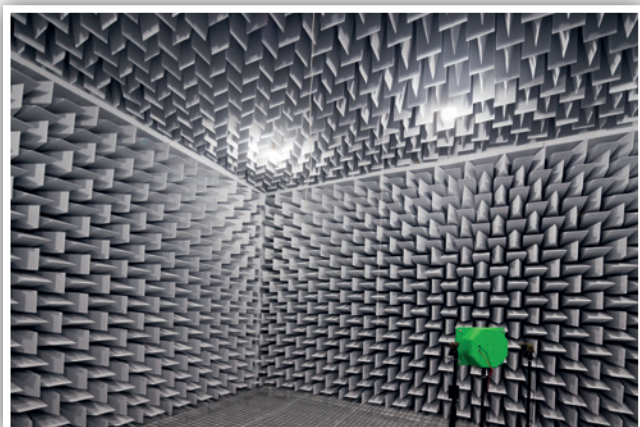
Sin embargo, estos equipamientos y laboratorios de acústica fueron diseñados y construidos hace ya más de 30 años: cuentan con una de las pocas cámaras anecoicas que existen en Cataluña y que en el momento de su creación fue la única que formaba parte de un centro universitario. También se construyó una cámara reverberante, laboratorios de procesamiento digital de la señal, microelectrónica e informática. Todos estos espacios han sido actualizados y forman parte, actualmente, del IASlab. A día de hoy, acogen toda la investigación de La Salle-URL en acústica, además de servir como laboratorios en los que se experimentan soluciones y prototipos reales.



Los laboratorios de acústica del IASlab de La Salle-URL se complementan con material tecnológico avanzado que permite dar respuesta a los diferentes retos que se presentan hoy en día en el sector de la acústica arquitectónica y medioambiental. Los investigadores, y también los estudiantes de los programas de acústica, disponen de analizadores multicanal de diferentes marcas y nivel de prestaciones. También cuentan con diversos sonómetros de clase 1; con el módulo de tiempo de reverberación y análisis CPB; diferentes transductores; una máquina de impactos; un excitador de vibración y un altavoz dodecaedro con la correspondiente etapa de potencia y generador de ruido.

Innovación y casos reales de proyectos con la industria

La investigación en acústica en La Salle-URL no solo se centra en el estudio tradicional del sonido, sino que también explora nuevas tendencias y aplicaciones. Uno de los campos en auge es el uso de materiales sostenibles y técnicas innovadoras para el acondicionamiento acústico de espacios, contribuyendo a la eficiencia energética y al confort sonoro en entornos urbanos y arquitectónicos.



tectónicos. La integración de inteligencia artificial en la modelización acústica permite optimizar el diseño de soluciones para el control del ruido y la mejora de la calidad sonora en diversas aplicaciones.

A lo largo de los años, La Salle-URL ha establecido colaboraciones con empresas y organismos públicos para desarrollar soluciones innovadoras en el ámbito de la acústica. Desde proyectos de reducción de ruido en espacios urbanos hasta estudios de optimización acústica en salas de conciertos y auditorios, los investigadores del campus universitario participan en iniciativas de gran impacto social y tecnológico. Asimismo, La Salle-URL trabaja con la industria del entretenimiento en la optimización de la acústica en producciones audiovisuales y videojuegos.

Un ejemplo de esta colaboración es el proyecto SuaraMap, que se lleva a cabo con Suara Cooperativa, el Instituto de Investigación Biomédica de Girona Dr. Josep Trueta (IDIBGI) y la Universitat de Girona. SuaraMap permite crear un mapa acústico que identifica patrones de conducta en el hogar de personas mayores que viven solas, ofreciéndoles así una asistencia personalizada. “Queremos aplicar la tecnología para mejorar la atención de la gente mayor que vive sola sin interferir en su vida cotidiana”, explica Rosa Maria Alsina, directora de Investigación e Innovación de La Salle-URL.

Otro ejemplo de aplicación real, en este caso con una vertiente más artística, es el proyecto AEDOS, presentado en la pasada edición del prestigioso festival Sónar+D. AEDOS nace de la fusión de la investigación en ingeniería acústica, con la animación y las artes digitales, y consiste en un conjunto de esculturas impresas en 3D que proyectan, al interactuar con la gente, una vocal generada en tiempo real que sigue los mecanismos de producción de la voz. Ambos proyectos ejemplifican cómo trabaja la acústica La Salle-URL desde el punto de vista de la investigación académica y de su aplicación a proyectos reales.



El Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental de La Salle-URL

La Salle-URL imparte desde hace más de 25 años formación universitaria en acústica. En este tiempo, ha formado a más de 600 profesionales de prestigio, muy bien posicionados en el sector. El Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental de La Salle-URL ofrece una formación especializada aplicada al acondicionamiento acústico de espacios, diseño de aislamiento acústico, control del ruido, y estudios de impacto y contaminación acústica.

Durante el programa se forma al alumnado en nueva legislación, nuevas tecnologías, software y aplicaciones en ingeniería y arquitectura. El Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental se imparte de manera semi-presencial. La parte teórica del programa se realiza online y, al final del máster, se lleva a cabo un *stage* presencial que forma parte del plan curricular, en el que los alumnos ponen en práctica todo lo que han aprendido a lo largo del curso. El programa se estructura en dos postgrados: el Postgrado en Acústica Arquitectónica y el Postgrado en Acústica Medioambiental.

Stage presencial en el IASlab y múltiples salidas laborales

Los alumnos realizan la parte presencial del Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental en el IASlab, con lo que tienen acceso a los laboratorios especializados en acústica que forman parte de este equipamiento pionero y único en el sur de Europa. Los dos postgrados ofrecen a profesionales de la disciplina la oportunidad de actualizar conocimientos y especializarse en acústica arquitectónica y medioambiental. Ambos se imparten en línea mediante la metodología online de La Salle-URL, con una larga trayectoria de más de dos décadas.

Los titulados en acústica de La Salle-URL cuentan con un alto grado de inserción laboral en distintos sectores. La demanda de expertos en acústica está en crecimiento, y los egresados encuentran oportunidades en consultoras especializadas en acústica arquitectónica y medioambiental, en empresas de tecnología de audio, en estudios de ingeniería y en organismos reguladores del ruido y la contaminación acústica. Además, el desarrollo de tecnologías innovadoras en el ámbito del audio inmersivo y la acústica computacional abre nuevas posibilidades en sectores emergentes.



Ingeniería Acústica García-Calderón

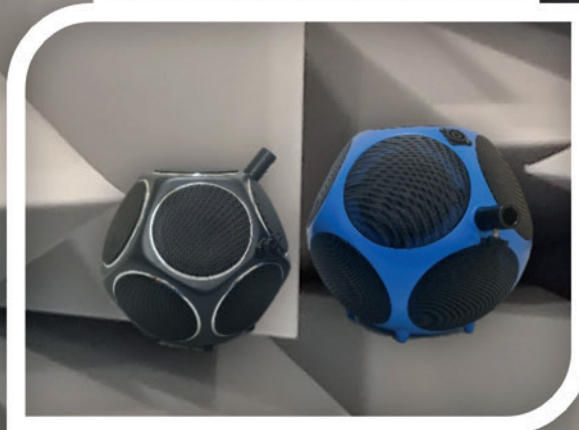
Proveedores de equipamiento para medidas de ruido y vibraciones

Diseño y suministro de cámaras anecoicas

CÁMARAS ACÚSTICAS



FUENTES SONORAS ULTRALIGERAS



MÁQUINAS DE IMPACTO



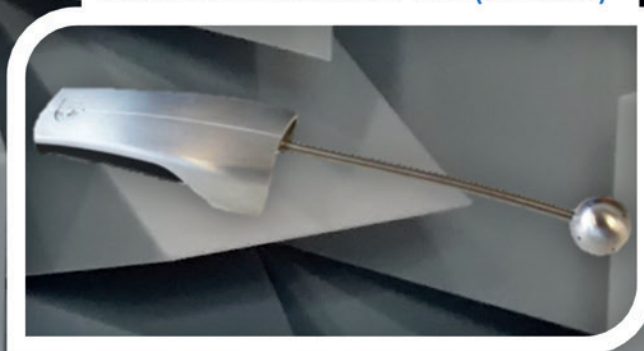
ANALIZADORES MULTICANAL Y SONOMETROS



SONDAS INTENSIDAD 3D, PU



MEDIDOR DE ABSORCION Y STL (SONOCAT)



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/>



III Ciclo de Conferencias organizado por el CD de la Federación Iberoamericana de Acústica



En la semana anterior a la que se conmemora el *Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido*, que este año es el 30 de abril, la **Federación Iberoamericana de Acústica** ha organizado su **Tercer Ciclo de Conferencias**.

Con objeto de que todos los miembros de las asociaciones pudieran participar, las actividades programadas se llevaron a cabo **entre el lunes 21 y el jueves 24 de abril**, en forma virtual síncrona, y en una banda horaria que contempla los diferentes husos horarios de los miembros.

HORARIOS				
Perú - Ecuador	Chile - Bolivia	Argentina - Brasil - Uruguay	Portugal	España
(GMT-5)	(GMT-4)	(GMT-3)	(GMT+1)	(GMT+2)

Las conferencias, que abarcaron una gran diversidad de temáticas, cubrieron fundamentalmente temas relacionados con la gestión del ruido, tales como la gestión del ruido ambiental y del ruido de ocio, pasando por te-

máticas relacionada con el análisis de vibraciones y poniendo el foco en temáticas relacionadas con la percepción, tales como la localización espacial y el paisaje sonoro. Adicionalmente, se trataron otras temáticas relacionadas con el emergente uso de la inteligencia artificial para la caracterización y clasificación de situaciones acústicas.

A continuación, se presenta íntegramente el programa del III Ciclo de Conferencias.

Los asistentes a las diferentes sesiones tuvieron la oportunidad de realizar preguntas durante las conferencias, a través del chat habilitado a tal efecto, así como al final de estas.

La participación en el ciclo de conferencias ha aumentado sensiblemente también este año. La Federación Iberoamericana de Acústica hará todo lo posible para que se consolide este encuentro entre acústicos de los distintos países, utilizando para ello las posibilidades que nos ofrecen los medios tecnológicos.

Días (Abril 2025)	Actividades
Lunes 21	Presentación de la programación de la semana a cargo del Consejo Directivo de la FIA
	Conferencia: "Inteligência artificial relacionada à acústica" Orador: Bárbara Fengler (SOBRAC, Brasil)
	Conferencia: "O papel da ProAcústica em iniciativas da organização civil visando o conforto de populações expostas ao ruído urbano" Oradores: Rafael Galvão Leal Andrade, Juan Frias Pierrard (PROACUSTICA, Brasil)
Martes 22	Conferencia: "Horizontes acústicos. La escucha de los futuros posibles en el campo del paisaje sonoro y la acústica ambiental" Orador: Luis Barrie (SOCHA, Chile)
	Conferencia: "Localización espacial auditiva: Influencia del contexto en la percepción de distancia de un sonido" Orador: Ramiro Vergara (AdAA, Argentina)
Miércoles 23	Conferencia: "Os desafios da gestão ambiental de atividades ruidosas em meio urbano casos de boas práticas em Portugal" Orador: Luís Conde Santos (SPA, Portugal)
	Conferencia: "Análisis vibracional del tránsito vehicular en la ciudad de Montevideo" Orador: Julián Ortiz (AUA, Uruguay)
Jueves 24	Conferencia: "Evaluación y control del ruido de ocio" Orador: Antonio Hidalgo (SEA, España)
	Conferencia: "Análisis modal estructural: de la academia a la industria en el Perú" Orador: Richard Rivera Campos (SPeA, Perú)

Sonómetros

Fuentes de ruido

Sondas de intensidad sonora

Software de cálculo de aislamientos acústicos

Sistemas de medida avanzados

Micrófonos

Analizadores de audio

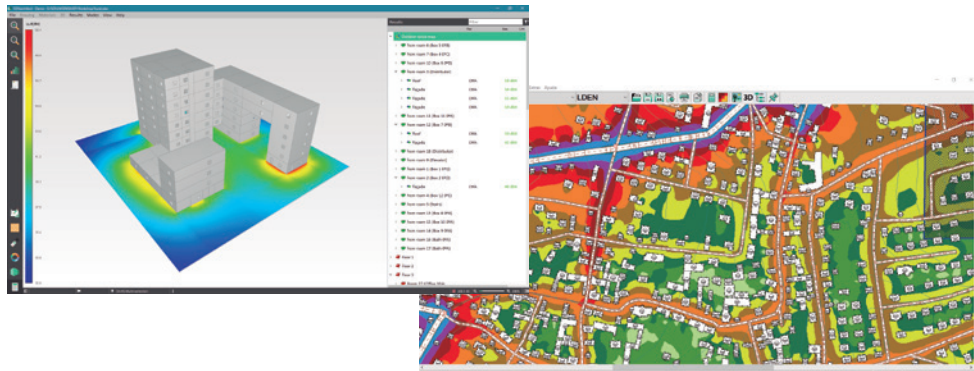
Monitorizado de ruido y vibraciones

Cámaras acústicas

Software de predicción de niveles sonoros en exteriores e interiores



SOUND OF NUMBERS



Desarrolladores y proveedores de tecnología para ingeniería acústica

 **Norsonic**

 **MICROFLOWN**
TECHNOLOGIES

MARSHALL DAY
Acoustics 

 **DataKustik**

SEMEX  **ENGCON**

GR.AS 



WWW.ACOUSTICWARE.COM



Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido 2025

Comunicado de la Sociedad Española de Acústica, con motivo del Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido 2025. 30 de abril de 2025

Como en años anteriores, con motivo del Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido, la Sociedad Española de Acústica emitió un comunicado, el día 30 de abril de 2025. Este comunicado, que se centra en alertar y concienciar a la población acerca del de los trastornos físicos y psicoemocionales derivados de la exposición prolongada al ruido, fue difundido a los principales medios de comunicación, que se hicieron eco de la noticia tanto en prensa escrita como en radio, televisión y medios digitales. El comunicado tuvo gran acogida tanto en agencias de noticias, como en medios nacionales y autonómicos, dando lugar a, al menos, 20 noticias en los distintos medios referidos.

A continuación, se presenta, íntegramente, el texto del comunicado:

*“Un año más, el próximo miércoles 30 de abril se conmemora en todo el mundo el **Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido**, una jornada destinada a **alertar y sensibilizar a la población sobre los riesgos que supone la exposición prolongada a altos niveles de ruido, sea cual sea su origen: ruido ambiental, en el puesto de trabajo, en los lugares de ocio y recreo, en las viviendas...***

***El Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido** (International Noise Awareness Day) es un evento ideado y organizado por primera vez en 1996 por el “Centre for Hearing and Communication” en EE. UU., con el objetivo de promover la concienciación sobre los peligros de la exposición prolongada al ruido y de combatir sus efectos tanto en la audición como, en general, en la salud de los ciudadanos. El Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido representa una oportunidad para dar a conocer a la sociedad en general y a niños y jóvenes en particular, los problemas relacionados con la exposición excesiva al ruido.*

*Bajo el lema **“Qué a gusto sin ruido”**, la **Sociedad Española de Acústica** se suma a esta iniciativa global, recordando que **el ruido no solo molesta, sino que también enferma**. Entre los efectos más frecuentes de la contaminación acústica se encuentran **la molestia***

***severa, los trastornos del sueño y las enfermedades coronarias**. A ello se suman problemas de salud mental, **irritabilidad, insomnio crónico y un aumento de los niveles de estrés y ansiedad** en la población.*

*Aunque la normativa en vigor en España establece límites de ruido ambiental algo superiores a los recomendados por la **Organización Mundial de la Salud (OMS)**, si se cumplieran los límites legales actuales se reduciría sensiblemente la **probabilidad de sufrir trastornos del sueño y de padecer molestia severa**. **Así mismo, la autoconcienciación es un aspecto clave en la reducción de los efectos nocivos del ruido sobre nuestra salud y sobre la ajena.***

*Ante esta realidad, la Sociedad Española de Acústica hace un **llamamiento urgente a las Administraciones públicas, agentes sociales y a toda la ciudadanía**, para **promover actitudes personales, iniciativas empresariales y políticas más ambiciosas de protección acústica**.*

Vivir sin ruido no solo es más agradable. Es, sobre todo, más saludable.

Antonio Pedrero González

Presidente de la Sociedad Española de Acústica”

Pequeños grandes acústicos: alumnado del Platero Green School de Málaga sensibiliza sobre el ruido con ciencia y arte

Con motivo del **Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido 2025**, la **Sociedad Española de Acústica** (SEA) ha participado en una jornada de sensibilización celebrada en el **Colegio Platero Green School de Málaga**, centrada en fomentar la conciencia acústica entre los más jóvenes.

Durante el acto, el alumnado del **tercer ciclo de Educación Primaria** presentó su proyecto titulado **“Sin Ruido”**, en el que han trabajado en la medición de los niveles sonoros existentes en su centro educativo. A partir de estos datos, los escolares elaboraron propuestas de medidas correctoras para reducir el ruido en el colegio durante el próximo curso, mostrando un compromiso notable con la mejora del entorno sonoro de su centro educativo.



Como parte del proyecto, los alumnos también compusieron **dos poemas** dedicados respectivamente al **ruido** y al **silencio**. Además, produjeron un **cortometraje** titulado “**Aquí Sí hay quien viva**”, donde escenificaron de forma creativa las situaciones y consecuencias del ruido no deseado en la vida diaria. La jornada concluyó con la interpretación de una pieza musical al piano por parte de una de las alumnas participantes, aportando un cierre artístico y emotivo al evento.

La SEA estuvo representada en el acto por su presidente, **Antonio Pedrero**, y su tesorera, **Belén Casla**. También participaron en la jornada **María Campo-Valeira**, profesora de la **Universidad de Málaga**, y **Elena Díaz**, representante del **Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación de Andalucía**.

La iniciativa fue valorada como muy positiva por todos los asistentes, y reafirma la necesidad de incorporar actividades de sensibilización acústica desde edades tempranas. Tal y como indica el lema promovido por la SEA para este año: “**¡Qué a gusto sin ruido!**”, la concienciación en los entornos escolares representa un paso fundamental hacia una sociedad más respetuosa con el paisaje sonoro.

“El silencio es música para los oídos de tus vecinos”: la SEA se une a una campaña nacional por un ocio nocturno más responsable

En el marco del **Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido** la **SEA** también ha colaborado activamente en la campaña “**El silencio es música para los oídos de tus vecinos**”, una iniciativa nacional impulsada por la asociación **España de Noche**, representante del sector del ocio nocturno, y con el apoyo de la **Confederación Estatal de Asociaciones Vecinales (CEAV)**.

La campaña tiene como objetivo promover un **modelo de ocio nocturno compatible con el descanso**



vecinal, fomentando el civismo, la mediación y la concienciación social.

Según explicó **Vicente Pizcueta**, portavoz de **España de Noche**, la iniciativa busca **visibilizar las buenas prácticas del sector** y activar un **debate social sobre el impacto del ruido nocturno**. Entre las medidas propuestas se encuentran la mediación comunitaria, la implantación de protocolos de acceso y salida en los locales, y sobre todo, una apuesta por la **educación cívica en acústica de los propios usuarios** del ocio.

Artistas como **Alex Martini**, DJ habitual en escenarios junto a figuras como Quevedo, y **Antimateria DJ** se han sumado al mensaje, invitando a disfrutar con intensidad en el interior de los locales, pero con conciencia del entorno residencial al salir. Ambos recalcan que no se trata de culpabilizar, sino de **generar hábitos más respetuosos** sin renunciar al disfrute.

Desde la SEA valoramos muy positivamente este tipo de campañas, que representan un ejemplo claro de cómo la colaboración entre sectores puede contribuir a crear diálogo y fomentar la creación de **entornos acústicamente sostenibles**.

El Escape Room “Escapa del Ruido” vuelve a celebrarse en la UPV y se estrena en el IES Zapatero Domínguez de Castro Urdiales con gran acogida

Como viene siendo ya costumbre en la **Universitat Politècnica de València (UPV)**, los estudiantes del **Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen** y del **doble grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen y Comunicación Audiovisual** del **Campus de Gandía** participaron el pasado **30 de abril de 2025**, con motivo del **Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido**, en el **Escape Room de Concienciación sobre los Efectos del Ruido** que la **Sociedad Española de Acústica (SEA)** pone a libre disposición bajo el título “**Escapa del ruido**”.



Este año, además, la actividad se ha extendido también al ámbito de la educación secundaria, realizándose en el **IES Zapatero Domínguez de Castro Urdiales**, donde ha sido desarrollada con entusiasmo por **cuatro grupos de estudiantes de 1.º de ESO**. En este centro, la dinámica ha resultado especialmente motivadora para el alumnado puesto que **el grupo que resolvió el Escape Room en el menor tiempo fue premiado**.

En ambos casos, los participantes han destacado lo **divertido e instructivo** de la actividad, reconociendo que desconocían muchos de los datos relacionados con el ruido y sus efectos que han podido aprender gracias al juego. El Escape Room, al tiempo que promueve la concienciación, estimula el trabajo en equipo y la reflexión crítica sobre el entorno acústico.

Desde el comité editorial de la revista animamos a **universidades, institutos y centros educativos de todo el país** a utilizar este recurso como herramienta de sensibilización sobre los efectos del ruido en la salud y en la calidad de vida.

La SEA agradece, como cada año, al profesor **Jesús Alba** su implicación en la realización de la actividad en la UPV, así como a la profesora **Elena**, del **IES Zapatero Domínguez**, por haber llevado la propuesta a su alumnado con entusiasmo y compromiso.

La SEA participa en la Jornada “El mal de la contaminación acústica” del COAM

El pasado lunes 7 de abril, el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM) acogió la jornada titulada “El

mal de la contaminación acústica”, una mesa redonda que reunió a profesionales del ámbito de la acústica, la salud, el derecho y el urbanismo con el objetivo de reflexionar sobre las causas y consecuencias del ruido ambiental en entornos urbanos.

La jornada se abrió con una llamada de atención sobre el impacto del ruido en la salud pública, tomando como referencia las palabras de Eulalia Peris, experta de la Agencia Europea de Medio Ambiente, quien recordaba que el ruido es ya la segunda causa ambiental de problemas de salud en Europa, solo por detrás de la contaminación atmosférica. La exposición prolongada al ruido se asocia a trastornos del sueño, enfermedades cardiovasculares y metabólicas, deterioro cognitivo infantil y un deterioro general de la calidad de vida y la salud mental.

El debate, de carácter multidisciplinar, permitió abordar el fenómeno desde diferentes perspectivas: el control institucional, la regulación jurídica, la reivindicación ciudadana y la necesidad de una arquitectura más comprometida con el bienestar acústico. Participaron en la mesa redonda Antonio Pedrero, presidente de la Sociedad Española de Acústica; Ricardo Bustos, portavoz vecinal y coordinador de la Campaña Contra el Ruido; Sonia Herranz, subdirectora de Calidad y Evaluación Ambiental del Ayuntamiento de Madrid; Rita Gasalla, presidenta del Observatorio de Arquitectura Saludable; y Ricardo Ayala, abogado de Juristas Contra el Ruido.

Durante el encuentro se debatieron las principales fuentes de ruido urbano, como el tráfico, las obras, las actividades de ocio y hostelería o los sistemas de climatización, y se puso el foco en la necesidad de actuar sobre el origen del ruido, no solo mediante el aislamiento de los edificios, sino también a través de políticas activas de reducción en su emisión.



La sesión concluyó con un turno abierto de preguntas por parte del público, en un formato participativo que permitió enriquecer las conclusiones y plantear propuestas de futuro desde una visión integral y humanista del entorno urbano.

La SEA colabora en la difusión de la Campaña contra el Ruido 2025

La SEA ha colaborado, junto con el resto de entidades participantes, en la difusión de la Jornada Internacional de

Concienciación sobre el Ruido. En esta jornada, con colaboración de AECOR, CEAV, FACUSPAT, AICE, Juristas contra el Ruido y la Federación de Asociaciones Contra el Ruido, se ha contado con ponencias de diversos expertos y ha sido moderada por Yomara García, presidenta de Juristas contra el Ruido y experta en derecho ambiental.

La jornada, que ha contado con expertos de España, Colombia y México, ha abordado la problemática del ruido desde el punto de vista legal, de gestión medioambiental y de la salud.

Jornada Internacional de Concienciación sobre el Ruido

Moderadora Yomara García		Camilo Quintero La Ley 2450 de 2025 contra el Ruido es una realidad en Colombia. ¿Cómo se logró?	
Hermann Rojas El Ruido: más que un simple sonido, un veneno invisible.		Andrés Peña Simulación acústica y mapas de ruido, entendiendo el ruido urbano.	
M^a Ángeles Bonmatí El ruido y sus efectos en la salud: un reto colectivo.		Teresa Montero Control jurídico del ruido y responsabilidad penal.	
Jimena de Gortari Propuestas contra el Ruido al Congreso de México.		Talía Osorio #SaquemosCuentas La dignidad no se negocia.	
Coordinación de Jornada Yomara García Ricardo Bustos			














martes 29 de abril de 2025 | 5 p.m. Madrid



AAC CENTRO DE ACÚSTICA APLICADA

Ingeniería + Laboratorio



Gran experiencia en resolución de situaciones complejas

Amplio alcance de ensayos acreditados ENAC desde 1996

Expertos en combinación de mediciones y modelos

Parque Tecnológico de Euskadi

VITORIA-GASTEIZ – España

TEL. (+34) 945 298 233

aac@aacacustica.com

www.aacacustica.com

Sucursal en Colombia

TRABAJAMOS PARA QUE TU FUTURO SUENE MEJOR



Distribuidor de **SoundPLAN** en España y Portugal

EL SOFTWARE DE ACÚSTICA ADECUADO PARA CADA NECESIDAD

Modelos SoundPLAN: Noise 9.1 (modular) / Essential 6.0 / Manda 1.0

La oferta más completa con la mejor relación calidad / precio

Ruido Ambiental / Acústica de Salas / Ruido Laboral

Solicita una licencia de prueba

soundplan@aacacustica.com



The music of Antonio Soler in its context: a virtual reconstruction of the musical spaces of the Monasterio de San Lorenzo del Escorial

Tribunal:

Presidente: Judith Ortega Rodríguez, Universidad Complutense de Madrid.

Secretario: Jorge Grundman Isla, Universidad Politécnica de Madrid.

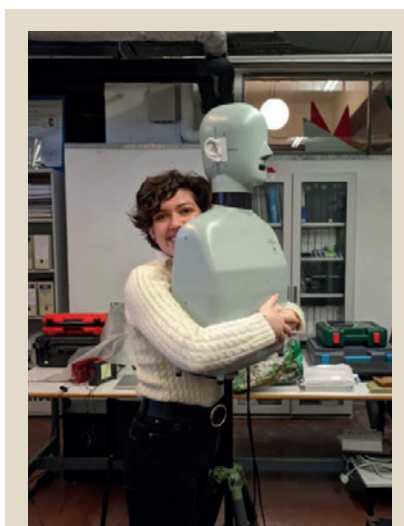
Vocal: Paulo Amado Mendes, Universidade de Coimbra.

Vocal: Eva Esteve Roldán, Universidad Internacional de La Rioja.

Vocal: Lidia Álvarez Morales, Universitat de Barcelona.

Resumen:

En las últimas décadas se ha manifestado un creciente interés en el campo de la acústica por el estudio y la conservación del patrimonio cultural inmaterial. Dentro del mismo se incluyen las características acústicas de los recintos históricos, que estaban estrechamente relacionadas con su uso cultural y social. Las características acústicas dependen en gran medida del entorno físico, por lo que, si el edificio sufre daños o modificaciones, estas pueden perderse de forma irreversible. Muchas investigaciones se han centrado en la preservación de la acústica de recintos históricos mediante el uso de tecnologías de realidad virtual. La mayor parte se han enfocado en recintos religiosos, utilizados para la interpretación de música litúrgica. Sin embargo, se han realizado pocos estudios sobre entornos históricos en los que se interpretaban otros estilos musicales. Esta carencia es una de las motivaciones de este estudio, en el que se ha pretendido conservar y evaluar la acústica de recintos donde predominaba la



Autora:

María Larrosa Navarro

Director/es:

Antonio Pedrero González

Fecha de defensa:

10 de febrero de 2025

Lugar:

Universidad Politécnica de Madrid

e-mail:

m.larrosa@upm.es

interpretación de música de cámara y música escénica.

Esta tesis doctoral se ha centrado en el estudio y la recreación virtual del comportamiento acústico de ocho salas del Monasterio de San Lorenzo del Escorial. Aunque se le conoce como monasterio, este edificio también alberga un palacio y un seminario. Esta variedad de habitantes dio lugar a una amplia creación artística por parte de los monjes escurialenses. Debido a la influencia de la corte, la música cultivada por estos monjes no se reducía a la temática religiosa ni al estilo antiguo.

De los ocho espacios seleccionados, en cuatro de ellos se interpretaba música religiosa, en dos se realizaban conciertos de música de cámara y los dos restantes se utilizaban para la representación de obras teatrales, las cuales eran acompañadas de música escénica.

El interés mostrado en este monumento se debe, además de a su relevancia histórica y cultural, a la figura de Antonio Soler, un monje escurialense y uno de los compositores españoles más prolíficos. Soler fue organista y maestro de capilla del Monasterio, donde residió la mayor parte de su vida. Si bien la mayoría de su obra se enmarca en la música religiosa, cabe destacar que su catálogo también incluye 150 sonatas para clave, seis quintetos para clave y cuerda y más de 30 obras de música escénica. El objetivo principal de esta tesis es la reconstrucción y conservación de la interpretación de la obra de Antonio Soler en los espacios musicales del Monasterio de San Lorenzo del Escorial mediante tecnologías de realidad virtual.

Siete de los ocho recintos considerados en esta investigación no han sufrido modificaciones notables desde su construcción. Sus modelos arquitectónicos se levantaron a partir de mediciones de la geometría de las salas y de la determinación de los materiales que las conforman. Los modelos acústicos virtuales se calibraron utilizando las respuestas al impulso obtenidas a partir de las mediciones acústicas realizadas in-situ. El modelo acústico del recinto restante es una recreación del estado que presentaba este espacio en el siglo XVIII.

A partir de estos modelos se realizaron auralizaciones que permiten al oyente experimentar una aproximación de cómo se escuchaban las interpretaciones musicales en dichos espacios. En estas auralizaciones se utilizaron los archivos obtenidos a partir de grabaciones anecoicas de catorce obras

de Soler, que abarcan todos los estilos que cultivó, y cuatro piezas de canto gregoriano. Todas las auralizaciones se basan en testimonios escritos por habitantes del Monasterio, por lo que pretenden reproducir las prácticas musicales habituales de la comunidad escorialense.

Por último, se realizó una prueba de escucha para determinar la opinión que el público actual tiene sobre cuatro interpretaciones musicales que se llevaron a cabo en la Basílica durante los siglos XVI y XVII, con el fin de compararlas con los juicios conservados en los textos históricos.

Abstract:

Over the past two decades, there has been a notable increase in interest within the field of acoustics in relation to the study and conservation of intangible cultural heritage. This encompasses the acoustic characteristics of historic buildings, which are closely linked to their cultural and social usage. The acoustic characteristics of historic buildings are highly dependent on the physical environment. If the building is damaged or modified, these characteristics can be irreversibly lost. Numerous research projects have focused on the preservation of the acoustics of historic sites using virtual reality technologies. A significant portion of this research has concentrated on the characterisation and preservation of religious enclosures, which were utilised for the performance of liturgical music. However, there is a notable absence of studies conducted on historical enclosures where different musical styles were performed. This lack of research is one of the key motivations behind this study, which has sought to conserve and evaluate the acoustics of venues where chamber and stage music performance predominated.

This doctoral thesis has focused on the study and virtual recreation of the acoustic behaviour of eight rooms at the Monasterio de San Lorenzo del Escorial. It should be noted that, although it is known as a monastery, the building also housed a palace and a seminary. The diverse population that inhabited the monastery and their interactions resulted in a rich tapestry of artistic creations by the monks of El Escorial. The musical output of the monks was not solely confined to religious themes or the ancient style, due to the significant influence of the court and its musicians. Of the eight spaces selected, four were used for religious music performances, two for chamber music concerts, and the remaining two for theatrical performances accompanied by stage music.

The interest in this monument, apart from its historical and cultural importance, is due to the figure of Antonio Soler, a monk and one of Spain's most prolific composers. Soler was the organist and chapel master of the Monastery, where he lived for most of his life. Although most of his work is in the field of religious music, it is worth noting that his catalogue also includes 150 harpsichord sonatas, six quintets for harpsichord and strings and more than 30 works of stage music. This diversity of styles and the variety of spaces in which these pieces were performed encouraged the creation of this work, whose main objective is to reconstruct and safeguard the performance of Antonio Soler's work in the musical spaces of the Monasterio de San Lorenzo del Escorial, using virtual reality technologies.

Seven of the eight enclosures considered in this study have undergone no significant modification since their construction. Their architectural models were constructed based on measurements of the geometry of the rooms and the determination of their constituent materials. The virtual acoustic models were calibrated using impulse responses obtained from in-situ acoustic measurements. The acoustic model of the remaining venue is a recreation of the state of this space in the 18th century.

These models were used to create auralisations that allow the listener to experience an approximation of how the musical performances would have been heard in these spaces. These auralisations used files obtained from anechoic recordings of fourteen works by Soler, covering all the styles he cultivated, and four pieces of Gregorian chant. All the auralisations are based on the testimonies of the inhabitants of the Monastery and therefore aim to reproduce the usual musical practices of the community of the Escorial.

Finally, a listening test was carried out to determine the opinions of today's audiences on four musical performances that took place in the Basilica in the 16th and 17th centuries, in order to compare them with the judgements preserved in historical texts.

Acústica: una visión interdisciplinaria. Reflexiones y soluciones para una sociedad más saludable



Autores: Henry Daniel Lazarte Reátegui

Edición: Fondo Editorial de la Universidad César Vallejo

Año de publicación: 2025

Sinopsis

El Fondo Editorial de la Universidad César Vallejo presenta con orgullo su más reciente publicación, *Acústica: Una visión interdisciplinaria. Reflexiones y soluciones para una sociedad más saludable*, compilado por el Dr. Arq. Henry Daniel Lazarte Reátegui. Esta obra pionera, la primera de su tipo en Perú, reúne aportes de destacados especialistas de Argentina, Chile, México, Perú y Uruguay, quienes abordan el desafío global de la contaminación acústica desde una perspectiva científica, técnica y social.

Surgido del *Día Internacional de Concientización sobre el Ruido (INAD) 2024-Perú*, organizado por el Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú (INPAVAC) y la Universidad César Vallejo, Campus Lima Norte, este libro destaca por su relevancia

y enfoque innovador. Con prólogos de figuras internacionales como el Dr. Antonio Pedrero González, presidente de la Sociedad Española de Acústica (SEA), y los ex presidentes de la Comisión Internacional de Acústica (ICA) Dra. Marion Burgess y Dr. Michael Taroudakis, la obra se posiciona como un referente global en la lucha por entornos sonoros más saludables.

A través de siete capítulos, *Acústica* explora temas clave: desde la integración de la acústica en la formación arquitectónica hasta la percepción del ruido, la creación de mapas acústicos, los paisajes sonoros urbanos en la era post-COVID-19 y el impacto del ruido en la salud, incluyendo el Síndrome del Edificio Enfermo. Cada capítulo combina rigor científico con soluciones prácticas, enriquecido con perspectivas históricas del Dr. Walter Montano que contextualizan la evolución de la acústica como disciplina.

Los autores, reconocidos expertos como la Mtra. Arq. Elena Gushiken, pionera en acústica de Perú; el Ing. Mario Huaquín Mora, con más de 40 años de trayectoria de Chile; y la Dra. Ing. Alice González referente en investigación y divulgación acústica en Uruguay, ofrecen propuestas concretas para mitigar el ruido en entornos urbanos, educativos y laborales. Sus contribuciones convierten este libro en una herramienta esencial para enfrentar un problema de salud pública global.

Dirigido a profesionales, académicos, estudiantes y tomadores de decisiones, *Acústica* no solo busca concienciar sobre los efectos nocivos del ruido, sino recurso también inspirar investigaciones y políticas públicas que promuevan entornos sonoros equilibrados. En palabras del compilador, Dr. Lazarte Reátegui: "Esta obra es un manifiesto colectivo para combatir la contamina-

ción acústica y construir una nueva normalidad sonora que priorice el bienestar".

Sobre los autores

Henry Daniel Lazarte Reátegui es arquitecto por la Universidad Ricardo de Palma (2005) y doctor en Políticas Públicas: Seguridad Nacional y Desarrollo Sostenible por la Universidad Alas Peruanas (2016). En la actualidad, trabaja como docente a tiempo completo en la Universidad César Vallejo, Perú. En el campo de la acústica, se ha especializado en la investigación relacionada con los paisajes sonoros urbanos y los desafíos provocados por el ruido en la planificación urbana.

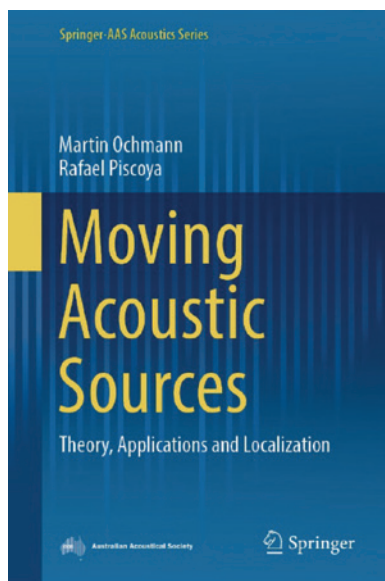
Elena Gushiken es arquitecta por la Universidad Ricardo de Palma (1996). Parte de su formación incluye una estancia de dos años en Japón, donde comenzó su carrera en el campo de la acústica, y un máster en Acústica Arquitectónica y Ambiental por la Universidad Ramon Lull de Barcelona (2006). Fundó y dirige la empresa ARQUICUST que, desde hace 25 años, está especializada en acústica, térmica, sostenibilidad y salud humana y ambiental. Colaboró con el Ministerio de Construcción de Perú para redactar normativa acústica para el sector de la edificación y la construcción y es coautora de quince artículos técnicos, centrados en la medición del ruido ambiental. Es la actual presidenta del «Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú» y del «Instituto para el Acondicionamiento, Conservación y Desarrollo Territorial».

Mario Huaquín Mora es ingeniero de sonido por la Universidad Austral de Chile. Ha dedicado gran parte de su trayectoria profesional al acondicionamiento acústico de espacios como emisoras de radio, estudios de televisión y teatros. Actualmente, trabaja como gerente de su empre-

sa, Inmobiliaria y Proyectos Acústicos Ltda., dedicada al acondicionamiento acústico de recintos, al control de ruido y al diseño e instalación de sistemas de sonido.

Alice Elizabeth González es doctora en Ingeniería Medioambiental por la Universidad de la República de Montevideo, Uruguay (2001), donde actualmente trabaja como profesora. Sus investigaciones se han centrado en los ámbitos de la acústica ambiental y acústica aplicada, siendo considerada una referente en la investigación y la divulgación acústica en su país.

Moving acoustic sources: theory, applications and localization



Autores: Martin Ochmann y Rafael Piscoya

Edición: Springer Nature Singapore

Año de publicación: 2025

ISBN: 9789819608706 / 9819608708

Sinopsis

Este libro destaca las propiedades matemáticas, físicas y técnicas de las fuentes acústicas en movimiento. Los autores consideran fuentes puntuales y fuentes lineales

infinitas o finitas que se mueven a lo largo de diversas curvas en el espacio tridimensional. Tras estudiar la teoría general de dichas fuentes, se deducen explícitamente el espectro de frecuencias y el desplazamiento Doppler asociados a distintas trayectorias. Se investiga en detalle la radiación sonora en medios-espacios con un suelo localmente reactivo y homogéneo a partir del conocimiento de soluciones de forma cerrada para la respuesta al impulso estacionaria. La localización de fuentes en movimiento es un importante campo de aplicación. Entre otros enfoques, se utiliza un método de fuente equivalente en el dominio del tiempo para desarrollar un método eficaz de localización de fuentes. Gracias a estas técnicas se exploran importantes aplicaciones prácticas, por ejemplo, la detección de fuentes de ruido de trenes y aviones.

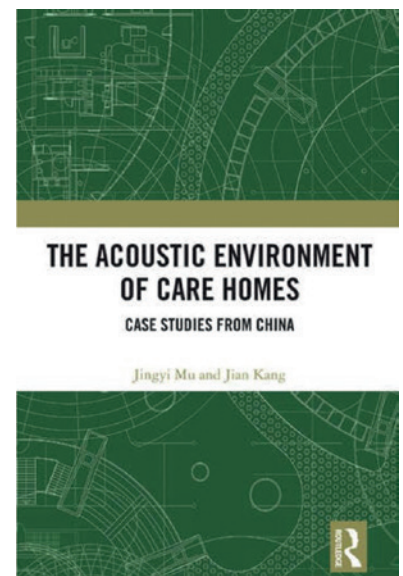
Los resultados de la investigación, publicados en este libro, se han obtenido principalmente dentro del proyecto de tres años «Localización e identificación de fuentes de ruido en movimiento», financiado por la Fundación Alemana de Investigación.

Sobre los autores

Martin Ochmann se tituló en Ingeniería Técnica Medioambiental y Matemáticas, y posteriormente obtuvo un doctorado y una habilitación en Acústica Técnica por la Universidad Técnica de Berlín (1990), en el Instituto de Acústica Técnica. Dirigió el grupo de investigación Acústica Computacional de la Universidad de Beuth y varios proyectos de investigación acústica hasta su jubilación en octubre de 2020. Sus actividades de investigación abarcan la radiación sonora de superficies vibrantes, la interacción fluido-estructura, la dispersión acústica, la acústica numérica, los métodos de elementos finitos y la acústica de conductos.

Rafael Piscoya estudió Física en la Universidad Católica de Perú. En 1994 obtuvo el título de máster y, entre 1999 y 2003, llevó a cabo un doctorado en la Universidad Técnica de Berlín, que concluyó con la tesis *Influencing the radiation pattern of horns through collocation of impedances on their sidewalls*. Desde entonces, ha trabajado en diferentes proyectos de investigación centrados en recopilar conocimientos y experiencia en la solución de numerosos problemas acústicos mediante métodos numéricos.

The acoustic environment of care homes: case studies from China



Autores: Jingyi Mu y Jian Kang

Edición: CRC Press

Año de publicación: 2025

ISBN: 9781040257685 / 1040257682

Sinopsis

Este libro examina el entorno acústico interior de las residencias de ancianos en China. El capítulo 1 ofrece una breve introducción a la situación actual de estos centros, abordando la distribución, el tamaño, la demanda y la futura dirección de su desarrollo. A continuación, el

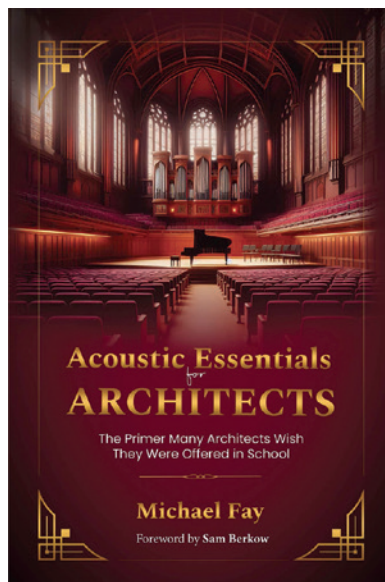
capítulo presenta una introducción y un análisis en profundidad del ambiente interior de estas instalaciones, especialmente del ambiente acústico. El capítulo 2 describe un estudio de caso y una investigación de campo hecha para analizar el estado actual del entorno acústico de estas instalaciones, incluidos el nivel de presión sonora (SPL) y el tiempo de reverberación (RT). El capítulo 3 detalla las percepciones de los ancianos sobre el entorno acústico de las residencias y su correlación con otros entornos físicos de las instalaciones. El capítulo 4 se centra en el impacto del entorno acústico en el bienestar de los ancianos residentes y en el análisis de los efectos de diferentes fuentes sonoras en sus actividades. El capítulo 5 se centra en el análisis de los efectos del entorno acústico sobre los índices fisiológicos de los ancianos expuestos a diferentes fuentes sonoras en residencias de ancianos. Por último, en el capítulo 6, se proponen algunas estrategias para mejorar el entorno acústico interior de las residencias de ancianos basadas en el análisis realizado. Este libro es una exposición exhaustiva de la investigación sobre el entorno acústico de las residencias de ancianos en China y constituye una lectura útil para investigadores en acústica, arquitectura, diseño, ingeniería e instalaciones sanitarias.

Sobre los autores

Jingyi Mu es profesora asociada y supervisora de doctorado en la Escuela de Arquitectura y Diseño del Instituto de Tecnología de Harbin. También es profesora visitante en el Instituto de Diseño e Ingeniería Medioambientales del University College de Londres (UCL). Es especialista en investigación sobre entornos arquitectónicos para centros de atención a personas mayores y en entornos saludables en edificios públicos.

Jian Kang es catedrático de acústica y paisajes sonoros en el Instituto de Diseño e Ingeniería Medioambientales del University College de Londres (UCL). Es miembro de la Real Academia de Ingeniería, de la Academia China de Ingeniería, y presidente del Instituto Internacional de Acústica y Vibración (IIAV).

Acoustic essentials for architects: the primer many architects wish they were offered in school



Autores: Michael Fay

Edición: J. Ross Publishing

Año de publicación: 2025

ISBN: 9781604272116 /
9781604278668

Sinopsis

La acústica es una parte vital de la arquitectura que a menudo se pasa por alto. Muchas veces no se entiende bien o ni siquiera se enseña en la mayoría de las escuelas de arquitectura, por lo que muchos arquitectos no reciben la formación práctica necesaria para sacar el máximo partido a sus diseños. Teniendo en cuenta esta carencia, *Acoustic Essentials for Architects* es el manual que los arquitectos necesitan para llenar este vacío.

Escrito en un estilo coloquial y poco técnico por un veterano del sector con 45 años de experiencia práctica, ayudará a los arquitectos a comprender y visualizar mejor la relación entre las formas físicas, las texturas y las dimensiones de su trabajo y cómo esas decisiones de diseño repercuten en el comportamiento cualitativo del sonido. Este libro, revisado por expertos, detalla la terminología y los conceptos esenciales de la acústica arquitectónica, incluyendo por qué es tan importante comprender la increíble gama dimensional de longitudes de onda entre los sonidos audibles más bajos y los más altos, los aspectos de viabilidad de la acústica aplicada y las ventajas y desventajas de combinar arquitectura, acústica y pragmatismo. También explica la importancia de la simetría interior de los asientos en salas medianas y grandes y la optimización de la inteligibilidad de la palabra. Con la información proporcionada, los arquitectos pueden mejorar sus diseños pasando de los resultados acústicos involuntarios a los que logran un resultado planificado.

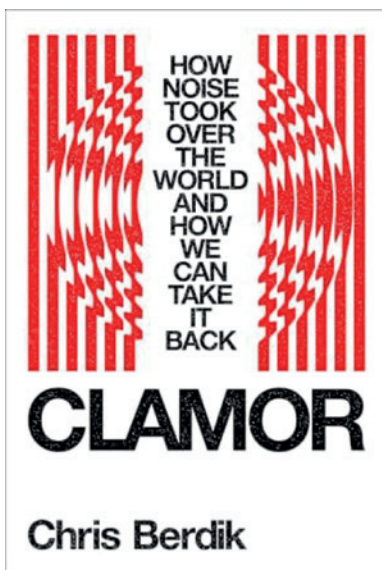
Sobre los autores

Michael Fay es propietario y director de GraceNote Design Studio, una consultoría de diseño acústico y audio profesional de San Diego, California. También es miembro de SynAudCon, la Audio Engineering Society (AES), la Acoustical Society of America (ASA), AVIXA, la Junta Asesora del Programa de Audio del Miramar College y antiguo miembro de la Junta Asesora del Programa de Audio del Art Institute.

En su juventud, Mike se formó como músico clásico. Esa formación le llevó a desarrollar una carrera profesional en audio y acústica profesional que abarca más de 45 años de diseño de sistemas de audio y acústica, mezcla de audio en estudio de grabación y en directo, y re-

dacción técnica. Actualmente semi-retirado, ha pasado los últimos 25 años de su vida laboral a tiempo completo como ingeniero superior de diseño de sistemas, director ejecutivo de proyectos, director de integración técnica, ingeniero técnico de ventas y acústico.

Clamor: how noise took over the world and how we can take it back



Autores: Chris Berdik

Edición: WW Norton & Co.

Año de publicación: 2025

ISBN: 1324007001 /
9781324007005

Sinopsis

El martilleo matutino de las obras de la manzana de abajo. El rugido sordo de los aviones que sobrevuelan la ciudad. Las conversaciones telefónicas de los compañeros de oficina. Estamos rodeados de ruido, pero es un problema al que muchos restamos importancia una vez que pasa la molestia inmediata. Sin embargo, como explica el periodista científico Chris Berdik en *Clamor*, el ruido puede tener graves efectos sobre la salud: perturba el sueño, aumenta el estrés y destruye la concentración. Según afirma, es uno de

los contaminantes más omnipresentes, aunque poco conocidos, de nuestra vida cotidiana, uno que descuidamos, tanto individual como sistémicamente, por nuestra cuenta y riesgo.

Basándose en investigaciones exhaustivas e informes originales, Berdik muestra cómo una comprensión demasiado limitada del ruido, centrada en los sonidos fuertes y la medida de decibelios, ha socavado un siglo de esfuerzos de control del ruido y ha ocultado todo el peaje que el ruido nos cobra a nosotros y al medio ambiente. La exposición crónica al ruido por debajo de los umbrales de decibelios establecidos legalmente -a veces incluso por debajo de nuestra conciencia- está relacionada con un aumento del riesgo de cardiopatías y otras enfermedades graves que contribuyen a la muerte prematura. Las aulas ruidosas entorpecen el desarrollo de las mentes y retrasan los hitos cognitivos. En los bosques y en las profundidades del océano, una cacofonía de sonidos producidos por el hombre perturba el paisaje sonoro natural, amenazando la capacidad de los animales para comunicarse, cazar y huir de los depredadores.

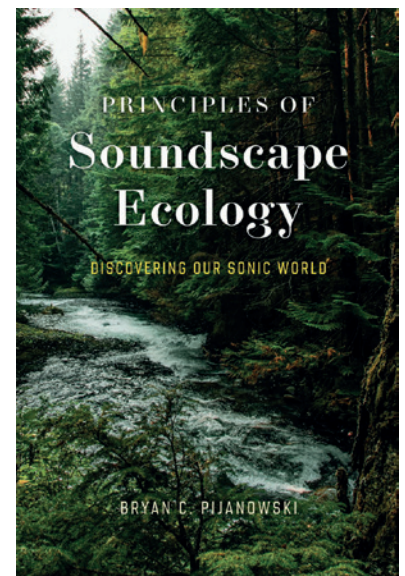
Sin embargo, en la batalla contra el ruido, el sonido no tiene por qué ser nuestro enemigo: Berdik nos presenta a investigadores, estrellas del rock, arquitectos y muchos otros que están encontrando formas sorprendentes de hacer que nuestro mundo suene no sólo menos mal, sino mejor. Elevándose por encima del ruido cada vez mayor, *Clamor* es un llamamiento urgente -y, en última instancia, inspirador- a tomarnos por fin en serio el ruido y aprovechar el gran potencial del sonido.

Sobre los autores

Chris Berdik es un periodista independiente y autor que escribe sobre ciencia, salud, tecnología y edu-

cación. Su trabajo ha aparecido en las publicaciones *Popular Science*, *Wired*, *Político* y otros medios. Ha recibido becas del Centro Pulitzer, la Red de Periodismo de Soluciones y la Sociedad de Periodistas Ambientales, una beca de la Asociación Nacional de Escritores Científicos y una beca del Instituto de Periodismo y Recursos Naturales. Su primer libro, *Mind Over Mind*, fue publicado en 2012.

Principles of soundscape ecology: discovering our sonic world



Autores: Bryan C. Pijanowski

Edición: The University of Chicago Press

Año de publicación: 2024

ISBN: 9780226824291

Sinopsis

¿Qué tienen en común los sonidos de un coro de pájaros y ranas tropicales, un trueno y la cacofonía del tráfico urbano? Todos son componentes de un paisaje sonoro, entornos acústicos que los científicos han identificado como una combinación de la biofonía, la geofonía y la antropofonía, respectivamente, de todas las fuentes sonoras de la Tierra. Como el sonido es omnipresen-

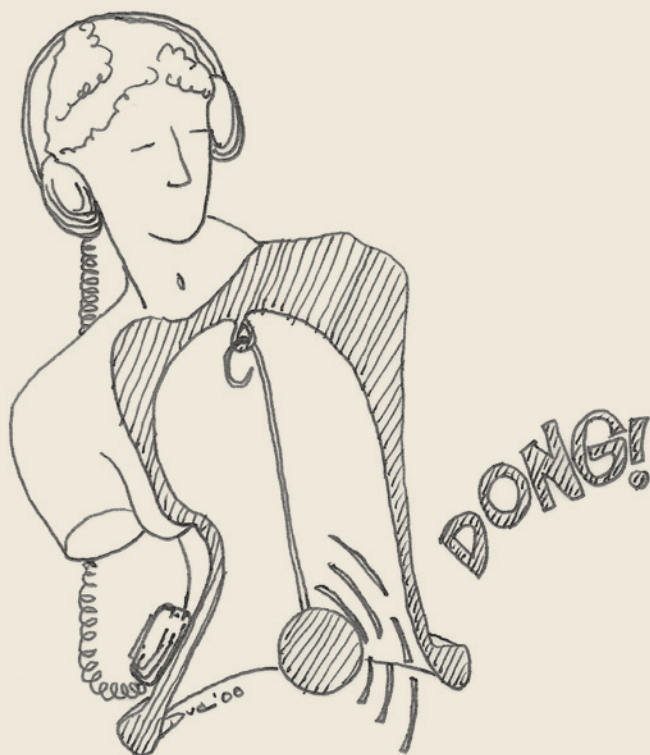
te en la naturaleza, la mayoría de los animales lo perciben activamente y es una forma importante de entender cómo está cambiando su entorno. Para los seres humanos, el sonido ambiental es un factor importante en la creación de un sentido psicológico del lugar, y muchas formas de expresión sonora de las personas integran el conocimiento y la cultura. En este libro, Bryan C. Pijanowski, pionero de la ecología del paisaje sonoro, presenta el texto definitivo tanto para estudiantes como para profesionales que deseen adentrarse en este apasionante nuevo campo. *Principles of soundscape ecology* esboza con claridad los fundamentos críticos, los conceptos clave, los métodos y las aplicaciones de la ecología del paisaje sonoro. Los fundamentos incluyen descripciones concisas y valiosas de la física del sonido, así

como una elucidación exhaustiva de todos los sonidos que se producen en la Tierra. Pijanowski presenta también una rica panorámica de las teorías ecológicas, socioculturales y técnicas que sustentan esta nueva ciencia, ilustrando la amplitud de este campo asombrosamente transdisciplinar. En cuanto a los métodos, describe los principios de la minería de datos, el procesamiento de señales y los métodos mixtos utilizados para estudiar los paisajes sonoros en contextos ecológicos, sociales o socioecológicos. La sección final se centra en aplicaciones terrestres, acuáticas, urbanas y musicales, demostrando la utilidad de la ecología del paisaje sonoro en casi todos los espacios.

Sobre los autores

Bryan C. Pijanowski es profesor de silvicultura y recursos naturales

en la Universidad de Purdue, donde también es director del Centro de Paisajes Sonoros Globales. Es el productor ejecutivo de la película interactiva *IMAX Global Soundscapes: Mission to Record the Earth* y es autor de más de 170 artículos publicados en revistas como *BioScience*, *Landscape Ecology*, *Ecological Indicators*, *Ecological Informatics*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Journal of Applied Ecology* y *Science of the Total Environment*. Su “misión de grabar la Tierra” consiste en estudiar, mediante paisajes sonoros, los treinta y dos principales biomas del mundo. Al cierre de esta edición, le quedaban cuatro más. El trabajo de Pijanowski ha aparecido en CNN, NOVA de PBS, Science Friday de NPR, New York Times Magazine, Science News y Weather Channel.



Francesc Daumal i Domènech
Firmado: DUC

Dibujo
“Venus campanera en autoescucha”
Pilot 0,5 negro
2000

25 years

Master in Architectural and
Environmental Acoustics

laSalle

RAMON LLULL UNIVERSITY

Máster en Acústica Arquitectónica y Medioambiental

Redefine la acústica del futuro

25 AÑOS FORMANDO A MÁS DE 600 PROFESIONALES DE LA ACÚSTICA

STAGE PRESENCIAL EN EL INTERACTIVE ARTS & SCIENCE LABORATORY DE LA SALLE-URL

PON EN PRÁCTICA TUS CONOCIMIENTOS EN UNO DE LOS LABORATORIOS ACÚSTICOS
TECNOLÓGICOS MÁS AVANZADOS



**Inscripciones
abiertas**

¡Reserva
tu plaza!

ADMISIONES MÁSTERS Y POSTGRADOS

Sant Joan de La Salle, 42.

08022 Barcelona

+34 932 902 419

www.salleurl.edu

BE REAL,
BE YOU.



Iberacústica presenta Solidoor 54dB-EI₂60: la puerta acústica resistente al fuego, sin precedentes

Desde Iberacústica hemos lanzado **Solidoor 54dB-EI₂60**, una puerta innovadora que establece nuevos estándares en aislamiento acústico y protección contra incendios. Única en el mercado, combina un **aislamiento acústico de 54 dB** con una **resistencia al fuego EI₂ 60**, ambos certificados. Esta puerta cuenta con la clasificación más alta en su categoría, algo sin precedentes. Con esta combinación única, se convierte en la solución más avanzada y segura para aquellos espacios que requieren un control estricto



to tanto del ruido como de la seguridad contra incendios.

En cuanto a su rendimiento acústico, **Solidoor** ha sido evaluada según la norma **UNE-EN ISO 10140**, obteniendo un **índice de aislamiento acústico de 54 dB**. Esta capacidad de atenuación permite minimizar eficazmente la transmisión de sonido entre espacios adyacentes, lo que asegura ambientes más cómodos, privados y seguros. La optimización en la reducción de ruido de Solidoor se adapta a las necesidades de entornos críticos donde el control acústico es esencial.

En términos de protección contra incendios, Solidoor ha superado ensayos de resistencia al fuego según la norma **EN 1634-1**, logrando una clasificación **EI₂ 60** conforme a la **EN 13501**. Esta certificación garantiza que la puerta mantiene su integridad durante al menos 60 minutos en condiciones de fuego, ofreciendo un nivel de protección sin precedentes en puertas acústicas de su categoría.

La combinación de altas prestaciones acústicas y resistencia al fuego responde a las exigencias técnicas de los entornos más complejos, y refleja el compromiso de Iberacústica en el desarrollo de soluciones orientadas a las necesidades reales del sector.

- **Rendimiento comprobado en laboratorios certificados:** para garantizar la máxima fiabilidad, Solidoor ha sido sometida a rigurosos ensayos en laboratorios acreditados como *Certiberia*. Estas evaluaciones confirman su rendimiento tanto en condiciones controladas como en escenarios reales de alta exigencia. Cada unidad cumple estrictamente con los estándares técnicos requeridos, ofreciendo así confianza a arquitectos, ingenieros y usuarios finales.



- **Diseño y fabricación propia:** Solidoor es diseñada y fabricada íntegramente por *Iberacústica* en sus propias instalaciones, lo que permite un control total de calidad en cada etapa del proceso. Está compuesta por materiales de alta densidad distribuidos en todo su conjunto, lo que optimiza su aislamiento acústico y resistencia al fuego incluso bajo uso intensivo. Se ofrece en formatos estándar o personalizados, con diversas opciones de acabados y accesorios técnicos para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto.
- **Aplicaciones recomendadas:** Ideal para entornos que requieren un control riguroso del ruido y protección contra incendios, como:
 - Plantas industriales
 - Hospitales
 - Laboratorios
 - Auditorios
 - Salas técnicas
 - Otros espacios con altas exigencias acústicas y de seguridad

Para más información sobre Solidoor y sus opciones de personalización, contáctanos en <https://www.iberacustica.com/contacto/>



AQuire V4 + conTEST – Pruebas vibroacústicas de final de línea completas y eficientes

Probar una unidad de producto al final de la línea de montaje implica entregar productos que cumplan con los estándares de calidad que exige la industria. Las consecuencias de una mala calidad de fabricación y de defectos en los productos pueden ser graves, provocando retiradas de productos, retrasos en el lanzamiento, insatisfacción del cliente y, en última instancia, aumentos de costes. Esto subraya la importancia crucial de una solución de control de calidad fiable.

Los productos que no cumplen las especificaciones finales deben ser identificados de forma fiable y separarse de las unidades sin defectos. Para ello, la combinación de nuestro hardware **AQuire V4** y el software **conTEST**, basado en **IA**, permite tomar decisiones de aprobación o rechazo basándose en mediciones de vibración y sonido realizadas con una amplia gama de sensores, incluyendo técnicas de adquisición de datos sin contacto como vibrómetros láser, sensores de micrófono o sensores de aceleración para la monitorización del desgaste y el estado.

Mediante interfaces estandarizadas, **conTEST** se integra de forma rápida y sencilla en cualquier banco de pruebas o línea de producción. No solo recibirá procesamiento automatizado de datos en tiempo real para un funcionamiento continuo 24/7, sino también una amplia gama

de análisis y herramientas para sus pruebas de calidad de fin de línea.

El frontend de 4 canales **AQuire V4** opera de forma continua e incluye aislamiento eléctrico de sus cuatro entradas analógicas con respecto a la fuente de pulsos y el sistema de bus CAN FD. Ofrece una amplia gama de opciones de alimentación y puede conectarse al ordenador donde está instalado **conTEST** mediante LAN o USB. Si se requiere, puede ir montado de forma permanente gracias al riel DIN (DIN EN 60715 TH35) suministrado.

Puede encontrar las hojas de datos en la página de Head acoustics:

AQuire V4 (Code 3420) – *4-Channel Frontend with Network and USB Port for End-of-Line Applications:* [\[Data Sheet | AQuire V4\]](#)
conTEST (Code 42000) – *Software for quality assurance of production lines (end-of-line) based on vibration and sound measurements:* [\[Data Sheet | conTEST\]](#)



Reference+ – Revolución de la IA en el análisis modal: determinación sencilla del punto de referencia

Para realizar análisis modales con éxito, los usuarios solo necesitan un martillo, un sensor y **Reference+**

Esta nueva y potente herramienta de análisis preliminar proporciona resultados de análisis modales precisos y fiables, incluso en estructuras

complejas, simplificando considerablemente el proceso especialmente para usuarios no expertos.

Integrado como nuevo módulo del software **ArtemiS SUITE** (APR 440), utiliza tecnologías de **IA** basadas en redes neuronales para encontrar automáticamente los puntos de referencia de un objeto de prueba, ofreciendo, de esta manera, resultados exhaustivos.

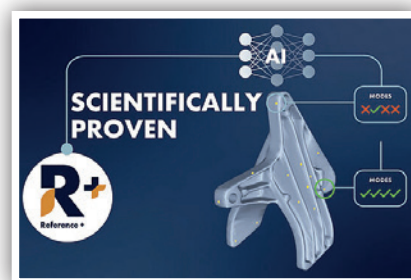
Los estudios demuestran un 100 % de acierto con IA

Si se seleccionan incorrectamente los puntos de referencia, esto repercute en todos los pasos posteriores del proceso: desde resultados deficientes en el ajuste de curvas hasta la imposibilidad de capturar algunos modos. Estos errores afectan a todos los pasos posteriores del proceso de optimización estructural, pero es difícil detectarlos analíticamente posteriormente. Además, suele ser imposible corregirlos en etapas posteriores del proceso, lo que significa que el largo proceso de análisis modal debe reiniciarse.

¿Qué diferencia a **Reference+** de otras soluciones? La herramienta de **HEAD acoustics** no requiere ni pasos de análisis manual que dependan de la entrada del usuario, ni resultados de simulación.

Puede encontrar las hojas de datos en la página de HEAD acoustics:

Reference+ (Code 50440) – *Module for determining optimal reference points for experimental modal analyses:* [\[Data Sheet | Reference+\]](#)



CESVA

Nueva versión de firmware 3.20 para el limitador acústico LF010

La versión de firmware v3.20 es la última actualización del limitador acústico CESVA LF010. Incorpora nuevas prestaciones, en su mayoría basadas en sugerencias aportadas por los instaladores a lo largo del último año.

La principal novedad es la incorporación de nuevas metodologías de calibración del limitador:

- **Calibración rápida:** permite calibrar el limitador sin necesidad de la verificación de estabilidad que realiza la calibración normal (recomendada). Es especialmente útil en entornos con ruidos esporádicos, como golpes o martillazos.
- **Calibración por registros:** permite recalibrar el limitador incluso una vez iniciado un concierto.
- **Restauración de calibración:** opción para volver a la calibración anterior en caso necesario.

También se han añadido protocolos de Internet para el envío de datos a plataformas de ciudad como Sentilo y FIWARE (*Ultralight*), así como un protocolo JSON genérico pensado para desarrolladores de plataformas de control de niveles sonoros.

Con el nuevo sensor de línea, será muy fácil conocer en todo momento la cantidad de señal musical que está pasando por el limitador, especialmente durante la instalación. Asimismo, la nueva opción de activar el límite de recepción mediante un relé conectado a la entra-

da de alarma permite aplicar automáticamente los límites de emisión con la puerta cerrada y los de recepción con la puerta abierta.

Además, la nueva versión mejora funciones existentes, como la replicación de pantalla, ahora disponible para el propietario del local sin límite de tiempo y accesible desde redes externas. También se ha optimizado la visualización Día/Noche en la salida HDMI, que ahora conserva el historial de niveles sonoros al cambiar de modo. Se han corregido errores en la paginación de informes y se ha mejorado la usabilidad del *webserver* en dispositivos móviles, cada vez más utilizados por los instaladores.



CESVA presenta la nueva herramienta de cálculo SE005 para la evaluación del ruido LAeq,on según la OMA BCN 2022

Esta nueva herramienta gratuita de cálculo, basada en Excel, permite evaluar en pocos segundos el índice de ruido LAeq,on según la Ordenanza de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Barcelona (2022), calculando automáticamente las correcciones de nivel K.

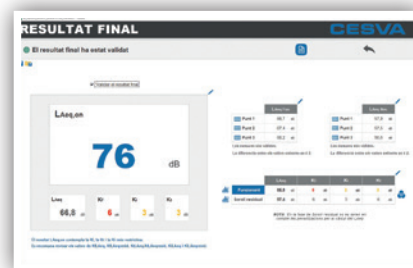
La herramienta de cálculo SE005 importa directamente los datos descargados de los sonómetros SC250 y SC420, tanto para la fase con los focos acústicos en funcionamiento como para la fase de ruido residual. De forma instantánea, calcula el índice de ruido LAeq,on con las correcciones por componentes de

bajas frecuencias (Kf), tonales (Kt) e impulsivas (Ki), conforme a lo establecido en la OMA 2022 del Ayuntamiento de Barcelona.

Además, la herramienta permite comprobar el cálculo de las correcciones K aplicadas, adaptándolas a cada caso particular. También ofrece la posibilidad de verificar la estabilidad del nivel y la corrección por ruido de fondo, lo que permite validar con precisión los resultados obtenidos. Finalmente, SE005 genera un informe completo con todos los datos detallados.

Esta herramienta es ideal para ingenierías que realicen evaluaciones de ruido según la OMA y también para instaladores de limitadores que necesitan realizar el informe de inmisión sonora de una actividad con música amplificada.

La nueva herramienta de cálculo ya se puede descargar a través del siguiente enlace: <https://www.cesva.com/es/soporte/producto/> y accediendo directamente al sonómetro correspondiente (SC420 y SC250 Clase 1).



IAG presenta su fuente acústica IAG DD5 BLUE

Desde IAG tenemos el gusto de presentar a los lectores de la Revista Española de Acústica la nueva **FUENTE SONORA OMNIDIREC-**

CIONAL, ULTRALIGERA Y POTENTE, **IAG DD5 BLUE**, de tan solo 5 kilos y formato esférico, ideal para ensayos de acústica arquitectónica.



Tras la excelente acogida y alto grado de satisfacción por parte de los usuarios de nuestra fuente sonora ultraligera IAG DD5, y en línea con nuestro compromiso de mejora continua, en IAG hemos desarrollado el nuevo dodecaedro IAG DD5 BLUE. Con tan solo 25 cm de distancia entre caras opuestas, 7 cm menos que su antecesora, esta fuente puede transportarse fácilmente en una mochila, en la cabina de un avión o incluso en una motocicleta. Se trata de una de las fuentes dodecaédricas más compactas, ligeras y portátiles del mercado, sin renunciar a potencia, fiabilidad ni durabilidad.

La fuente sonora DD5 BLUE ha sido diseñada por expertos en acústica con una amplia trayectoria en ensayos aplicados a la edificación. Su principal ventaja reside en su formato compacto, que permite a una sola persona realizar mediciones de aislamiento a ruido aéreo con total autonomía. Gracias a su

ligereza, puede transportarse fácilmente incluso a plantas altas de edificios en construcción donde el ascensor aún no está operativo, reduciendo riesgos laborales asociados a la carga y descarga de equipos pesados, así como posibles lesiones o dolores de espalda.

Si busca una fuente sonora **excepcionalmente portátil, ligera y potente** para ensayos de aislamiento acústico y mediciones de tiempo de reverberación, la IAG DD5 BLUE es su opción ideal.



Características destacadas de la fuente sonora IAG DD5 BLUE:

- **Tamaño compacto:** dodecaedro con solo **25 cm** de distancia entre caras opuestas.
- **Ultraligera:** peso total de **5 kg**, aproximadamente **un tercio del peso** de otras fuentes similares.
- **Ultrapotente:** nivel de potencia sonora de **121 dBC (Lw)**, comparable al de equipos de mayor tamaño.
- **Ultracompacta y económica:** precio estimado en torno a la **mitad** del de otras fuentes con prestaciones equivalentes.
- **Rango de frecuencia útil:** de **50 Hz a 12 kHz**, con **máxima potencia** entre **100 Hz y 10 kHz**.

- **Radiación omnidireccional y uniforme**, conforme a los principales estándares:

- Apartado 4.2.1 de **ISO 3382-1** e **ISO 3382-2**
- Anexo A1 de **ISO 140-4**
- Anexo A2 de **ISO 16283-1:2014**
- Anexo D2 de **ISO 10140-5**

Consulte las características técnicas en www.garcia-calderon.com/tienda-online.

Puede solicitar una demo virtual, o presencial en nuestras oficinas. **Ofrecemos descuentos especiales** sobre los precios web, consúltenos sin compromiso.

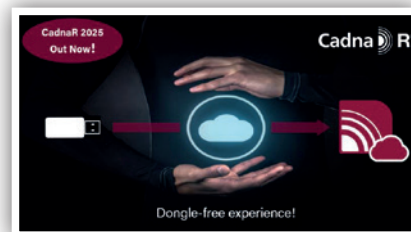
Únase a quienes ya disfrutan de nuestra fuente sonora “antilumbagos”. ¡Su espalda se lo agradecerá!



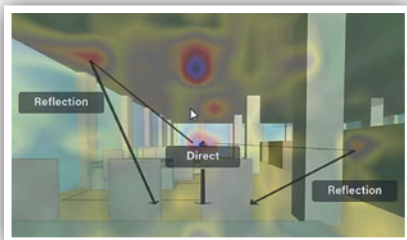
Nueva versión de CadnaR 2025

CadnaR es un potente software para el cálculo y la evaluación del ruido en espacios interiores y entornos laborales.

La última versión de CadnaR 2025 incluye importantes novedades:



- Ya es posible **trabajar** con licencias **Cloud**, sin necesidad de utilizar llaves **hardware** USB y pudiendo ejecutar cálculos en **entornos virtuales**, como Amazon **AWS** o Microsoft **Azure**.



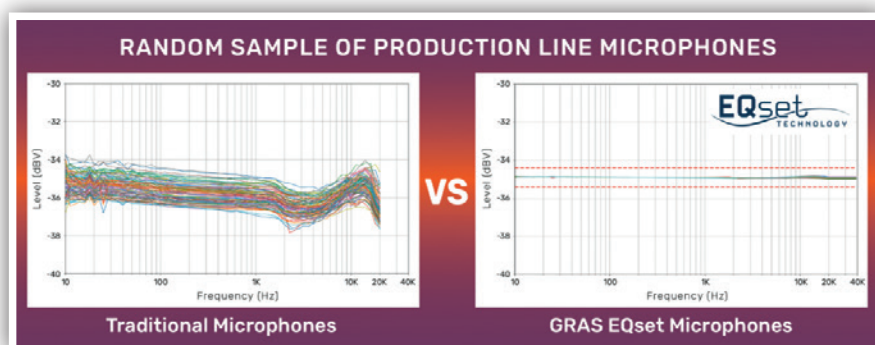
- Esta versión incluye la posibilidad de **analizar resultados** mediante la funcionalidad **Virtual Acoustic Camera**. Esta herramienta permite mostrar la propagación del ruido dentro de un recinto desde el punto de vista de cualquier receptor, como si estos fuesen una cámara acústica. De esta manera se pueden localizar las diferentes fuentes sonoras e identificar las reflexiones generadas por el efecto de éstas, pudiendo aplicar medidas correctivas de una manera mucho más rápida y efectiva.

Nuevos micrófonos EQset de GRAS Sound & Vibration

Los nuevos micrófonos GRAS 40PO-L y 40PO-H con tecnología EQset™, diseñados para ensayos acústicos en línea de producción, permiten mediciones fiables y consistentes en diferentes entornos, optimizando los procesos de ensayo y reduciendo los tiempos de inactividad.

Gracias a su procesamiento digital de señal, los micrófonos EQset™ ofrecen una sensibilidad fija y una respuesta en frecuencia plana hasta los 40 kHz, siendo ideales para aplicaciones de alta resolución y ultrasonidos. Su diseño permite una sustitución directa sin recalibraciones ni ajustes en la cadena de señal, lo que garantiza una operación continua y rentable.

Los modelos 40PO-L (30 dBA a 128 dBpk) y 40PO-H (36 dBA a 138 dBpk) son los primeros micrófonos para línea de producción compatibles con mediciones de ultrasoni-

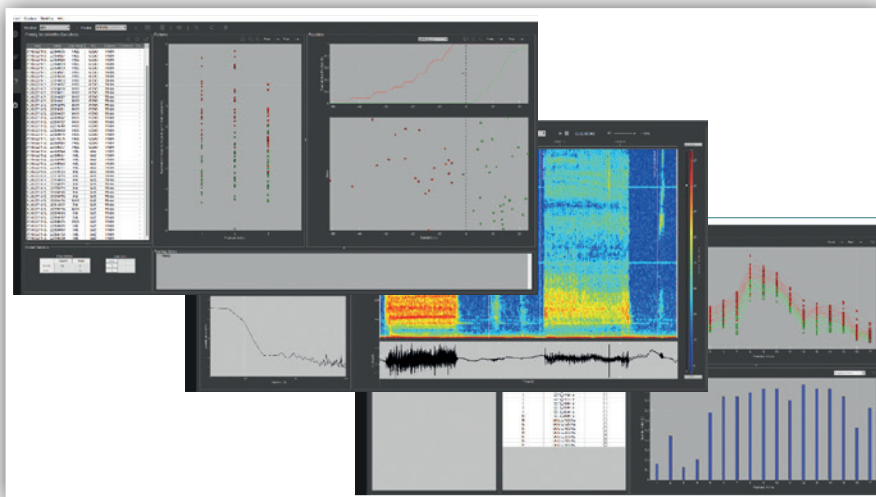


dos y con TEDS (*Transducer Electronic Data Sheet*).

Última actualización de software AQCURA Manager de Microflown Technologies

El sistema AQCURA garantiza el control de calidad a final de línea de producción, combinando la revolucionaria tecnología de medición de velocidad de partículas con algoritmos de *Machine Learning*.

Recientemente, Microflown Technologies ha lanzado la última versión 2025 del software de control AQCURA Manager. Esta actualización facilita enormemente las tareas de creación de un proyecto de control de calidad a final de línea, habilitando la flexible configuración de un algoritmo de *Machine Learning*, posibilitando ajustar clasificadores de distintas líneas, así como evaluar desviación de la producción de forma objetiva y subjetiva.





Stravilink QRC bajo vigueta de madera. Reduce decibelios, no así la altura libre del suelo al techo

El perfil compacto del Stravilink QRC lo convierte en la solución ideal para instalaciones bajo viguetas de madera. Su excelente rendimiento acústico elimina la necesidad de sacrificar espacio para lograr altas prestaciones.

Probado en el laboratorio acreditado NRC, el Stravilink QRC ofrece un alto rendimiento incluso sin necesidad de suelos flotantes pesados sobre el forjado estructural. Permite así soluciones acústicas eficaces y sin complicaciones en forjados con viguetas de madera. Con un R_w de 59 dB y un $L_{n,w}$ de 58 dB, cumple con la mayoría de los requisitos acústicos para suelos en viviendas y oficinas.

Con una altura de montaje total de solo 44 mm, incluido el perfil omega, también disponible como parte de la oferta Stravilink, los instaladores solo deben fijar las placas de yeso al perfil para cerrar el techo o la pared. Una solución rápida, rentable y que optimiza el espacio tanto

en techos como en tabiques: **Stravilink QRC**, el 'Quiet Resilient Clip'.

Puede obtener más información consultando la ficha técnica de Stravilink QRC, que incluye detalles generales, instrucciones de instalación y resultados de ensayos para distintos sistemas de paredes y techos. Disponible en: <https://cdm-stravitec.com/es/solutions/stravilink-qrc>



Ecophon Fade ONE™, enlucido acústico continuo

Ecophon Fade ONE consigue revestimientos integrales de techos, creando un aspecto continuo sin juntas, a la vez que ofrece una excelente absorción acústica y permite acabados ultralisos y reparaciones.

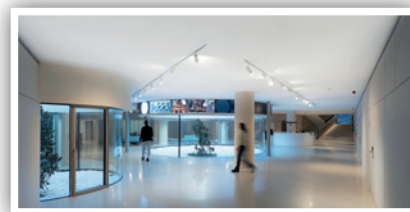
Saint-Gobain **Ecophon**, líder mundial en sistemas acústicos, ha lanzado una nueva solución de **acondicionamiento acústico** en forma de **enlucido acústico continuo** que permite cubrir **techos** con

un revestimiento integral. El sistema se caracteriza por:

- Ser **monocomponente** (uso de un único *plaster* durante la instalación, desde el tratamiento de juntas a la proyección), reduciendo el material sobrante y reduciendo el stock.
- Tener **clase de absorción A** en varios tipos de montaje (α_w hasta 0.95).
- Permitir **reparaciones** de forma muy sencilla (ya que puede ser lijado).
- Ser de **fácil instalación** mediante proyectado de un enlucido en base a perlita sobre placas de lana de vidrio.
- Tener un **acabado ultraliso** mediante lijado.
- Facilitar posibilidades infinitas de **diseño** (curvas, colores, efectos...).
- Ser **sostenible**: fabricado con un 70% de material reciclado. GWP (A1-C4): 3.4 kg•CO₂eq/m² (plaster+lana 15mm).
- Disponer de un **comportamiento** superior al fuego (A2-s1,d0).

Desde su lanzamiento son ya numerosos los proyectos que han escogido la solución Fade ONE para construcción o renovación, y donde el sistema ha respondido satisfactoriamente a las exigencias **acústicas**, de **sostenibilidad** y **adaptabilidad** que requerían estos proyectos.

La nueva solución **Ecophon Fade ONE** responde al compromiso de la marca de **construir mejor para las personas y el planeta**.



Recta final hacia Forum Acusticum Euronoise 2025: casi 1000 trabajos y un intenso programa

Del 23 al 26 de junio de 2025, la ciudad de Málaga acogerá *Forum Acusticum Euronoise 2025*, el evento internacional al que la Sociedad Española de Acústica ha dedicado la preparación durante más de un año. En él se unirán dos de los congresos más importantes en el ámbito acústico europeo, Forum Acusticum y Euronoise. Organizado por la Sociedad Española de Acústica en nombre de la European Acoustics Association (EAA), se espera la participación de alrededor de 1000 congresistas, teniendo en cuenta que se han aceptado, tras las revisiones, 994 *comunicaciones científicas*. Estas comunicaciones, que se presentarán en la conferencia mediante ponencia oral o mediante poster, se estructuran en 24 *Temas Principales (Main Themes)* y más de 100 *Sesiones Estructuradas*, que abarcan, de manera focalizada, áreas de estudio que van de la acústica ambiental a la inteligencia artificial, pasando por la acústica musical, del habla, fisiológica, arquitectónica o submarina, entre muchas otras. Estas comunicaciones se estructurarán en cuatro días de sesiones técnicas, que serán complementadas con diversas actividades adicionales y que contarán tanto con un cariz técnico como social.

En este sentido, además del impresionante programa técnico, el congreso ofrecerá un conjunto diverso de *actividades paralelas y satélite* que enriquecerán la experiencia de los asistentes y fomentarán la

interacción profesional, académica y cultural.

Entre las *actividades satélite* se encuentran:

- **Summer School de la EAA**, dirigida a jóvenes investigadores, con una formación avanzada en temas clave de acústica y oportunidades de *networking* internacional.
- **Design and modelling in Building Acoustics**, organizado por el comité técnico de acústica de edificios de la EAA y centrado en los desafíos actuales de diseño, simulación y reglamentación en edificación.
- **NM-Days (Noise-Modelling Days)**, organizado por el equipo de Noise-Planet y la comunidad de desarrolladores de NoiseModelling. Esta primera edición presencial se centrará en este software de código abierto para la modelización acústica de entornos exteriores.
- **Forum Laboris**, una iniciativa para facilitar el contacto entre empresas y jóvenes profesionales o estudiantes, a través de actividades de presentación, entrevistas y dinámicas de empleo.
- **Paseos Sonoros por Málaga**, una propuesta original en la que los asistentes podrán participar en paseos sonoros guiados por la ciudad, explorando paisajes acústicos urbanos con una perspectiva crítica y sensorial.

La conferencia contará también con un **programa social** especialmente cuidado, que incluirá:

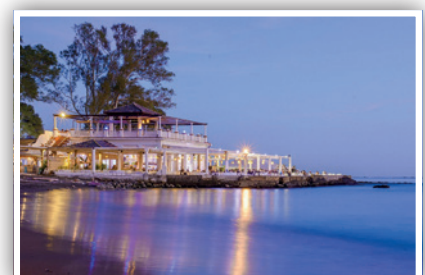
- La **ceremonia de bienvenida en el Palacio de Ferias y Congresos de Málaga**, sede de la conferencia, durante la noche de San Juan y en la que se contará con la participación de la Joven Orquesta Provincial de Málaga.



- Una espectacular **Jam Session**, que se llevará a cabo en una sala de conciertos cercana a la sede de la conferencia.



- Una **Cena de Gala en el Balneario de los Baños del Carmen**.



FORUM ACUSTICUM
EURONOISE 2025

Asimismo, existe un programa de acompañantes, con una gran variedad de actividades gastronómicas y sociales, para que los acompañantes de los ponentes puedan disfrutar de una experiencia completa durante su estancia en Málaga.

Por último, *Forum Acusticum Euronoise 2025* incluirá una **Exhibición Técnica**, en la que ya han confirmado su participación **30 relevantes empresas del sector**, que presentarán productos, herramientas y soluciones relacionadas con la medición, predicción y control del sonido y las vibraciones.



Para más información actualizada, inscripciones y detalles del programa, puede visitarse la web oficial del congreso: www.fa-euronoise2025.org.

El comité organizador de Forum Acusticum Euronoise 2025 trabaja para impulsar el impacto académico de las contribuciones

A poco más de un mes de la celebración de *Forum Acusticum Euronoise 2025* en Málaga, el comité organizador continúa trabajando

con especial dedicación para asegurar que la participación de los ponentes en el congreso se traduzca en el mayor rédito académico posible.

Con ese objetivo, se está llevando a cabo un riguroso proceso de revisión editorial y estandarización de formato de todas las contribuciones aceptadas. Este esfuerzo tiene como finalidad garantizar una edición de *Proceedings* clara, coherente y técnicamente sólida, que facilite tanto su posterior consulta como su potencial indexación en bases de datos académicas de referencia como Scopus o CrossRef.

Paralelamente, y en estrecha colaboración con diversos *Main Theme Organizers*, se están estableciendo acuerdos con revistas científicas de alto impacto en el ámbito de la acústica para la creación de *Special Issues* vinculados a la conferencia. Estas ediciones especiales permitirán dar continuidad y mayor visibilidad a las investigaciones presentadas durante el evento, ofreciendo a los autores la posibilidad de desarrollar versiones ampliadas y revisadas de sus trabajos en un entorno de publicación internacional.

Estas acciones reflejan el compromiso del comité organizador por maximizar la utilidad científica del congreso para los autores, asegurando que su participación no solo tenga valor en el presente, sino también proyección futura en el ámbito académico.

Santiago de Chile acoge el XIII Congreso Iberoamericano de Acústica de la FIA

Entre los días 2 y 4 de diciembre de 2024 se celebró en la ciudad de Santiago de Chile el XIII Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA 2024. Por tercera vez en su historia, la Sociedad Chilena de Acústica tuvo el honor de organizar este encuentro, que reúne a la comunidad acústica de habla hispana y portuguesa.

Este congreso, de carácter bianual, ha tenido ediciones anteriores en Brasil (1998, 2022), España (2000, 2018), México (2002, 2010), Chile (2006, 2014), Argentina (2008, 2016) y Portugal (2004, 2012).

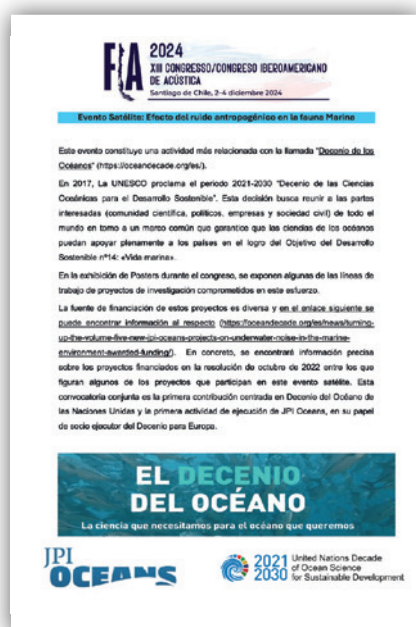
Los trabajos fueron presentados en sesiones técnicas paralelas, organizadas en torno a áreas temáticas generales que abarcaron un amplio espectro del conocimiento acústico. Entre ellas se incluyeron: acústica arquitectónica y de la edificación, acústica biomédica y bioacústica, acústica computacional, paisajes sonoros y ecoacústica, educación en acústica, acústica musical, audio profesional y electroacústica, ruido ambiental, industrial y ocupacional, acústica física y ultrasonidos, acústica psicológica y fisiológica, acústica estructural y vibraciones, procesamiento de señales en acústica y acústica subacuática.

La apertura del congreso corrió a cargo de Igor Valdebenito, presidente de las Sociedad Chilena de Acústica (SOCHA) y de Nilda Ve-



chiatti, presidenta de la Federación Iberoamericana de Acústica.

En el marco del congreso, también se presentaron trabajos en el **Evento Satélite: Efecto del Ruido Antropogénico en la Fauna Marina**. Esta convocatoria conjunta constituyó la primera contribución específica a la *Década de los Océanos* de las Naciones Unidas, marcando el inicio de las actividades de implementación lideradas por **JPI Oceans** como socio ejecutor del Decenio en Europa.



Cabe señalar que, en el marco del congreso, se llevó a cabo el denominado Programa de Divulgación de Libros de Acústica de Autores Iberoamericanos, una iniciativa orientada a visibilizar y promover la producción bibliográfica en acústica

dentro del ámbito hispano y luso-parlante.



Por último, y no por ello menos importante, cabe recordar que, tal y como es preceptivo, durante el congreso se celebró la **Asamblea General Ordinaria de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA)**, reuniendo a representantes de las distintas sociedades miembro y consolidando la coordinación de futuras acciones conjuntas.

Sound of Numbers despliega tecnología acústica de vanguardia en el laboratorio de ensayos de Aluminios Cortizo

Sound of Numbers realizó el despliegue de sus tecnologías en el prestigioso Campus Tecnológico de Cortizo, en Galicia.

Este proyecto incluyó la instalación de sistemas avanzados del fabricante Norsonic, que proporcionan una solución completa para la medición y el cálculo de aislamiento acústico en laboratorio, según las normativas ISO 10140 e ISO 10848.

Por una parte, se instalaron los sistemas de movilidad de micrófonos y fuentes sonoras:



Por otra parte, se complementaron estos sistemas con el sonómetro multicanal Nor150 y el software de análisis Nor850:



Gracias a esta tecnología, COR-TIZO ha optimizado sus ensayos acústicos, alcanzando estándares de precisión y eficiencia en el sector de la ingeniería de fachadas.

Audiotec, con la colaboración de Head Acoustics, celebra el Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido con diversas actividades en Valladolid

El pasado 30 de abril de 2025, con motivo del Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido, la empresa Audiotec llevó a cabo una jornada de actividades en Valladolid, en colaboración con el Ayuntamiento de la ciudad, la Universidad de Valladolid y la Sociedad Española de Acústica (SEA).



La mañana comenzó con un acto institucional en el Salón de Recepciones del Ayuntamiento de Valladolid, en el que se puso de relieve la importancia de sensibilizar a la población acerca del impacto del ruido en la salud y la calidad de vida. Intervinieron en este acto Ana Espinel, presidenta del grupo Audiotec; Alejandro García Pellitero, concejal de Medioambiente del Ayuntamiento de Valladolid; María Machimbarrera, secretaria general de la SEA; las profesoras María Ángeles Martín y Ana Isabel Tarrero, de la Universidad de Valladolid; y María Villar, del IES Ribera de Castilla.



Durante el encuentro se destacó el papel fundamental de las nuevas generaciones en la construcción de entornos acústicamente responsables, así como la necesidad de fomentar políticas sostenibles que integren la dimensión sonora del medio ambiente.

A continuación, tuvo lugar un minuto de silencio en la Plaza Mayor de Valladolid, como gesto simbólico destinado a detener la rutina diaria y prestar atención a los sonidos que nos rodean, promoviendo una escucha más consciente del entorno.

Posteriormente, se realizó un Paseo Sonoro desde la Plaza Mayor hasta el interior del parque Campo Grande, en colaboración con Sergio Herguedas, representante de la empresa Head Acoustics. Durante el recorrido se aplicaron metodologías de análisis sonoro basadas en el estándar ISO, así como en el método Daumal. En el caso del método ISO, las mediciones se llevaron a cabo

en puntos fijos mediante el uso de un *Dummy Head* BSU, un sistema de adquisición SQuadriga III, antena GPS y cámara de vídeo USB, permitiendo así la sincronización de audio, vídeo y geolocalización.



Además, dos de los alumnos participantes utilizaron sistemas portátiles de adquisición de datos (hardware SQobold, headset BHS II y la app SQope + HEAD B2U), con los que se realizaron grabaciones simultáneas durante el paseo. La integración de estas mediciones con las respuestas perceptuales del resto de alumnos permitirá un análisis cruzado entre la escucha subjetiva y la información objetiva obtenida por instrumentación.

Estas actividades se complementaron con una campaña de concienciación promovida por Audiotec a lo largo de toda la semana, mediante la difusión de contenidos visuales y textuales con el objetivo de sensibilizar a la ciudadanía sobre la importancia de vivir y trabajar en entornos acústicamente saludables.

Las empresas y asociados de la SEA acercan la acústica aplicada al alumnado universitario

Durante los meses de abril y mayo de 2025, muy activos en actividades acústicas por su cercanía con el Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido, diversas universidades españolas han acogido charlas divulgativas y formativas impartidas por profesionales vinculados a la Sociedad Espa-

ñola de Acústica, con el objetivo de acercar al estudiantado universitario la realidad de la práctica profesional en campos como la acústica ambiental, las vibraciones, la psicoacústica o el análisis del sonido y el campo sonoro mediante instrumentación.



Entre las sesiones celebradas recientemente, **Cástor Rodríguez**, en representación de la empresa **Sound of Numbers**, impartió charlas técnicas en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y en la Universidade de Vigo (UVigo), en las que se mostraron soluciones avanzadas para la caracterización de fuentes sonoras, la visualización de campos acústicos mediante cámaras en tiempo real, el uso de software predictivo, y la instrumentación habitual en tareas de medida y análisis. Las demostraciones permitieron al alumnado tener un contacto directo con herramientas de aplicación real en el entorno laboral.

También **Sergio Herguedas**, de **HEAD acoustics**, ofreció sendas sesiones en la Universidad de León (ULE) y en la UPM, centradas en el análisis del ruido y las vibraciones desde una perspectiva tanto técnica como perceptiva. La aproximación abierta y participativa de estas charlas propició un diálogo fluido entre profesionales y estudiantes, incluyendo reflexiones sobre salidas laborales y formación complementaria.



En el ámbito del control de vibraciones, **Sergio Anda**, de **VibLens**, impartió una charla práctica en la UPM sobre amortiguadores y técnicas de mitigación de vibraciones, ilustrada con ejemplos reales, desde el diagnóstico del problema hasta la interpretación de curvas de ensayo. Su intervención subrayó la importancia de integrar la teoría con soluciones efectivas en el entorno industrial.

Además, la Universidad Nebrija acogió la ponencia de **Jerónimo Vida Manzano** de la **Universidad de Granada**, dirigida al estudiantado de Física, en la que se abordaron los múltiples perfiles profesionales vinculados a la acústica ambiental, desde los mapas estratégicos de ruido hasta la gestión del paisaje sonoro en contextos urbanos.

Finalmente, el investigador **Jai-me Ramis** de la **Universitat d'Alacant** participó en dos seminarios del Centro de Investigación y Tecnología Matemática de Galicia. En ellos trató tanto el uso de técnicas ultrasónicas no lineales para detección de fisuras en estructuras, como el estudio del impacto acústico en peces, mostrando la versatilidad de la acústica en campos como la ingeniería civil o las ciencias marinas.



Desde la Sociedad Española de Acústica animamos a las instituciones académicas a seguir promoviendo este tipo de encuentros y a las empresas y profesionales del sector a participar activamente en ellos. La conexión entre el ámbito académico y el profesional constituye una herramienta clave para enriquecer la formación del estudiantado con una valiosa vertiente aplicada, que facilita su orientación vocacional y su preparación para los retos del mercado laboral.



Últimas publicaciones legislativas y normativas

Normas sobre acústica de AENOR

AEN-CTN 74 Acústica

UNE-EN 12354-6:2004

Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 6: Absorción sonora en espacio cerrados.

CTN 74/SC 2 ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN

Vigente: 2025-01-01

UNE-EN ISO 26101-2:2024

Acústica. Métodos de ensayo para la cualificación del entorno acústico. Parte 2: Determinación de la corrección ambiental. (ISO 26101-2:2024).

CTN 74/SC 1 RUIDO

Vigente: 2024-12-26

UNE-EN ISO 21388-2:2024

Acústica. Proceso de adaptación de audífonos. Parte 2: Teleservicios como parte del proceso de adaptación de audífonos (tHAFM). (ISO 21388-2:2024).

CTN 74/SC 1 RUIDO

Vigente: 2024-12-18

UNE-EN 17823:2024

Propiedades acústicas de los elementos de construcción y de los edificios. Medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido de impactos de escaleras y elementos aislantes de escaleras.

CTN 74/SC 2 ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN

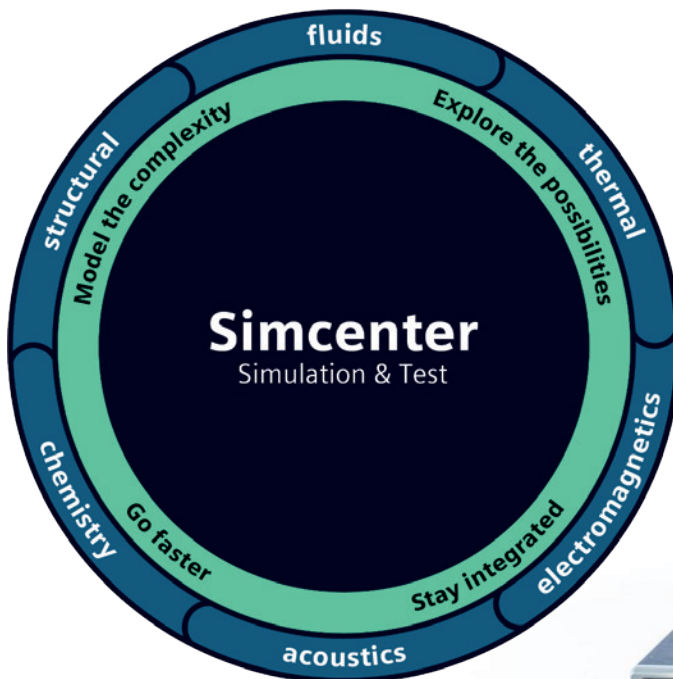
Vigente: 2024-12-18



AVANTEK

Partner oficial de SIEMENS para la distribución del Portfolio Simcenter Testing Solutions:

Simcenter SCADAS HW & Simcenter Testlab SW



www.avantek.es

Software
Partner
Sell

GOLD EXPERT

SIEMENS

In Memoriam

El Profesor Angelo Farina, reputado investigador en acústica y audio espacial, falleció el 22 de marzo de 2025



La Sociedad Española de Acústica quiere reconocer, a través de este recordatorio a la vida y trayectoria del Prof. Angelo Farina, su gran labor académica e investigadora en diversas áreas de la acústica y afines, tales como la acústica de recintos o el audio espacial.

Con esta finalidad, y para hacer verdadero honor a su trayectoria a través de la pluma de aquellos que mejor la conocían, la SEA solicitó a la “Associazione Italiana di Acustica - AIA” la redacción de este tributo, solicitud que fue gratamente aceptada por el Prof. Patrizio Fausti, presidente de la AIA.

A continuación se reproduce textualmente este recordatorio, del que estamos agradecidos a nuestros colegas de la AIA:

“In Memory of Prof. Angelo Farina

It is with great sadness that we remember Prof. **Angelo Farina**, who passed away in March 2025. He was a leading figure in the field of applied acoustics, both in Italy and internationally.



As Professor at the University of Parma, he dedicated his life to research, teaching, and sharing knowledge. His work covered many areas: from architectural acoustics to immersive sound, from numerical simulations to 3D audio technologies. His approach was always rigorous and focused on real-world applications.

He is well known for developing the Exponential Sine Sweep (ESS) method for measuring impulse responses, and for his work on High-Order Ambisonics. He also created widely used acoustic simulation tools such as Aurora Plugins and Ramsete. In 2024, the Audio Engineering Society awarded him the prestigious **Silver Medal** for his achievements in spatial audio.

But beyond his scientific work, Angelo was also appreciated for his generosity, curiosity, and human warmth. He always found time for students and colleagues, sharing ideas with passion and clarity. After his passing, many messages of condolence and admiration have arrived from universities, research groups, associations, and companies around the world, all recognizing the value of his work and the kindness of his character.

On May 19, 2025, the University of Parma organized a tribute event, “Acoustics and Innovation”, where his former students and collaborators presented results from nearly thirty years of joint research.

Prof. Farina’s passing leaves a deep emptiness, but also a great legacy: a wealth of knowledge, tools, and values that will continue to inspire the scientific and professional community for years to come.

On behalf of the Italian Acoustics Association

Patrizio Fausti
President of AIA”

Año 2025

Forum Acusticum – Euronoise 2025

• 23 – 26 Junio

Málaga, España

Web: <https://www.faeuronoise2025.org/>



FORUM ACUSTICUM
EURONOISE 2025

ICSV 31 – 31st International Congress on Sound and Vibration

• 6 – 11 Julio

Incheon, Corea del Sur

Web: <https://www.icsv31.org/>



GUWEM – Guided Ultrasonic Waves: Emerging Methods

• 9 – 11 Julio

Überherrn, Germany

Web: <https://guwem.sciencesconf.org/>



ICTCA2025 - 16th International Conference on Theoretical and Computational Acoustics

• 18 – 22 Agosto

Busan, Corea del Sur

Web: <https://www.ictca2025.org/>



Inter-noise 2025 – 54th International Congress & Exposition on Noise Control Engineering

• 24 – 27 Agosto

Sao Paulo, Brasil

Web: <https://internoise2025.org/>



AAAA 2025 - The 11th Congress of the Alps Adria Acoustics Association

• 18 – 19 Septiembre

Varaždin, Croacia

Web: <https://www.alpsadriaacoustics.eu/>



AAAA 2025 VARAŽDIN
THE 11th CONGRESS OF THE ALPS ADRIA ACOUSTIC ASSOCIATION
18-19 September 2025, Varaždin, Croatia

ICU2025 - International Congress on Ultrasonics 2025

• 21 – 25 Septiembre

Paderborn, Alemania

Web: <https://2025icu.org/>



2025 ICU PADERBORN
INTERNATIONAL CONGRESS ON ULTRASONICS

ACOUSTICS 2025 High Tatras

• 1 – 3 Octubre

Vysoké Tatry, Eslovaquia

Web: <https://2025.acoustics.sk/>



ASSA 2025 – Autumn School Series in Acoustics

• 3 – 7 Noviembre

Eindhoven, Países Bajos

Web: <https://assaeindhoven.org/>



Año 2026

BNAM 2026 – Baltic-Nordic Acoustic Meeting 2026

• 4 – 6 Mayo

Gotemburgo, Suecia

Inter-noise 2026 – 55th International Congress & Exposition on Noise Control Engineering

• 9 – 12 Agosto

Adelaide, Australia



Forum Acusticum – Euronoise 2026

• 6 – 12 Septiembre

Graz, Austria

Año 2027

Forum Acusticum 2027 (conferencia conjunta con la Acoustical Society of America)

• 30 Mayo – 4 Junio

Bruselas, Bélgica

Año 2028

ICA 2028 / Forum Acusticum 2028

• 11 – 14 Septiembre

Madeira, Portugal

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>

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>

ENVIROSUITE IBÉRICA, S. A. - EMS BRÜEL & KJÆR
www.envirosuite.com/es

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/>

HOTTINGER BRÜEL & KJÆR IBÉRICA, S. L.
<http://www.bksv.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 GANDÍA
<http://www.upv.es/entidades/EPGSG/>

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.
<https://vernoise.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 ARQUITECTURA
LA SALLE FUNDITEC
<http://www.salleurl.edu>

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

VIBLENS, S. L. U.
www.viblens.com

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

DÍA INTERNACIONAL DE LA CONCIENCIACIÓN SOBRE EL RUIDO

30 de abril de 2025

¡Qué a gusto sin ruido!



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA