



Revista de

# acústica

Vol. 54 | Núms. 1 y 2 | 1.º y 2.º Trimestres 2023

Publicación periódica de la Sociedad Española de Acústica, SEA



## 25 años de acústica en la Escuela Politécnica de Cuenca



# Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido

Miércoles 26 de abril de 2023



**Contra el ruido,  
mejor no generarlo**

Idea original de Ángela Pozo Navacerrada - 13 años



## Revista de Acústica

Publicación periódica de la  
Sociedad Española de Acústica,  
SEA

**Portada:** Logo de Tecniacústica  
2023 y fotos de José A.  
Ballesteros, Samuel Quintana y  
Marcos D. Fernandez

### Edita

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

### Director

Jaime Ramis Soriano  
revista@sea-acustica.es

### Administración, suscripciones y publicidad

secretaria@sea-acustica.es

### Comité de redacción

Ana Delgado Portela, María  
Angeles Navacerrada, Jesús Alba  
Fernández, Noé Jimenez, Roberto  
San Millán, Daniel de la Prida,  
Jerónimo Vida, Jesús Carbajo San  
Martín y Pedro Poveda Martínez

### 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. 54 | Núms. 1 y 2 | 1.º y 2.º Trimestres 2023

## Sumario

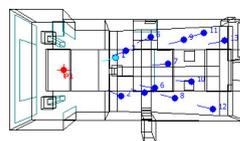
### 3 Desde los Bandos del silencio hasta la primera Ordenanza contra el ruido de Madrid

Walter A. Montano Rodríguez



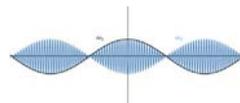
### 16 ¿Pierden mucha inteligibilidad los oyentes si el orador utiliza una mascarilla facial?

Daniel de la Prida, José Julián Gallardo



### 23 Sistemas de afinación en música desde un punto de vista matemático

María Aguado Yáñez, Ángel Rivas Vargas



### 32 25 años de acústica en la Escuela Politécnica de Cuenca

José A. Ballesteros, Samuel Quintana,  
Marcos D. Fernandez



### 37 Escapa del ruido

Ana Isabel Tarrero Fernández, Lara del Val Puente



### 41 Noticias de la SEA



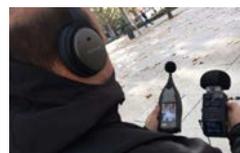
### 46 FIA



### 48 Novedades técnicas

### 53 Poniendo en valor el sonido urbano: Introducción a la Norma ISO 12913

Jerónimo Vida Manzano



### 89 Entrevista a Antonio J. Torija

### 94 Agenda

# Ingeniería Acústica García-Calderón

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

CÁMARAS ACÚSTICAS



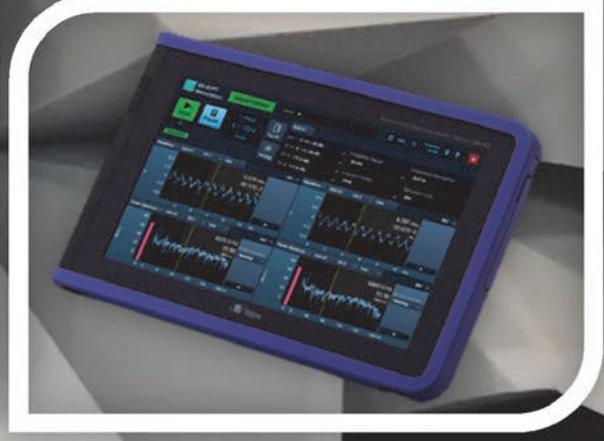
FUENTES SONORAS ULTRALIGERAS



MÁQUINA DE IMPACTOS



ANALIZADORES



MICRÓFONOS



ACELERÓMETROS



Ingeniería Acústica García-Calderón

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

 Telf.: +34 91 128 89 47

 [info@garcia-calderon.com](mailto:info@garcia-calderon.com)

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

  
Ingeniería Acústica García-Calderón



# Desde los Bandos del silencio hasta la primera Ordenanza contra el ruido de Madrid



Walter A. Montano Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ARQUICUST Laboratorio de acústica «Joseph Sauveur». Gualeguaychú, ER, Argentina  
wmontano@arquicust.com  
Miembro del Comité de Archivo e Historia de la ASA  
orcid: 0000-0002-0059-5257

PACS: 43.05.Dr; 43.50.Qp

## Resumen

Las quejas en Madrid por el ruido de transporte datan de 1839, aumentando junto al crecimiento de la ciudad. Replicando las actividades de sociedades anti-ruido de otros países, la prensa madrileña abogó por la creación de asociaciones similares en España, y si bien en 1913 se impuso un Bando contra el ruido, recién en 1928 se hizo una campaña concienzuda desde el Ayuntamiento, imitando las acciones emprendidas en Nueva York. Se pueden identificar diversas acciones anti-ruido, que eran más bien operaciones políticas que actitudes concretas para resolver el problema. En este artículo se resumen esas campañas pioneras que fueron acompañadas por la gente durante cuarenta años, pasando por la creación de la sociedad *Lucha Al Ruido*, la aportación científica del Instituto de Acústica “Leonardo Torres Quevedo” (IA), del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), posteriormente Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información “Leonardo Torres Quevedo” (ITEFI) para la realización del primer Plano (mapa) de Ruidos, hasta la colaboración de algunos acústicos en la preparación de la primera ordenanza de Madrid contra el ruido.

**Palabras clave:** Acústica; Historia de la ciencia; Ordenanzas; Mapa de ruidos; Campañas anti-ruido.

## Abstract

Transport noise complaints in Madrid date back to 1839, increasing along with the growth of the city. Replicating the activities of anti-noise societies of other countries, the Madrid media advocated the creation of similar associations in Spain, and although in 1913 a Bando against noise was imposed, it was not until 1928 that a conscientious campaign was launched by the City Council, imitating the actions undertaken in New York. Several anti-noise actions can be identified, which were more political operations than concrete attitudes to solve the problem. This article summarizes these pioneering campaigns that were followed by the people for forty years, through the creation of the *Lucha Al Ruido* society, the scientific contribution of the Instituto de Acústica “Leonardo Torres Quevedo” (IA) of the High Research Scientific Council (CSIC) and actually Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información “Leonardo Torres Quevedo” (ITEFI), for the realization of the first Noise Plan (map), to the collaboration of some acousticians in the elaboration of the first Madrid Ordinance against noise.

**Keywords:** Acoustics, History of Science, Ordinances, Noise map; Anti-noise actions.

## 1. Introducción

Si bien se encuentran menciones hasta 1928 de acciones anti-ruido en muchas ciudades españolas, se tratan de esfuerzos ‘aislados’ con trascendencia local, y tal como sucede en la actualidad si las noticias no son propaladas desde Madrid (desde ‘la ciudad de las Cortes’ como se la identificaba en el siglo XIX), pareciese que esas acciones no eran de importancia; por esta razón es que el autor se concentrará en las campañas madrileñas,

y eventualmente de alguna otra ciudad que se destaque del resto.

En artículos previos publicados en esta revista por el autor, se trató el tema del ruido ciudadano en España y continuando con la diacronía, en esta oportunidad se intentará construir una línea histórica (de las muchas que podrían existir), basada en lo que se difundió –desde los medios de comunicación– la percepción de la molestia por ruido del transporte, impulsados por caballos prim-

ero y luego por vehículos a motor, pasando por el de las bocinas (el 'claxon') y la forma de conducir, hasta llegar a 1928 cuando por primera vez y presionados por los vecinos, el Ayuntamiento de Madrid tuvo que implementar diversas campañas anti-ruido, con gran repercusión a través de la prensa de esos años. Para escribir este artículo, se utilizaron los archivos disponibles de la Biblioteca Nacional de España (lamentablemente están digitalizados sólo hasta 1940), de la Biblioteca Virtual Prensa Histórica del Ministerio de Cultura y Deporte, la del diario ABC® y el de *La Vanguardia*®.

De la búsqueda de datos históricos surge que en 1908-1909 periodistas y escritores sugerían la creación de 'sociedades del silencio' en España a modo de replicar las acciones anti-ruido que eran organizadas en Nueva York, Londres y Leipzig, y para 1930 ese deseo se convirtió en un grito desesperado, culminando esta línea histórica recién en 1963 cuando se crea la primera asociación civil española, que abogó por una calidad acústica saludable en las ciudades llamada *Lucha Al Ruido* (LAR), de la cual participaron en algunas de sus actividades Andrés Lara Sáenz, Antonio Pérez López, Salvador Santiago y otros acústicos.

A modo de cerrar este artículo, se da a conocer una cobertura periodística de octubre de 1963, que dio cuenta sobre la realización del primer *plano de ruido* de Madrid (así se lo denominaba al *mapa de ruido*) que estaba haciendo el Instituto "Leonardo Torres Quevedo", ya que en octubre de 2023 se cumplirá el 60° aniversario de su divulgación en los medios de comunicación, y la participación de destacados acústicos con el Ayuntamiento para la redacción de la primera Ordenanza contra el ruido de Madrid.

## 2. El ruido por transporte en Madrid durante el siglo XIX

La cuestión del ruido como agente de molestia fue manifestado tempranamente por escritores y personas dedicadas 'a las actividades intelectuales', que al tener mejor acceso a los medios de información podían manifestar sus quejas en los diarios, y las primeras reseñas al ruido urbano siempre están referidas al ruido como distractor de la concentración y de molestia psicológica.

Aparece en el periódico satírico-burlesco *Fray Gerundio* del 28 de septiembre de 1837 una queja del editor, de que no puede concentrarse en el trabajo y manda a cerrar la ventana porque «me incomoda el ruido de la calle» (Gerundio, 1837); bajo una crítica político-costumbrista en su número del 29 de marzo de 1839, el mismo editor relata que gracias al advenimiento de la Semana Santa los ruidos que fueron silenciados: «El resonante

ruido de los rodantes carruajes que se arrastraban a todas horas girando sobre los férreos ejes de las ferradas ruedas por el áspero empedrado de las matritenses rúas (vulgo calles de Madrid) deja de atronarnos y ensordecernos en estos días » (SIC) (Gerundio, 1839), se podría considerar que esta referencia (burlona) como una de las primeras escritas en España, que acusan directamente de molesto al ruido del transporte.

Se considera que 1826 es el año que se introdujo mundialmente el «ómnibus», el primer sistema de transporte colectivo de pasajeros y fue inventado en Francia (Pedroza, 2021), que para abril de 1843 se realizaron los primeros ensayos de este sistema en Madrid (Corresponsal, 1843); acerca del nuevo ruido urbano producido por los ómnibus, en la prensa de esa época sólo se lo menciona metafóricamente.

Hacia 1863 al antiguo empedrado de las calles de Madrid se comienza a sustituir por otro más moderno, el de cuña: «Celebraremos que el actual empedrado de pedernal se sustituya, por lo molesto y ruidoso que es, con el de adoquines, que sobre ser muy asequible para el tránsito es más limpio y produce menor ruido en los carruajes» (Clamor, 1863), pero no todos los madrileños pensaban lo mismo; en el periódico satírico *El Moro Muza* del 20 de septiembre de 1863 hacen una crítica muy inteligente 'a la modernidad', pidiendo que en algunas calles no se ponga empedrado porque se terminaría la tranquilidad: «Todo el mundo está conforme, en que los ómnibus y, sobre todo, los carretones, hacen un ruido infernal cuando pasan por una calle adoquinada. Esto supuesto, claro es que los vecinos de la Calzada del Monte, acostumbrados como ya lo están al reposo, padecerían tal vez de los nervios el día que oyeran el indicado ruido» (SIC) (Moro Muza, 1863).

Respecto a regular los ruidos a través de la legislación, las únicas menciones en la prensa del siglo XIX, acerca de que la Diputación Provincial de Madrid debía sancionar una ley en contra del ruido, son del diario monárquico-conservador *La Época*, desde el cual se abogaba a que la diputación tenía la obligación de controlar la molestia por ruido.

## 3. La enfermedad de las ciudades en el siglo XIX. La neurastenia y el ruido

Hasta mediados del siglo XIX, mundialmente no se identificaba con una palabra específica las enfermedades que pudiera producir el ruido, y en abril de 1869 el neurólogo y psiquiatra norteamericano George Miller Beard (1839-1883), asoció a la palabra «neurastenia» (*neurasthenia* del inglés) con la fatiga y cansancio que

producía el vivir en las ciudades (Beard, 1869); más tarde en 1879 retoma el término neurastenia con más énfasis, para igualarla como si fuesen dichos síntomas –a la manera de un síndrome– exclusivamente una ‘enfermedad norteamericana’. Una de las primeras alusiones en España a la neurastenia como enfermedad, fue utilizada en 1881 en la revista *El Mundo Ilustrado*, transcribiendo la patología que conlleva (Montserrat, 1881, p.461).

Más tarde otro médico norteamericano, John H. Girdner (1856-1933), publicó en 1896 *La plaga de los ruidos de la ciudad*, quien tempranamente describió cómo el ruido de las ciudades afecta a las personas (Montano, 2021), también es pionero en asociar que la neurastenia es producida en gran medida por el ruido de las ciudades, y así es replicada esa novedad médica en la prensa española (Editorial, 1896).

Ahora bien, surge entonces la pregunta de cuándo un escritor vernáculo asoció el término «neurastenia» con el ruido, y es notable que el gran escritor y filósofo Miguel de Unamuno fue uno de ellos, y lo hizo en su cuento *Ciudad y campo* de 1902, en el cual comenta acerca de su visita a Madrid de la cual quiere irse rápidamente, porque además de quejarse de sus ruidos que no le dejan descansar dice que «Me parece difícil que sea verdaderamente reparador el sueño en una casa que a cada momento vibra al pasar un coche por la calle» (SIC), y acto seguido asocia los nervios que le genera su estada en Madrid con la *neurastenia*, como una enfermedad de las grandes ciudades (Unamuno, 1902).

## 4. El ruido en los albores del siglo XX

En Zaragoza en 1896, existió una asociación llamada «El Ruido» que tomó ese nombre de una comparsa, pero se trató en realidad de una obra benéfica encargada de asistir a los veteranos de guerra aragoneses, y algunos escritores de esos años vincularon a esa asociación como si fuese ‘una sociedad contra del ruido en las ciudades’ siendo esto erróneo, tal como se la describe en un artículo periodístico acerca de sus actividades (ABC, 1896); el autor de este artículo cree necesario hacer tal aclaración, porque se encuentran menciones aún hoy día a esta sociedad benéfica como si hubiese estado envuelta en temas de ruido urbano, y ciertamente no lo estuvo.

Contrariamente a la molestia del ruido de los vehículos con motor de combustión, en 1899 se comienza a mencionar en la prensa madrileña las bondades que tienen los automóviles eléctricos, entre ellas la no generación de ruido (Eléctrica, 1899), y para el carnaval del 1900 se autorizó la circulación de uno de ellos porque al no tener ruido no espantaba a los caballos (Época,

1900); es a partir de 1905 que se comienza a abogar por el uso del auto eléctrico por ser silenciosos, desde revistas y suplementos tecnológicos (Electrón, 1905).

Los ruidos urbanos fueron en aumento modificando su percepción en la gente, que cambió también la forma de referirse al ruido, y así paulatinamente en los diarios es recurrente la frase ‘ruido molesto’, y bajo ese título en 1902 en una extensa diatriba, el escritor y dramaturgo catalán Emilio de la Cerda Gariot (1841-1923) arremete contra todos los sonidos que alteran el sueño, diciendo que si bien algunos de ellos son necesarios, no tendrían que ser razón de abuso: «El rodar de carros y camiones, de coches y tranvías [...] es el ruido de la respiración de un pueblo trabajador y activo [...] pero no creemos justo que la conveniencia particular autorice a despertar al que acaba tal vez de dormirse» (Cerda, 1902).

### 3.1. Los Bandos contra el ruido

Hasta ahora el autor no ha podido encontrar la fecha de cuándo se comenzaron a publicar en España los *Bandos* contra el ruido; para el caso de Madrid, el alcalde-presidente Conde de Peñalver (1853-1916) se quejaba de que nadie hacía caso a los suyos, y en julio de 1908 sanciona otro de regulación: «Los automóviles no circularán en poblado á velocidades que excedan de la de un tronco de caballos al trote, ni produciendo ruidos y olores molestos...» (País, 1908).

Se encuentra otro Bando del 10 de septiembre de 1913, emitido por el alcalde Eduardo Vincenti (1855-1924) con una redacción un tanto confusa (Siglo, 1913), porque por un lado pretende regular los ruidos y por otro exige que los autos tengan señales de aviso (ver Fig. 1), lo que motivó reacciones satíricas y burlonas del periodismo (Correspondencia, 1913) (Mentidero, 1913).

Se encuentra un dato asilado del País Vasco, en un artículo de marzo de 1914 firmado por Julio Carabias, con el título *La ciudad de los ruidos* se entendería que hubo quejas masivas en Bilbao por el ruido urbano «Verdaderamente, en esta gran metrópoli industrial los ruidos de la calle han llegado á un extremo insufrible», y en ese escrito hace una maravillosa descripción del paisaje sonoro callejero del Bilbao de esos años (Carabias, 1914).

Regresando a Madrid, otro Bando pero de septiembre de 1915, se llamó *Por la cultura de Madrid*, seguramente pidiendo a los conductores un cambio cultural, porque el ruido en las calles a causa de los motores de combustión ya era insoportable, y obligaba a que los automóviles tengan: «una marcha constantemente moderada, llevando siempre cerrado el escape de gases dentro de Madrid, evitando el humo y el escandaloso ruido del motor» (Época, 1915).

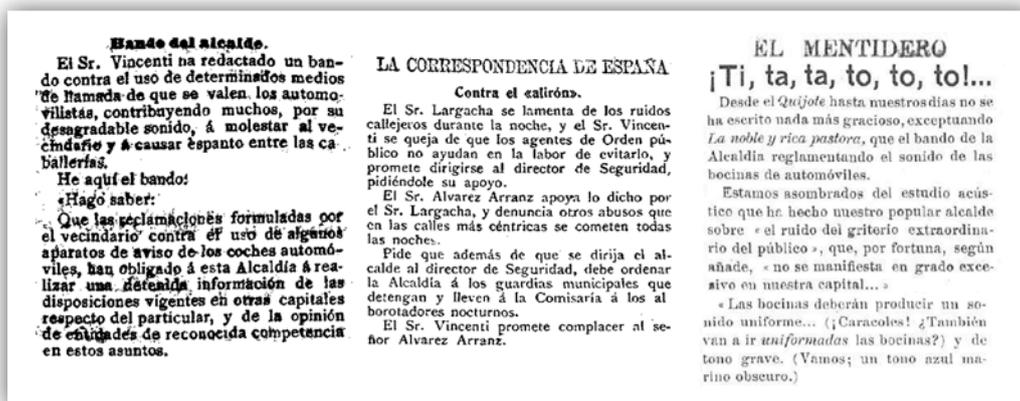


Figura 1. Extracto del Bando contra el ruido de 1913 y reacciones burlonas del periodismo.

Así y todo, los Bandos no tenían la respuesta que esperaban los españoles, a que los conductores de autos y motos respetasen la tranquilidad y permitan el normal descanso; tal vez como un llamado de atención hacia las autoridades, en un artículo del 26 de septiembre de 1919 titulado *Lejos del mundanal ruido. El veraneo de Ortega y Gasset* da cuenta que el filósofo para descansar elige el pueblo de Zumaya, Guipúzcoa, a fin de compartir su silencio con sus pescadores (Medrano, 1919).

### 3.2. La década del 20

Dada la repercusión de las campañas anti-ruido que se estaban conduciendo en grandes ciudades europeas y norteamericanas, la prensa española comenzó a criticar y a exigir a las autoridades locales que pongan en cumplimiento las órdenes vigentes contra el ruido y que actualizaran la legislación, pudiéndose encontrar decenas de artículos periodísticos con fuertes reclamos: «Madrid, todo el mundo lo observará, resulta cada día más una de las ciudades más incómodas y más ruidosas. Desde que amanece, las campanas de los tranvías, las bocinas de los autos, el pum-pum de los side cars, el rodar de los grandes carromatos y de los ómnibus por un empedrado imposible» (Época, 1920); no se pueden mencionar todos, dada la gran variedad de enfoques que tienen, y redundan en la presencia de un nuevo ruido: el de las motonetas con sus escapes abiertos que «producen un ruido ensordecedor».

Para el caso del abuso del uso de la bocina en Madrid y la mala conducta en el manejo del automóvil, irónicamente la prensa dice que es a consecuencia de que hasta 1924 en la Villa se seguía manejando por la mano izquierda, y con mucho humorismo se referían a lo mismo pero diciendo que después del cambio de mano de circulación, los conductores estaban confundidos por lo que debían usar la bocina al tener que circular por la derecha.

Estamos en la década del 20, década en la que se introdujeron los medidores de nivel sonoro en los EE. UU.

y Alemania, y es notable que en los suplementos técnicos y revistas españolas dedicadas a la radiofonía, mencionan los avances de los audiómetros y sus posibles usos (traduciendo artículos ingleses o norteamericanos), y sorprende que la revista *Ondas* (1926, p.31) del 25 de abril, replica la icónica foto del acústico Edward Elway Free (1883-1939) parado frente al audiómetro modificado, el que utilizó para medir por primera vez el ruido urbano en enero de 1926 (Montano, 2022).

## 5. 1928, año de la primera campaña anti-ruido matritense

A criterio del autor, 1928 es un año pivote para la especialidad de medición de ruido urbano, porque la repercusión mundial que tuvo la Campaña anti-ruido impulsada en Nueva York motivó a que sea imitada en otras grandes ciudades del mundo, y los medios de comunicación madrileños daban cuenta de ellas; curiosamente hasta mencionan la que se hizo en Melbourne, abogando a que en Madrid se haga la misma campaña que allá, y que se comience a resolver el ruido de los tranvías locales (Ingenieros, 1928).

A principios de julio de 1928, el alcalde de Madrid, presionado por la gran cantidad de quejas de la vecindad dio inicio, a lo que se podría considerar, la primera campaña anti-ruido madrileña, básicamente para controlar las molestias por ruidos nocturnos que no dejaban descansar ni dormir a la población; a través de un Bando publicado el 14 de julio, el alcalde se puso ‘al hombro’ la difusión de la campaña yendo él mismo a conversar con los patrones de tranvías para que no usen los timbres y que engrasen los rieles en las curvas, también fue a las compañías de ómnibus a pedir que no usen la bocina durante la noche.

De lo que puede leerse en los diarios, se presentan comentarios orientados a hablar de las afecciones psicológicas y fisiológicas del ruido en las personas, y la



Figura 2. Reacciones de la prensa de la campaña anti-ruido de agosto de 1928.

psiquiatría ingresa (por así decirlo) a analizar estas cuestiones desde la prensa. Para el caso del diario *El Liberal* en un extenso artículo del 4 de agosto, es notable cómo el periodista y escritor Francisco Caravaca (1902-1975), rememora lo que pedía Mariano de Cavia treinta años antes para silenciar a *Estruendópolis* (Montano, 2022); el texto abarca el ruido desde distintas áreas e inclusive la del ruido como agente que afecta la salud mental y el sistema nervioso, y para ello entrevistó al psiquiatra Francisco Huertas González del Campillo (1881-?) transcribiendo las preguntas con sus respuestas, siendo la final «¿Luego no constituye ningún peligro inminente el ruido?» A lo que el médico dijo «Inminente, no; pero yo tengo la convicción de que la Humanidad perecerá por el ruido, que cada vez irá en aumento, y el hombre no está hecho para él...» (Caravaca, 1928).

Cabe destacar que esta Campaña continuó hasta fines de 1929, ya que la alcaldía extendió la vigencia de ese Bando, y se encuentran menciones de diarios de otras ciudades a que esta campaña sea aplicada al resto de España (Cossio, 1929).

## 6. Las acciones y campañas anti-ruido durante la década de 1930

En 1929 la ciudad de Nueva York inició una gran campaña de mediciones de ruido en las calles, junto a una encuesta a cientos de personas acerca de la molestia que le producía la exposición al ruido (Thompson, 2002), que fue comentada largamente en todo el mundo así como también en España.

Se inicia 1930 y en enero mismo también las quejas desde la prensa española; en el semanario de humorismo *Gutiérrez*, el 18 de enero con gran sarcasmo e ironía dice que entre los vecinos que concurrieron a su redacción (ver Fig. 3), para quejarse del ruido callejero, se contraba el banderillero Pablo Baos más conocido como

‘el sordo’ (sufría insuficiencia auditiva), como parodiando el hecho de que hasta a los sordos les molestaba el ruido madrileño.

Otra situación también de humor se encuentra relatada en el diario *Heraldo de Madrid* del 7 de abril, que comentando sobre las acciones que recomendaban en Nueva York para reducir el problema del ruido en las viviendas, aducen que eso se corresponde a la nueva disciplina (ver Fig. 3) que la nombran como la ‘ingeniería del silencio’, tal vez porque en los medios neoyorquinos se decía que ‘los ingenieros buscaban silenciar la ciudad’.

La impresión que causaba entre el periodismo local las acciones contra el ruido en Nueva York, debió ser mucha porque todos las mencionaban, y es interesante cómo el diario *La Nación* del 25 de febrero publicó una fotografía que muestra el camión que llevaba los instrumentos, con el que hacían las mediciones en las calles neoyorquinas y, llamativamente ésa en particular (Nación, 1930, p.5), no se la encuentra en los medios norteamericanos, por lo que esta reproducción constituye una joya histórica.

En su edición del 31 de julio *El Diluvio* comparte un pedido al menos para Barcelona: «Habríamos de fundar aquí esa Liga contra los ruidos innecesarios que diz que funciona ya en Londres y Nueva York» (Diluvio, 1930), se podría considerar como una de las primeras opiniones serias, porque el texto carece de eufemismos e ironías yendo directamente a la cuestión, de que se requieren acciones civiles para terminar con el ruido.

Acerca de qué sucedió o qué se logró con la campaña anti-ruido de 1928-1929, a fines de 1930 se encuentran muchos artículos en la prensa que le cuestionan al ayuntamiento por qué no se pudieron reducir los ruidos molestos en Madrid, y recién en octubre de 1931 se hizo un *Acuerdo* entre el ayuntamiento y la Junta Municipal de Sanidad, para retomar la agenda de lucha contra el ruido innecesario (Sol, 1931)

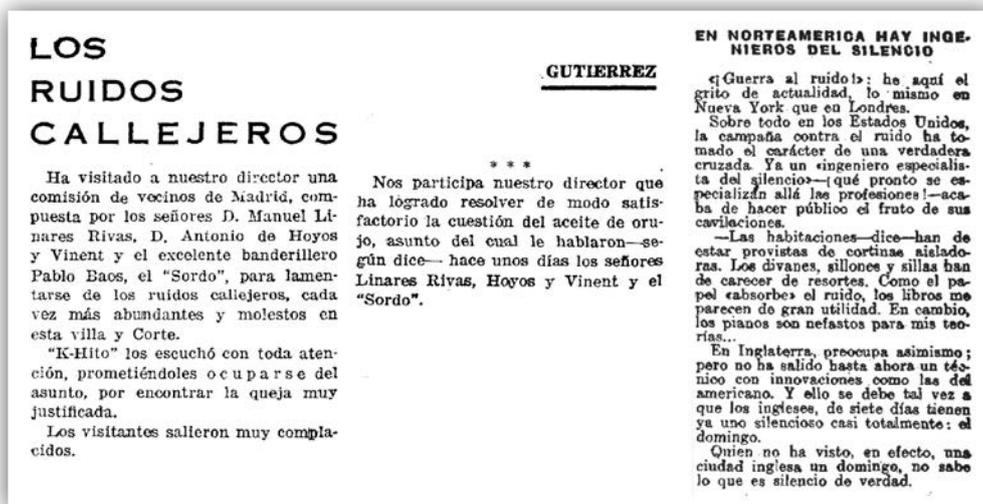


Figura 3. Columna irónica de la Gutiérrez. Referencia a los ‘ingenieros del silencio’.

### 6.1. La conferencia *El ruido y la vida psíquica*, junio de 1932

El 6 de junio de 1932 se realizó en Madrid la «Semana Nacional de Higiene Mental», y una de las conferencias que se ofrecieron fue *El ruido y la vida psíquica* que fue brindada por el psiquiatra José Miguel Sacristán Gutiérrez<sup>1</sup> (1887-1957), la cual debió causar gran impresión porque fue la charla que más trascendencia tuvo en la prensa, encontrándose decenas de diarios que la mencionan; para conocer de qué se trató hay dos resúmenes, uno se centra en cuestiones de cómo el ruido afectó a los intelectuales en la historia (Imparcial, 1932), y el otro menciona distintos aspectos del ruido incluyendo su problema en las industrias (Libertad, 1932).

De lo que se puede leer, se entiende que Sacristán estaba actualizado en cuanto al problema del ruido en la industria, ya que hace referencia de la importancia de medir el nivel sonoro del ruido en las fábricas para evitar la sordera, y en una revista científica dedicada a temas médicos laborales, se menciona que también habló de «la necesidad de disminuir los ruidos en los lugares de trabajo» (Organización, 1932).

### 6.2. La campaña de 1934 contra el ruido de las bocinas y la huelga de los taxis

En febrero de 1934 con un Bando, el ayuntamiento de Madrid inició nuevamente una campaña para evitar los ruidos nocturnos, pero al no lograrse ningún cambio, en septiembre se impuso una multa de pago inmediato a todos aquellos que tocasen el *claxon* (la bocina), instau-

rando para esa consecución un grupo que los denominó ‘Los cazadores de ruidos’ (ver Fig. 4), que era una Guardia de la policía encargada de hacer las multas (Ahora, 1934), copiando lo que se había hecho en Londres.

Entonces, a raíz de la gran cantidad de infracciones que tuvieron que pagar los dueños de los taxis, se concretó una huelga general de ese servicio por dos días [en el *Blog Pete* (2016) recopila muchos datos] que, bajo la presión de la gente que tenía que movilizarse mediante taxis, pareciera que las autoridades dejaron de poner multas, a lo que el periodista José Simón Valdivielso las fustigó: «¿A qué aspiraban los huelguistas? ¿A reivindicar su derecho a jorobar al vecindario con sus bocinazos, sus escapes libres y sus claxons, que parece que van cantando la romanza de la ‘Calumnia’, de ‘El barbero de Sevilla’?» (Valdivielso, 1934); para fines de septiembre, ya no se lee en la prensa que se continúen con las multas.

Respecto a la Campaña que se hizo en Barcelona, se encuentra en un número de esta Revista una descripción completa (Montano, 2021-a). El autor no ha encontrado datos fehacientes en Internet, que puedan confirmar de si se realizaron acciones similares en otras ciudades españolas.

### 6.3. El proyecto de 1935 de fabricación de un sonómetro

Eduardo Torroja Miret<sup>2</sup> (1899–1961) fue un prominente Ingeniero Civil y científico español, quien en 1934 fundó (junto a otros destacados profesionales) el *Instituto Técnico de la Construcción y Edificación*, actualmente Instituto

<sup>1</sup> Se trata de un gran psiquiatra cuya obra se difundió recién en 2018, porque su trabajo fue obviado y escondido por los médicos Franquistas; su labor científica es aún desconocida por la mayoría.

<sup>2</sup> Es el abuelo de Ana Torroja, la cantante del grupo *Mecano* (dato aportado por Antonio Pedrero González, presidente de la SEA).

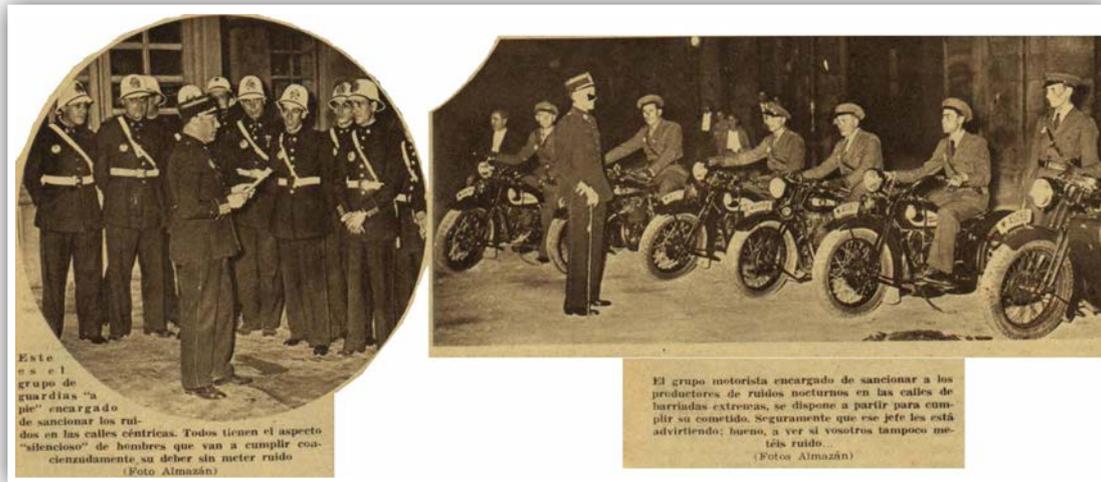


Figura 4. Guardia de ‘Cazadores de ruidos’ de a pie y motorizados.

de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” (IETcc), CSIC, entre varios inventos propuso fabricar un sonómetro en España para dar algún tipo de apoyo a la campaña anti-ruido que estaba organizando el Ayuntamiento, tal y como se lee en una columna publicada en la revista *Hormigón y Acero* (ver Fig. 5) de junio de 1935. De su lectura surge una curiosidad, que estaban planteando usar el sonómetro para medir los niveles y compararlos con «el máximo de ruido admisible por las Ordenanzas», esto da un indicio de la actualización que tenía Torroja respecto a lo que se discutía en otros países, de consensuar límites legales para ruido basado en valores de decibelios.

El autor se comunicó con la Fundación Torroja y con las bibliotecas que mantienen sus archivos, y todos respondieron que no tenían datos de ese proyecto de sonómetro y que lo desconocían, por lo que la única información de que en 1935 se quiso fabricar un sonómetro en España, es la que aquí se comparte.

#### 6.4. La Conferencia del ruido y la campaña de 1935

Entre 1930-1934 alrededor de todo el mundo se organizaron conferencias para discutir científicamente

la problemática del ruido en cómo afecta a la salud mental y de cómo reducirlo, que agruparon a especialistas de mecánica, ingeniería y de la medicina, por lo que el alcalde Rafael Salazar Alonso (1895-1936) copiando el modelo de Nueva York, convocó a todos los sectores interesados a participar de un congreso para discutir los problemas del ruido, difundiendo durante junio en programas radiales especiales (en los EE. UU. los llamaban *Banquettes*) cuestiones pertinentes a esta temática.

Finalmente el 9 de julio se concretó la reunión que algunos medios la llamaron «Conferencia municipal contra los ruidos callejeros» otros como la «Conferencia del silencio» (ver Fig. 5), y estuvo a cargo del Sr. Rueda (delegado del Tránsito), se nota la importancia de la convocatoria dada la cantidad de organizaciones que asistieron, con representantes del Automóvil Club, Sociedades Madrileñas de Propietarios de Automóviles de Alquiler y Española de Taxis, Cámaras de Transporte Mecánico de la Propiedad Urbana, de la Industria, del Comercio y Gremial del Automóvil, Asociación de Hoteleros, Casa de Inquilinos de Madrid, Centro de Hijos de Madrid, Liga

**APARATOS PARA MEDICIÓN DEL SONIDO**

La medición del sonido, para que tenga verdadera aplicación en la práctica, es necesario que pueda hacerse mediante aparatos portátiles, que puedan utilizarse en cualquier punto y que reúnan las condiciones de manejabilidad y sencillez precisas, con el fin de que no constituyan una impedimento voluminoso y puedan manejarlos personas que carezcan de conocimientos técnicos especiales.

La Casa ICON, Investigaciones de la Construcción, S. A., Madrid, construye un aparato de gran sencillez y exactitud para la determinación de la intensidad de los ruidos, apreciándola por una simple lectura en la escala del aparato.

Consiste éste en un micrófono, un amplificador y el receptor central para la medición de la intensidad del sonido. El aparato está diseñado convenientemente, para evitar cualquier influencia eléctrica exterior ajena al aparato.

Todas sus partes se controlan previamente con las del aparato tipo, tarado con arreglo a determinadas intensidades del sonido fijadas previamente, y en su escala aparece grabado el máximo

de ruido admisible por las Ordenanzas correspondientes.

Su manejo es sencillísimo, pues basta colocarlo en el punto donde se desee registrar la intensidad del sonido y ponerlo en funcionamiento con la acción de la batería de alimentación del conjunto.

Al acercarse un vehículo, el aparato, puesto en estación, detecta el ruido que por cualquier causa parte de aquél, y en el caso de ser éste superior al admitido, según lo convenio reglamentariamente, el agente encargado del manejo del aparato, o un auxiliar suyo, obliga al conductor por el procedimiento adecuado a ajustarse a lo que se reglamente sobre ruidos.

Un aparato tipo existirá en la Dirección del Servicio de Tráfico, y sirve para tarar y comprobar los demás aparatos que se tengan en uso en la población.

El aparato puede ser registrador, con lo que queda materializado el ruido detectado, sin que pueda dar lugar a apreciaciones personales ni ulteriores discusiones estériles.

**LA VANGUARDIA**

**LA CAMPAÑA CONTRA EL RUIDO...**

**EN MADRID**

Barcelona es ruidosa; Madrid lo es muchísimo más aún (¡y ya es decir!) Madrid, en efecto, es —era mejor dicho— una de las ciudades más ruidosas del Universo. ¿Causas? ¿Temperamento inquieto de sus habitantes? ¿Hemodinamias aéreas? ¿Adiciones tauro-muscas?... Es posible.

**LA EPOCA**

**POLITICA MUNICIPAL**

**LA CAMPAÑA DEL SILENCIO**

**LA VOZ**

OTRO INTENTO DE SUPRESION DE LOS RUIDOS NOCTURNOS Y SENALAMIENTO DE ZONAS DE SILENCIO OBLIGATORIO

**EL DEBATE**

**Madrid, ciudad insoportable por el ruido**

**LA PERSISTENCIA DE ESTE ACTUA PERNICIOSAMENTE SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO**

AGOSTO DE 1935. EDICION DE

**LA CAMPAÑA CONTRA EL RUIDO**

El abuso de las señales acústicas

«Desde el 1 de agosto se prohíbe el uso de señales acústicas de otros de la noche a esa de la mañana y se limitará durante el día, siendo multados los infractores con 25 pesetas, y en caso de reincidencia, se podrá llegar a prohibir la circulación del vehículo por la capital.»

**EL SIGLO FUTURO**

**LOS RUIDOS CALLEJEROS**

De nos entrega la siguiente nota: «Por ausencia del excelentísimo señor alcalde presidente, y bajo la presidencia del gestor (delegado del Tráfico), se celebró ayer la primera sesión de la Conferencia Municipal contra el ruido callejero.

Figura 5. Proyecto de 1935 para la fabricación de un sonómetro. Titulares por Conferencia de 1935.

Española de Higiene Mental, Instituto Nacional de Psicotecnia y el jefe de Industrias de la provincia (Siglo, 1935).

Entre los especialistas que intervinieron, hubo un médico psiquiatra que comentó también la problemática del ruido en las industrias; un resumen de lo que se trató en esta Conferencia se puede leer en la revista *La Construcción Moderna* (1935, p.16).

Se encuentran datos aislados acerca de que esta conferencia madrileña animó a alcaldías de otras ciudades a renovar sus Bandos contra el ruido nocturno, como Barcelona y San Sebastián; también en Sevilla, con la particularidad de que la *Sociedad de propietarios de Clínicas y Consultorios* le solicitaron al Alcalde que declare zonas de silencio alrededor de hospitales, para preservar la salud de los enfermos (Urbe, 1935).

## 7. Los Bandos en la década de 1940

Tal como se comentó, lamentablemente la hemeroteca de la BNE sólo tiene digitalizada su colección hasta 1940, por lo que para describir lo que sucedió en esta década es lo que se tiene en el repositorio del diario ABC®; se correría el riesgo de caer en una visión sesgada, en caso de evaluar lo que en dicho medio comenta acerca de las acciones emprendidas por las autoridades gubernamentales. Un inconveniente es que los *Bandos* están escritos en lenguaje Castrense, pidiendo que la población ‘sea respetuosa y no produzca ruidos innecesarios para demostrar la nueva civilidad’, y que manifiesten ‘su nueva ciudadanía’; de la profusa información que en ese repositorio existe, a partir de 1946 recién se advierte que se dejó de lado el direccionamiento restrictivo y enérgico del pedido a no producir ruido por las noches.

## 8. La década del 50 con el ruido como protagonista de un tema científico

En el diario *La Vanguardia Española*® se observa cierta distensión en la escritura de sus textos, acerca de las acciones anti-ruido que se publicaron en los Bandos de esta década, y sus comentarios están llenos de sarcasmos indirectos seguramente para ‘disfrazar’ críticas al gobierno de turno.

Se lee en la prensa que los Bandos eran exhibidos en ciertos lugares de Madrid: «Se ha colocado hoy en las fachadas habituales el bando de la Alcaldía sobre la necesidad de reprimir, sobre todo en esta época veraniega, los ruidos callejeros»; ese Bando especifica las modalidades de las molestias a la tranquilidad del vecindario y «considera la necesidad de la observancia de sus preceptos con objeto de conservar el buen orden ciudadano» así como a «la actividad bullanguera y escandalosa de aquellos individuos irrespetuosos con la adecuada compostura ciudadana» (Vanguardia, 1953).

Para el Bando sobre la prohibición de ruidos de 1954, es evidente que ya existía un poco más de libertad en el periodismo, porque acerca de ése exteriorizan que «ha logrado por lo pronto una gran resonancia humorística, ya que no hay caricatura humorista que no haya tomado este tema para su jocosa labor» (Vanguardia, 1954).

### 8.1. La gran campaña del Bando del Silencio de 1956

Esta forma de identificar a las acciones anti-ruido como de ‘silencio’ nació en Barcelona en 1955, y Madrid adoptó el mismo mote para su campaña matritense, que tomaron un matiz más enfático que las catalanas por lo que se lee en la prensa, tal vez porque se trataba de la ciudad capital de España. La mayor trascendencia pública fue la campaña de 1956 (ver Fig. 6), porque la alcaldía



Figura 6. Extractos del diario *Hoja del lunes*, de julio de 1956.

pegó carteles con el *Bando del silencio* en las esquinas de Madrid, así la gente podía conocer sus alcances, pero no se logró lo que esperaban los habitantes de Madrid de ‘silenciar’ o volver más tranquilas las noches veraniegas (Lunes, 1956-a) (Lunes, 1956-b).

Para la campaña estival de 1957, el ayuntamiento de Madrid dio dos meses de plazo para que las motocicletas utilicen un silenciador, y que estaba esperando la importación de un «fonómetro» para hacer los controles del nivel sonoro de sus escapes, y la prensa sin demora jocosamente y mordacidad se refirieron a que el intento quedaría en vano (Vanguardia, 1957).

Entre 1957-1959 el *Bando* de Madrid y el de Barcelona fueron ratificados con actualizaciones, siempre publicados durante el verano para asegurar el descanso nocturno, porque la gente tenía que dormir con las ventanas abiertas, y el ruido urbano no les permitía dormir tranquilamente, las cuales nunca tuvieron el éxito esperado por la vecindad y por la prensa, ya que editaron títulos como «En la campaña del silencio ha vencido el ruido» o «la Ley del silencio se acata pero no se cumple».

## 8.2. Los Bandos contra el ruido en otras ciudades españolas

Aparecen menciones en Internet que se realizaron campañas similares entre 1955 y 1959 en Huelva, Mallorca, Valencia, Bilbao, Tudela, Córdoba, Alicante y Sevilla; seguramente las hubo en otras ciudades, que para confirmarlas se debería hacer una indagación exhaustiva en archivos físicos.

## 9. Las primeras sociedades civiles que abogaron contra los ruidos molestos

Antes de la formación de la *Sociedad Española de Acústica*, se creó la sociedad cultural-filantrópica y cívica *Cauce* en junio de 1959, que entre sus integrantes había

personas preocupadas por los efectos negativos del ruido en la salud, y una de sus primeras acciones públicas para concienciar sobre ello, se concretó el 17 de julio de 1962 un *Coloquio antiruidos* en «La ballena alegre» (ABC, 1962) como parte de una campaña anti-ruido que estaban impulsando desde Madrid. Esas acciones primigenias convivían entre las distintas actualizaciones que sufrió el Bando del silencio entre 1960 y 1963.

Tal vez para diferenciarse del trabajo filantrópico de *Cauce*, aquellos que estaban más involucrados en la temática del ruido, formalizaron el 23 de julio de 1963 una sociedad civil de alcance nacional, a la que llamaron *Lucha Al Ruido* (LAR) –también mencionada por la prensa como ‘Sociedad Española contra el Ruido’– quedando constituida legalmente el 29 de noviembre, y Andrés Lara Sáenz se incorporó a su Consejo Consultivo el 18 de diciembre (ABC, 1963).

**Vínculos con los futuros creadores de la Sociedad Española de Acústica.** A partir de 1964 la sociedad LAR organizó una serie de Coloquios y eventos para concienciar sobre los problemas del ruido en las personas; en correos que el autor intercambió con Antonio Pérez López, aporta que él y otros acústicos del Instituto “Leonardo Torres Quevedo” colaboraron en algunas actividades de LAR.

## 10. El fonómetro del Instituto “Leonardo Torres Quevedo” y el primer plano de ruidos de Madrid

El 12 marzo de 1962 el diario *Hoja del Lunes* publicó un artículo firmado por José Gómez Figueroa, que comenta la participación de los acústicos del Instituto “Leonardo Torres Quevedo” en una campaña de mediciones de ruido en Madrid (ver Fig. 7), anunciando que esos resultados serían utilizados para realizar un *mapa de ruidos* de la ciudad (Gómez, 1962), también conocido como *plano de ruidos*, y en artículos siguientes escribió



Figura 7. Mediciones de ruido en calles de Madrid (1962). Primer mapa de ruido de Madrid (1963).

acerca de los beneficios para luchar contra el ruido con este avance de la ciencia, pero no todos los periodistas pensaban igual; con tono mordaz en una columna del 14 de marzo en el diario *ABC*®, firmada por el Conde de Yebes, da cuenta de su propia subjetividad frente al uso del «fonómetro» para registrar los niveles de ruido, y hasta desconfía de que la selección de puntos de medición sean representativos del ruido madrileño (Yebes, 1962).

Finalmente, en octubre de 1963 los medios de comunicación dan cuenta que el Instituto “Leonardo Torres Quevedo” estaba confeccionando el mapa (o plano) de ruido de Madrid, y el diario *ABC*® publicó una foto que muestra a dos investigadores del citado Instituto trabajando en ello (Cifra, 1963); el autor consultó quiénes son esas personas, y Antonio Pérez López aclara que «el de la izquierda es J. Salvador Santiago, físico, y a la derecha Julián García Zaragoza, técnico del laboratorio». En la fotografía de la izquierda oficiales de la Guardia Civil junto con el físico Antonio Pérez López realizando mediciones de ruido en las calles de Madrid.

## 11. La Ordenanza contra el ruido de abril de 1969

A raíz que la mayor queja era por el ruido de los motores, el Ministerio de Industria publicó una Orden en junio de 1960 y la Presidencia del Gobierno otra en julio de 1965, que imponían límites en valores de fonos a los ruidos de motocicletas y vehículos que variaban según categoría (Libertad, 1960) (Libertad, 1965); y a pesar de esas órdenes, los Bandos continuaban actualizándose año a año que, desde los medios, le pedían al alcalde que les ponga fin porque no eran de utilidad, y que se publique una ley.

Es indudable que los acústicos del Instituto “Leonardo Torres Quevedo” estaban sensibilizados por este problema, y en septiembre de 1967 realizaron el «Primer Coloquio Internacional sobre Control de Ruido», en el cual se gestó la *Sociedad Española de Acústica* (SEA, 1969), con la participación de funcionarios públicos. Tal vez motivado por todas las acciones anti-ruido que se venían concretando, el Alcalde de Madrid pidió al ayuntamiento que se emita una ordenanza que regule los ruidos, cuyas discusiones comenzaron en enero de 1968, de las que participaron Antonio Pérez López y Salvador Santiago colaborando como técnicos acústicos para dar apoyo científico al proyecto de reglamentar el ruido molesto.

La prensa pedía que la futura legislación estuviese a la altura de las capitales europeas, y acompañaron con muchos artículos lo que se iba concertando; finalmente, el 31 de diciembre de 1968 se logra un acuerdo en el seno del Ayuntamiento pasando el proyecto a verificaciones ministeriales, que fue aprobado definitivamente en

abril de 1969 como «Ordenanza municipal sobre protección del medio ambiente contra la emisión de ruidos y vibraciones» (Pueblo, 1969).

## 12. Conclusiones

En este artículo se resumieron las principales campañas anti-ruido que tuvieron lugar entre 1928 y 1963, que podrían dar lugar a escribir con mayor detalle cada una de ellas, dada la gran cantidad de información que existe en repositorios digitales, dejando el autor este desafío a otros investigadores.

Aquí solamente se tuvieron en cuenta aquellas fuentes de información que se enfocan en el ruido desde un punto de vista desde la Acústica, las menciones metafóricas al ruido en los medios de comunicación son innumerables que pueden dar lugar a escribir sobre la sociología o etnografía del ruido; el autor deja en claro que ha utilizado información que se accede libremente desde Internet.

En coincidencia con otras grandes ciudades del mundo, los habitantes de Madrid iniciaron las acciones anti-ruido en 1928, pero todos los esfuerzos gubernamentales para combatir el ruido en campañas sucesivas nunca dieron el resultado que esperaban. Respecto a la *Conferencia del ruido* de 1935, a criterio del autor sería la primera en su tipo que se realizó en España, porque tuvo un carácter interdisciplinario y estuvo dedicada sólo a la temática del ruido como un problema de salud mental e higiene pública.

La campaña por el silencio de 1956 por lo que se lee es la que más repercusión tuvo en la población, seguramente motivada por la ‘pegatina’ del Bando contra el ruido en las esquinas de Madrid; para 1957 desde el Ayuntamiento se anunciaba la adquisición de «fonómetros» para medir el ruido de los escapes de las motocicletas, iniciativa que se concretó en 1962 cuando el Instituto “Leonardo Torres Quevedo” fabricó uno, que con las mediciones que realizaron en las calles matritenses, confeccionaron ¿el primer? mapa de ruido de Madrid.

Respecto al trabajo de la sociedad *Lucha Al Ruido*, sus conferencias y acciones sociales, es una investigación que debería sistematizarse para que no quede en el olvido el compromiso que tuvo ese grupo de intelectuales y científicos, dado que en algunas de sus actividades participaron Andrés Lara Sáenz, Antonio Pérez López y otros destacados acústicos; se deja abierto también este desafío.

Vaya este artículo también a reconocer el trabajo emprendido por aquellos acústicos del Instituto “Leonardo Torres Quevedo”, que comenzaron la lucha de combatir la contaminación acústica realizando un mapa de ruido en 1963, que en octubre del 2023 se cumplirá el 60°

aniversario de ese logro científico, y es indubitable la importancia que tuvo la presencia de Antonio Pérez López, Salvador Santiago y otros acústicos, en la formalización de la primera ordenanza contra el ruido molesto de Madrid (y de España).

El autor quiere agradecer Antonio Pedrero González por sus aportes y comentarios, y especialmente a Antonio Pérez López quien con mucha paciencia va rememorando la historia reciente de la acústica española, aportando información importante que dan precisión a los datos encontrados; también a revisores y editores de la *Revista de Acústica* de la SEA, por la publicación de este artículo.

Se presenta este artículo bajo una única agenda de pura investigación científica acústica e 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 tienen financiamiento externo, ambos fueron realizados en el tiempo libre de su autor.

### 13. Referencias

Notas: Los artículos mencionados se acceden únicamente desde cada sitio del diario ABC® y *La Vanguardia*®, introduciendo en su buscador la fecha mencionada. El resto de los diarios y revistas se acceden desde el buscador de la Biblioteca Nacional de España o de la Biblioteca Virtual Prensa Histórica.

- ABC (1896) «*El Ruido*», de Zaragoza. Diario ABC 30/05/1896 p.15
- ABC (1962) *Coloquio antiruidos*. Diario ABC 10/07/1962, p.51
- ABC (1963) *Reunión de la Sociedad contra el Ruido*. Diario ABC 18/12/1963, p.87
- Ahora (1934) *Los cazadores de ruidos*. Revista Ahora 14/09/1934, p.17
- Beard, G. M. (1869) *Neurasthenia, or Nervous Exhaustion*. Boston Medical and Surgical Journal. April 29, 1869. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM186904290801301>
- Carabias, J. (1914) *La ciudad de los ruidos*. Bilbao. El Heraldo de Madrid 26/03/1914
- Caravaca, F. (1928) *Estruendópolis. Los ruidos diurnos y nocturnos de las calles de Madrid*. Diario El Liberal 04/08/1928, p. 3
- Cerda Gariot, E. de la (1902) *Ruidos molestos*. Diario La Vanguardia Año XXII n° 8107 p, 1. 16/02/1902
- Cifra (1963) *Un plano de ruidos*. Diario ABC 11/10/1963, p.13

- Construcción (1935) *Los efectos del ruido*. Revista La construcción moderna n.º 17, 01/09/1935 p.16
- Correspondencia (1913) *Contra el «alirón»*. La Correspondencia de España, 13/09/1913 p. 5
- Corresponsal, El (1843 ) *Primer ómnibus*. El Corresponsal, 03/04/1843 p.3
- Cossio, Francisco de (1929) *El ruido*. De aplicación a la vida. Revista Algo 07/09/1929, n° 25 p. 5
- Diluvio, El (1930) *Los ruidos innecesarios*. Crónica diaria. Diario El Diluvio 31/07/1930, p.7
- Editorial (1896) *Contra el ruido*. De todas partes. El Correo español N° 2500 p.1, 30 de diciembre de 1896
- Eléctrica, La energía (1899) *El automovilismo eléctrico. Sus ventajas y su porvenir*. n.º 18 p.277
- Electrón (1905) *Canoas eléctricas*. Revista 20/7/1905, n.º 290
- Época, La (1900) *El carnaval en Madrid*. 26/2/1900 n.º 17.860 página 3
- Época, La (1915) *Por la cultura de Madrid*. Un Bando del alcalde, Diario La Época, 28/09/1915 p.3
- Época, La (1920) *¿Madrid ciudad incómoda? La lucha contra el ruido. Para el señor alcalde*. Diario La Época 10/07/1920, p. 6
- Gerundio, Fr. (1837) *Fray Gerundio con la pluma en la mano*. Fray Gerundio, Capillada 26 p.238
- Gerundio, Fr. (1839) *Ayuda Fr. Gerundio el sermón que dejó cortado en la Capillada 118*. Fray Gerundio, Capillada 130 p.427
- Gómez Figueroa, J. (1962) *La Jefatura Central de Tráfico adopta un nuevo aparato para medir los ruidos*. Hoja del Lunes. 12/03/1962, p.22
- Gutiérrez (1930) *Los ruidos callejeros*. Revista Gutiérrez 18/01/1930, p.20
- Imparcial, El (1932) *El ruido y la vida psíquica*. Diario El Imparcial 10/06/1932, p.5
- Ingenieros (1928) *Los ruidos en los tranvías eléctricos*. Crónica científica. Revista Memorial de ingenieros del Ejército. Año LXXXIII n° XI
- Libertad, La (1932) *El Doctor Sacristán*. La semana de higiene ambiental. Diario La Libertad 07/06/1932, p.9
- Libertad (1960) *Contra los ruidos de las motocicletas*. Libertad diario nacional-sindicalista, 02/07/1960 p.2
- Libertad (1965) *Nota de la Alcaldía sobre motocicletas y motocarros*. Libertad diario nacional-sindicalista, 22/06/1960 p.5

- Lunes (1956-a) *La conquista del silencio*. Diario Hoja del lunes 06/07/1956, p.1
- Lunes (1956-b) *Pasado mañana entrará en vigor el bando del silencio*. Diario Hoja del lunes 13/08/1956, p.3
- Medrano, J. Larios de (1919) *Lejos del mundanal ruido. El veraneo de Ortega y Gasset. Palabras del cate-drático de Meta-física de la Universidad Central*. Dia-rio El Liberal 26/09/1919, p.1
- Mentidero, El (1913) *¡Ti, ta, ta, to, to, to!...* Revista El Mentidero n.º 34 p.15-16
- Montano, W.; Martínez-Pascal, N. (2021-a) *La lucha con-tra el ruido de altavoces y de las bocinas en Barcelo-na entre 1930 y 1935*. Revista de Acústica Vol. 52 N.os 1 y 2
- Montano, W.; Martínez-Pascal, N. (2021-b) *Los primeros grupos anti-ruido con sus campañas por la lucha de un «Día sin ruido»*. Revista ECOS Vol.2(1)2 <https://doi.org/10.36044/EC.V2.N1.2>
- Montano, W. A. (2022) *Public concern and measure-ments of noise in the city*. Revista Noise/News Inter-national, 2022-01-14. <http://noisenewsinternational.net/public-concern-and-measurements-of-noise-in-the-city/>
- Montserrat y Archs, J. (1881) *Historia natural del hombre, los elementos extranjeros en américa*. El Mundo ilus-trado n.º 159 p.461.
- Moro Muza, El (1863) *Comunicado*. El Moro Muza N° 51, 20/9/1863 p.407
- Nación, La (1930) *Fuera de España*. Informaciones rápi-das de todo el mundo. Diario La Nación 25/02/1930, p. 5
- Ondas (1926) *Fotografía* p.31. Revista Ondas Año II n° 45, 25/04/1926
- Organización (1932) *Higiene mental en la industria*. Re-vista de Organización científica 30/09/1932, p.147
- Hormigón (1935) *Aparatos para medición del sonido*. Re-vista Hormigón y Acero N° 14, p. 38
- País, El (1908) *Los automóviles*. Año XXII n° 7.637 3/07/1908 p.2
- Pedroza, S. (2021) *¿Quién inventó el autobús?* Muy Tec-nológicos 03/12/2021. <https://muytecnologicos.com/historia/quien-invento-el-autobus>
- Pete (2016) *Una huelga general por el ruido y manifesta-ciones en la calle*. Blog Agente Provocador. <http://www.agenteprovocador.es/publicaciones/huelga-general-por-el-ruido>
- Pueblo (1969) *Aprobada la ordenanza contra el ruido*. Diario del Trabajo Nacional, 01/05/1969 p.16
- SEA (2019) *50 años. Resumida historia de la vida y obra de la Sociedad Española de Acústica 1969-2019*
- Siglo (1913) *Bando del Alcalde*. En el ayuntamiento. Dia-rio El Siglo Futuro, 11/09/1913 p.3
- Siglo (1935) *Los ruidos callejeros*. Diario El Siglo Futuro, 11/07/1935 p.26
- Sol, El (1931) *Se quiere que Madrid sea una ciudad silen-ciosa y que sean cerrados las sacramentales*. Intereses de Madrid. Diario El Sol 22/10/1931, p.4
- Unamuno, M. de (1902) *Ciudad y campo*. Revista Nues-tro tiempo Tomo II (julio a diciembre)
- Urbe (1935) *Los efectos del ruido*. Revista Urbe n.º 3, 09/08/1935 p.16
- Valdivielso, J. S. (1934) *El ruido, en huelga*. Mirilla. Diario El siglo futuro 06/09/1934, p.1
- Vanguardia (1953) *Bando del alcalde sobre los ruidos*. En Madrid. La Vanguardia Española 07/07/1953, p.3
- Vanguardia (1954) *Resonancia de la campaña contra los ruidos*. En Madrid. La Vanguardia Española 11/07/1954, p.9
- Vanguardia (1957) *Esperando un fonómetro*. En Madrid. La Vanguardia Española 31/08/1957, p.5
- Yebes, Conde de (1962) *A propósito del «fonómetro»*. Diario ABC 14/03/1962 edición matutina, p.73



DISEÑADO PARA SU TRABAJO

# Presentamos el sonómetro HBK 2255

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

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



# ¿Pierden mucha inteligibilidad los oyentes si el orador utiliza una mascarilla facial?



Daniel de la Prida<sup>1</sup>, José Julián Gallardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Carlos III de Madrid

PACS: 43.55; 43.71

## Resumen

Las mascarillas faciales son un elemento de seguridad sanitaria. Al colocarse frente a la boca del emisor acústico, las ondas sonoras experimentan, en su propagación, una resistencia adicional a la del aire, lo que puede disminuir la inteligibilidad de algunas frecuencias, al llegar con menos energía a los oídos de los receptores. Este estudio busca valorar, tanto de manera objetiva como subjetiva, la influencia de diferentes tipos de mascarillas faciales en la inteligibilidad de la palabra.

Se llevaron a cabo mediciones de respuesta en frecuencia y directividad de una fuente sonora de voz normalizada sin mascarilla, y con tres tipos de mascarillas: quirúrgica, FFP-2 y de tela. Después se realizó un modelo acústico virtual de un recinto, calibrado con mediciones reales, en el que se introdujo un emisor acústico con los valores medidos de nivel, directividad y respuesta en frecuencia. Con este modelo se realizaron dos tareas: (1) la extracción de parámetros acústicos relacionados con la inteligibilidad, y (2) la obtención de auralizaciones, con las distintas configuraciones de emisor, para un discurso con voz masculina y otro con voz femenina. Finalmente, se realizó un test perceptual con estas auralizaciones, para cuantificar la percepción de pérdida de inteligibilidad.

Los resultados objetivos y subjetivos indican una pérdida significativa de la inteligibilidad al usar mascarillas faciales, siendo la pérdida muy grande con las mascarillas FFP-2 y de tela y moderada con la quirúrgica.

**Palabras clave:** inteligibilidad, mascarilla, percepción.

## Abstract

Face masks are an element of health safety. When placed in front of the mouth of an acoustic emitter, sound waves experience, in their propagation, an additional resistance to that of the air. This may decrease the intelligibility of some frequencies, as they reach the ears of the receivers with less energy. This study seeks to assess, both objectively and subjectively, the influence of different types of face masks on speech intelligibility.

Frequency response and directivity measurements were carried out on a standardized speech sound source both without a mask, as well as with three types of face masks: surgical, FFP-2 and cloth. Then, a virtual acoustic model of a venue was made, which was calibrated with real measurements. In this model, an acoustic emitter was placed with the acquired values of level, directivity and frequency response. Two tasks were performed with this model: (1) the extraction of acoustic parameters related to intelligibility, and (2) the obtaining of auralizations, with the different emitter configurations, for a speech with a male voice and another with a female voice. Finally, a perceptual test was performed with these auralizations to quantify the perceived loss of intelligibility.

The objective and subjective results indicate a significant loss of intelligibility when using face masks, the loss being strong for the FFP-2 and cloth masks and moderate for the surgical mask.

**Keywords:** intelligibility, face mask, perception.

## 1. Introducción

Las mascarillas faciales son un elemento clave en la seguridad sanitaria ante patógenos que se propaguen por el aire. Sin embargo, al ser un elemento que se sitúa entre la boca del orador y el medio de propagación de las

ondas sonoras, éstas pueden tener cierto impacto en la transmisión de mensajes orales y su recepción clara.

Este impacto ya era conocido [1] y, tal y como se menciona en [2], había sido objeto de estudio en el pasado, puesto que este tipo de mascarillas ha sido muy

utilizado históricamente en algunos ambientes como los quirófanos o las consultas de odontología. Sin embargo, el uso generalizado de las mascarillas con motivo de la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, ha generado que la sociedad haya sufrido de manera muy marcada el impacto de las mascarillas faciales sobre la comunicación de los mensajes orales. Este hecho ha suscitado la realización de numerosos estudios científicos [2–7], siguiendo metodologías diversas, para indagar en los efectos acústicos derivados del uso de mascarillas sanitarias. Algunos de estos estudios se han centrado principalmente en la determinación de los cambios acústicos en la emisión de los mensajes [3,5], mientras que otros han indagado, adicionalmente, en los aspectos perceptuales relacionados con su recepción por los oyentes [2,4,6,7].

El estudio presentado pertenece al último grupo, y tiene como finalidad valorar, tanto de manera objetiva como subjetiva, la influencia de diferentes tipos de mascarillas faciales sobre la emisión de mensajes orales y su inteligibilidad.

Para ello, en primer lugar, se caracterizó objetivamente el efecto de diferentes tipos de mascarillas; a saber, quirúrgica, FFP-2 y de tela, sobre el nivel, la respuesta en frecuencia y la directividad de los emisores acústicos.

En segundo lugar, se realizó un modelo acústico de un recinto real, en particular, la Sala Teatro Arapiles 16 (Madrid), que fue calibrado con mediciones reales, para poder simular con precisión el efecto que tiene sobre diferentes parámetros acústicos el hecho de aplicar una determinada mascarilla facial a un emisor acústico situado en el escenario.

A continuación, y utilizando para ello el modelo acústico virtual diseñado, se realizaron auralizaciones, tanto para un discurso con voz masculina como para otro con voz femenina. Con ello, se obtuvieron ficheros sonoros de cada discurso en distintas situaciones: (1) emisor sin mascarilla, (2) emisor con mascarilla quirúrgica, (3) emisor con mascarilla de tela y, (4) emisor con mascarilla FFP-2.

Finalmente, se llevó a cabo un *listening test*, con la finalidad de valorar, mediante una estrategia de comparación, qué ficheros sonoros resultaban más inteligibles a los participantes.

## 2. Metodología

En esta sección se presenta la metodología seguida para la realización de los diferentes bloques que articulaban la investigación: (1) caracterización objetiva del efecto sobre la emisión acústica del empleo de diferentes

mascarillas, (2) realización del modelo acústico virtual y obtención de auralizaciones, (3) diseño, realización y análisis del *listening test*.

### 2.1. Caracterización objetiva del emisor acústico

Con la finalidad de evaluar la influencia sobre la emisión acústica del uso de los diferentes tipos de mascarilla, se llevaron a cabo mediciones de la respuesta en frecuencia y directividad en cámara anecoica.

El emisor acústico considerado fue una fuente simuladora de voz Echo Speech de Brüel and Kjaer. Esta fuente está diseñada para emitir con una directividad equivalente a la de un emisor humano. Además, junto con ella se aportan ciertas señales que permiten recrear la respuesta en frecuencia y nivel de emisión de un mensaje oral. La fuente, tal y como se muestra en la Figura 1, dispone de dos arcos metálicos en su parte posterior, que permitieron una gran sujeción y un perfecto ajuste de las mascarillas a la fuente Echo.

La fuente Echo se situó sobre una mesa giratoria, que, configurada de manera solidaria con el sistema de adquisición de datos utilizado (Pulse de Brüel and Kjaer), permitió obtener medidas del nivel de presión sonora alrededor de la fuente, con una precisión de 5°. La toma de niveles se realizó mediante un micrófono omnidireccional, conectado al sistema de adquisición de datos descrito, a una distancia de 1 m. de la fuente Echo, y situado a la altura necesaria como para encontrarse a la misma altura que el centro acústico de la fuente. Las medidas de directividad se realizaron únicamente en el eje horizontal (azimuth), considerándose la elevación 0°, es decir, frente al altavoz. Para las mediciones, la fuente Echo emitió de manera continuada una señal de banda ancha que recrea las características espectrales y el nivel de emisión de una voz humana, con un esfuerzo vocal normal.



Figura 1. Fotografía de la fuente sonora Echo Speech (B&K).

## 2.2. Modelado virtual de la Sala Teatro Arapiles 16

Para poder realizar este y otros estudios futuros relacionados con los cambios en la directividad, nivel y espectro de emisión de la voz humana, debidas al uso de mascarillas, se decidió utilizar modelos virtuales. Otro posible abordamiento, diferente del usado, podría haber sido comparar el comportamiento acústico medido en la Sala Teatro Arapiles 16, emitiendo con la fuente Echo, con los diferentes tipos de mascarilla y realizar grabaciones in-situ de los discursos, para poder utilizarlos como estímulos en el *listening test*.

Sin embargo, al haber caracterizado objetivamente la fuente sonora en cámara anecoica era más eficiente, para llevar a cabo un estudio preciso y poder realizar posibles estudios futuros, la utilización de modelos virtuales, en los que se pudiesen cargar las características de emisión de la fuente sonora con los diferentes tipos de mascarilla.

Para realizar el modelo tridimensional, en primer lugar, se visitó la sala y se acoto ésta de manera métrica, teniendo en cuenta todos aquellos elementos geométricos, cuya dimensión inferior fuese mayor de 15 cm. Además, se estudiaron visualmente los materiales de las superficies de la sala, a fin de poder estimar su absorción sonora. Con estas medidas, y utilizando el software Sketchup®, se realizó el modelo tridimensional (Figura 2) que posteriormente fue cargado en el software de simulación acústica Odeon®.

Este modelo acústico fue calibrado, siguiendo el procedimiento expuesto en [8], con mediciones reales de la respuesta impulsiva, realizadas en el teatro, mediante una fuente dodecaédrica, un micrófono omnidireccional y el software de medida Dirac v. 6.0. De esta manera se aseguró que las características de absorción, asignadas en el modelo a las superficies de la sala, eran representativas del comportamiento acústico real del recinto. Además, se asignó en el modelo el nivel de ruido de fondo habitual en el teatro, obtenido mediante mediciones, para poder estimar datos realistas de la inteligibilidad objetiva, mediante el cálculo del *Sound Transmission Index* (STI).

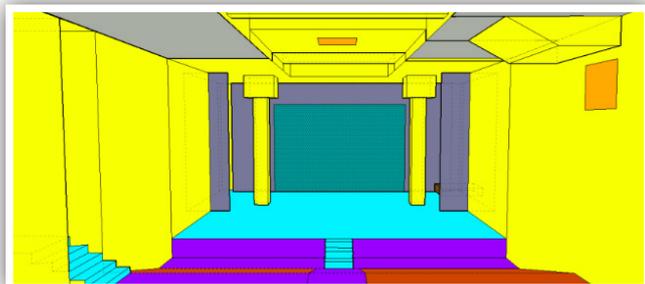


Figura 2. Vista interior del modelo del teatro en Sketchup.

Una vez calibrado el modelo, se situó un emisor acústico en el escenario y varios receptores en las zonas de audiencia (Figura 3). Esto permitió conocer el comportamiento acústico para varias combinaciones de emisor y receptor de manera precisa, así como obtener las auralizaciones.

Adicionalmente, se situó una rejilla de evaluación sobre el área de audiencia, para poder visualizar la variación de algunos parámetros acústicos, tales como la definición (D50) y el STI en los diferentes puntos de la sala, para el emisor acústico con diferentes características de emisión, es decir, con diferentes tipos de mascarilla.

Se repitió el cálculo del comportamiento acústico del recinto y las auralizaciones para cada combinación de emisor y receptor (Figura 3) y para las distintas configuraciones de emisión acústica (fuente vocal): (1) sin mascarilla, (2) con mascarilla quirúrgica, (3) con mascarilla de tela y, (4) con mascarilla FFP-2.

## 2.3. Diseño, realización y análisis del *listening test*

Para valorar el efecto perceptual de los cambios en las características del emisor, por el uso de las diferentes mascarillas, se llevó a cabo un *listening test* o prueba de escucha.

Esta prueba se diseñó siguiendo una estrategia de consulta basada en un protocolo de testeo de las diferencias (*Difference Testing*) que suscita sobre los participantes una gran capacidad de discriminación [9], conocido como 2-AC.

En esta prueba (Figura 4), cada participante comparaba entre sí, de manera ciega, todas las posibles combinaciones de auralizaciones de un discurso, para un mismo conjunto emisor – receptor. Es decir, por ejemplo, para el emisor situado en el punto rojo 1 – P1 y el receptor situado en el punto azul 8 – R8, el participante com-

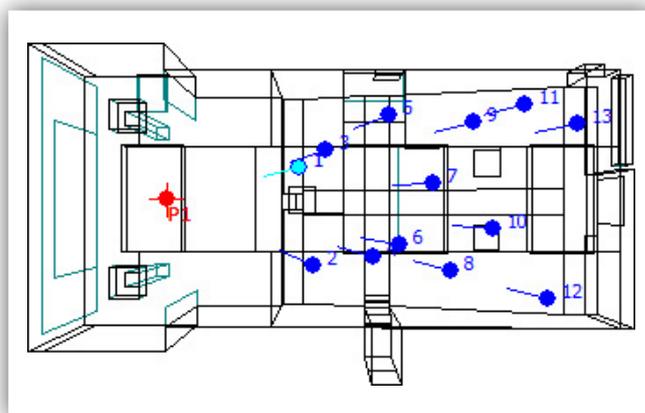


Figura 3. Vista cenital de modelo acústico en Odeon® con fuente (en rojo) y receptores (en azul).



Figura 4. Interfaz de la prueba, basada en protocolo 2-AC.

paraba entre sí la inteligibilidad de las combinaciones siguientes:

- a) Sin mascarilla – Mascarilla quirúrgica
- b) Sin mascarilla – Mascarilla de tela
- c) Sin mascarilla – Mascarilla FFP-2
- d) Mascarilla quirúrgica – Mascarilla de tela
- e) Mascarilla quirúrgica – Mascarilla FFP-2
- f) Mascarilla de tela – Mascarilla FFP-2

Esta prueba fue realizada por cada participante para tres conjuntos emisor – receptor de los mostrados en la Figura 3, P1-R1, P1-R8 y P1-R13, y para un discurso de voz masculina y otro de voz femenina. Por ello, en total, cada participante realizó 6 pruebas de tipo 2-AC. Estas pruebas, así como el orden de los estímulos en cada comparación, fueron aleatorizados para cada participante, a fin de asegurar la independencia estadística.

Los resultados del *listening test* fueron analizados mediante Modelos Thurstonianos [10], teniendo en cuenta de manera combinada los resultados de todos los participantes. De manera resumida, se puede comentar que los Modelos Thurstonianos (Figura 5) consideran que la percepción de un estímulo sonoro, con respecto a un parámetro (la inteligibilidad en este caso), puede describirse mediante una distribución de probabilidad. Teniendo este hecho en cuenta y, considerando que en cada juicio de cada prueba se comparan dos estímulos sonoros, la diferencia perceptual entre ellos se puede determinar como la distancia entre las distribuciones que representan ambos estímulos. Esta distancia, conocida como *d*-prima (*d'*) se mide en número de desviaciones típicas. Entre las bondades de la métrica *d'* se encuentra que es una métrica continua (otras utilizadas suelen ser

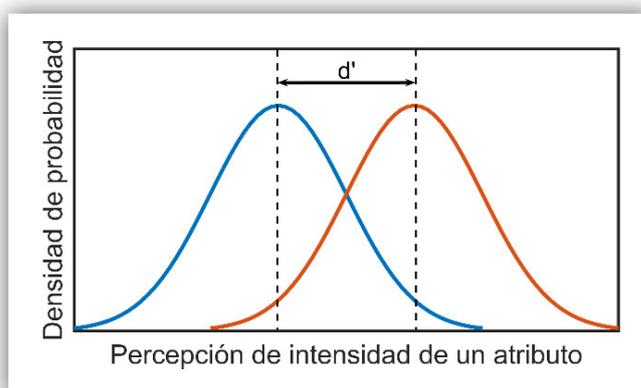


Figura 5. Diferencia perceptual mediante Modelos Thurstonianos..

discretas) e insesgada. En combinación con el *p*-valor aporta información acerca de la cantidad de diferencia perceptual y la significancia de ésta. Es decir, expone cómo de grande es la diferencia entre dos estímulos y si, con esa diferencia, los estímulos se perciben como significativamente diferentes o no.

### 3. Resultados

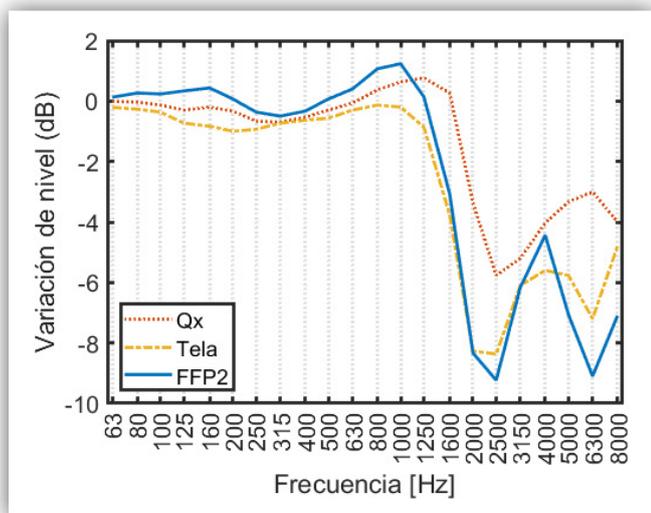
En esta sección se presentan los principales resultados de la investigación. En primer lugar, se muestran los resultados de la caracterización objetiva del emisor acústico, en términos de respuesta en frecuencia, tanto sin mascarilla como con los tres tipos de mascarilla. A continuación, se presenta la variación del STI, para las posiciones de receptor planteadas en el modelo. Por último, se muestran los resultados de diferencia de inteligibilidad perceptual, para las diferentes configuraciones de emisor y los puntos de receptor seleccionados para las auralizaciones.

#### 3.1. Variación objetiva de la emisión sonora

El efecto de las diferentes mascarillas faciales sobre la emisión sonora de la fuente Echo puede observarse fácilmente a partir de la respuesta en frecuencia y directividad del emisor, tanto sin mascarilla como con las tres mascarillas evaluadas.

La Figura 6 muestra la diferencia entre la respuesta en frecuencia de la fuente Echo con cada una de las mascarillas y la respuesta en frecuencia de ésta, pero sin mascarilla.

Como se puede observar en la Figura 6, el hecho de ajustar una mascarilla a la fuente Echo tiene una influencia significativa sobre la respuesta en frecuencia, que comienza a ser muy marcada en bandas de 1/3 de octava superiores a la de 800 Hz. En particular, para frecuencias superiores a 1 kHz, las reducciones de nivel son moderadas, de hasta unos 5 dB, para la mascarilla



**Figura 6.** Variación del nivel de emisión, con respecto a la respuesta en frecuencia de la fuente sin mascarilla. Mascarilla quirúrgica (naranja), con mascarilla de tela (amarilla) y con mascarilla FFP-2 (azul).

quirúrgica. Estas reducciones de nivel son aún más marcadas, de alrededor de 10 dB para las mascarillas de tela y FFP-2. Estos resultados se encuentran en la línea de lo observado en otras investigaciones y son especialmente coherentes con lo presentado por Poveda et al. [2]. También puede observarse cómo tanto la mascarilla quirúrgica como la FFP-2 producen un ligero realce, próximo a 2 dB, entre las bandas de 800 y 1250 Hz, que no puede observarse para la mascarilla de tela.

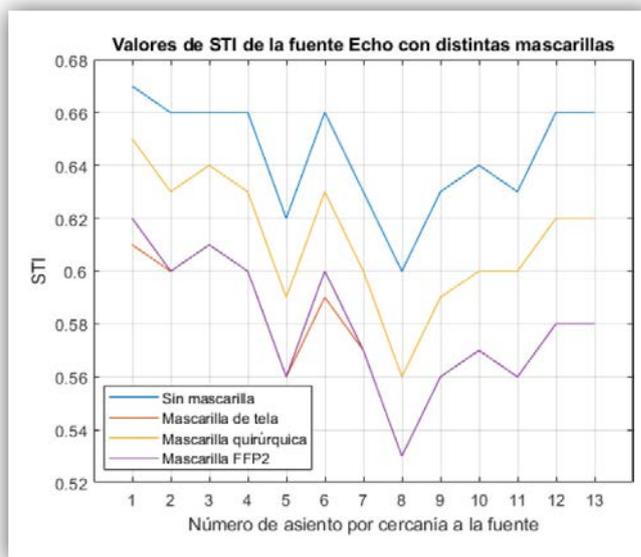
Con respecto a la directividad, por brevedad, no se muestran resultados. Esto es así puesto que no se encontraron grandes diferencias significativas en la forma de la directividad, más allá de la atenuación general en la respuesta en frecuencia por el efecto de las diferentes mascarillas. Estos resultados se encuentran en la línea de los mostrados en otras investigaciones como [3], donde se menciona que sólo para muy contados modelos de mascarillas la directividad cambia de manera significativa, para algunas frecuencias particulares.

### 3.2. Influencia sobre parámetros de inteligibilidad

Una vez realizado y calibrado el modelo acústico de la sala, se pudo observar la influencia que tiene sobre ciertos parámetros acústicos el hecho de modificar las características de radiación del emisor acústico.

En particular, se ha estudiado la variabilidad de un parámetro especialmente relevante, el STI.

A la vista de los resultados presentados en la Figura 7, el efecto acústico de la mascarilla tiene una relevancia significativa sobre el STI estimado en cada uno de los puntos de recepción. Mientras que sin mascarilla (azul) la inteligibilidad en el recinto es buena para todos los pun-



**Figura 7.** Valores de STI, desde el punto de recepción más cercano al emisor, hasta el más lejano (Figura 3). Sin mascarilla (azul), con mascarilla de tela (naranja), con mascarilla quirúrgica (amarillo) y con mascarilla FFP-2 (morado).

tos de recepción, ésta pasa a ser entre aceptable y buena para la mascarilla quirúrgica, dependiendo del punto. Para las mascarillas de tela y FFP-2, la inteligibilidad pasa a ser, mayoritariamente aceptable, excepto para los puntos más cercanos al emisor, donde se puede considerar buena.

En general, el índice STI pierde entre 5 y 8 puntos porcentuales para todos los puntos de recepción en el caso de las mascarillas con mayor atenuación, la de tela y la FFP-2.

### 3.3. Diferencias perceptuales de inteligibilidad para las diferentes configuraciones de emisor

El *listening test* descrito en el apartado de metodología, se llevó a cabo por 15 participantes, que compararon entre sí, de manera ciega, la inteligibilidad de la palabra para las diferentes configuraciones de emisor. Esta comparación se realizó para tres de los puntos de recepción de la sala (M1, M8 y M13) y para dos discursos, uno masculino y uno femenino. La Tabla 1 y la Tabla 2 presentan los resultados de *d-prima* ( $d'$ ), mostrando, además, información acerca de la significancia de la diferencia, mediante el *p-valor*, para los discursos masculino y femenino, respectivamente.

De antemano cabe esperar, a la vista de los resultados objetivos, una diferencia significativa entre escuchar un mensaje emitido por un emisor sin mascarilla y cualquier tipo de mascarilla, pero no cabría encontrar diferencias significativas, al menos mayoritariamente, entre la inteligibilidad percibida con mascarilla FFP-2 y de tela.

Valores negativos de la métrica  $d'$  indican que el primer elemento de la comparación fue percibido como más inteligible, mientras que positivos indican que el más inteligible fue el segundo elemento de la comparación. El valor absoluto de la métrica  $d'$  representa la distancia perceptual entre los estímulos comparados.

**Tabla 1.**  $d'$  (con información de p-valor) para cada combinación de auralizaciones. Discurso masculino. (-) p-valor > 0.05; (\*)  $0.001 < p < 0.05$ ; (\*\*) p-valor < 0.001.

Comparación	P1-M1	P1-M8	P1-M13
S.M. – Q.	-0.61 <sup>-</sup>	-1.24 <sup>*</sup>	-0.54 <sup>-</sup>
S.M. – T.	-1.04 <sup>*</sup>	-1.38 <sup>*</sup>	-1.85 <sup>**</sup>
S.M. – FFP-2	-2.12 <sup>**</sup>	-1.85 <sup>**</sup>	-1.89 <sup>**</sup>
Q. – T.	-1.37 <sup>*</sup>	-0.15 <sup>-</sup>	-0.42 <sup>-</sup>
Q. – FFP-2	-1.43 <sup>*</sup>	-1.66 <sup>**</sup>	-1.71 <sup>**</sup>
T. – FFP-2	-0.76 <sup>-</sup>	-0.48 <sup>-</sup>	-0.88 <sup>*</sup>

**Tabla 2.**  $d'$  (con información de p-valor) para cada combinación de auralizaciones. Discurso femenino. (-) p-valor > 0.05; (\*)  $0.001 < p < 0.05$ ; (\*\*) p-valor < 0.001.

Comparación	P1-M1	P1-M8	P1-M13
S.M. – Q.	-1.00 <sup>*</sup>	-0.25 <sup>-</sup>	0.13 <sup>-</sup>
S.M. – T.	-1.19 <sup>*</sup>	-1.19 <sup>*</sup>	-1.38 <sup>*</sup>
S.M. – FFP-2	-1.85 <sup>**</sup>	-1.04 <sup>*</sup>	-2.12 <sup>**</sup>
Q. – T.	-1.00 <sup>*</sup>	-0.14 <sup>-</sup>	-0.35 <sup>-</sup>
Q. – FFP-2	-1.23 <sup>*</sup>	-1.37 <sup>*</sup>	-1.57 <sup>*</sup>
T. – FFP-2	0.19 <sup>-</sup>	-0.88 <sup>*</sup>	-1.00 <sup>*</sup>

Tal y como se puede observar en ambas tablas, la pérdida de inteligibilidad es notable cuando el orador lleva cualquier tipo de mascarilla. Esta pérdida es más marcada en el caso de la mascarilla FFP-2 que para las demás. Cuando los participantes compararon la auralización sin mascarilla y la compararon con aquella con mascarilla FFP-2, la diferencia percibida de inteligibilidad fue extremadamente marcada. Adicionalmente, tan sólo en contadas ocasiones, cuando el orador lleva una mascarilla quirúrgica, no se percibe diferencia en la inteligibilidad con respecto a no llevar mascarilla.

Además, revisando los resultados de la comparación entre la mascarilla de tela y la FFP-2, se puede observar que, en la mitad de las situaciones evaluadas, los participantes no fueron capaces de discernir una diferencia de inteligibilidad entre los audios generados a partir de las características de emisor de una y otra. Estos resultados son esperables, a la vista de las pequeñas diferen-

cias observadas en la atenuación aportada al emisor por cada una de estas mascarillas. También se pueden explicar observando las pequeñas diferencias en el STI estimado, para ambos tipos de mascarillas.

El único comportamiento llamativo es el observado para la comparación entre la mascarilla quirúrgica y la de tela. Hay ocasiones en la que los participantes son capaces de discernir la diferencia entre las parejas de auralizaciones “Quirúrgica - FFP-2” y “Tela – FFP-2” y, sin embargo, no fueron capaces de discernir claramente entre “Quirúrgica y Tela”. Este comportamiento podría deberse a una especial influencia, para esos puntos de recepción, de las frecuencias por debajo de 1000 Hz en esas situaciones, donde las atenuaciones aportadas por las mascarillas quirúrgica y de tela son similares, y relativamente diferentes a las generadas por la mascarilla FFP-2. Sin embargo, este caso particular debería estudiarse en mayor detalle.

## 4. Conclusiones

El uso de mascarillas sanitarias modifica de manera pronunciada la respuesta en frecuencia de la emisión vocal en las bandas de 1/3 de octava superiores a 800 Hz. Asimismo, el uso de mascarillas sanitarias también modifica, de alguna manera la directividad, aunque su efecto es muy poco notable en comparación con el generado sobre la respuesta en frecuencia.

Los cambios generados sobre la emisión acústica conllevan, a su vez, una modificación de la transmisión sonora. Así, se ha comprobado cómo, en un recinto de tamaño mediano y destinado a la palabra, el uso de mascarillas reduce el valor de parámetros relacionados con la inteligibilidad de la palabra, como el STI.

Por último, se ha podido comprobar que los efectos observados de manera objetiva mediante la variación del STI tienen un impacto directo sobre la percepción de las personas, que perciben como menos inteligibles los mensajes orales si el emisor acústico lleva puesta una mascarilla facial.

Tanto en la caracterización objetiva como en la subjetiva se ha determinado que la inteligibilidad se reduce de manera muy marcada con el uso de las mascarillas FFP-2 y de tela y moderadamente para la mascarilla quirúrgica, aunque, en ocasiones, ésta última no supone una pérdida significativa de la inteligibilidad, con respecto a no llevar mascarilla.

## 5. Agradecimientos

Los autores de esta investigación quieren agradecer al laboratorio Arquilav de la Universidad Politécnica de Madrid el préstamo de algunos de los equipos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

## 6. Referencias

- [1] Palmiero AJ, Symons D, Morgan III JW, Shaffer RE. Speech intelligibility assessment of protective face-masks and air-purifying respirators. *J Occup Environ Hyg* 2016;13:960–8.
- [2] Poveda-Martínez P, Carbajo San Martín J, Marco-Montejano A, Camacho-García C, Castillo-Ginés AB, Bleda S, et al. La influencia de la mascarilla COVID-19 en la inteligibilidad de palabra en el aula 2021.
- [3] Pörschmann C, Lübeck T, Arend JM. Impact of face masks on voice radiation. *J Acoust Soc Am* 2020;148:3663–70.
- [4] Bottalico P, Murgia S, Puglisi GE, Astolfi A, Kirk KI. Effect of masks on speech intelligibility in auralized classrooms. *J Acoust Soc Am* 2020;148:2878–84.
- [5] Corey RM, Jones U, Singer AC. Acoustic effects of medical, cloth, and transparent face masks on speech signals. *J Acoust Soc Am* 2020;148:2371–5.
- [6] Magee M, Lewis C, Noffs G, Reece H, Chan JCS, Zaga CJ, et al. Effects of face masks on acoustic analysis and speech perception: Implications for peri-pandemic protocols. *J Acoust Soc Am* 2020;148:3562–8.
- [7] Choi Y-J. Acoustical measurements of masks and the effects on the speech intelligibility in university classrooms. *Appl Acoust* 2021;180:108145.
- [8] Pedrero A, De la Prida D, Marandet L, Sánchez JL, Navacerrada MÁ, Díaz C. Perceptual Validation of Virtual Acoustic Models. *INTER-NOISE NOISE-CON Congr. Conf. Proc.*, vol. 259, Institute of Noise Control Engineering; 2019, p. 6923–31.
- [9] de la Prida D, Pedrero A, Navacerrada MÁ, Díaz-Chyla A. Methodology for the subjective evaluation of airborne sound insulation through 2-AC and Thurstonian models. *Appl Acoust* 2020;157:107011.
- [10] Lee H-S, O'Mahony M. Sensory difference testing: Thurstonian models. *Food Sci Biotechnol* 2004; 13:841–7.

<b>Índice de anunciantes</b>	
	<b>Pág.</b>
<b>Ingeniería Acústica García-Calderón</b>	<b>2</b>
<b>HBK</b>	<b>15</b>
<b>Cesva Instruments</b>	<b>30-31</b>
<b>SAES</b>	<b>36</b>
<b>Sto</b>	<b>40</b>
<b>Sound of Numbers</b>	<b>45</b>
<b>Audiotec</b>	<b>93</b>

# Sistemas de afinación en música desde el punto de vista de las matemáticas



María Aguado Yáñez<sup>1</sup>, Ángel Rivas Vargas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitat Pompeu Fabra

<sup>2</sup> Departamento de Física Teórica, Universidad Complutense de Madrid

PACS: 43.75.-z, 43.75.+a.

## Resumen

Dentro de la rama de la acústica musical, la evolución que han seguido los principales sistemas de afinación occidentales puede ser analizada a través de modelos matemáticos, dado que un sistema de afinación es un conjunto de relaciones matemáticas impuestas sobre frecuencias. Este artículo analiza los sistemas pitagórico, mesotónico y el temperamento igual. Para ello, primero se realiza un análisis histórico de los mismos. Posteriormente se realiza una interpretación geométrica de estos sistemas mediante curvas. Por último, son caracterizados cuantitativamente mediante dos métodos que explotan la simetría de cada uno de ellos. Los resultados muestran que estos sistemas disminuyen en complejidad cuanto más modernos son, lo que explica, en parte, su evolución histórica. Además los métodos empleados son igualmente aplicables a otros sistemas distintos y pretenden ser intuitivos y visuales, de manera que tanto científicos como músicos comprendan las ventajas e inconvenientes de cada tipo de sistema.

**Palabras clave:** sistema de afinación, temperamento, simetrías.

## Abstract

Within the area of musical acoustics, the evolution of Western tuning systems can be studied through the perspective of mathematical models, since a tuning system is a set of mathematical relations imposed on frequencies. In this document, the Pythagorean and mesotonic tunings, as well as the equal temperament, are analyzed. Firstly, a historical analysis of these systems will be performed. Secondly, the systems will be modelled using geometric curves. Lastly, two quantitative methods will be applied to make a numerical description which exploits their symmetries. The results show that complexity decreases the more modern the systems are, which partly explains their historical evolution. Moreover, these models can be extended for further new systems, and are meant to be intuitive and visual for both scientists and musicians to understand the advantages and disadvantages of each system.

**Keywords:** tuning system, temperament, symmetries.

## 1. Sistemas de afinación: ¿qué son y cuál es su historia?

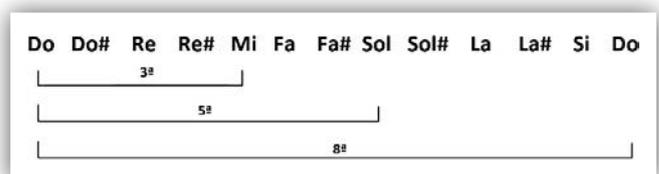
### 1.1. Qué es un sistema de afinación

Para comprender mejor qué es un sistema de afinación es necesario conocer el concepto de *intervalo* y de *escala* en música.

La diferencia en frecuencia entre dos notas se conoce como intervalo, y cada tipo de intervalo recibe un nombre diferente dependiendo de su longitud. Por ejemplo, para ir de *do* a *re* se avanza un intervalo de segunda. Para ir de *do* a *mi* se avanza una tercera. En la Figura 1 se

muestran en una imagen los intervalos que van a ser de interés para este texto.

Como se observa en el diagrama, cuando se recorre la serie de notas de *do* a *si* se vuelve a alcanzar un *do*, desde



**Figura 1.** Intervalos de tercera, quinta y octava en la escala de 12 notas en que se basa la armonía occidental.

donde comienza de nuevo la sucesión. Cada vuelta de *do* a *do* recibe el nombre de *escala*. Al ascender de escala las notas se hacen más agudas, aumentando en frecuencia, y al descender se agravan. Los intervalos se mantienen en distintas escalas. Por ejemplo, entre *do* y *re* hay siempre una segunda independientemente de la escala.

El tamaño de cada intervalo está determinado por el sistema de afinación que se escoja. Un sistema de afinación impone una separación en frecuencia concreta y exacta entre las distintas notas, y por tanto establece la longitud de cada intervalo. Para distintos sistemas de afinación, los mismos intervalos pueden ser más o menos largos, aunque la variación será lo suficientemente pequeña como para que no pierdan su identidad y nuestro oído pueda distinguir el tipo de intervalo. Por ejemplo, la segunda de *do* a *re* no es equivalente en cantidad de frecuencia bajo distintos sistemas, aunque sí conserva suficiente parecido como para que pueda seguir siendo identificada como segunda. Del mismo modo, los intervalos deben ser lo suficientemente parecidos al ascender o descender en escalas, por lo que la manera en que los establezca el sistema de afinación afecta a la composición a la hora de cambiar de escala.

Los sistemas de afinación son en esencia un conjunto de normas matemáticas que los músicos han de respetar para componer. Por tanto, aunque su evolución en la música occidental ha estado motivada por razones compositivas y artísticas, los problemas que han surgido y la manera en que se han solucionado tienen un fundamento físico y matemático muy marcado.

### 1.2. Evolución histórica de los principales sistemas de afinación occidentales desde el punto de vista de las matemáticas

El primer sistema de afinación que se desarrolló en Occidente fue el pitagórico [1]. Pitágoras (s.VI-V a.C.) observó que había propiedades armónicas interesantes relacionadas con las proporciones de los objetos que vibraban emitiendo sonido: estas frecuencias de vibración eran los armónicos fundamentales que presentaban los objetos al ser golpeados. El tamaño y la forma de cada objeto imponían unas condiciones determinadas que producían distintos armónicos, y por tanto, distintos sonidos. La formación de estos armónicos surge matemáticamente al resolver el problema diferencial asociado para la ecuación de ondas.

Pitágoras utilizó en particular dos armónicos para crear un sistema de afinación y ordenar frecuencias, cuyas proporciones con respecto al armónico fundamental son 2:1 y 3:2. Ahora bien, ¿por qué escogió estos dos intervalos frente al resto?

Contestar a esta pregunta requiere hacer la siguiente mención: las soluciones a la ecuación de ondas pueden

expresarse mediante series de Fourier. Aplicar un intervalo a una solución en serie de Fourier equivale a multiplicar por un cierto factor la frecuencia de todos los términos de la serie.

El primer armónico, el que duplica la frecuencia, se corresponde con el intervalo de octava en música, y este es el intervalo que resulta más consonante para el oído humano. De hecho, percibimos dos notas separadas por una octava prácticamente como si fueran la misma, por lo que en música se suelen considerar equivalentes. Duplicar o dividir a la mitad una frecuencia no altera la armonía. Esto se debe a que al multiplicar por dos la frecuencia, sobreviven todos los términos pares de la solución en serie de Fourier (ver Figura 2). Compartir la mitad de los términos hace que nuestro oído perciba dos notas separadas por una octava como un intervalo altamente consonante.

El segundo armónico que comparte el mayor número de términos en la solución es el 3:2, y Pitágoras lo escogió junto a la octava por ser el segundo intervalo más consonante. El intervalo que genera este armónico recibe el nombre de intervalo de quinta.

Así pues, Pitágoras estableció un sistema de afinación  $P$  en el cual las notas debían atender a la siguiente relación con respecto a una frecuencia fundamental de referencia o nota central  $\nu$

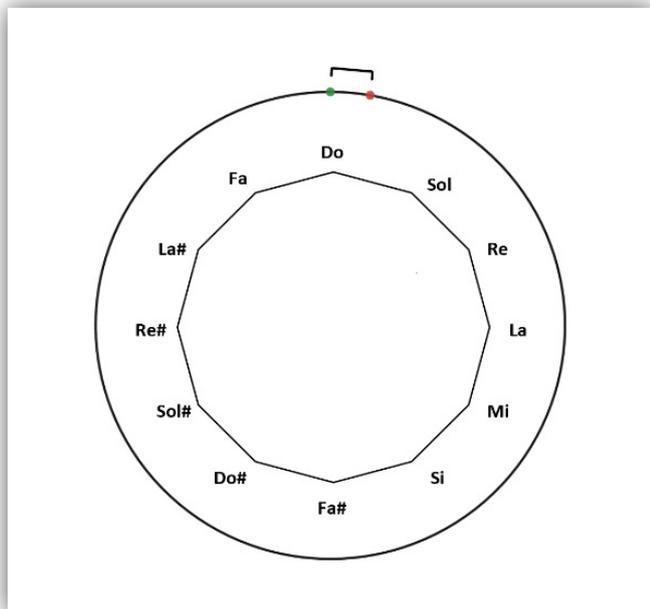
$$\left(\frac{3}{2}\right)^a 2^b \cdot \nu \in P \quad \forall a, b \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

Este sistema presentaba dos problemas significativos: por un lado, si aumentabas con intervalos de quinta desde una nota hasta llegar a su octava, la frecuencia resultante no coincidía con el doble de la frecuencia fundamental (ver Figura 3). Esta diferencia en frecuencia

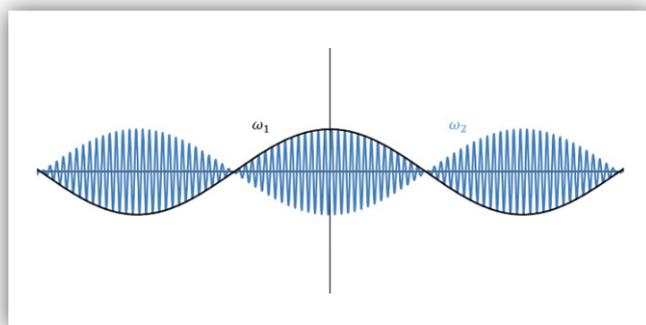
**Figura 2.** Expresión general para una serie de Fourier a la que se ha aplicado un intervalo de octava. Este intervalo duplica la frecuencia, por lo que la serie resultante comparte solo la mitad de los términos con la serie original.

entre las dos maneras de generar la octava producía un batimiento que recordaba al aullido de un lobo, y que recibió el nombre de *wolf interval* o *quinta del lobo*. Este batimiento resulta muy disonante, por lo que los músicos lo evitaban para componer (ver Figura 4). Por otro lado, el intervalo de tercera generado a través de quintas en el sistema pitagórico era también demasiado disonante. Esto inicialmente no resultó un problema porque las quintas y las octavas eran los intervalos más relevantes en armonía, pero con el tiempo el intervalo de tercera ganó mucha importancia. Este intervalo sonaba disonante porque existe un armónico que lo genera que no se corresponde ni con el 2:1 ni con el 3:2. Por tanto, al ser generado con tan solo estos dos armónicos se obtiene una aproximación que no resulta tan agradable al oído humano.

Para solucionar la disonancia en la tercera se planteó un nuevo sistema de afinación conocido como sistema mesotónico  $M$ , el cual se extendió por Europa durante los siglos XVI – XVIII [1]. Este sistema disminuye cada intervalo de quinta en el sistema Pitagórico en una pequeña cantidad, de manera que la tercera se aproxima más al sonido de su frecuencia natural. Las frecuencias



**Figura 3.** Dodecágono generado a través de quintas. Avanzar de un vértice a otro contiguo equivale a aplicar un intervalo de quinta. El punto verde que coincide con el vértice superior del dodecágono se corresponde con la octava de  $\nu_{do}$ , es decir,  $2 \cdot \nu_{do}$ . El punto rojo se corresponde con la frecuencia obtenida al subir de quinta en quinta desde  $\nu_{do}$  pasando por todos los vértices del dodecágono. Los puntos no coinciden, es decir, aplicar quintas hasta llegar de nuevo a un do devuelve una frecuencia cercana a  $2 \cdot \nu_{do}$  pero no exacta.



**Figura 4.** Fenómeno de batimiento. Se produce cuando dos frecuencias son muy cercanas entre ellas. El resultado de la superposición de las ondas es una sucesión de pulsos modulados por una envolvente con una frecuencia moduladora  $\omega_1$ . Estos pulsos contienen a su vez una frecuencia modulada  $\omega_2$ .

del sistema mesotónico se describen matemáticamente como

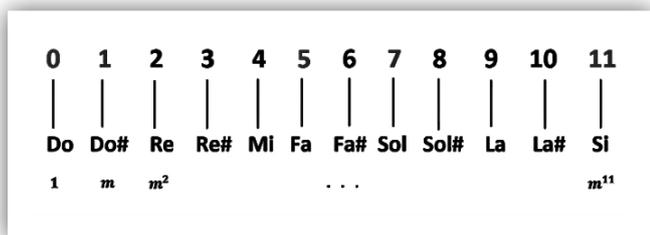
$$\left(\frac{3}{2} - k\right)^a 2^b \cdot \nu \in M \quad \forall a, b \in \mathbb{Z}, \quad \forall k \in \left[0, \frac{3}{2}\right) \quad (2)$$

Sin embargo al tratar de solventar el problema de la tercera, el intervalo de quinta de lobo aumenta, por lo que suena aún más disonante. El sistema mesotónico permite componer escogiendo los intervalos que se desea que sean más consonantes, pero siempre sacrifica otros intervalos en consecuencia. Permitía más libertad compositiva que el pitagórico, pero aún presentaba limitaciones que dificultaban la afinación de instrumentos y los cambios de escala dentro de las obras.

El último sistema de afinación que se va a estudiar en este artículo se propuso de tal manera que respetase de forma simultánea las quintas, las terceras y las octavas, que no produjera batidos como el de la quinta del lobo, y que permitiese cambiar de escala sin disonancias. Este sistema de afinación es el que se utiliza de forma predominante actualmente en todo el mundo, y recibe el nombre de temperamento igual<sup>1</sup> [1]. Se desarrolló y extendió durante los siglos XV y XVI, y fue coetáneo al sistema mesotónico hasta que se hizo evidente que era mucho más práctico y útil que este. El sistema mesotónico fue desplazado paulatinamente, y todos los instrumentos pasaron a estar afinados en temperamento igual.

El temperamento igual ordena las notas en clases de equivalencia de frecuencia, por lo que por mucho que se aumente o se disminuya de escala los intervalos entre notas se mantienen, y no se acumulan pequeñas variaciones como ocurría en los sistemas más antiguos. Se

<sup>1</sup> Llamamos temperamento a un sistema de afinación que no utiliza exclusivamente fracciones de números enteros para definir los intervalos. En ocasiones también se denomina temperamento a cualquier sistema de afinación en general.



**Figura 5.** Estructura del temperamento igual. Para ir de una nota a la siguiente se multiplica su frecuencia por el valor  $m$ , que es la doceava parte de la octava, es decir  $m = \sqrt[12]{2}$ .

construye dividiendo la octava en doce partes iguales y utilizando la doceava parte de la misma como intervalo geométrico para aumentar de nota en nota (ver Figura 5).

Por tanto, las frecuencias del temperamento igual  $f$  se pueden describir matemáticamente como

$$m^a \cdot v \in I \text{ con } [a] \in \mathbb{Z}_{12} \text{ donde } a \sim a+12 \quad (3)$$

En la siguiente sección se utilizan modelos matemáticos que permiten realizar interpretaciones y explicaciones geométricas y cuantitativas que justifican esta evolución histórica de los sistemas de afinación desde una perspectiva más técnica.

## 2. Metodología: estudio de sistemas de afinación a través de modelos matemáticos

Entender las dificultades que pueden ofrecer estos sistemas a la hora de componer y cuál puede resultar más o menos útil es complejo y poco intuitivo. Sin embargo, es posible utilizar modelos matemáticos para representarlos, de manera se pueda comprender mediante métodos visuales qué problemas ofrece cada sistema y por qué el temperamento igual es el más ventajoso.

A continuación, se analizará cada sistema desde un punto de vista geométrico, utilizando curvas como modelos, y después a través de modelos matemáticos numéricos y cuantitativos.

### 2.1. Interpretación geométrica de los sistemas de afinación

Las trayectorias curvas que se van a utilizar son espirales. La música encierra siempre cierta periodicidad al aumentar en frecuencia, pues cuando se parte de *do* y se asciende en una escala se vuelve a llegar a *do* al cabo de

12 notas, y por ello resultan útiles las curvas concéntricas. Por otro lado, las espirales son curvas abiertas, infinitas, así que describen también adecuadamente el carácter infinito de los sistemas pitagórico y mesotónico. Para el temperamento igual, por el contrario, al establecerse clases de equivalencia no interesa una curva cuyo radio aumente progresivamente con la frecuencia, ni una curva abierta e infinita. La curva ideal para describir este temperamento es el círculo, que en el fondo es una “espiral” de radio constante.

A continuación se plantea un modelo matemático que devuelve estas curvas geométricas (espirales o un círculo) dependiendo del sistema de afinación que se introduzca, siendo  $n$  cada una de las notas a través de las que iteran los elementos para un sistema dado

$$\begin{cases} x = F(n) \cos\left(n \frac{\pi}{6}\right), \\ y = F(n) \sin\left(n \frac{\pi}{6}\right), \end{cases} \quad (4)$$

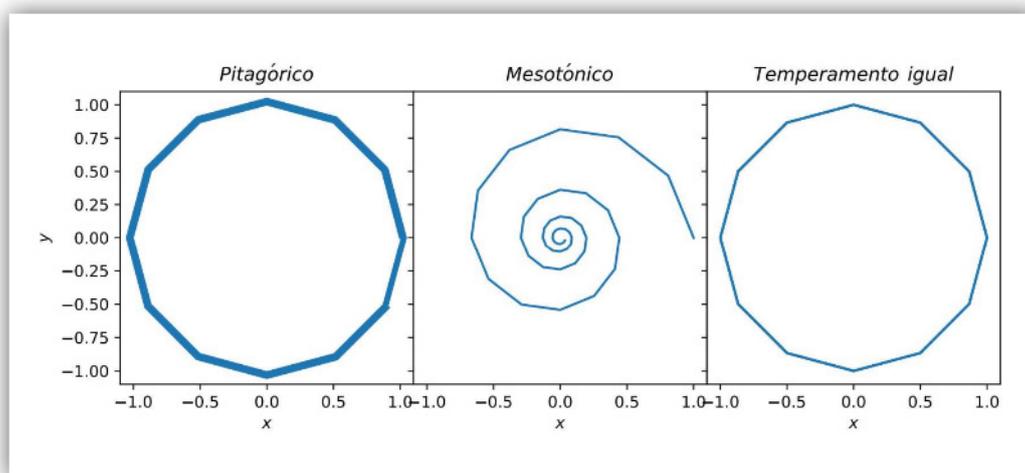
donde la función amplitud  $F(n)$  depende de la frecuencia como

$$F(n) = \frac{v(n)}{m^{7n} \cdot v} \rightarrow \begin{cases} v_P(n) = (3/2)^n \cdot v, \\ v_M(n) = (3/2 - k)^n \cdot v, \\ v_I(n) = m^{7n} \cdot v, \end{cases} \quad (5)$$

Nótese que el ángulo aumenta en  $\pi/6$  con cada iteración porque se corresponde con la doceava parte de un círculo, y las escalas son precisamente de 12 notas. La amplitud depende de la frecuencia para que el radio de la curva aumente al ascender, y está normalizada con respecto al temperamento igual para que en el caso de introducir las frecuencias de este sistema la curva resultante sea un círculo y no una espiral. Es importante destacar que para establecer una correspondencia adecuada entre las notas de los distintos sistemas, debemos normalizar al temperamento igual utilizando quintas ( $m^{7n}$ ) y no simplemente  $m$ . Los temperamentos pitagórico y mesotónico generan sus frecuencias a través de quintas<sup>2</sup>, por lo que generar con otro intervalo distinto en temperamento igual no permitiría relacionar notas equivalentes entre sistemas, dando lugar a conclusiones incorrectas. Se ha escogido como nota fundamental a partir de la cual se aplican los intervalos la nota *do* con frecuencia 261,63Hz, más conocido como *do central* en música.

Representando las curvas según aumenta  $n$  para cada sistema, se obtiene la Figura 6. Las gráficas correspondientes a los sistemas pitagórico y mesotónico son espirales en dos dimensiones, como se observa en las imágenes. Para apreciar que en el caso del sistema pita-

<sup>2</sup> También octavas, pero estas se pueden obviar, ya que en música se consideran a menudo equivalentes, como ya se me mencionó previamente.



**Figura 6.** Representación en dos dimensiones de cada sistema de afinación según la parametrización en función de  $n$ . Para la representación del sistema mesotónico se ha escogido  $k = 0.1$ , y se observa que difiere más del temperamento igual de lo que lo hace el pitagórico, cuando se supone que el mesotónico es una mejora y ha de parecerse más al igual. Esto se debe al valor de  $k$  escogido. Escogiendo un valor diferente de  $k$  es posible aproximarse más al temperamento igual de lo que lo hace el pitagórico. En este caso se ha escogido una  $k$  que acentúe el crecimiento del radio en la espiral para hacer notable la variación en función de este parámetro. La nota fundamental con  $n = 1$  sobre la cual se han generado los sistemas es el *do* central. Se han representado hasta  $n = 48$  notas en cada caso (4 escalas de 12 notas).

górico se obtiene una espiral, nótese que la línea de la imagen de la figura es más gruesa porque se trata de una trayectoria abierta dando vueltas con un aumento lento del radio. El temperamento igual es sin embargo un dodecágono cerrado. Cabe destacar que si al variar  $K$  podemos alejarnos o aproximarnos al temperamento igual, esto sugiere la existencia de un *extremo relativo* para el cual el sistema mesotónico converge al igual.

Con esta interpretación geométrica podemos apreciar de forma visual dónde reside la complejidad de los sistemas antiguos y por qué el temperamento igual es el sistema más sencillo. El círculo, de trayectoria cerrada, permite comprender mejor el colapso en clases de equivalencia.

En esta sección se han caracterizado los 3 sistemas de afinación mediante una interpretación geométrica, y se ha explicado mediante un método visual la complejidad que presenta cada uno a nivel armónico, mostrando por qué el temperamento igual es el sistema más sencillo. En la siguiente sección se caracterizarán estudiando el extremo relativo antes mencionado, y cuantificando el concepto de “acercarse” o “alejarse” del temperamento igual variando el parámetro  $k$ . El temperamento igual se tomará como sistema óptimo y se compararán los otros dos con respecto a él.

## 2.2. Caracterización cuantitativa de los sistemas de afinación

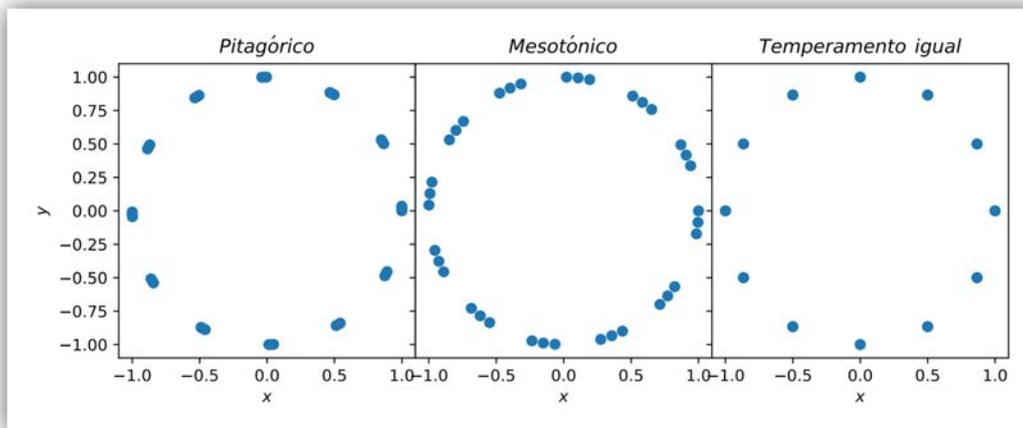
Se puede calcular teóricamente el valor del extremo relativo en el que  $k = k_p$ , para el que el sistema mesotónico

co converge al temperamento igual. Igualando el valor para una nota  $n$  dada en sendos sistemas, se tiene que

$$v(n) \cdot \left(\frac{3}{2} - k\right)^n = m^{7n} \cdot v(n) \Rightarrow k_i = \frac{3}{2} - 2^{\frac{1}{12}} \quad (6)$$

Nótese que la  $k$  necesaria para transformar el sistema mesotónico en pitagórico es trivialmente  $k_p = 0$ . Una vez calculados los valores de  $k$  para los que el sistema mesotónico se identifica con los otros dos sistemas, resulta interesante tratar de graficar cuánto se desplaza el sistema mesotónico con respecto al temperamento igual en función del parámetro  $k$ , y en qué posición se sitúan el mínimo relativo y el sistema pitagórico.

Una manera de estudiar este extremo relativo consiste en asignar ángulos a las frecuencias de cada temperamento para trabajar con distancias de arco en un círculo. A las frecuencias del temperamento igual, como se subdivide la octava en doce partes iguales y surgen 12 clases de equivalencia, se les asignan los ángulos  $\pi/6$  para subdividir el círculo en 12 clases también. A los otros dos sistemas se les asignan ángulos estableciendo una correspondencia entre las distancias de arco en el círculo y las distancias en frecuencia de cada una de sus notas con respecto a las 12 clases del temperamento igual. Así pues, a medida que se asciende de escala en los dos sistemas antiguos, los puntos que representan sus frecuencias en el círculo se van desplazando poco a poco con respecto a los 12 puntos del temperamento igual (ver Figura 7.)



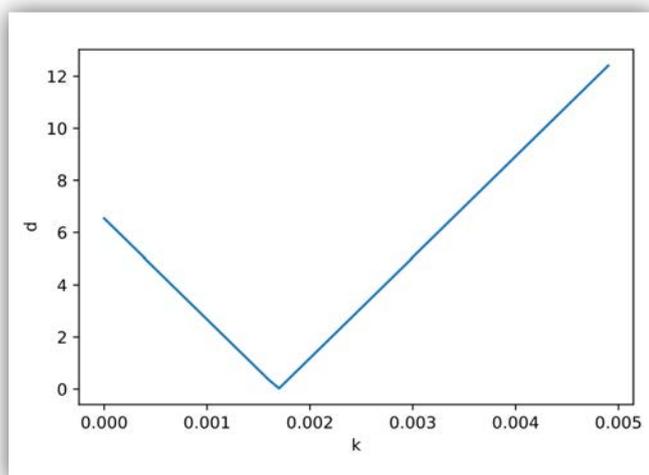
**Figura 7.** Representación de cada sistema de afinación asignando ángulos a sus frecuencias. El valor de  $k$  escogido para el mesotónico es  $k = 0.01$ . Se han graficado  $n = 36$  notas (3 escalas). Se observa claramente que el temperamento igual tiene 12 clases definidas, y que los otros dos no. Para este valor de  $k$  el sistema mesotónico se desplaza más que el pitagórico con respecto a las clases del temperamento igual.

En los siguientes apartados se cuantifican estos desplazamientos con respecto a los 12 puntos del temperamento igual y se grafican para visualizar el extremo relativo antes calculado.

### 2.2.1. Método de la distancia acumulada

Si se suman los desplazamientos de los puntos de los sistemas antiguos a medida que agregamos notas con respecto a los 12 puntos del temperamento igual, es decir, si se van acumulando las distancias de arco, se obtiene una suma de distancias total que cuantifica cuánto se alejan estos sistemas de la situación ideal del temperamento igual. Graficando esta *distancia total acumulada* en función del parámetro  $k$  se obtiene la Figura 8.

El valor de  $d$  para  $k = 0$  se corresponde con el temperamento pitagórico, que es el extremo izquierdo de la función graficada. A partir de ese valor el sistema meso-



**Figura 8.** Distancia total en función de  $k$  entorno al mínimo relativo en el que  $k = k_r$ .

tónico disminuye su distancia relativa al temperamento igual hasta converger a él en  $k = k_r = 0.001694$ . Pasando este valor el sistema mesotónico se aleja de las clases de equivalencia a medida que  $k$  aumenta.

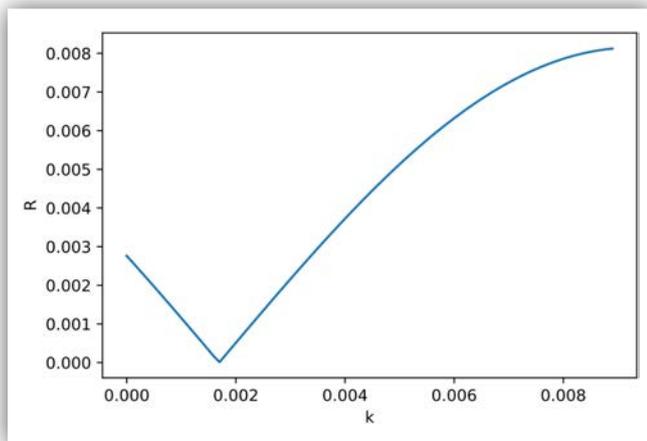
Así pues, en este modelo el parámetro  $d$  mide cuánto se aleja un sistema dado del valor ideal  $k_r$  del temperamento igual, y muestra gráficamente por qué el sistema mesotónico resulta ser una mejora con respecto al pitagórico.

### 2.2.2. Método del baricentro

También es posible estudiar cuantitativamente la Figura 7 analizando el centro geométrico o *baricentro* de los puntos en el círculo a medida que se añaden de uno en uno. Como en los sistemas antiguos se producen desplazamientos, el baricentro no siempre se corresponde con el centro del círculo. Si se calcula el módulo del vector del baricentro  $R$  en el plano y se grafica su evolución en función del parámetro  $k$ , se obtiene la representación de la Figura 9.

Cuanto menor es el valor de  $R$ , mayor es la simetría del sistema, pues la distribución de puntos en el círculo está más equilibrada. El valor de  $R$  para  $k = 0$  se corresponde con el temperamento pitagórico. Se observa de nuevo claramente un mínimo en  $k = k_r = 0.001694$ .

Este método, así como el de distancia acumulada, han permitido caracterizar cuantitativamente mediante las magnitudes  $d$  y  $R$  los tres tipos de sistemas tratados en este documento. Del mismo modo que ocurría con  $d$  frente a  $k$ , el método del módulo del baricentro muestra también que el temperamento mesotónico es efectivamente una mejora con respecto al pitagórico con valor óptimo para la  $k_r$  del temperamento igual.



**Figura 9.** Representación del módulo de la posición del baricentro  $R$  con respecto a  $k$  para  $n = 480$  entorno al mínimo relativo en el que  $k = k_r$

### 3. Conclusión

Utilizar modelos matemáticos para estudiar sistemas de afinación permite explicar la evolución histórica que han seguido y la complejidad armónica de cada uno desde un punto de vista completamente diferente.

Las clases de equivalencia del temperamento igual representadas como un dodecágono cerrado y como 12 ángulos en el círculo son claramente mucho más simples y prácticas que las espirales infinitas cuyos correspondientes ángulos en el círculo no presentan la simetría de las 12 clases. Además, también es claro que la introducción del nuevo parámetro  $k$  por parte del sistema mesotónico con respecto al sistema pitagórico aporta una mejora significativa, y que variando este

parámetro  $k$  podemos localizar el  $k_r$  óptimo del temperamento igual en el mínimo relativo. Así pues, estos modelos ayudan a entender por qué el sistema pitagórico quedó obsoleto, dando paso a los otros dos nuevos sistemas, y por qué el temperamento igual desplazó al sistema mesotónico.

Esta manera de entender la armonía aporta un soporte técnico a la música, y resulta ser una herramienta útil tanto para desarrollar nuevos sistemas de afinación como para estudiar otros tipos diferentes a los aquí estudiados.

### 4. Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado gracias a la Facultad de Física de la Universidad Complutense de Madrid, desde la cual se aprobó la propuesta de tema para poder defenderlo como Trabajo de Fin de Grado.

### 5. Referencias

- [1] Barbour, J.M., 2004. Tuning and temperament: A historical survey. Courier Corporation.
- [2] White, H.E. and White, D.H., 2014. Physics and music: the science of musical sound. Courier Corporation.
- [3] Herrera, E., 1995. Teoría musical y armonía moderna Vol. 1. Antoni Bosch editor.
- [4] Aguado, M. y Vargas, A., 2022. Sistemas de afinación como estructuras algebraicas de grupo. Universidad Complutense de Madrid.

# CESVA

NOISE MEASURING INSTRUMENTS SINCE 1969

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

*Quando el sonido  
se puede tocar*



info@cesva.com  
www.cesva.com



Pantalla  
táctil  
a color



Rango  
único de  
medición



Sonómetro  
ampliable a  
1/3 de octava



WIFI  
Bluetooth  
para App



Con memoria  
y ficheros  
en CSV



Curvas NC/NR  
y Backerase de  
los últimos 10 s

PERFECTAMENTE SIMPLE

SIMPLEMENTE PERFECTO



> Pantalla táctil a color



> Rango único de medición



> Sonómetro ampliable a 1/3 de octava

# SONÓMETRO **SC202** CLASE 2 TOUCH & CLOUD

*Quando el sonido se puede tocar*

PERFECTAMENTE SIMPLE  
SIMPLEMENTE PERFECTO



> WIFI + Bluetooth para App



> Con memoria y ficheros en CSV



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



## CESVA

NOISE MEASURING  
INSTRUMENTS SINCE 1969



info@cesva.com  
www.cesva.com

# 25 años de acústica en la Escuela Politécnica de Cuenca

José A. Ballesteros<sup>1</sup>, Samuel Quintana<sup>1</sup>, Marcos D. Fernandez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela Politécnica de Cuenca. Universidad de Castilla-La Mancha

PACS: 43.10.Sv.032

## Resumen

La 54 edición del congreso Tecniacústica se desarrollará del 18 al 20 de octubre en la Escuela Politécnica de Cuenca de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Tanto el centro como los investigadores del grupo GAMMA cuentan con una dilatada experiencia en diversos campos de la acústica: ambiental, industrial, laboral, psicoacústica, etc.

**Palabras clave:** Tecniacústica 2023, Escuela Politécnica de Cuenca, GAMMA

## Abstract

The 54th edition of the Tecniacústica congress will take place at the Politechnic School of Cuenca (Castilla-La Mancha University) from October 18th to October 20th.

Not only the school, but also the researchers of the GAMMA research group have an extensive experience in different acoustic topics: environmental noise, industrial noise, noise at work, psychoacoustics, etc.

**Keywords:** Tecniacústica 2023, Politechnic School of Cuenca, GAMMA

## 1. Tecniacústica 2023

Tras el éxito del congreso Tecniacústica 2022 en Elche, los acústicos ibéricos, y nuestros colegas internacionales, volvemos a juntarnos en la Escuela Politécnica de Cuenca de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).

El congreso, que se celebrará del 18 al 20 de octubre de 2023, acogerá además el **International Symposium on Acoustics in Biomedical Engineering (ISABE)** en el que conoceremos los últimos avances en un campo tan puntero con la Ingeniería Biomédica en rama más acústica; y el **EXPOACÚSTICA**, que se desarrollará de forma paralela al congreso y permitirá a las empresas del sector mostrar las últimas novedades técnicas.

El congreso contará además con actividades para congresistas, acompañantes y público en general entre las que se pueden destacar los **paseos sonoros** y la **jornada sobre ruido en actividades de ocio** que permitirá acercar la importancia de la acústica a expertos y neófitos en un ambiente distendido.

El programa social y de acompañantes permitirá además disfrutar de la ciudad de Cuenca, declarada en 1996 Patrimonio de la Humanidad y elegida Capital Gastronómica de España 2023, que cuenta con una inmejorable oferta museística, cultural y gastronómica.

## 2. La Escuela Politécnica de Cuenca

La Escuela Politécnica de Cuenca surgió en 1994 con los estudios de Arquitectura Técnica, titulación a la que siguió cuatro años más tarde la de Ingeniería Técnica de Telecomunicación, esp. Sonido e Imagen.

El cambio de edificio al actual en el año 2004 y la adaptación de los títulos al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) terminaron de perfilar lo que hoy es la Escuela Politécnica de Cuenca, un centro puntero en docencia e investigación en la que se imparten los grados de Ingeniería de Edificación, Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación (menciones en Sonido e Imagen y Sistemas de Telecomunicación), Máster Universitario en In-

geniería de Telecomunicación y, de nueva implantación, el Grado en Ingeniería Biomédica.

La Escuela ha estado siempre ligada a la acústica a través de la especialidad de Sonido e Imagen de los estudios de telecomunicación, dentro de la que se han desarrollado numerosos Proyectos Fin de Carrera y Trabajos Fin de Grado, que han resultado galardonados en convocatorias nacionales como los Premios Futuro de las Telecomunicaciones que otorga el Colegio Oficial de Graduados e Ingenieros Técnicos de Telecomunicación o los Premios Fundación Mapfre (<https://politecnicacuenca.uclm.es/es/epc/premios>). Además, desde sus inicios, se ha potenciado la investigación en este campo, tal y como se comentará a continuación.

Para la Escuela y el Grupo de Aplicaciones de Microondas y Milimétricas y Antenas (GAMMA) es todo un honor acoger el congreso Tecniacústica 2023 justo el año que celebra el 25 aniversario de la implantación de los estudios de Telecomunicaciones.

### 3. La investigación en acústica: del IDEA al GAMMA

El primer grupo de investigación en acústica dentro de la entonces Escuela Universitaria Politécnica de Cuenca fue el grupo de Investigación y Desarrollo en Acústica (IDEA). Creado en 2004, llevó a cabo diversos proyectos de investigación financiados en convocatorias regionales y nacionales, además de multitud de proyectos con empresas.

El primer proyecto de investigación nacional realizado por el grupo, en colaboración con investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), fue “Caracterización del campo sonoro en ambientes industriales. Efectos psicoacústicos y bases de datos (CICYT, Ref. DPI 2004-07073-C02-02)”. En este proyecto se caracterizaron acústicamente desde máquinas manuales como taladros o amoladoras radiales a otras de mayores dimensiones como tejedoras o imprentas offset. Para la caracterización de las mismas se utilizaron métodos de medida de potencia por presión (ISO 3744) y por intensidad (ISO 9614-2). Además, se realizó un estudio psicoacústico del ruido emitido por estas máquinas con un simulador de cabeza y torso (HATS) y se desarrolló una encuesta de percepción subjetiva a través de una página web creada para tal fin. Como resultados se desarrollaron los perfiles acústicos objetivos y subjetivos de estas máquinas [1] y se creó un código de etiquetado acústico [2].

No obstante, la línea de investigación principal del grupo siempre ha estado ligada a la construcción, realizando proyectos tanto de ruido ambiental y laboral como de aislamiento acústico.

Entre las investigaciones llevadas a cabo podemos comentar el proyecto “Caracterización acústica de materiales y medida del ambiente sonoro para el sector de la construcción (JCCM, Ref. PAI07-0101-3656)” en el que se caracterizó acústicamente el ambiente al que estaban sometidos los trabajadores del sector de la construcción, empleando para ello sonómetros y vibrómetros personales [3] (ver figura 1). Además, se caracterizó este ambiente psicoacústicamente mediante medidas con un HATS y la realización de encuestas de percepción [4]. Finalmente se caracterizó el ruido emitido al exterior en las diferentes fases de una obra, generando la publicación “Noise emission evolution on construction sites. Measurement for controlling and assessing its impact on the people and on the environment” [5], que fue reseñada en “Science for Environment Policy” en diciembre 2009.

Otros proyectos relacionados con este campo han sido “Muestreo y evaluación de las vibraciones mecánicas en el sector de la construcción”, financiado por la Fundación Mapfre y que sigue la línea de investigaciones anteriores, o el proyecto “Determinación del aislamiento acústico de puertas y mamparas macizas, acústicas y resistentes al fuego” (JCCM, Ref. PPII10-0172-4262), en el que se emplearon no sólo técnicas estandarizadas de medida de aislamiento acústico (ISO 16283 e ISO 15186) sino también otras técnicas novedosas basadas en arrays: SONAH y Beamforming [6] (ver figura 2).

En el apartado de proyectos con empresas, además del ya mencionado proyecto con la fundación Mapfre, cabe enumerar el “Plan de actuación acústica a favor de la sostenibilidad ambiental en el municipio de Cuenca (LIFE+, Ref. LIFE08 ENV/E/000110)” durante que el que se llevó a cabo la realización del mapa de ruido de la ciudad [7].



Figura 1. Caracterización del ambiente sonoro en el sector de la construcción.



**Figura 2.** Determinación del aislamiento acústico mediante técnicas de array.

Dentro del grupo de investigación también se han realizado tesis doctorales que han permitido la evaluación del ruido de coches con técnicas avanzadas de intensimetría acústica, intensidad selectiva, SONAH o beamforming [8]-[10] (ver figura 3) y la evaluación del ruido de ocio en diferentes ciudades españolas [11]-[13].

En el año 2013 los integrantes del grupo IDEA se incorporan al Grupo de Electromagnetismo Aplicado (GEA) que, en el año 2019, dio lugar al GAMMA, dentro del cual se están aunando dos campos aparentemente tan diferentes y a la vez tan parecidos como son la acústica y las microondas para el diseño de procedimientos de medida de las características acústicas de materiales en laboratorio, además de la realización de una tesis



**Figura 3.** Localización de fuentes de ruido durante el pass-by.



**Figura 4.** Caracterización acústica de Teatros-Circo.

doctoral acerca de la caracterización acústica de unos recintos tan singulares como son los teatros-circo [14] (ver figura 4).

## 4. Conclusiones

La trayectoria acústica de la Escuela Politécnica de Cuenca y de los investigadores que forman parte del GAMMA es innegable, habiendo realizado estudios en diversos campos mediante la aplicación no sólo de técnicas estandarizadas sino de los más novedosos métodos de medida acústica. Por ello, es para nosotros un honor poder acoger la 54ª edición del congreso Tecnia-cústica en el 25 aniversario de los estudios de Telecomunicación en la Escuela.

## 5. Referencias

- [1] Fernández, M. D., Ballesteros, J. A., Suárez, I., Quintana, S., González, I., Rodríguez, L. (2011). Sound Pattern of the Panel Saws Family. *International Journal of Acoustics and Vibration*, 16(1), 12.
- [2] Fernandez, M. D., Recuero, M., Blas, J. M. (2008). Definition of a labelling code for the noise emitted by machines. *Applied Acoustics*, 69(2), 141-146.
- [3] Fernández, M. D., Quintana, S., Chavarría, N., & Ballesteros, J. A. (2009). Noise exposure of workers of the construction sector. *Applied Acoustics*, 70(5), 753-760.
- [4] Fernández, M. D., Quintana, S., Ballesteros, J. A., González, I., Vitón, B., Díaz, C. (2010). Noise, Vibration and Perception of Risks of Workers of the Construction Sector. *Acta Acustica United with Acustica*, 96(4), 784-790.
- [5] Ballesteros, M. J., Fernández, M. D., Quintana, S., Ballesteros, J. A., González, I. (2010). Noise emis-

sion evolution on construction sites. Measurement for controlling and assessing its impact on the people and on the environment. *Building and Environment*, 45(3), 711-717.

- [6] Ballesteros, J. A., Quintana, S., Fernandez, M. D. (2018). In Situ Detection of Leakages in Partition Elements through SONAH and Beamforming Techniques. En *Acoustics of Materials*. IntechOpen.
- [7] Ballesteros, J. A., Ballesteros, M. J., Quintana, S., Fernandez, M. D. Noise Profile Categorization for Noise Mapping in Cities: The Case of Cuenca (Spain). En *Noise Control*. IntechOpen.
- [8] Ballesteros, J. A., Fernández, M. D., Ballesteros, M. J. (2014). Using selective intensity and a HATS to evaluate noise sources in a car working at idle. *Applied acoustics*, 76, 1-13.
- [9] Ballesteros, J. A., Sarradj, E., Fernandez, M. D., Geyer, T., Ballesteros, M. J. (2015). Noise source identification with beamforming in the pass-by of a car. *Applied Acoustics*, 93, 106-119.
- [10] Ballesteros, J. A., Fernandez, M. D., Sarradj, E., Ballesteros, M. J. (2018). Identification and analysis of the noise sources of an engine settled in a car using array-based techniques. *International journal of vehicle noise and vibration*, 14(2), 171-190.
- [11] Ballesteros, M. J., Fernández, M. D., Flindell, I., Torija, A. J., Ballesteros, J. A. (2014). Estimating leisure noise in Spanish cities. *Applied Acoustics*, 86, 17-24.
- [12] Ballesteros, M. J., Fernández, M. D., Ballesteros, J. A. (2015). Acoustic evaluation of leisure events in two mediterranean cities. *Applied Acoustics*, 89, 288-296.
- [13] Garrido, M., Torija, A. J., Fernandez, M. D., Ballesteros, J. A. (2016). Differences between road traffic and leisure noise in urban areas. Developing a model for automatic identification. *Acta Acustica united with Acustica*, 102(1), 35-44.
- [14] Quintana, S., Fernandez, M. D., Machimbarrena, M. (2022). The Circus-Theater of Albacete: Acoustic characterization and analysis of its double stage configuration. *Applied Acoustics*, 189, 108574.



Envíese a: **Revista Española de Acústica - SEA**  
 e-mail: [secretaria@sea-acustica.es](mailto: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: \_\_\_\_\_

# El futuro es un mundo apasionante. Hagámoslo seguro.

Especialistas en tecnología y protección submarina.



**saes**<sup>®</sup>

Innovar\_Desarrollar\_Proteger

# Escapa del ruido



Ana Isabel Tarrero Fernández<sup>1</sup>, Lara del Val Puente<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingenierías Industriales,  
Univ. de Valladolid [anaisabel.tarrero@uva.es](mailto:anaisabel.tarrero@uva.es)

<sup>2</sup> E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación,  
Univ. de Valladolid [lara.val@uva.es](mailto:lara.val@uva.es)

PACS: 43.10.Sv.032

## Resumen

Escapa del ruido es una actividad diseñada para sensibilizar, desde edades tempranas, sobre los problemas que origina el ruido y los efectos que produce. Consta de un Escape Room virtual, un cartel para su difusión y un marcapáginas que permite recordar lo aprendido con el juego.

**Palabras clave:** Escape-Room, concienciación, ruido.

## Abstract

Escape from noise is an activity designed to raise awareness, from an early age, about the problems caused by noise and the effects it produces. It consists of a virtual Escape Room, a poster for dissemination and a bookmark that facilitates to remember what has been learned with the game.

**Keywords:** Escape Room, sensitize, noise.

## 1. Introducción

El ruido interfiere en la actividad habitual de las personas y es considerado como un problema ambiental muy relevante en la sociedad actual. Está presente en todo tipo de actividades cotidianas (en la vivienda, en el trabajo, en el ocio, ...) y aumenta el riesgo de padecer problemas de salud y/o perder calidad de vida prematuramente. La concienciación, desde edades tempranas, sobre los efectos nocivos que provoca la exposición a niveles altos de ruido es de suma importancia para prevenirlos.

El trabajo que se presenta nace de una propuesta recibida desde la Sociedad Española de Acústica. Se trata de diseñar y desarrollar una actividad lúdica/docente, dirigida a estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y Formación Profesional, que contribuya a concienciar a los más jóvenes sobre los efectos negativos que provoca el ruido.

## 2. Escape room

Uno de los muchos métodos didácticos alternativos empleados en la actualidad es el denominado *Escape Room*. Se trata de una propuesta de gamificación para

el aprendizaje a través de mecánicas y elementos característicos de los juegos. Mediante la aplicación de estrategias didácticas y dinámicas lúdicas, se pretende que los usuarios adquieran nuevos conocimientos acerca del ruido y su repercusión sobre la salud y el medio ambiente, y adopten conductas adecuadas para reducirlo en la medida de sus posibilidades.

Se decidió por tanto ofertar el desarrollo un Escape Room Virtual como Trabajo de Fin de Grado en la Escuela de Ingenierías Industriales de la UVA, que finalmente ha sido desarrollado por la alumna Lena Benito \_Sendín Plar bajo la dirección de las profesoras Ana Isabel Tarrero y Lara del Val. El Escape Room diseñado se desarrolla en una ciudad muy ruidosa denominada *Ruilandia*. La alcaldesa quiere celebrar el día Internacional de Concienciación sobre el Ruido en el Centro Cultural de la ciudad, pero ha olvidado la contraseña de entrada al centro. Con la resolución de cada uno de los seis juegos propuestos se obtiene un número e introduciendo los 6 dígitos en el orden correcto permite la entrada al Centro Cultural. Se encuentran pistas repartidas por toda la ciudad que ayudan a los jugadores a superar las 6 pruebas. La figura 1 muestra la portada del mismo.



Figura 1. Portada del Escape Room.

En estos 6 juegos se trabajan distintos conceptos relacionados con el ruido y se han diseñado incluyendo distintos elementos con los que los participantes deben trabajar para resolverlos, desarrollando habilidades cognitivas como la destreza y agilidad mental, la atención y la memoria, entre otras, además de fomentar distintas emociones que incentivan en el participante las ganas de seguir jugando.

Los juegos diseñados en este Escape Room combinan la diversión y el aprendizaje de tal manera que los jugadores no pierden el interés durante toda la actividad.

### 2.1. Conceptos que se trabajan en la actividad

A la hora de elaborar los juegos diseñados en el Escape Room se ha intentado abarcar una parte importante de conceptos relacionados con el ruido y sus efectos como son:

- Niveles de ruido asociados a distintos ambientes
- Ambientes más ruidosos presentes en la vida cotidiana.
- Efectos fisiológicos y psicológicos que ocasiona la exposición al ruido.
- Algunas formas de evitar el ruido.
- Distintas formas de protegerse frente al ruido.
- Consejos proporcionados por la OMS para controlar el tiempo y la intensidad a la que las personas se exponen al ruido en determinadas ocasiones.

### 2.2. Elementos empleados en el Escape Room

Para diseñar el Escape Room se han utilizado crucigramas, laberintos, preguntas de verdadero o falso, dis-

tintos lenguajes, etc. Para descifrar mensajes codificados que aparecen en la dinámica los lenguajes que se han utilizado son:

- Sistema Braille, que utiliza seis puntos en relieve para representar cada letra y cada número pensado para personas con discapacidad visual.
- Código Pigpen, que es un cifrado de sustitución simple, donde a cada letra del abecedario le corresponde un símbolo distinto, creado para guardar información de forma privada.
- Cifrado César, que es una de las técnicas más simples de cifrado. Se sustituye cada letra del texto original por otra que se sitúa un número fijo de posiciones más adelante en el alfabeto.

## 3. Conclusiones

El Escape Room se ha diseñado de forma que resulte estimulante para sus jugadores, la dificultad del mismo no es ni muy alta ni muy baja, consiguiendo mantener la atención y el sentimiento de competitividad activos durante toda la actividad. Por tanto, se puede concluir que es una buena actividad para aprender conceptos fundamentales relacionados con el ruido y diferentes formas de protegerse del mismo, con el fin de disminuir los problemas que ocasiona tanto en las personas como en el medio ambiente. Además, el complemento del marcapáginas permite recordar las ideas más importantes aprendidas con el juego.

Por otra parte, si se analiza lo que puede aportar este trabajo a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para la sociedad se puede concluir que contribuye a varios de los mismos, entre ellos:



**Figura 2.** Imagen de la clase.

ODS 4 – Educación de calidad: la actividad diseñada es un complemento educativo que puede realizarse en cualquier época del año o entorno al Día Internacional sobre Concienciación sobre el Ruido.

ODS 3 – Salud y Bienestar: la actividad se ha diseñado con el fin de prevenir los efectos nocivos del ruido desde edades tempranas y disminuir la contaminación acústica, lo que contribuirá a mejorar la salud y el bienestar de las personas.

- Acceso al Escape Room:  
<https://view.genial.ly/630df232a701930018454db2/interactive-content-copia-conciencion-sobre-los-efectos-del-ruido>
- Se dispone de un manual con la resolución de los juegos como elemento de apoyo a profesores que decidan utilizarlo como una actividad complementaria.
- La actividad se ha desarrollado en diversos centros y con alumnos de distintas edades, siendo muy bien valorada por profesores y estudiantes al final de la actividad. Concretamente en Valladolid se presentó en el Colegio del Pilar (figura 2), coincidiendo con el Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido.

# Corazón de Vidrio

Respetuoso  
con el  
medio  
ambiente

## Nuevo aspecto, calidad probada

### Placas de vidrio reciclado para interiores y exteriores

Con un 88% en volumen de vidrio reciclado se fabrican las placas de Sto. Con ellas, podrás construir tabiques interiores, hacer una fachada ventilada continua o un falso techo acústico continuo.

Ligeras, resistentes, incombustibles, fáciles de instalar y **ecológicas**. Disponibles en diferentes tamaños, hasta 2400 x 1200 x 20 mm. Pesan hasta un 65% menos que las placas de cemento y tienen una gran capacidad de carga.

## La Sociedad Española de Acústica en la revisión del RD 1367/2007

El Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas supuso un hito importante en cuanto a la gestión y al control del ruido ambiental en España. Además de establecer los criterios para la zonificación acústica propugnada en la Ley del Ruido, por primera vez se dispuso de una reglamentación común para la evaluación del ruido, de aplicación en todo el territorio nacional, lo que ha dado como resultado una unificación sin precedentes en cuanto a la salvaguarda de los derechos de los ciudadanos en materia de contaminación acústica.

A lo largo de sus 15 años de existencia, el RD1367/2007 ha tenido un desarrollo y una implantación satisfactorias, pero también se han detectado puntos débiles a la hora de su puesta en práctica. En referencia a su implantación, la mayoría de las administraciones (Comunidades Autónomas, Ayuntamientos, etc.) han adaptado sus reglamentaciones a lo especificado en este RD, pero hoy en día, todavía encontramos decretos autonómicos y ordenanzas municipales que mantienen los criterios y requisitos en cuanto a la evaluación y el control del ruido que tenían antes de la promulgación del RD1367/2007. Con respecto a su desarrollo, las administraciones que sí han adaptado sus reglamentaciones acústicas a lo especificado en el RD1367/2007 han tenido que introducir disposiciones adicionales para aclarar aspectos ambiguos en la redacción del documento.

Conscientes de todo esto, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha iniciado un proceso de revisión del RD

1367/2007 para el que se constituyó un Grupo de Trabajo (GT) con las Comunidades Autónomas y se puso en marcha un proceso de Consulta Pública Previa, que finalizó el 10 de marzo de 2022, con el que se recabaron numerosas propuestas de mejora del texto del documento por parte de los agentes de la sociedad civil y del sector de la acústica.

El siguiente paso ha sido la formación de diferentes Subgrupos de Trabajo, centrados en diferentes campos de la acústica ambiental, con el objetivo de redactar documentos técnicos que sirvan de base al Grupo de Trabajo para la redacción del documento definitivo.

Los subgrupos de trabajo establecidos se muestran en la Tabla 1.

Código	Subgrupo
SG01	Aspectos transversales y calidad acústica
SG02	Regulación de emisores acústicos e industria
SG03	Contaminación acústica en la edificación
SG04	Infraestructuras de transporte
SG05	Indicadores acústicos y evaluación de los mismos
SG06	Vibraciones

Como no podía ser de otra forma, la Sociedad Española de Acústica se ha involucrado profundamente en este proceso, que entendemos de vital importancia, no solo para la comunidad acústica sino para la sociedad en general. En total, la SEA está representada por 11 de nuestros asociados, repartidos en la totalidad de los grupos de trabajo y actuando como Redactores Principales en algunos de ellos.

Además, se ha programado una sesión específica en el próximo TECNIACÚSTICA 2023, para tratar aspectos relacionados con este tema, que permita un intercambio de opiniones entre toda la comunidad acústica.

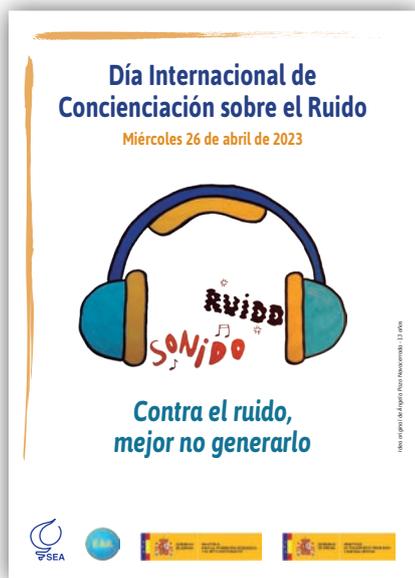
## Comunicado de la Sociedad Española de Acústica

### 26 de abril. Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido 2023

El próximo miércoles 26 de abril se conmemora en todo el mundo el Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido. **La contaminación acústica se ha convertido en uno de los principales problemas de nuestra sociedad**, que afecta a un gran número de personas y que amenaza a nuestro bienestar y a nuestra salud. Para hacernos una idea de la gravedad de esta amenaza hay que decir que, según los datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente, **la exposición al ruido causa 12000 muertes prematuras cada año en Europa y contribuye a 48000 nuevos casos de cardiopatía isquémica, entre otros efectos nocivos.**

Acabar con el problema de la contaminación acústica no es fácil y necesita de una acción decidida por parte de las Administraciones Públicas en la puesta en marcha de políticas de reducción del ruido y en la vigilancia de su cumplimiento por parte de los emisores acústicos que, principalmente, son las infraestructuras de transporte (vías de tráfico rodado, vías férreas, aeropuertos y puertos) y las actividades industriales.

No obstante, no hay que pasar por alto el hecho de que **una parte no pequeña de los problemas de ruido que afectan a la población se debe a comportamientos indebidos de las personas**, y que, por lo tanto, serían evitables con una adecuada sensibilización y concienciación de quien produce dichos comportamientos. De acuerdo con los datos recabados de algunos de los ayuntamientos más importantes de España, **hasta un 30 % de las denuncias por ruido son propiciadas por actitudes inadecuadas**



de quien, de forma consciente o inconsciente, vulnera el derecho de todos a vivir en un entorno acústico saludable.

Todos podemos poner nuestro granito de arena en la lucha contra la contaminación acústica. El comportamiento cívico en el exterior y en el interior de las edificaciones, sobre todo en las horas de descanso, el control del volumen de los aparatos de televisión y de reproducción musical, la utilización de los electrodomésticos ruidosos en horas apropiadas, la utilización del transporte público en detrimento del coche particular, el uso razonable del claxon, la conducción suave y el respeto de los límites de velocidad o la consideración de la baja emisión de ruido como criterio de elección a la hora de adquirir nuevos productos o servicios, son algunos de los muchos detalles que contribuirían a reducir las molestias por ruido y a mejorar nuestra salud.

Pero para ello es fundamental concienciar a la sociedad de que la contaminación acústica es un grave problema de salud pública, y de que su solución está en las manos de todos, de las administraciones y de los ciudadanos. Este es uno de los objetivos de la **Sociedad**

**Española de Acústica**, que desde hace más de 50 años promueve iniciativas de concienciación sobre el ruido ambiental destinadas a niños y mayores. Nuestra campaña para el Día Internacional de la Concienciación sobre el Ruido 2023, con el lema “Contra el ruido, mejor no generarlo”, se alinea con el objetivo de sembrar, entre los más pequeños, la semilla que, estamos convencidos, fructificará en un futuro más silencioso y saludable

Antonio Pedrero González  
Presidente de la Sociedad Española de Acústica

## Asamblea general ordinaria de la Sociedad Española de Acústica

El pasado 27 de marzo de 2023, se llevó a cabo, la asamblea general ordinaria de la Sociedad Española de Acústica en formato dual (presencial y online), con el siguiente orden del día:

1. Bienvenida.
2. Informe del Presidente.
3. Actividades desarrolladas durante 2022.
4. Revista de Acústica.
5. Altas y Bajas (balance).
6. Balance económico.
7. Plan de Actuación 2023.
8. Presupuesto 2023.
9. Ruegos y preguntas.

Entre las novedades destacables se pueden citar:

**1. La firma de un convenio de colaboración entre la Sociedad Española de Graduados en Audiología (SEGRAUD) y la SEA.**

Con este convenio se pretende:

a) El desarrollo conjunto de campañas de prevención en la salud auditiva y la concienciación sobre la contaminación acústica

b) La Transferencia de beneficios entre sus socios numerarios, como son el acceso a cuotas reducidas en Jornadas y Congresos científicos, formación, y otras actividades que puedan ser de interés entre los socios de ambas organizaciones

**2. Proceso de revisión del RD 1367/2007**

**3. Se informó sobre algunas de las actividades que se desarrollarán en**

**4. Tecniacústica 2023 que se celebrará en Cuenca, que serán:**

– Jornada sobre Ruido de Actividades de Ocio

– Symposium on Acoustics in Biomedical Engineering

– Sesión estructurada Challenge SEA

– Paseos Sonoros, que se consolida después del éxito en Elche.

## Challenge de la SEA

### 1. Convocatoria

La Sociedad Española de Acústica, a fin de promocionar la investigación en temas relacionados con el desarrollo de la Acústica, convoca una nueva actividad que consiste en un concurso de propuestas para abordar un **reto específico** que se denominará genéricamente **Challenge SEA**.

Para ello, la SEA ha creado un Grupo de Trabajo (GT), decidiendo que este año **2023** el Challenge trate sobre **concienciación y sensibilización en Acústica**. El objetivo es que cualquier estudiante (nacional o internacional) pueda enviar una propuesta novedosa sobre el tema planteado.

Dentro del tema planteado, el enfoque es libre, abierto y puede ser multidisciplinar.

Todas las propuestas recibidas serán evaluadas bajo unos criterios

transparentes y tras la evaluación, se preseleccionarán un número determinado de propuestas en función de la calidad de las mismas.

Los primeros autores de las propuestas preseleccionadas **serán invitados a presentar sus trabajos en TECNIACÚSTICA 2023 en Cuenca, en una Sesión Estructurada específica para el Challenge y corriendo la SEA con sus respectivos gastos de inscripción al Congreso.**

Durante la presentación de los trabajos preseleccionados en la correspondiente Sesión Estructurada, se evaluarán las ponencias, se fallará y finalmente se entregará **un premio en metálico de 1.500 €** al ganador del Challenge SEA 2023, previsiblemente en el acto de clausura.

Actualmente está abierto el plazo de presentación de solicitudes para el 54º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA 2023-, que tendrá lugar en la ciudad de Cuenca, los días 18 al 20 de octubre de 2023.

## 2. Participantes

Los participantes en el Challenge deberán cumplir los requisitos siguientes:

- Ser el primer autor/a de la comunicación.
- El primer autor deberá estar desarrollando una actividad formativa de grado o postgrado oficial, en cualquiera de sus modalidades, en algún centro docente, de investigación, institución o empresa, relacionado con la Acústica.
- Esta condición deberá ser documentada suficientemente mediante la presentación del correspondiente certificado expedido por la entidad donde se esté desarrollando dicha actividad formativa.
- Está permitido que el trabajo se realice en grupo, siempre que el primer autor cumpla los requisitos.

- Inscribirse en el congreso y, en caso de ser preseleccionado, presentar oralmente la comunicación en la Sesión Estructurada específica para el Challenge SEA 23 (por el primer autor).
- Los trabajos deberán de ser inéditos, no pudiendo estar publicados antes del 11 de septiembre de 2023 en ninguna revista científica o técnica.

## 3. Inscripción

Para optar al Premio, los interesados deberán cumplimentar un formulario que se publicará en la web del congreso correspondiente. Junto al formulario se adjuntará la siguiente documentación:

- Pdf de la comunicación presentada.
- Certificado de estar desarrollando una actividad formativa de grado o postgrado, en cualquiera de sus modalidades, en algún centro docente, de investigación, institución o empresa, relacionado con la Acústica.

La fecha última “no prorrogable” para la recepción de las solicitudes, documentación y trabajo, es el **día 11 de septiembre de 2023.**

Para dudas adicionales, se podrá consultar por email a la dirección:

vicepresidente.ma@sea-acustica.es

## 4. Jurado y valoración de las comunicaciones

El Jurado estará formado por el Grupo de Trabajo del Challenge SEA. No podrán evaluar un trabajo concreto quien presente algún tipo de conflicto de interés, exclusivamente para dicho trabajo (coautores, tutores o directores y las personas que tengan relación contractual con los candidatos).

Se valorará tanto la comunicación escrita como la presentación oral que de la misma se haga.

Criterios para la **valoración previa** (todas las candidaturas):

- Calidad general / Visibilidad global en la sociedad.
- Originalidad / Novedad de la propuesta.
- Resultados / Desarrollos técnicos.
- Bibliografía y aspectos formales.
- Transversalidad.

Criterios para la **valoración final de la presentación oral** (candidaturas preseleccionadas):

- Claridad de la exposición.
- Conocimiento específico.
- Resolución de preguntas.
- Valoración del público.

La decisión del Jurado será inapelable y el Premio podrá ser declarado desierto, a propuesta del Jurado.

## 5. Premio

La SEA cubrirá **la inscripción al Congreso de todas las participaciones preseleccionadas.** El número exacto de comunicaciones preseleccionadas se publicará una vez se organicen definitivamente las Sesiones Estructuradas de TECNIACÚSTICA 23.

Adicionalmente a la inscripción al Congreso, se concederá un premio dotado con una cuantía económica de **1.500 €**, que serán aportados por diferentes entidades colaboradoras del Challenge SEA, en calidad de **patrocinadores** y asociados de la SEA.

La notificación de la concesión del Premio y la entrega del mismo se realizará durante el acto de clausura del congreso por lo cual se recomienda a los solicitantes que permanezcan en el congreso hasta la entrega de premios.

El trabajo premiado será publicado en la Revista de Acústica, publicación oficial de la Sociedad Española de Acústica – SEA.

## 6. Aceptación de las bases del concurso

La participación en el Premio supone la plena aceptación de sus bases, y será el Jurado el encargado de resolver aquellos asuntos que no estén contemplados en las mismas.

## 7. Confidencialidad y derechos de propiedad intelectual

El contenido de los trabajos que se presenten, así como todos los datos y documentación aportada, tendrán carácter absolutamente confidencial y acceso restringido, y como tales serán tratados tanto por

la organización del Premio como por el Jurado.

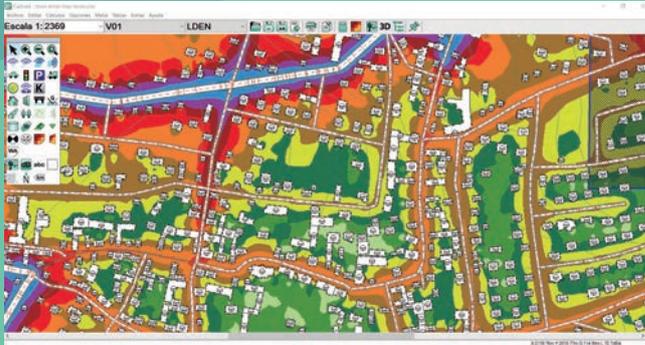
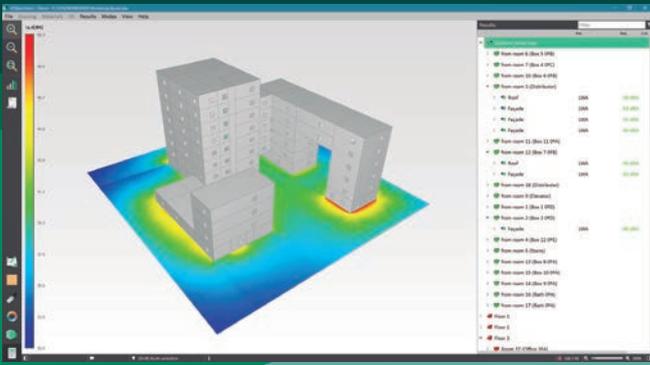
## 8. Patrocinadores del Challenge SEA 2023

- UCA (Universidad de Cádiz).
- DECUSTIK.
- TMA. Tasvalor Medio Ambiente.
- Ayuntamiento de Madrid - Departamento de Control Acústico.
- Saint-Gobain.
- UPM (Universidad Politécnica de Madrid) - ETS Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

## 9. Grupo de Trabajo y Jurado del Challenge SEA 2023

- César Asensio (UPM).

- Miguel Ausejo (SEA / Eurocontrol).
- Luis Azpicueta (UC3M).
- Belén Casla (SEA / CSIC).
- María Machimbarrena (SEA / UVA).
- Antonio Pedrero (SEA / UPM).
- Ramon Peral Orts (UMH).
- Samuel Quintana (UCLM).
- Jaime Ramis (SEA / UA).
- Javier Redondo (UPV).
- Jordi Romeu (UPC).
- Roberto San Millán Castillo (URJC).
- Manuel Sobreira (UVigo).
- *Miembros de las entidades patrocinadoras.*



 **SOUND OF NUMBERS**

**Desarrolladores y proveedores de tecnología para ingeniería acústica**



[www.acousticware.com](http://www.acousticware.com)

## 25º ANIVERSARIO DE PRIMER CONGRESO FIA PROGRAMACIÓN de ACTIVIDADES (24 a 28 de abril de 2023)

Coincidiendo con la semana en la que se conmemora el Día Internacional de Concienciación del Ruido, que este año ha sido el 26 de abril, la Federación Iberoamericana de Acústica celebró con una serie de conferencias el vigésimo quinto aniversario del primer congreso FIA realizado en Florianópolis en 1998.

Con el objeto de que todos los miembros de las asociaciones pudieran participar, las actividades programadas se llevaron a cabo entre el lunes 24 y el viernes 28 de este mes, en forma virtual sincrónica.

Días (Abril 2023)	Actividades
Lunes, 24	Presentación de la programación de la semana por parte de integrantes de asociaciones miembros de la FIA
	Conferencia: “Música para sitios específicos” Orador: Gustavo Basso (AdAA - Argentina)
Martes, 25	Conferencia: Evaluación de ruido de parques eólicos en Chile. Orador: Nicolás Andrés Bastián Monarca (SOCHA - Chile )
	“Desempenho acústico em edificações no Brasil: evoluções construtivas, mudanças de mercado e perspectivas” Orador: Cândida Maciel (SOBRAC - Brasil)
	“Protocolos para análisis de fenómenos aeroacústicos en estructuras” Orador: Pablo Gianoli (AUA - Uruguay)
Miércoles, 26	“Cómo estamos levantando el ánimo de la acústica en Brasil con educación y estandarización (¡y sin hacer ruido!)” Orador: Carolina Monteiro (ProAcústica - Brasil)
	“Ruído em Portugal: Da sensibilização à ação” Orador: Octávio Inácio (SPA - Portugal)
	“Aislamiento de Equipos Electromecánicos en Edificaciones - Una Visión Práctica” Orador: Jorge Moreno Ruiz (SPeA - Perú)
Jueves 27	“Evolución del aislamiento acústico en la edificación residencial en Bolivia” Oradores: Sebastián Rolón Carreras - Ignacio Zeballos Puccherelli (BOLIVIA)
	“¿De qué hablamos cuando hablamos de acústica?” Orador: Jaime Ramis Soriano (SEA - España)
Viernes, 28	“Paisaje sonoro y calidad acústica urbana” Orador: Arturo Maristany (AdAA - Argentina)
	“Acústica de aulas” Orador: Sebastián Ferreyra (AdAA - Argentina)

## Monitoreo Moderno de Altavoces y Aplicaciones de Monitores Inmersivos

Con el auspicio de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) la Pontificia Universidad Católica de Perú (PUCP) y la Facultad de Ingeniería de la UBA (FI-UBA) han organizado o el seminario que lleva por título:

**“Monitoreo Moderno de Altavoces y Aplicaciones de Monitores Inmersivos”.**

**Lunes 12 de junio:** Profesor Dr. Jorge Moreno (Perú)

**Lunes 19 de junio:** Profesor Dr. Aki Mäkivirta (Finlandia)

Horario de ambas clases: **12 h a 15 h en Argentina** (10 h a 13 h en Perú)

El formato de esta actividad divulgativa puede ser utilizada en otras ocasiones.

### SEMINARIO

## Modern Monitoring Loudspeakers and Immersive Monitoring Applications

**Lunes 12 junio**  
10 a.m. - 1 p.m.  
(hora de Lima)



**Hablemos de Altavoces Pasivos: un enfoque Teórico – Práctica.**  
**Let's talk about Passive Loudspeakers: a Theoretical – Practical approach.**

Dr. Jorge Moreno

**Resumen**  
Se presentan los principios de funcionamiento de un altavoz de radiación directa, con un enfoque práctico sin dejar de lado los fundamentos teóricos. Además, se ofrecerá una visión general de los gabinetes acústicos pasivos más usados por la industria, complementan la explicación simulaciones on line.

**Abstract**  
The operating principles of a direct radiation loudspeaker are presented, with a practical approach without neglecting the theoretical foundations. In addition, an overview of the most used passive acoustic cabinets in the industry is presented, complementing the explanation with online simulations.

**Lunes 19 junio**  
10 a.m. - 1 p.m.  
(hora de Lima)



**Principles of Immersive Audio, Interaction of the Loudspeaker with the Room. Details of a New Approach of Loudspeaker Design.**

Dr. Aki Mäkivirta

**Abstract**  
The presentation will be conducted by Dr. Aki Mäkivirta, the R&D Director at Genelec, an audio technology company based in Iisalmi, Finland.

The primary aim of the presentation is to provide a comprehensive understanding of the fundamental principles underlying active monitoring loudspeaker design. Dr. Mäkivirta will cover key areas such as system alignment and optimization. By exploring these aspects, attendees will gain insights into the engineering behind active loudspeakers and the technological advancements that contribute to their enhanced performance and adaptability.

Furthermore, active loudspeaker technology offers certain advantages over passive technology. These include improved driver matching, enhanced phase and time alignment, customized amplification, and system design benefits. These contribute to more accurate sound reproduction and an overall superior listening experience, solidifying the position of active monitoring technology as the preferred choice in professional audio applications.

The new Genelec 8381A will be discussed as an example of a smart active monitoring loudspeaker during the presentation, showcasing the advancements in active loudspeaker technology, including digital signal processing capabilities and automated room calibration features.

## Estudio de Caso

### Mantener la paz: un nuevo enfoque nocturno

Una vez al año, en lo profundo del corazón de un bosque de Lincolnshire con sus senderos sinuosos, edificios abandonados, coches desguazados, chatarra, reliquias antiguas y luces de hadas, 18.000 personas se reúnen para sumergirse en cuatro días de música en vivo, arte, actuaciones, comida, cultura, bienestar y relajación. Bienvenido a Lost Village.

Con la música y la diversión sonando hasta las 2:00 de la madrugada, Lost Village 2022, con la ayuda de Three Spires Acoustics, necesitaba encontrar un nuevo enfoque para tratar los límites de ruido de la música nocturna y proporcionar a los “festivaleros” una buena noche y a los vecinos una buena noche de sueño.

### Reto

Cumplir con los límites de ruido nocturno impuestos por la autoridad municipal (por la que se regula la reducción de ruido a las 23 h, que puede resultar en una disminución de nivel de ruido de hasta 20 dB

fuera del recinto) sin provocar insatisfacción del público y de los artistas y los consiguientes problemas de gestión de multitudes.

### Solución

De acuerdo con la autoridad municipal, y con la ayuda de la plataforma de monitorización de ruido **Noisy** conectada a sonómetros B&K 2245, se permitió un enfoque escalonado de los niveles de ruido de la música nocturna. Se aplicó una reducción gradual de los niveles de sonido en las siete principales etapas entre las 23 h y la medianoche, acomodando al público durante este período de una hora.

### Resultado

Esta reducción gradual de los niveles de ruido dio como resultado muy pocas quejas de ruido durante el fin de semana, el cumplimiento total de la normativa y un público satisfecho y feliz.

### Si te adentras en el bosque...

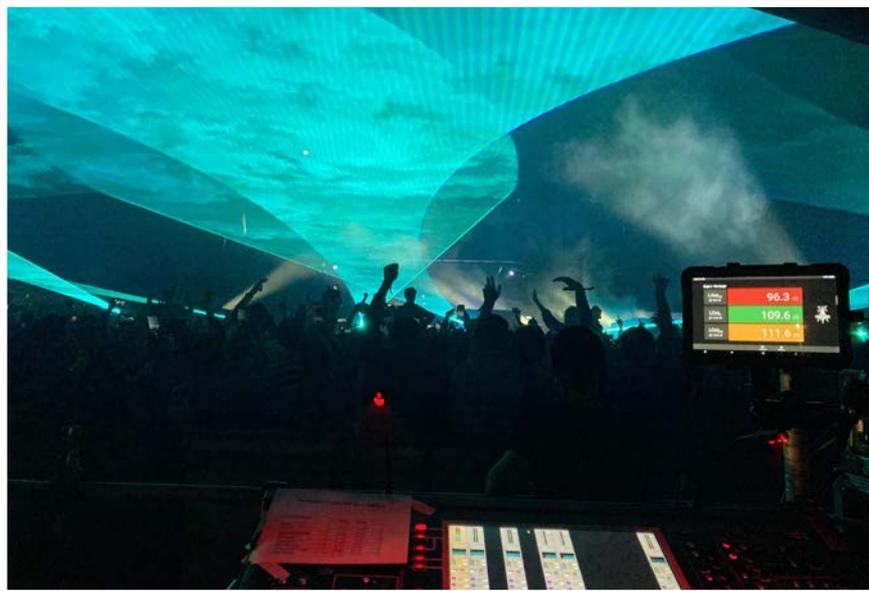
Puede que esté abandonado durante la mayor parte del año, pero durante cuatro días en verano, un bosque aislado cerca de la aldea de Norton Disney, Lincolnshire, cobra vida cuando 18.000 amantes de la

fiesta, DJ, artistas y la música de baile impregnan el entorno bucólico durante todo el día y hasta altas horas de la noche. Con actuaciones de Bonobo, Jamie XX y Tom Misch, el ambiente es bueno, el baile energético y la energía electrizante. Sin embargo, a las 23 h en punto, los límites de la normativa de ruido nocturno, impuestos por la autoridad municipal, entran en vigor y el volumen se reduce. Imagina la decepción y la insatisfacción tanto para los fans de la música como para los artistas, donde en el peor escenario podría desencadenar problemas en la gestión de la multitud.

### Encontrar el equilibrio adecuado

Las autoridades locales pueden aplicar una multa fija si el ruido de actividades domésticas o con licencia supera cierto nivel entre las 23 h y las 7 h. Para festivales como Lost Village, esto supone el desafío de mantener el equilibrio adecuado entre el sonido óptimo del concierto y una reducción del ruido en el entorno circundante. Mantener los niveles de ruido por debajo de los límites prescritos también es esencial para mantener la licencia de actividad (permiso para operar) y obtener la aceptación de los vecinos. Para encontrar el equilibrio adecuado, el fundador de Lost Village, Andy George, ha estado trabajando en estrecha colaboración con Three Spires Acoustics, una consultoría independiente líder en gestión de ruido de eventos y control regulatorio. Especializados en servicios y soluciones para una gran variedad de clientes, evalúan, resuelven y gestionan problemas de ruido y contaminación para, entre otros, locales de entretenimiento y conciertos al aire libre. Durante su extensa relación, Lost Village y Three Spires Acoustics han ajustado continuamente su enfoque a las restricciones de nivel de ruido, implementando las lecciones aprendidas a lo largo del





camino. Una de las principales causas de descontento siempre ha sido la fuerte reducción de nivel a las 23 h, que puede resultar en una disminución significativa de los niveles de ruido permitidos fuera del recinto de hasta 20 dB. Necesitaban encontrar una manera de superar este problema, mientras continuaban cumpliendo con los requisitos de la normativa.

## Una enfoque innovador

Lost Village y Three Spires Acoustics idearon un enfoque sencillo pero innovador: aplicar una reducción escalonada de los niveles de sonido entre las 23 h y la medianoche. La solución solo fue posible gracias a la flexibilidad y el apoyo de la autoridad local, el Consejo de Distrito de North Kesteven, y al uso de avances tecnológicos en hardware, incluyendo sonómetros B&K 2245 con *Enviro Noise Partner* (un conjunto completo de herramientas enfocado a las mediciones de ruido ambiental), combinados con la plataforma de monitorización de ruido Noisy, integrada para su uso con el B&K 2245 a través de la interfaz de aplicación abierta (API) del sonómetro.

Una vez instalada, la plataforma totalmente integrada de Noisy per-

mitió que todas las etapas fueran monitorizadas en posiciones frente al escenario (*“front of house”* o FOH) o lateral al escenario (*“side of house”* SOH) proporcionando un punto de control central que mostraba todos los niveles sonoros in-situ (LAeq y LCeq) junto con tres estaciones de monitorización permanentes exteriores al recinto (conectadas a través de un router 4G). La monitorización en tiempo real permitió a los ingenieros seguir, prevenir y corregir el impacto acústico del sonido interno y los niveles de ruido externos, y administrar la reducción escalonada del nivel mientras se mantenía cumpliendo con los requisitos.

Reducir gradualmente los niveles de sonido en cada una de las siete principales etapas acostumbró discretamente a la audiencia a los límites más bajos durante un período de una hora, haciendo que el cambio en el volumen fuera menos dramático que el cambio repentino de años anteriores.

Una de las principales ventajas de la plataforma de Noisy es que puede acomodar las ubicaciones de las mesas de mezclas SOH o tras el escenario (*“back of house”* o BOH), mediante la ubicación remota de los

sonómetros B&K 2245 en la parte posterior de una gran carpa y las pantallas de una tableta con Noisy en posiciones SOH o BOH, ambas conectadas a través de una red. Tradicionalmente, esto no era posible sin conexiones complicadas utilizando cables XLR de gran longitud. La alimentación a través del cable de red (*“Power over Internet”* o POE) tanto para el sonómetro como para las pantallas de los dispositivos móviles con Noisy, también hace que el sistema sea mucho más robusto.

Jon Green de la compañía de producción Engine No 4, comenta: “El sistema me da la capacidad de vigilar todas las fuentes de sonido desde mi oficina y contactar rápidamente a cualquier ingeniero de sistemas que pueda estar batallando con los límites. La capacidad de programar diferentes parámetros por etapa y tiempo y realizar cambios sobre la marcha en función de las lecturas exteriores al recinto también es inestimable”.

Con una audiencia y artistas satisfechos, pleno cumplimiento de la normativa y muy pocas quejas de ruido, el nuevo enfoque fue un gran éxito. En palabras de Andy George: “El nuevo enfoque innovador en nuestros niveles de música dentro de la licencia de la instalación, realmente mejoró las condiciones in situ ... El enfoque colaborativo de la autoridad local y su disposición para comprender nuestros objetivos hizo que el proceso fuera sencillo y logramos tanto mejores niveles en el recinto como menos problemas fuera de él”.

Aunque Lost Village está ubicado en un bosque denso, la alta tecnología, la flexibilidad, la innovación y las herramientas digitales confiables y eficientes fueron cruciales para el éxito de este evento. Esperamos que el Lost Village siga siendo un evento destacado tanto para los asistentes al festival como para los vecinos por mucho tiempo en el futuro.

# novedades técnicas

“Con tantos factores externos en juego, tener la capacidad de reducir gradualmente los niveles no solo mejora la experiencia en el festival, sino que también mantiene contentos a los residentes locales.”

Andy George, fundador de Lost Village

Gracias a Chris Hurst de Three Spires Acoustics por su ayuda con este estudio de caso.

Imágenes: Derechos de autor © Lost Village 2022/Fanatic

Top of Form



## NOVEDADES TÉCNICAS 2023

En **Sound of Numbers** continuamos ampliando nuestro porfolio con la finalidad de ofrecer la mejor instrumentación acústica del mercado. En esta ocasión, nos complace anunciar que somos distribuidores oficiales de **Audio Precision** en España y Portugal. Además, la Câmara Municipal de Lisboa ha contado con nosotros para el aprovisionamiento de un **sistema de monitorización de ruido Norsonic** de altas prestaciones.

### Distribuidores de Audio Precision en España y Portugal

**Audio Precision** es un referente mundial en el desarrollo de sistemas de adquisición y análisis de datos para la evaluación de sistemas de audio y/o electroacústicos, abarcando todo tipo de tecnologías (bluetooth, PDM, PCM, ...) y permitiendo realizar evaluaciones tanto en procesos de I+D como en líneas de producción.

El analizador electroacústico de la serie **APx517B** está específicamente

diseñado para satisfacer las necesidades de las líneas de producción. Es ideal para realizar ensayos en altavoces, micrófonos, auriculares y todo tipo de productos electrónicos de consumo que incorporen altavoces y micrófonos.

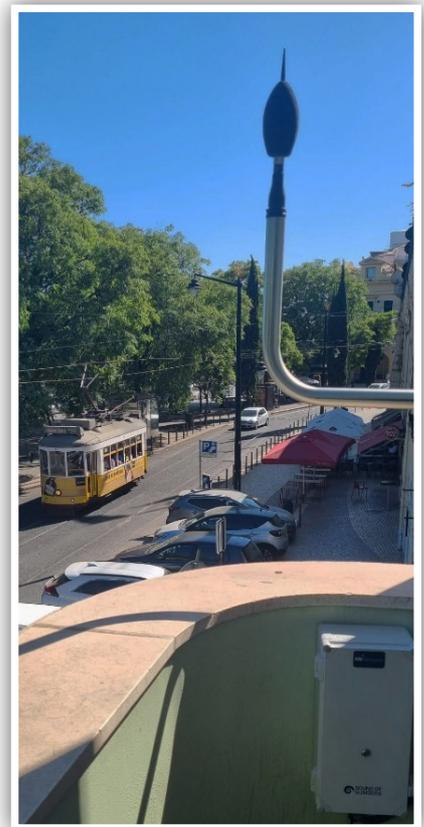


El **APx555** es un analizador de audio desarrollado para ingenieros de I+D y técnicos de producción que necesiten el mayor rendimiento posible. Dispone de una amplia gama de opciones de E/S digitales y un software rápido e intuitivo. El **APx555** es un estándar dentro de los analizadores de sistemas de audio.



### Sistema de monitorización de ruido Norsonic

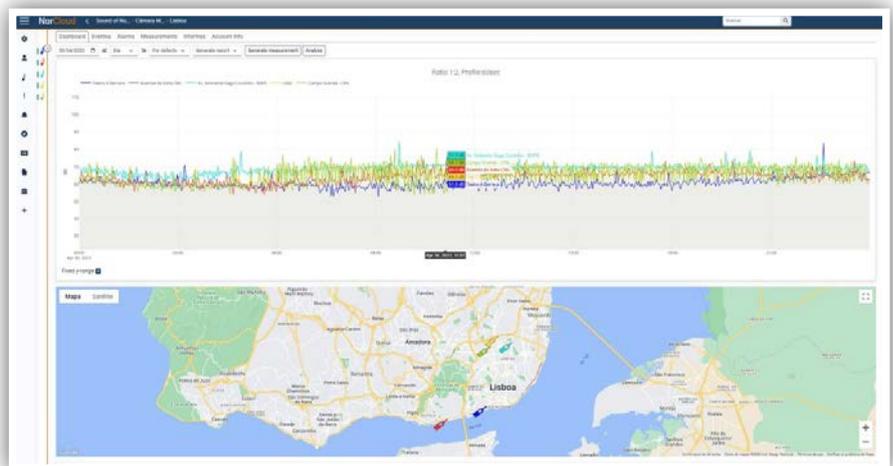
La Câmara Municipal de Lisboa cuenta con una red de monitorización



de ruido con estaciones **Nor1545** de Norsonic.

El sistema está formado por sonómetros homologados **Nor145** y toda la gestión de datos se realiza desde la plataforma **NorCloud**.

También permite el análisis en el dominio frecuencial y la posibilidad de integrar el sistema Noise Compass para detectar la dirección de la mayor contribución del ruido.





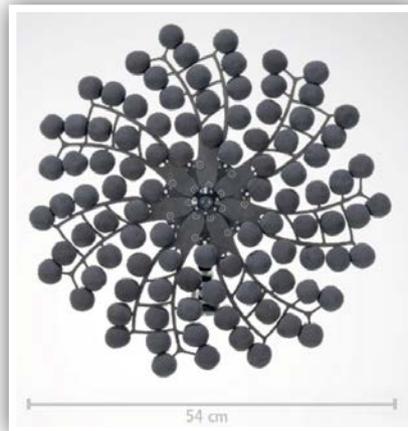
## SoundCam Bionic M

Desde Ingeniería Acústica García-Calderón, presentamos la nueva cámara acústica modular avanzada: BIONIC M, de la marca CAE-SYSTEMS.

SoundCam Bionic M es una cámara modular que captura imágenes de sonido. El dispositivo localiza fuentes de sonido en tiempo real y muestra inmediatamente los resultados en la pantalla. Es tan fácil de usar como un smartphone.

El eje de micrófonos de la SoundCam Bionic M tiene un diámetro de 100 cm y cuenta con 112 micrófonos. Está diseñada para el uso en campo tanto próximo como lejano para frecuencias a partir de 40 Hz con el software SONAH y Beamforming desde 400 Hz.

La disposición optimizada de los micrófonos garantiza resultados perfectos. Los siete brazos desmontables están bloqueados y sujetos por imanes, garantizan una instalación muy rápida y poco volumen de embalaje.



El asa de transporte y la batería recargable integrada hace que la SoundCam Bionic M sea adecuada para el uso en dispositivos móviles.

Entre los usos más frecuentes de la BIONIC M, se encuentra en acústica arquitectónica para localizar fugas de aislamiento de fachadas, paramentos, despachos de oficinas, localización de ruido de máquinas, medidas en automoción, medidas para equipos electrodomésticos, visualización de chirridos y traqueteos o en estudios medio ambientales de industrias, climatización.

Si desea conocer más información de las cámaras acústicas Bionic, o de cualquier otro instrumento que CAE-SYSTEMS fabrica, no dude en contactar con nosotros en el 91 128 89 47 o por e-mail en [info@garcia-calderon.com](mailto:info@garcia-calderon.com), en nuestra web <https://garcia-calderon.com> o en la web de CAE-SYSTEMS.



## SOUNDINSIGHT

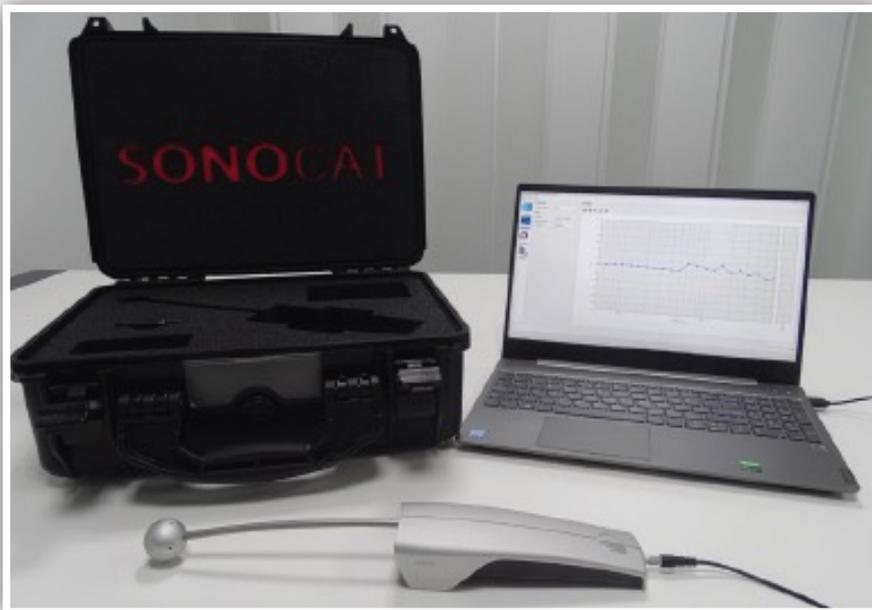
Desde Ingeniería Acústica García-Calderón, presentamos el nuevo sistema de medida de Absorción acústica "in situ" SONOCAT de la firma SOUNDINSIGHT.

Se trata de una sonda acústica para medida "in situ" del coeficiente de absorción sonora e intensidad sonora en 3D.

Se compone de un array de ocho micrófonos, ubicados en el interior de una pequeña esfera.



# novedades técnicas



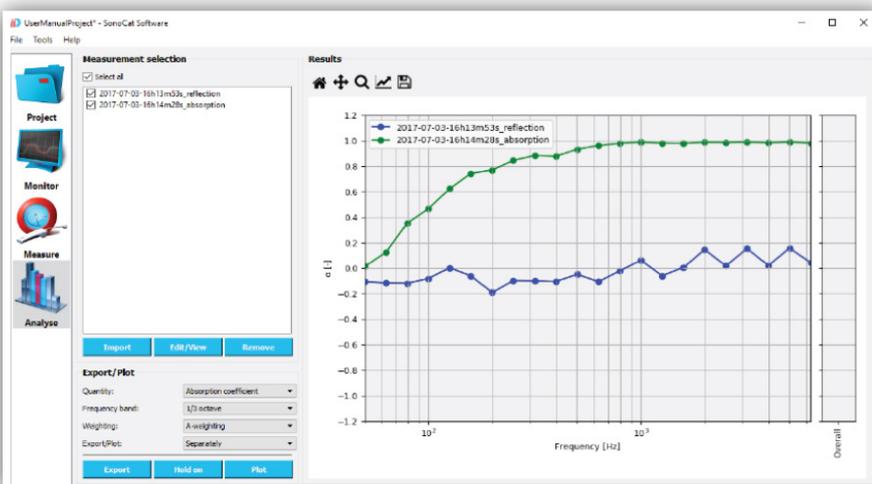
los materiales en el lugar donde se encuentren instalados. Por ejemplo, con SONOCAT podremos evaluar la absorción del pavimento de una carretera, la absorción de una pantalla acústica de hormigón o metálica, la absorción de cada una de las superficies de un recinto, donde cada superficie posee distintos materiales acústicos en techo, paredes y suelo. Ya no es necesario llevar una muestra de cada uno de los materiales al laboratorio fijo, sino que llevas este instrumento al lugar donde se encuentra el material a evaluar.

SONOCAT integra el sistema de adquisición de datos y procesado digital de las señales de los micrófonos. Los resultados, ya procesados, se trasladan vía USB al ordenador portátil.

Se puede posicionar el SONOCAT en un trípode o bien hacer un barrido manual sobre la superficie de interés para obtener los resultados promediados.

El software de SONOCAT, muy simple de manejar, nos proporciona información acústica en tiempo real, tras la configuración del equipo como tiempo de muestreo, ventanas FFT, overlap, generador interno de señal, etc. Asimismo, nos permite obtener fácilmente una comparación entre resultados medidos.

Si desea conocer más información del SONOCAT, no dude en contactar con nosotros en el 91 128 89 47 o por e-mail en [info@garcia-calderon.com](mailto:info@garcia-calderon.com), en nuestra web <https://garcia-calderon.com>



El SonoCat está pensado para realizar mediciones punto por punto o mediante escaneo de una superficie.

Por ejemplo, se puede usar para medir el nivel de presión sonora, el

vector de intensidad 3D, la velocidad de las partículas, la potencia acústica de una máquina o la absorción sonora.

La gran ventaja de Sonocat es poder medir la absorción sonora de

# Poniendo en valor el sonido urbano: introducción a la norma ISO 12913



**Jerónimo Vida Manzano**

Departamento de Física Aplicada  
Universidad de Granada  
jvida@ugr.es  
UNE CTN74/SC1 (miembro)  
ISO/TC43/SC1 WG54 y WG 68 (miembro)

PACS: 43.50

## Resumen

El paisaje sonoro urbano, su ambiente acústico también denominado el clima acústico de la ciudad, ha demostrado ser un elemento que afecta y condiciona de forma importante la calidad de vida de las personas. Hablamos de la ciudadanía que habita el municipio y de sus visitantes, a quienes también puede llegar a condicionar significativamente su impresión y valoración global de la ciudad. Más allá del ruido urbano como una forma de contaminación, en los últimos años ha crecido considerablemente el interés por los sonidos de la ciudad como una característica positiva de la misma. Hablar de sonidos y no sólo de ruidos es el primer paso para entender que el clima acústico de la ciudad afecta a la salud de las personas y al valor que pueda tener desde el punto de vista turístico y patrimonial, razones más que suficientes para que sea tenido en cuenta en el diseño urbano. Un diseño en el que no sólo se combate el ruido sino que también se busca crear espacios caracterizados por el valor que sus sonidos aportan a la calidad de vida y a la satisfacción global de residentes y visitantes de la ciudad. Es decir, introducir en el diseño de ciudad el sonido urbano como recurso que aporta valor.

Teniendo esto en cuenta, surge el importante problema de la evaluación objetiva de la percepción subjetiva y el diseño de índices que permitan valorar esos elementos de ciudad que logran dar valor al clima acústico. En este escenario se sitúa la ISO 12913, una norma que pretende estandarizar la evaluación del paisaje sonoro en contexto. Una norma que aún está en desarrollo pero que ya aporta elementos fundamentales para la realización de este tipo de estudios.

Este artículo explica las tres partes de la norma e ilustra con ejemplos propios su aplicación, los problemas encontrados y la importancia de sus resultados. Teniendo en cuenta que la norma experimentará modificaciones en el futuro e incluso la incorporación de una cuarta parte, este trabajo pretende contribuir a la paulatina introducción de la

## Abstract

Urban soundscape, the acoustic environment or acoustic climate of the city, has proven to be an element that affects the quality of life of citizens and can also have an important influence on the overall appraisal of the city by its visitors. Beyond urban noise as a form of pollution, interest in the sounds of the city as a positive characteristic has grown considerably in recent years. Talking about sounds and not only about noise is the first step to understand that the acoustic climate of the city affects people's health, become aware of its potential value not only for tourism but also for heritage preservation and that, therefore, it must be taken into account in urban design. A design not only for environmental noise prevention and control but also seeking to create urban spaces characterized by the value that their sounds adds to the quality of life and the overall satisfaction of residents and visitors of the city. That is, city sounds and urban soundscape as a resource of extra value in urban design.

With this in mind, the important problem of the objective evaluation of subjective perception arises. A task that comes together with the necessity of designing indexes for the adequate characterization of those elements of the city that give value to the acoustic climate, a set of indices for soundscape assessment. This is the background for ISO 12913, a standard that aims to standardize the human evaluation of the soundscape in context. A standard that is still under development but that already provides the basis for carrying out this type of assessments.

This article explains the three parts of the standard already published and illustrates with some examples its application, the problems encountered and what type of results are found. Taking into account that the standard will undergo modifications in the future and even the incorporation of a fourth part, this paper aims to contribute to the gradual introduction of ISO 12913, highlight its importance

norma ISO 12913, destacar su importancia y poner en valor la gestión del paisaje sonoro como herramienta complementaria para el diseño urbano y de planes de acción contra el ruido conforme a la Directiva 2002/49/CE y legislación vigente para la gestión de la contaminación acústica.

**Palabras clave:** ISO12913, paisaje sonoro, percepción, ruido, molestia, clima acústico, diseño urbano.

and the value of soundscape management as a complementary tool for urban design and the development of noise action plans in accordance with Directive 2002/49/EC and current legislation for the management of noise pollution.

**Keywords:** ISO12913, soundscape, noise perception, annoyance, acoustic climate, urban design.

## 1. Introducción

El ruido condiciona de forma importante la calidad ambiental en las ciudades y es, por ello, objeto de atención preferente de las autoridades municipales para reducir, controlar y resolver los problemas de contaminación acústica. La normativa acústica en vigor establece claramente, desde el año 2002, los procedimientos y las herramientas para la gestión municipal del ruido urbano. Después de 20 años de aplicación, la mayor parte de municipios afectados dispone de mapas estratégicos de ruido (MER) y sus correspondientes planes de acción contra el ruido (PAR).

Pero esta forma de actuar y de gestionar, partiendo de un enfoque exclusivamente técnico, no está dando en muchos casos los resultados esperados. Y esto es así porque el enfoque técnico ha demostrado ser insuficiente al no recoger todas las dimensiones del ruido urbano, su casuística, características y, sobre todo, lo que la ciudadanía opina al respecto. Este aspecto de la gestión, apoyada en la participación ciudadana, está adquiriendo también un gran protagonismo en otras parcelas de acción municipal. Sobre todo, cuando se tienen en cuenta los principios del modelo urbano de desarrollo sostenible, antes impulsado por las Agendas 21 Locales y ahora recogidos en la Agenda 2030 y sus 17 objetivos (ODS). La gestión del ruido urbano no podía quedar al margen de este movimiento, muy conectado con las Smart Cities y apoyado en la participación ciudadana.

El principal problema del enfoque técnico para la gestión del ruido urbano es que considera el ruido exclusivamente como una forma de contaminación y se construye exclusivamente en torno al criterio de reducir el nivel acústico ambiental. Un enfoque claramente insuficiente cuando encontramos ambientes con niveles sonoros elevados pero que generan confort en la ciudadanía y, al contrario, ambientes urbanos caracterizados por niveles ambientales bajos donde las personas que viven o habitan en ese ambiente manifiestan molestias o desagrado con el clima acústico existente. Para resolver este problema en la gestión del ruido urbano, el estudio y caracteri-

zación del paisaje sonoro ha ido adquiriendo cada vez más protagonismo. El cambio de enfoque es radical, al considerar los sonidos urbanos como un recurso y no como una forma de contaminación. Bajo este enfoque, el sonido propio de la ciudad llega incluso a ser parte de su riqueza patrimonial o, en cualquier caso, un elemento a cuidar y fomentar independientemente, aunque de forma complementaria, de cuál sea su nivel acústico.

En la actualidad, el estudio y caracterización del paisaje sonoro urbano es una actividad que se encuentra muy ligada al diseño de ciudad, al desarrollo urbano sostenible, a la búsqueda de espacios que generen calidad de vida, a la prevención de problemas de salud asociados a exposiciones sonoras inadecuadas. La percepción e interpretación del clima acústico urbano en contexto es la base de este enfoque, con todo lo que significa determinar de forma objetiva algo que se fundamenta, esencialmente, en una valoración subjetiva que depende del lugar y del momento en que se realiza (contexto).

## 2. Cambio de paradigma

La evaluación del ambiente acústico urbano basado en la percepción de la ciudadanía en contexto (*soundscape assessment*) no es algo nuevo, ni siquiera reciente, aunque sí la atención e importancia que ha despertado en el contexto de los principios de sostenibilidad que guía e inspira actualmente el desarrollo urbano. En 2019 la investigación en paisaje sonoro celebró 50 años como disciplina científica [1], desde que en 1969 se usara el término "*soundscape*" por primera vez en una prestigiosa publicación sobre psicología ambiental que iniciaba su andadura (*Environment and Behaviour*). Su autor, Michael Southworth, entonces doctorando sobre planificación urbana en el MIT en Boston y hoy profesor emérito sobre diseño urbano en UC-Berkely, inició un campo nuevo de investigación acústica que ponía el foco de atención en la opinión de las personas y no tanto en los registros de los sonómetros. Destacaba la importancia del diseño de los espacios urbanos en el resultado final que estos espacios pudieran tener en la calidad de vida de las perso-

nas destinadas a habitarlos. Robert Barti nos hace un magnífico relato del origen de la expresión “*soundscape*” [2], de estos primeros compases y de la evolución de un cambio de paradigma en acústica ambiental que, 50 años después, adquiere su máximo protagonismo. Y lo hace sin romper con criterios y métodos vigentes, sino complementando todo lo existente.

Es como si en este tiempo hubiéramos visto el ambiente acústico urbano, el paisaje sonoro de la ciudad, desde una ventana a medio abrir. De pronto nos hemos dado cuenta de que la realidad acústica urbana es más amplia y compleja, incluso más bella. Hemos descubierto que las ciudades ruidosas también esconden sus rincones de placer acústico, oasis sonoros aunque no estén tipificados legalmente como zonas tranquilas. Que hay sonidos propios que deben ser preservados porque promueven la salud de las personas e incluso constituyen un valor patrimonial. Dejamos a un lado el ruido y nos acercamos a los sonidos, entendiendo que realmente existe un ambiente acústico urbano que no es contaminación y que tiene un gran valor.

Sonido urbano y salud, ambiente acústico y calidad de vida. Conceptos tradicionalmente antagónicos, al menos enfrentados en el sistema tradicional de gestión urbana, que ahora se dan la mano. Porque si existe ese clima acústico urbano que es agradable, que genera calidad, que no es perjudicial para la salud, debe ser preservado y valorizado. Y si no existe, debe ser promovido, fomentado, debe ser introducido en nuestras urbes. Hablamos de diseño urbano para generar espacios construidos sostenibles (*sustainable built environments*) en el siglo XXI, el siglo de la Agenda 2030, el tiempo de pensar y hacer las cosas de otra forma. Y en acústica ambiental también, un cambio de paradigma que nos hace abrir la ventana al completo y entender que la evaluación acústica es incompleta si sólo se realiza en base al decibelio.

Bajo esta nueva perspectiva, el objetivo fundamental es conocer y caracterizar el sonido de una ciudad para su puesta en valor como recurso al mismo tiempo que para su preservación, cuidado y mantenimiento. Se trata de gestionar la contaminación acústica a partir del conocimiento del sonido ambiente desde la información aportada por la tecnología (sonómetros, grabaciones, etc.) complementada por la información que aporta la evaluación objetiva de la valoración subjetiva en contexto.

### 3. Asignatura pendiente: evaluación objetiva

Porque ese es el reto, la asignatura pendiente, el desafío al que nos enfrentamos una vez que se entiende la importancia de este cambio de paradigma: la evaluación

objetiva de la valoración subjetiva en contexto. Si bien han sido diversos los enfoques y metodologías aplicadas en el desarrollo de esta disciplina durante estos años, siempre ha existido consenso en cuanto al enfoque interdisciplinar, holístico y perspectiva multisensorial necesaria para, primero, capturar una percepción subjetiva que va mucho más allá de su dimensión puramente auditiva y, segundo, evaluarla objetivamente. Este desafío tiene, entre otras posibles, dos partes bien diferenciadas y de especial importancia: descriptores y método. Es decir, qué magnitudes usar en la evaluación y qué método emplear para adquirir los datos necesarios con los que estimar su valor.

Inevitablemente, al hablar de magnitudes para describir el ambiente acústico pensamos en los tradicionales indicadores de ruido y también en los parámetros psicoacústicos (denominados igualmente indicadores psicoacústicos). Su uso en esta disciplina (*soundscape*) es muy relevante [3] dado el papel tan importante que la Psicoacústica desempeña en el estudio de la audición y la forma en la que la información acústica es procesada por las personas. En este sentido, los indicadores psicoacústicos tradicionales - **sonoridad** (L, *loudness*), **agudeza** (S, *sharpness*), **aspereza** (R, *roughness*), **fluctuación** (F, *fluctuation strength*) y **tonalidad** (T, *tonality*) estimados a partir de los registros de audio - permiten evaluar la calidad del ambiente acústico aplicando los modelos de molestia/agrado de Zwicker [4] Por su parte, los indicadores de ruido, tanto en banda ancha como espectrales, estimados a partir de las medidas realizadas con un sonómetro contribuyen igualmente a la caracterización del clima acústico existente. Sin embargo, en ambos casos hablamos de indicadores relacionados con la medida, con la instrumentación usada para evaluar el ambiente acústico, pero no con la percepción humana y, por ello, resultan necesarios pero insuficientes en la investigación y evaluación objetiva y en contexto del *soundscape*. Los indicadores (de ruido y psicoacústicos), magnitudes asociadas a la medida, deben complementarse con los descriptores del paisaje sonoro (*soundscape descriptors*), magnitudes asociadas a las personas.

Quizá el proyecto más importante para la definición y validación de estos descriptores sea SSID “*Soundscape Indices*” liderado por el Prof Jian Kang [5]. SSID es un proyecto que se desarrolla desde 2018 hasta 2024 tomando datos de ambientes acústicos en diferentes ciudades del mundo, con el objetivo de proponer y validar un marco de trabajo para la predicción, diseño y estandarización de paisajes sonoros urbanos.

En relación al método, la norma ISO 12913 establece el procedimiento estandarizado para realizar la evaluación del paisaje sonoro. La norma incluye de momento

tres partes: el marco conceptual de la evaluación en contexto, parte 1 [6], los requisitos necesarios para la realización de las medidas, parte 2 [7] y la forma de analizar esas medidas, parte 3 [8]. Tanto la ISO 12913-2 como la ISO 12913-3 son normas TS (*Technical Specification*), lo cual significa que se trata de documentos que podrán incorporar en futuras revisiones el resultado de la investigación actualmente en desarrollo. Estamos hablando de normalización en torno a una ciencia emergente y, como tal, se entiende que puede experimentar cambios antes de convertirse en una norma ISO definitiva. La vida de un documento ISO TS antes de considerar su revisión es de tres años desde su publicación y, de nuevo, a los seis años, circunstancia que para la ISO 12913-3 se alcanza en 2023. De la misma forma, también se trabaja actualmente en su parte 4 [9], un documento que pretende destacar la utilidad real, el valor y potencial en la práctica del *soundscape assessment*. De momento, sólo el ejemplo de Gales anima a otros países y administraciones a considerar el paisaje sonoro un elemento fundamental de sus instrumentos de planificación urbanística [10, 11]

## 4. Norma ISO 12913

La norma 12913 es una de las 162 elaboradas hasta la fecha por el comité técnico 43 (TC 43 “Acoustics”), subcomité 1 (SC 1 “Noise”) de ISO [12]. Dentro de ISO/TC 43/SC 1 existen 20 grupos de trabajo (WG) entre los que se encuentra el número 54 (WG 54 “Perceptual assessment of soundscape quality”), encargado de su redacción y revisión periódica. WG54 está coordinado por Philip Dunbavin y actualmente cuenta con 61 miembros de 19 países. Cada una de las tres partes de la ISO 12913 publicadas hasta la fecha, contribuye específicamente a los objetivos 3 y 11 de la Agenda 2030.

Relacionado con el WG 54, este comité también acoge al WG 68 (“Non-acoustic factors”), creado en julio de 2022 y encargado de la elaboración de la futura norma sobre los factores no acústicos, también denominados factores de contexto (*contextual factors*). WG68 está coordinado también por Philip Dunbavin y actualmente cuenta con 19 miembros de 10 países. Los factores contextuales influyen en la evaluación de los efectos en la salud de las personas a partir de estudios de ruido y de paisaje sonoro, así como en la propia planificación, diseño y gestión de las intervenciones sobre el ruido y el paisaje sonoro. Por tanto, esta nueva norma, prevista para julio de 2025 y actualmente un proyecto en desarrollo [13], debe servir de nexo y de alguna forma complementar los trabajos de evaluación del paisaje sonoro (ISO 12913) con los de evaluación de la molestia por ruido (ISO 15666, [14]) a partir de la determinación de los factores no acústicos en estos procesos.

### 4.1. ISO 12913-1:2014. El marco conceptual

La primera parte de la norma, publicada en 2014, define el concepto paisaje sonoro (*soundscape*) y establece las bases sobre las que se edifica el resto de la norma. No es una norma TS (*Technical Specification*) pero sí está sometida a revisión periódica cada 5 años. Actualmente se encuentra en estado [90.93] dentro del procedimiento ISO [15], que significa norma internacional confirmada tras su proceso de revisión.

Además de las definiciones, destaca en esta norma la insistencia en separar la parte de percepción (paisaje sonoro - *soundscape*) del propio fenómeno físico (ambiente acústico - *acoustic environment*), algo que refleja en su figura 1 (*elements in the perceptual construct of soundscape*), página 2 de la norma, donde las fuentes y el contexto dan lugar a la respuesta (de las personas) que se pretende evaluar.

### 4.2. ISO/TS 12913-2:2018. Los requisitos

La segunda parte de la norma, publicada en 2018, se encuentra en el mismo estado ISO que la primera, es decir [90.93], si bien en este caso sí estamos ante una norma TS (*Technical Specification*) y, por ello, condicionada por el avance de la investigación en esta materia y los resultados que puedan ser incorporados en la misma en futuras revisiones.

Se describe en esta norma los criterios que deben regir la adquisición de datos e información para la posterior evaluación del paisaje sonoro. El capítulo 4, sobre descriptores e indicadores, el capítulo 5, sobre adquisición de datos, y el capítulo 6, sobre requerimientos para la elaboración de informes, exponen de forma genérica la metodología en los estudios e investigación sobre paisaje sonoro. En el caso del capítulo 6, sin contenido, dirige directamente al Anexo A. En realidad, los tres capítulos dirigen a los anexos de la norma para los detalles en cada uno de los asuntos de interés y etapas en este tipo de trabajos:

- **Anexo A, normativo**, sobre requerimientos mínimos para la elaboración de informes
- **Anexo B**, informativo, sobre indicadores psicoacústicos
- **Anexo C**, informativo, sobre métodos para la adquisición de datos
- **Anexo D, normativo**, sobre métodos para los registros de audio binaural
- **Anexo E**, informativo, sobre buenas prácticas en la elaboración de informes

#### 4.2.1. Capítulo 4. Descriptores e indicadores

El capítulo 4 destaca la importancia que tiene la adecuada selección de descriptores e indicadores para eva-

luar la percepción y la afección por ruido. Teniendo en cuenta la limitación que presentan los indicadores clásicos en determinadas condiciones (baja frecuencia, contenido tonal o ambientes con una gran cantidad de fuentes) la selección es importante y puede ser diferente en función del tipo de estudio que se realice.

En este sentido, la norma diferencia entre descriptor, magnitud ligada a la percepción de las personas, e indicador, magnitud ligada a las medidas que hacen los instrumentos con la que se estima el valor de los descriptores. En relación a la instrumentación acústica, la norma cita la ISO 1996-1 [16] como referencia para la estimación de los indicadores de ruido clásicos (nivel equivalente y niveles percentil), lo que hace pensar que el uso de sonómetros integradores es adecuado en estos estudios. Sin embargo, la referencia a los parámetros psicoacústicos y a los métodos de cálculo de los mismos en el Anexo B avanza la idea, que se concreta en el capítulo 5, de que la caracterización del ambiente acústico en estudios de paisaje sonoro requiere de medidas algo más complejas que simplemente analizar sus niveles acústicos.

También establece claramente las partes de cualquier estudio de paisaje sonoro, lo que podríamos denominar el “ecosistema soundscape”, formado por las personas (1), el ambiente acústico (2) y el contexto (3), que analizamos con más detalle a continuación:

### 1 Personas

La información que debe recopilarse sobre las personas que participan en la evaluación se detalla fundamentalmente en los Anexos A y E, sobre su clasificación, y en el Anexo C, sobre su percepción. Adicionalmente, y si así se considera, en determinados casos se podrá recopilar otra información complementaria como, por ejemplo, la velocidad a la que se camina, distancia entre personas, tiempo que se emplea en la evaluación, etc.

### 2 Ambiente acústico

La norma recoge en su Anexo A, apartado A.3, la información que debe recopilarse sobre indicadores acústicos y otros elementos que permitan caracterizar el ambiente acústico evaluado. Aunque este anexo ya incluye la necesidad de estimar la sonoridad, la norma recoge en su Anexo B recomendaciones sobre otros indicadores psicoacústicos y método de cálculo en cada caso para describir el ambiente acústico.

### 3 Contexto

La información que debe recogerse sobre el contexto del estudio de paisaje sonoro también se encuentra en el Anexo A, apartado A.4. La norma destaca la necesidad de obtener cuanta información sea necesaria para describir y documentar adecuadamente todas las circuns-

tancias, hechos o herramientas empleadas en el trabajo, considerando todos los elementos del sistema ambiente-persona.

## 4.2.2. Capítulo 5. Adquisición de datos

La norma destaca en este capítulo la distancia (*gap*) que aún existe en la práctica entre descriptores e indicadores acústicos o, dicho de otra forma, la falta de conexión e incluso de armonización entre medidas acústicas realizadas por personas y las que se realizan con instrumentación. Se insiste en que, sólo integrando adecuadamente estas dos técnicas del estudio acústico, será posible extraer todo el potencial que tiene el enfoque *soundscape* y darle una utilidad real en la planificación y en el diseño urbano. Por lo tanto, la norma establece que cualquier estudio que no considere las personas (1), el ambiente acústico (2) y el contexto (3) bajo la perspectiva de diferentes métodos de investigación, no será nunca un estudio acústico completo del paisaje sonoro.

Lo anterior implica que cada paisaje sonoro debe ser investigado desde diferentes puntos de vista mediante la realización de un **paseo sonoro** (apartado 5.2) y/o un **cuestionario** (apartado 5.3) y/o una **entrevista guiada** (apartado 5.4), todo ello en combinación de **medidas binaural** del ambiente evaluado (apartado 5.6). En cualquier caso, las herramientas y los métodos descritos en la norma para la recogida de datos en una evaluación del paisaje sonoro se pueden usar tanto en un ambiente real in situ, como artificial mediante la reproducción con altavoces o auriculares (audiciones).

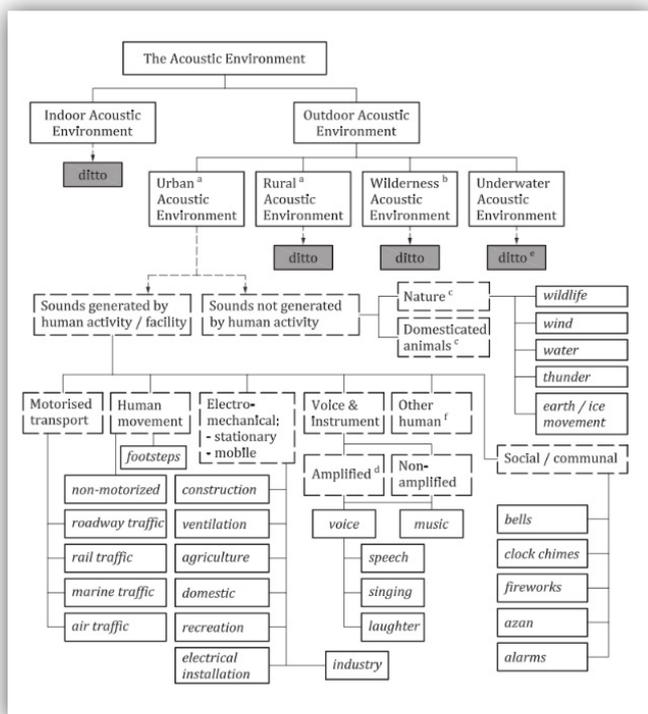
El **paseo sonoro** es un método para obtener información sobre la percepción humana, sensaciones y respuestas que produce en las personas el ambiente que le rodea. La norma deja claro que el estudio del paisaje sonoro mediante paseos sonoros no está solo interesado en las respuestas a los estímulos sonoros, sino que también son importantes las respuestas de las/los participantes motivadas por otras características del ambiente (dimensión social, cultural, su aspecto, etc.) Es más, destaca la importancia de que en los paseos sonoros participen expertos locales y personas con cierta relevancia en la comunidad, porque sólo así será posible extraer información útil para la planificación y la toma de decisiones, al relacionar la percepción no sólo con el clima acústico sino también con aspectos singulares y diferenciadores de la zona evaluada.

En relación al **cuestionario**, se hace especial énfasis en que los responsables de la investigación no interfieran con las personas participantes en la evaluación. Se debe dejar hacer, dar su tiempo y no condicionar la forma en la que se responde al cuestionario. El uso de cuestionarios debe posibilitar la realización de una evaluación ho-

lística, cubriendo las sensaciones auditivas y también otras variables que definen el contexto, como los estímulos visuales y las expectativas personales. Las mismas ideas se trasladan en forma de recomendaciones para la realización de una entrevista guiada, refiriéndose al ejemplo dado en el Anexo C.

La Figura C.1 del Anexo C (reproducida a continuación), que muestra la clasificación ordenada y jerarquizada de las fuentes de ruido en ambiente exterior e interior, es referida en toda la norma y singularmente en este capítulo para destacar la gran cantidad de fuentes y contextos que dan lugar a un determinado ambiente acústico. También para mostrar que la norma intenta evitar que se generen juicios de valor por la forma de designar a estas fuentes. Por ejemplo, usando “*motorized transport*” en vez de “*intruding traffic noise*”, con la intención de que el lenguaje sea lo más transparente posible y, por ello, incorporable en cualquier tipo de estudios.

Sobre las **medidas binaural** del ambiente acústico, la norma refiere al Anexo D (que es normativo) en relación al método y procedimiento, si bien destaca en este capítulo la necesidad de usar un sistema calibrado específico (cabeza artificial) Se hace una breve referencia al uso de sistemas de micrófonos (*microphone arrays*) para la grabación del ambiente aunque, a pesar de su ventaja en la reproducción en audiciones, desaconseja su uso por la falta de estandarización y la consecuente complejidad en la estimación de parámetros psicoacústicos.



**Ilustración 1.** ISO/TS 12913-2:2018, Anexo C, Figure C.1 (sound source taxonomy).

#### 4.2.3. Anexo A. Elaboración de informes

Como se ha dicho antes, el Anexo A tiene carácter normativo. Sea cual sea la forma de llevar a cabo el estudio de paisaje sonoro (trabajo de campo, de laboratorio, etc.), la información mínima que debe recopilarse en relación a las personas que participan en el mismo son las que figuran en el apartado A.2 (*participants*). Entre otra información, la siguiente:

- Cómo fue seleccionada
- Si es residente o visitante del lugar sometido a evaluación
- Si es persona experta o profana en la materia (acústica)
- Edad
- Género
- Cualquier otra información considerada relevante (por ejemplo, si tiene discapacidad auditiva)

En su apartado A.3 (*acoustic environment*), sobre requisitos para caracterizar el ambiente acústico, se incluye la necesidad de incorporar información sobre:

- Su tipo, pudiendo ser un ambiente real, una grabación o una recreación virtual
- Las fuentes de sonido que configuran el ambiente, distinguiendo entre sonido global, sonidos lejanos y cercanos
- Las condiciones atmosféricas
- Fecha del año y hora del día cuando se realiza la evaluación
- Los puntos de medida, incluyendo información sobre altura y orientación de las medidas de sonido binaural
- Los índices acústicos que sean apropiados, incluyendo  $L_{Aeq,T}$ ,  $L_{Ceq,T}$ ,  $L_{AF5,T}$  y  $L_{AF95,T}$
- Sonoridad  $N_{5^*}$ ,  $N_{95}$  y  $N_{rmc}$
- Si es un trabajo de campo, descripción del lugar (interior, exterior, plaza, parque, etc.)
- Si es una grabación o recreación virtual, descripción de cómo fue realizada y cómo fue reproducida a los participantes en el estudio

En su apartado A.4 (*data collection*) describe la información que hay que recopilar para describir adecuadamente el contexto del estudio. Información sobre:

- El método usado
- Las preguntas realizadas, cómo fueron formuladas y cómo se documentaron las respuestas
- En el caso de realizar una clasificación, cómo se formularon las preguntas, alternativas en las respuestas, su formato, etc.

- El idioma empleado en el estudio y, si fuera el caso, su traducción a otros idiomas
- En el caso de observación de la conducta, la forma en la que fue realizada
- Incluir también una copia del cuestionario, las escalas, etc. empleadas en el estudio

#### 4.2.4. Anexo B. Indicadores psicoacústicos

El Anexo B destaca la importancia de los indicadores psicoacústicos, que prefiere denominar **parámetros psicoacústicos**, ofreciendo una descripción resumida de lo que cada índice representa y el papel que desempeña en la descripción objetiva de las características de la percepción de los sonidos por parte de las personas. Además de la sonoridad y el nivel de sonoridad (*loudness and loudness level*) el Anexo B también incluye información sobre el cálculo de la agudeza (*sharpness*), fluctuación (*fluctuation strength*) y tonalidad (*tonality*).

De forma general se recomienda la determinación de un **valor único** de estas magnitudes para representar la sensación auditiva humana ante un estímulo sonoro. En el caso de sonidos que varían en el tiempo, la norma desaconseja el uso del valor promedio por no representar realmente el proceso cognitivo de los seres humanos (por eso, por ejemplo, en el caso de la sonoridad se recomienda el uso del percentil  $N_c$ ). En todo caso, sea cual sea el método computacional empleado para el cálculo de los parámetros psicoacústicos, éste debe ser indicado en el informe final.

#### 4.2.5. Anexo C. Métodos para la adquisición de datos

El Anexo C tiene carácter informativo. Su contenido es una de las partes más importantes de la norma y, seguramente, una de las que más se verá modificada en futuras revisiones de la misma como consecuencia del avance en la investigación. La información sobre la percepción en contexto (*self reported views*) debe recogerse mediante un cuestionario o una entrevista y el método para llevar a cabo dicho sondeo de opinión figura en este anexo. Aquí encontramos información sobre:

##### Apartado C.1 Taxonomía del ambiente acústico

La Figura C.1 del anexo (ilustración 1, mostrada anteriormente) representa el modelo taxonómico del ambiente acústico en los estudios de paisaje sonoro. Philip Dunvabin, *convenor* del ISO/TC43/SC1/WG54, insiste en destacar una idea fundamental: el estudio del paisaje sonoro debe realizarse a partir de un enfoque holístico con la contribución de muchas disciplinas. Y esto es así porque en su definición interviene todo el ambiente acústico resultante de la acción combinada de las fuentes naturales y humanas existentes en un momento dado.

Por eso la importancia de la Figura C.1 como medio para tener una visión amplia y jerarquizada de ese ambiente y afrontar su estudio de forma ordenada [17]

##### Apartado C.2 Procedimiento para la realización de paseos sonoros

Realizar un paseo sonoro es una de las formas propuestas para la recogida de datos de percepción. Un paseo sonoro consiste en caminar por un trazado previamente establecido, con paradas en lugares concretos donde se recoge la opinión de los participantes. Las personas que participan en la actividad deben responder a unas preguntas en cada uno de los puntos establecidos dentro del itinerario, mientras se realizan medidas coincidentes de audio, vídeo y fotografía de ese ambiente.

Si bien el concepto “paseo sonoro” queda bastante bien explicado en la norma, son muchos los detalles que aún no están completamente definidos. De momento la norma realiza recomendaciones para la persona que organiza y guía el paseo y también para las/los voluntarios que participan en el mismo.

Las **instrucciones generales para la realización del paseo sonoro** (punto C.2.2.1) insisten en la importancia de no correr para responder a las preguntas, prestar atención a los sonidos existentes durante un tiempo antes de comenzar la evaluación, cerrar los ojos, caminar en silencio de un punto a otro, etc.

Si bien la norma aconseja algunas preguntas que pueden ser formuladas al final o durante el paseo sonoro (punto C.2.2.2), se entiende que la obtención de datos cuantitativos de percepción debe realizarse a partir de un cuestionario. Así se expresa en el punto C.2.3, el cual concreta algunos detalles metodológicos más sobre la forma de realizar un paseo sonoro:

- El área de estudio y el itinerario del paseo sonoro deben estar previamente definidos y claros para las/los participantes
- La selección de los puntos o paradas dentro de un itinerario depende de la intención del estudio, pudiendo ser competencia exclusiva del investigador/a o contar con la colaboración de las partes interesadas en el mismo e incluso de las personas que participan en el paseo sonoro
- Las/los participantes deben cumplimentar el mismo cuestionario en los mismos puntos o paradas establecidos en el itinerario
- Al menos 20 personas deben evaluar cada punto dentro de un itinerario
- El paseo sonoro debe realizarse en grupos de 5 personas máximo

- El paseo sonoro debe repetirse las veces necesarias para alcanzar las 20 evaluaciones mínimas requeridas en cada punto del itinerario
- Al repetir la actividad hasta alcanzar las 20 evaluaciones, se procurará que en cada repetición las condiciones en cada punto/parada sean similares a las otras veces

Existen, no obstante, aspectos sobre los que la norma no aporta información ni realiza propuesta o requerimiento. Por ejemplo, distancia aconsejada (máxima, mínima), duración total de la actividad (horas), número de puntos/paradas en el trazado, etc. Tampoco dice nada sobre el momento del día aconsejado para realizar la actividad (mañana, tarde, noche) o la tipología del día (festivo, diario, fin de semana, etc.) Todas estas son cuestiones que se irán definiendo en futuras revisiones de la norma. Algunos resultados muestran notables diferencias entre las evaluaciones realizadas por la mañana o por la tarde incluso si el ambiente acústico, evaluado a partir de los registros sonoros, es parecido [18, 19] o si las personas participantes presentan algún tipo de discapacidad visual [20].

### Apartado C.3 Métodos para la recopilación de datos

La norma propone tres métodos para la recogida de datos de percepción del paisaje sonoro:

- Method A (C.3.1): cuestionario estándar
- Method B (C.3.2): paseo sonoro + cuestionario breve
- Method C (C.3.3): entrevista guiada + cuestionario extenso

En realidad, los tres métodos no son formas diferentes de recoger datos para la investigación y el estudio, sino formas alternativas de hacer el trabajo de campo conectadas por la necesidad de realizar un sondeo de opinión. Es decir, en los tres casos hay que preguntar sobre su percepción a las personas que participan en la evaluación del paisaje sonoro, razón por la que, en la práctica y en muchos casos, se convierten en métodos complementarios [21].

El **método A** propone un cuestionario con respuesta verbal en una escala ordinal; el **método B** informa sobre cómo realizar un paseo sonoro durante el que se sugiere usar un cuestionario alternativo con respuestas sobre una escala continua con marcas verbales; finalmente, el **método C** establece un protocolo para la realización de una encuesta narrativa durante una entrevista personal.

Los métodos A y B están pensados para ser desarrollados in situ (*on site*) de forma coincidente con la

toma de registros acústicos. El método C está pensado para ser desarrollado en un contexto residencial (*off site*), habitualmente en el hogar y sobre cuestiones relacionadas con el entorno urbano en ese lugar. En este caso no se realizan medidas coincidentes del ambiente acústico, sino que la evaluación de la percepción se basa en la experiencia de quien responde al cuestionario.

### Apartado C.3.1 Cuestionario Método A

El cuestionario propuesto está dividido en **cuatro** partes y cada parte incorpora una pregunta con cinco posibles respuestas formuladas en una escala verbal ordenada.:

- **Parte 1 (C.3.1.2):** identificación de las fuentes  
*“To what extent do you presently hear the following four types of sounds?”*  
 Esta pregunta tiene 4 dimensiones (Figura C.2 del anexo), una por cada uno de los 4 tipos de fuentes principales en la evaluación que, alternativamente, también se pueden reducir a 3 tipos (Figura C.3 del anexo).
- **Parte 2 (C.3.1.3):** calidad acústica percibida  
*“For each of the 8 scales below, to what extent do you agree or disagree that the present surrounding sound environment is...”*  
 Esta pregunta es la más compleja, pues se desarrolla en ocho dimensiones (Figura C.4 del anexo)
- **Parte 3 (C.3.1.4):** evaluación del ambiente acústico  
*“Overall, how would you describe the present surrounding sound environment?”*
- **Parte 4 (C.3.1.5):** evaluación de la adecuación del ambiente acústico  
*“Overall, to what extent is the present surrounding sound environment appropriate to the present place?”*

Las preguntas de las partes 3 y 4 tienen una única dimensión (Figuras C.5 y C.6 del anexo).

El cuestionario no tiene que ser presentado en el orden anterior y puede complementarse con otras preguntas (sin especificar cuáles) en función del propósito de la investigación.

Aunque todas las preguntas son relevantes y tienen un objetivo concreto dentro de la evaluación, la más importante sobre la que pivota no sólo el cuestionario del **método A** sino el desarrollo de toda la norma 12913, es la que incluye la **parte 2: calidad acústica percibida**, en inglés **“perceived affective quality”** (PAQ). Las ocho dimensiones de la pregunta constituyen el denominado

modelo emocional o modelo afectivo de percepción del ambiente acústico, habitualmente el **“PAQ model”**.

El cuestionario que se propone en el método A no está específicamente diseñado para ser usado en un paseo sonoro, sino para ser usado en cualquier evaluación in situ del clima acústico (incluido el paseo sonoro). Por otro lado, sea cual sea el método elegido para el estudio (métodos A, B o C) se insiste en que las personas que participen deben firmar su consentimiento al inicio del mismo, así como ser informadas sobre el carácter opcional y voluntario de responder a todas o sólo a alguna de las preguntas formuladas.

En la práctica, la experiencia aún no escrita indica que la opción de dejar preguntas sin responder complica el análisis de los datos, por lo que siempre es recomendable que se respondan todas las preguntas formuladas.

### Apartado C.3.2 Cuestionario Método B

El método B - *Soundwalk data collection (Method B)* - hace referencia expresa al **paseo sonoro** como forma de desarrollar el trabajo de campo que permite la recogida de datos de percepción en contexto, del clima acústico existente en un determinado ambiente. Este método también destaca y pone en valor la utilidad del paseo sonoro como herramienta para la recogida de información que permita elaborar propuestas para la mejora de ese ambiente.

En las **instrucciones** para la realización de un **paseo sonoro**, apartado C.3.2.2, encontramos recomendaciones para quien lidera la actividad (C.3.2.2.1), quien realiza las medidas de audio binaural (C.3.2.2.2) y para las/los participantes (C.3.2.2.3). Destaca, por tanto, la referencia al tipo de medidas acústicas (binaural) que deben realizarse al mismo tiempo que la experiencia sensorial por parte de las/los participantes, indicando que es posible compartir responsabilidades y que quien lidere y haga esas medidas sea la misma persona.

Una vez más, la experiencia aún no escrita indica que, en la práctica, es mejor que quien haga las medidas acústicas (binaurales o de otro tipo) concentre su atención exclusivamente en esa tarea.

En relación al cuestionario propuesto, está dividido en **tres partes**:

- **Parte 1 (C.3.2.3)**: evaluación del ambiente acústico  
*“How loud is it here?”*  
*“How unpleasant is it here?”*  
*“How appropriate is the sound to the surrounding?”*  
*“How often would you like to visit this place again?”*

- **Parte 2 (C.3.2.4)**: identificación y clasificación de fuentes

*“Please list sounds sources you noticed in descending order starting with the most noticeable sound source. Any number of listed sound sources is possible, but limited to 8”*

- **Parte 3 (C.3.2.5)**: comentarios finales

*“What is it going through your mind?”*

*Write down your thoughts and feelings after listening to the environment.”*

La parte 1 incorpora cuatro preguntas con respuesta sobre una escala unipolar continua, a lo largo de la cual se añade una indicación verbal. Las partes 2 y 3, por el contrario, consisten en un recuadro donde cada participante puede libremente escribir su respuesta.

### Apartado C.3.3 Entrevista Método C

El tercer método ofrece una guía metodológica para realizar una entrevista narrativa en un contexto residencial. Pretende recoger información sobre la satisfacción con el ambiente en los espacios habitados, residenciales, la experiencia con los sonidos de cada día relacionados con la rutina diaria, vecindad, personas que comparten residencia, efectos de sonidos comunitarios, etc.

La **encuesta** que se propone es **extensa** y está pensada **para ser realizada de forma guiada**, es decir, en compañía de la persona que realiza el sondeo de opinión y no de forma autónoma. Los puntos esenciales de esta encuesta son:

- Satisfacción con el espacio donde se reside actualmente
- Experiencia acústica en el lugar de residencia previo al actual
- Experiencia en relación a los sonidos de cada día
- Sobre la rutina diaria
- Experiencia con las personas que cohabitan la residencia
- Identificación espacial de los sonidos dentro de la residencia
- Sobre el efecto de diferentes sonidos en el estado de ánimo
- Evaluación de la participación de cada sonido en la exposición global
- Acciones para mejorar la residencia en relación a sus condiciones acústicas
- Datos personales

#### 4.2.6. Anexo D. Grabación de audio binaural

El Anexo D es, como el A, de carácter **normativo**. Establece los **métodos para la medida binaural** del sonido ambiente de forma coincidente con el sondeo de opinión, realizado según lo estipulado en el Anexo C. No es demasiado extenso, aunque su contenido es muy importante en el contexto del estudio del paisaje sonoro. En todo momento se refiere a la realización de medidas binaural mediante cabeza artificial, insistiendo en que el uso de una estructura (*array*) de micrófonos no se recomienda porque aún no se ha definido una técnica estándar para la medida y análisis de la percepción a partir de sus datos.

Recordemos, no obstante, que la primera referencia a la necesidad de emplear un sistema de medida binaural del ambiente acústico la encontramos en el apartado A.3 del Anexo A (*height and orientation of the binaural measurement system*) También en ese mismo Anexo A, la necesidad de informar sobre el nivel equivalente de ese ambiente y estimar la sonoridad. Por lo tanto, estos requerimientos dan idea sobre el equipamiento acústico que debe emplearse en la caracterización del paisaje sonoro, donde el uso de sonómetros integradores tiene un buen encaje, pero resulta claramente insuficiente.

En el Anexo D esta cuestión queda, finalmente, definida al requerir medidas binaurales del ambiente acústico. Aspectos de la medida binaural del ambiente acústico que deben tenerse especialmente en cuenta en relación a la cabeza artificial:

- Situada a la altura de una persona adulta (1,6m ± 0,1m)
- Con la orientación de un observador típico en ese ambiente
- Estable y sin movimiento
- A una distancia de 1m de posibles superficies reflectantes.
- Tiempo de medida variable en función de la investigación, teniendo en cuenta la duración de los sonidos típicos del ambiente evaluado y su duración
- En cualquier caso, el tiempo de medida no debe ser inferior a 3 minutos
- Otros requerimientos técnicos de la grabación figuran en el apartado D.6
- Para la reproducción de estas grabaciones en audiciones, se seguirá lo estipulado en el apartado D.8

El protocolo de medida binaural debe incluir, adicionalmente, la información que establece el apartado D.7:

- Puntos de medida localizados en un mapa, con indicación de altura y orientación
- Equipo empleado
- Fecha, hora y tiempo de medida
- Condiciones meteorológicas
- Descripción cualitativa de las fuentes de sonido presentes en el ambiente
- Descripción cualitativa de los parámetros geográficos y topográficos del ambiente
- Descripción cualitativa del aspecto visual del ambiente
- Fotografías y vídeo para la documentación gráfica del ambiente

#### 4.2.7. Anexo E. Buenas prácticas en la elaboración de informes

El Anexo E tiene carácter informativo. Ofrece recomendaciones de buenas prácticas en el desarrollo de estudios de paisaje sonoro y posterior informe de datos obtenidos. Las pautas sobre los participantes, sección E.3.2 (*Participants*), insiste en la conveniencia de informar sobre cómo han sido seleccionados, su número y datos demográficos esenciales tales como distribución de edad y género.

### 4.3. ISO/TS 12913-3:2019. El análisis

La tercera parte de la norma fue publicada en 2019 y es, de momento, la última en la familia 12913. Este documento informa sobre los métodos y procedimientos que hay que seguir para analizar los datos que han sido previamente recopilados según lo especificado en la parte 2 (ISO 12913-2:2028) Es también una norma TS (*Technical Specification*) y actualmente se encuentra en estado [90.60], lo cual significa que está siendo revisada. En este sentido, el WG54 votó afirmativamente sobre la necesidad de revisar la norma (abril de 2023), decisión que fue posteriormente ratificada en mayo en el plenario anual del ISO/TC 43 en Canadá. Conforme a esa resolución [22], la revisión sistemática (SR) de esta norma (SR ISO/TS 12913-3:2019) la desarrollará durante un período de 36 meses el WG54 bajo la coordinación del Dr. Francesco Aletta [23]

Lo más importante de la norma - tras los capítulos iniciales de definiciones y de contexto dentro de la serie 12913 - lo encontramos en el **capítulo 5**, sobre análisis de datos cuantitativos, **capítulo 6**, sobre análisis de datos cualitativos, **capítulo 7**, sobre análisis de datos binaurales y en el **capítulo 8**, sobre triangulación. Al igual que en la parte 2, estos capítulos dirigen a los anexos de la norma para los detalles en cada uno de los asuntos de

interés. En este caso, no hay anexos normativos siendo todos de carácter informativo:

- **Anexo A**, informativo, sobre análisis de datos recopilados según el Método A
- **Anexo B**, informativo, sobre análisis de datos recopilados según el Método B
- **Anexo C**, informativo, sobre análisis de datos recopilados según el Método C
- **Anexo D**, informativo, sobre análisis de datos de audio binaural
- **Anexo E**, informativo, sobre triangulación
- **Anexo F**, informativo, sobre estudios desarrollados en laboratorio

En todo el documento queda claro que en los estudios de paisaje sonoro existe una gran variedad de tipos de datos, razón por la que distingue entre datos cuantitativos (ya sean continuos o discretos) y cualitativos (dicotómicos o correspondientes a más de dos categorías) También hace referencia a su clasificación en función de la escala usada para la medición de las variables, recordando que en investigación estadística encontramos 4 tipos de escalas de medición:

- **Escala nominal:** los datos sólo se pueden categorizar, pero no ordenar (v.g hombre/mujer, sí/no, etc.)
- **Escala ordinal:** los datos se pueden categorizar y clasificar (ordenar) (v.g. escala de 1 a 10, siendo 1 peor relevancia y 10 máxima relevancia)
- **Escala de intervalo:** los datos se pueden categorizar, clasificar y espaciar uniformemente (v.g. escala de satisfacción de 1-10 en la que consideran varios rangos: del 1-4, del 5 al 8, del 9 al 10)
- **Escala de razón** (o de proporción): los datos se pueden categorizar, clasificar, espaciar uniformemente y tienen un cero natural. En este caso es posible operar con las variables (sumar, restar, dividir y multiplicar) y aplicar una amplia gama de estadísticas, tanto descriptiva como inferencial, que requieren de un punto cero verdadero.

#### 4.3.1. Capítulo 5. Análisis de datos cuantitativos

El análisis de los datos cuantitativos recogidos en los estudios de paisaje sonoro se realizará dependiendo de su tipología, es decir, en función de la escala de medida de cada conjunto de datos (*level of measurement*, i.e. *nominal, ordinal, interval and ratio*). Cualquier análisis de correlación y pruebas de estadística inferencial se realizarán teniendo en cuenta la escala de medida. Sea cual sea el método final elegido, el capítulo 5 indica la necesidad de incluir toda la información relevante (dispersión, tendencia central, análisis de correlación etc.) en el infor-

me y proceder según lo estipulado en el Anexo A para datos recogidos según el Método A y al Anexo B para los recogidos según el Método B (ambos explicados en ISO 12913-2:2028)

#### 4.3.2. Capítulo 6. Análisis de datos cualitativos

Cuando se realizan encuestas sobre percepción, se recogen datos cualitativos que deben ser incluidos en la evaluación según lo establecido en este capítulo. La forma de transcribir este tipo de información (transcripción literal, adaptada/clarificada, etc.) dependerá del objeto de la investigación. En el caso de emplear el método del muestreo teórico (o teoría fundamentada, *grounded theory*), que aplica el razonamiento inductivo en la investigación con datos cualitativos, se establece que la transcripción clarificada (*clean read transcription*) es suficiente.

No obstante, además del método **Grounded Theory**, se hace mención expresa también al método **Quantitative Content Analysis** y el **Social Network Analysis**. La norma, no obstante, no excluye otros métodos para recoger y analizar datos cualitativos como el cartografiado del comportamiento, estudios a partir de observaciones, análisis de la interacción social, patrones de comportamiento al caminar, etc. En todo caso, el proceso de análisis de estos datos debe seguir alguno de esos métodos, informar, si fuera el caso, sobre algún tipo de desviación de las reglas básicas en una entrevista (cuestiones éticas, de prejuicio, hacer sugerencias, etc.) y seguir las recomendaciones recogidas en el Anexo C.

#### 4.3.3. Capítulo 7. Análisis del audio binaural

Tal y como se ha comentado ya, y se insiste en este capítulo, las grabaciones binaurales del sonido ambiente constituye la base fundamental para su caracterización tal y como lo escuchan las personas que participan en la evaluación. Estas medidas y su análisis psicoacústico permiten determinar objetivamente las sensaciones auditivas básicas y este capítulo nos recuerda la necesidad de seguir las especificaciones de la parte 2 de la norma en la grabación y ecualización aproximando a la medida de un micrófono monoaural (consultar Anexo D, apartado D.4 de ISO/TS 12913-2).

Los indicadores y parámetros psicoacústicos calculados a partir de estas medidas - la norma comenta expresamente  $L_{Aeq,T}$ ,  $L_{Ceq,T}$ ,  $L_{AF5,T}$ ,  $L_{AF95,T}$ ,  $N_5$ ,  $N_{95}$ ,  $N_{rmc}$ ,  $S_{50}$  e IACC (rmc significa "root mean cubed" loudness; IACC significa "inter-aural cross-correlation") - deben servir para clasificar el clima acústico de ese ambiente y vincularlo con los datos de percepción, de forma que ambos tipos de información se complementen en la evaluación. Para más información refiere a su anexo que, al igual que en la parte 2, vuelve a ser el Anexo D.

#### 4.3.4. Capítulo 8. Triangulación

La tercera parte de la norma dedica el capítulo 8 a la triangulación. Aunque pueda parecer que se trata de un asunto menor, pues este capítulo es sólo un pequeño párrafo en la página 3, la verdad es que la triangulación en las medidas de paisaje sonoro constituye una importante técnica que facilita la validación de los datos a través de la verificación cruzada de las tres componentes del ecosistema soundscape: **personas, contexto y ambiente**. La triangulación se refiere a la aplicación de diferentes métodos de investigación en el estudio del mismo fenómeno, una técnica descrita con mayor detalle en el Anexo E.

Es importante entender que la recopilación de datos sobre la forma en la que las personas perciben y experimentan un determinado ambiente acústico, esconde una gran dificultad y constituye un desafío enorme. Cada método que podamos emplear tiene sus ventajas, pero también sus inconvenientes, su ámbito adecuado de aplicación y sus incertidumbres, trasladándose todo eso a la base de datos que finalmente tengamos. Por eso, si nos centramos sólo en una dimensión del ecosistema soundscape (formado como se ha dicho por tres elementos, personas-contexto-ambiente) el resultado sería una caracterización del paisaje sonoro que no reflejaría adecuadamente la realidad física y social del lugar evaluado.

Por lo tanto, la combinación de diferentes perspectivas y formas de acercarse a la realidad en el estudio del *soundscape*, es el enfoque que se considera más adecuado.

Ese enfoque es el que se denomina “triangulación” y constituye un aspecto muy relevante en la investigación del paisaje sonoro. Para profundizar en este tema, se puede encontrar más información en el último volumen de la serie Springer Handbook of Auditory Reserach recientemente publicado [24], casualmente también en el capítulo 8.

#### 4.3.5. Anexo A. Análisis de datos del Método A

Encontramos en este anexo las instrucciones precisas para analizar las respuestas obtenidas en el sondeo de opinión al emplear el Método A en la evaluación. Debemos recordar que este método incluye preguntas con una o varias categorías y con una escala de cinco posibles respuestas en cada una de esas categorías.

Así, para la determinación de la tendencia central de las respuestas se asignarán los siguientes valores en cada una de las posibles respuestas en la escala (apartado A.2 del anexo):

#### Valoración de las respuestas – Preguntas Método A – parte 1 [figuras C.2 y C.3 en ISO/TS12913-2:2018]

C.3.1.2 Questionnaire part 1	Traducción (libre)	Valor
<i>Not at all</i>	Nada	1
<i>A Little</i>	Un poco	2
<i>Moderately</i>	Moderadamente	3
<i>A lot</i>	Mucho	4
<i>Dominates completely</i>	Sonido dominante	5

#### Valoración de las respuestas – Preguntas Método A – parte 2 [figura C.4 en ISO/TS12913-2:2018]

C.3.1.3 Questionnaire part 2	Traducción (libre)	Valor
<i>Strongly agree</i>	Totalmente de acuerdo	5
<i>Agree</i>	Parcialmente de acuerdo	4
<i>Neither agree, nor disagree</i>	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3
<i>Disagree</i>	Algo en desacuerdo	2
<i>Strongly disagree</i>	Totalmente en desacuerdo	1

#### Valoración de las respuestas – Preguntas Método A – parte 3 [figura C.5 en ISO/TS12913-2:2018]

C.3.1.4 Questionnaire part 3	Traducción (libre)	Valor
<i>Very Good</i>	Muy bueno	5
<i>Good</i>	Bueno	4
<i>Neither Good, nor bad</i>	Ni bueno ni malo	3
<i>Bad</i>	Malo	2
<i>Very bad</i>	Muy malo	1

#### Valoración de las respuestas – Preguntas Método A – parte 4 [figura C.6 en ISO/TS12913-2:2018]

C.3.1.5 Questionnaire part 4	Traducción (libre)	Valor
<i>Not at all</i>	Nada	1
<i>Slightly</i>	Ligeramente	2
<i>Moderately</i>	Moderadamente	3
<i>Very</i>	Muy	4
<i>Perfectly</i>	Perfectamente	5

Teniendo en cuenta lo anterior, el valor central de la tendencia de las respuestas vendrá dada por la **mediana**, con indicación del **rango** como medida de dispersión. Un resumen de estos requisitos lo encontramos en la Tabla A.1 del Anexo A de esta tercera parte de la norma, reproducida (adaptada) más abajo. De esta forma, es posible analizar y visualizar los datos del cuestionario e interpretar la respuesta global del grupo a partir de la respuesta individual de cada una de las personas que han participado en la evaluación.

**Tabla 1.** ISO/TS 12913-3:2019 tabla A.1 del Anexo A.

Parte	(ISO/TS 12913-2:2018)	Valor	Tendencia	Dispersión
1	Identificación de las fuentes	1,2,3,4,5	Mediana	Rango
2	Calidad acústica percibida	5,4,3,2,1	Mediana	Rango
3	Evaluación del ambiente acústico	5,4,3,2,1	Mediana	Rango
4	Evaluación de la adecuación del ambiente acústico	1,2,3,4,5	Mediana	Rango

De todas las preguntas que se formulan en el cuestionario según el Método A, quizá la más importante sea la relativa a la “**calidad acústica percibida**”, pregunta de la parte 2 mostrada en la figura C.4 (ISO/TS 12913-2:2018 Anexo C) que reproducimos en la ilustración 2.

Se trata de una única pregunta con ocho categorías, las ocho dimensiones del modelo emocional, en inglés **PAQ model (Perceived Affective Quality)**. La formulación original en inglés (según viene en la norma) de las ocho dimensiones del modelo PAQ y su traducción al castellano en el contexto del proyecto SATP en el que

participa el autor (**Soundscape Attributes Translation Project**) [25, 26] tanto en versión preferida (SATP-1) como sinónima (SATP-2), se muestran en la tabla 2.

La representación de este modelo da lugar a un gráfico circular, conocido normalmente como **circumplex** (también *radar plot* en inglés), con dos ejes principales sobre el que se trazan sus diagonales. Cada uno de estos ejes, los principales y las diagonales, permiten representar los valores de las ocho dimensiones según la codificación anterior (tabla 1) El circumplex da una idea de la evaluación global de la percepción de ese ambiente, tal y como se

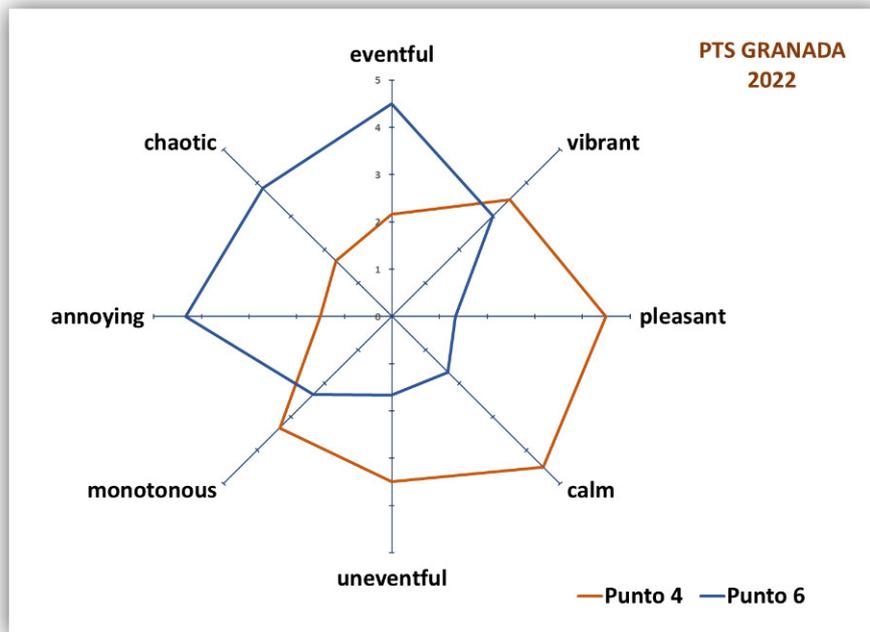
**For each of the 8 scales below, to what extent do you agree or disagree that the present surrounding sound environment is...**  
Please tick off one response alternative per scale

	Strongly agree	Agree	Neither agree, nor disagree	Disagree	Strongly disagree
- pleasant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- chaotic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- vibrant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- uneventful	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- calm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- annoying	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- eventful	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- monotonous	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ilustración 2.** ISO/TS 12913-2:2018, Anexo C, Figura C.4 (perceived affective quality).

**Tabla 2.** Las ocho dimensiones del PAQ model en inglés (ISO/TS 12913-2:2018) y castellano (SATP).

Abreviatura	ISO/TS 12913-2:2018	SATP-1 traducción preferida	SATP-2 sinónimo
a	annoying	desagradable	molesto
ca	calm	calmado	tranquilo
ch	chaotic	caótico	confuso
e	eventful	con actividad	dinámico
m	monotonous	monótono	aburrido
p	pleasant	agradable	placentero
u	uneventful	sin actividad	estático
v	vibrant	estimulante	vibrante



**Ilustración 3.** Evaluación de la calidad acústica percibida (PAQ) en dos localizaciones del PTS de Granada. Paseo sonoro realizado por el autor en período de mañana el 20 de mayo de 2022 (gráfico circumplex).

muestra en la ilustración 3 en dos localizaciones del PTS (Parque Tecnológico de Ciencias de la Salud) de Granada (datos propios de 2022, aún no publicados).

En este gráfico observamos que la percepción en el punto 4, un parque público, está más orientada hacia las dimensiones “*calm*”, “*pleasant*” y “*vibrant*” mientras que la del punto 6, cruce de calles en el centro urbano, se concentra en la zona “*annoying*”, “*chaotic*” y “*eventful*” del gráfico.

En el apartado A.3 de este anexo se propone pasar de este tipo de representación con 8 dimensiones a una representación de dos coordenadas, **Pleasantness (P)** y **Eventfulness (E)** calculadas a partir de las anteriores mediante las fórmulas A.1 para (P) y A.2 para (E):

Fórmula A.1

$$P = (p - a) + (ca - ch) \times \cos 45^\circ + (v - m) \times \cos 45^\circ$$

Fórmula A.2

$$E = (e - u) + (ch - ca) \times \cos 45^\circ + (v - m) \times \cos 45^\circ$$

donde cada una de las dimensiones vienen representadas por las siglas:

- a - annoying
- ca - calm
- ch - chaotic
- e - eventful
- m - monotonous
- p - pleasant
- u - uneventful
- v - vibrant

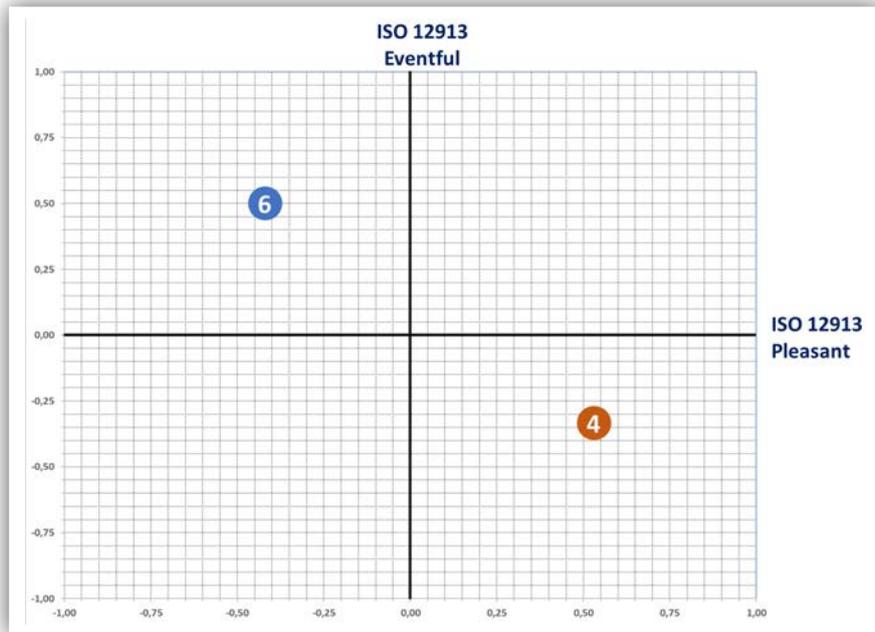
Es decir, a partir de la codificación de las 8 dimensiones se calculan estas dos y se normalizan dividiendo por  $(4+32^{1/2})$  para que los valores de (P, E) oscilen entre (-1) y (1). Bajo esta nueva representación, la evaluación de la calidad acústica percibida en los dos puntos anteriores (punto 4, parque público en Granada y punto 6, cruce urbano) quedaría como muestra la ilustración 4.

El cambio de formato en la representación, del circumplex a la representación bidimensional, constituye el contenido central de este anexo, por cuanto permite visualizar el resultado emocional de la evaluación del paisaje sonoro. Actualmente se sigue debatiendo sobre la idoneidad de este tipo de representación y la forma de mejorarla [27].

La conexión de estos resultados con los datos obtenidos con la instrumentación acústica se comenta en el apartado A.4, donde se recomienda la realización de análisis de correlación, regresión lineal o ANOVA. El tipo de análisis de correlación más adecuado dependerá del tipo de dato, es decir, de la escala de respuesta (ordinal, intervalo, etc.) En el caso de datos de carácter ordinal, se recomienda usar el coeficiente de correlación de Spearman como medida de la correlación de rango.

#### 4.3.6. Anexo B. Análisis de datos del Método B

Según se ha comentado antes, el Método B incluye un cuestionario con tres partes. La parte 1 tiene cuatro preguntas que se responden sobre una escala unipolar continua con cinco marcas con una indicación verbal (es-



**Ilustración 4.** Representación en dos dimensiones del modelo PAQ mostrado en la ilustración 3.

cala Likert) mientras que las partes 2 y 3 incluyen un espacio para escribir libremente la respuesta.

En relación a la **parte 1**, el anexo establece que a las respuestas marcadas sobre la escala unipolar continua se les asigne un valor entre 1 y 5. Teniendo en cuenta que la escala es continua y que tiene cinco marcas verbales, se entiende que los valores principales (de 1 a 5) se asignan a las posiciones de las marcas verbales de izquierda a derecha (ver ilustración 5) y que el valor de la

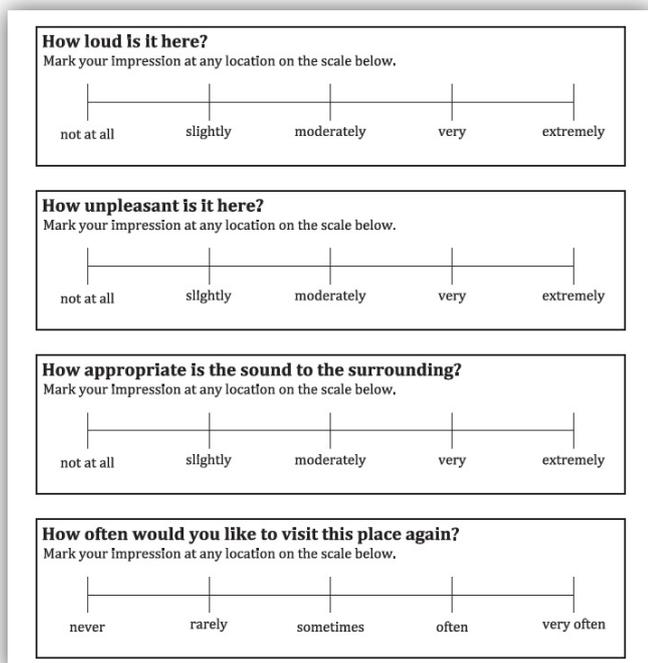
respuesta debe calcularse con una regla, midiendo la posición de la marca sobre la escala.

El anexo añade que la respuesta debe estimarse con una cifra decimal, tomando el **valor medio** de las respuestas como medida de la tendencia central y la **desviación estándar** como medida de la dispersión de los datos.

En relación a la **parte 2**, sobre **reconocimiento de fuentes** en el ambiente evaluado y su clasificación, dado que la respuesta es libre pero limitada a un máximo de 8 fuentes, el anexo recomienda numerar esas fuentes de 1 a 8 (o hasta el número de fuentes identificadas si fueran menos de 8) según sea el grado de notoriedad. Es decir, numerar de 1 a 8 siendo la fuente número 1 la percibida con más intensidad y así hasta la última (como máximo 8). En este caso, la medida de la tendencia central debe ser la **mediana** y como medida de la dispersión el **rango**.

Finalmente, para el análisis de la **parte 3** (que son comentarios finales tras terminar el paseo sonoro) se recomienda realizar un análisis por grupos (*clusters*) en función del grado de concreción de las palabras empleadas para identificar categorías que tengan significado. Se recomienda usar el método del muestreo teórico (o teoría fundamentada, *grounded theory*) o el análisis de contenido cualitativo (*qualitative content analysis*)

La conexión de estos resultados con los datos obtenidos con la instrumentación acústica se comenta en el apartado B.4, donde se recomienda usar el coeficiente de correlación de Pearson.



**Ilustración 5.** ISO/TS 12913-2:2018, Anexo C, Figura C.7 (Método B).

#### 4.3.7. Anexo C. Análisis de datos del Método C

El Método C en la ISO/TS12913-2:2018 consiste en la realización de una **entrevista guiada**. El análisis de los datos recogidos en esa entrevista debe analizarse mediante el método de muestreo teórico (o teoría fundamentada, *Grounded Theory*) El objetivo debe ser descubrir patrones que puedan sobresalir en el conjunto de datos y agrupar sensaciones, eventos, reacciones, etc. que puedan ser posteriormente clasificados.

La información recopilada en aplicación del Método C, la menos concreta y por ello diversa, debe ser analizada mediante triangulación y correlación, vinculando respuestas a los datos acústicos y psicoacústicos para analizar posibles sinergias. La figura C.1 de este anexo, en la página 11 de la norma, permite visualizar el método de análisis propuesto basado en el enfoque de la *Grounded Theory*.

#### 4.3.8. Anexo D. Análisis de datos binaurales

Este anexo destaca la importancia del análisis de datos binaurales pues, además de los parámetros psicoacústicos, los resultados del análisis permiten también cuantificar el impacto acústico en el oyente y la exploración de relaciones entre las propiedades físicas del ambiente y el comportamiento de la respuesta humana. Esto es así porque la varianza residual, es decir, la parte de la varianza no explicada, ofrece información de hasta qué punto el análisis de los datos binaurales dan cuenta de la respuesta humana. En otras palabras, nos dice qué error se comete cuando pretendemos cuantificar la respuesta humana exclusivamente a partir del análisis de los datos binaurales. Por otro lado, el análisis de estas grabaciones mediante su adecuada reproducción en laboratorio también posibilita la identificación de la distribución de las fuentes en el ambiente, información que puede conectarse con el análisis de la respuesta humana obtenida a través del cuestionario.

En relación a la métrica, la norma establece que cualquier parámetro acústico sea calculado independientemente para los dos canales de la grabación (izquierdo y

derecho). Posteriormente, en cualquier tipo de métrica se considerará el mayor valor de los dos canales como valor único representativo de la experiencia global. Adicionalmente, se puede calcular la media aritmética de los valores de ambos canales. También es posible calcular la razón entre diferentes percentiles psicoacústicos para cuantificar la variación de una determinada métrica con el tiempo (por ejemplo, el cociente entre  $N_5$  y  $N_{95}$  como expresión de la variación de la sonoridad). El resumen de la métrica que debe calcularse a partir de la grabación binaural del ambiente y el valor único que lo representa se muestra en la Tabla D.1 que reproducimos, adaptada (tabla 3).

Finalmente, el anexo D dedica un apartado (D.3) para comentar las diferencias entre el cartografiado acústico tradicional, es decir, la realización de mapas de ruido, y la elaboración de mapas psicoacústicos. Si bien en el caso acústico se sabe cómo proceder en presencia de múltiples fuentes y también es bien conocida la variación del sonido con la distancia, en el caso de los parámetros psicoacústicos la predicción no es tan sencilla. El comportamiento de estos parámetros con la distancia es a menudo no lineal, y en presencia de varias la elaboración de estos mapas no es posible si no se tiene en cuenta su variación con el tiempo.

#### 4.3.9. Anexo E. Triangulación

El estudio del paisaje sonoro implica, en la práctica, el uso de una variedad de métodos para la recogida de datos sobre la percepción humana, sobre las características del ambiente acústico y sobre el contexto del lugar que está siendo estudiado. El uso de diferentes metodologías con el mismo objetivo se denomina triangulación y en el anexo E se detallan los cuatro tipos existentes:

- Triangulación **de datos**: hace referencia a la creación de múltiples conjuntos de datos recopilados a lo largo del tiempo en diferentes localizaciones con el objetivo de registrar una amplia variedad de contextos y situaciones en esos emplazamientos.

**Tabla 3.** ISO/TS 12913-3:2019, Anexo D, Tabla D.1 (adaptada) Métrica y valor representativo.

Parámetro	Métrica (debe estimarse para cada canal)	Valor representativo
Nivel presión sonora	$L_{Aeq,T}, L_{Ceq,T}, L_{AF5,T}, L_{AF95,T}$	El valor más alto del canal izquierdo y derecho
Sonoridad ( <i>loudness</i> )	$N_5, N_{average}, N_{rmc}, N_{95}, N_5/N_{95}$	
Agudeza ( <i>sharpness</i> )	$S_5, S_{average}, S_{95}$	
Tonalidad ( <i>tonality</i> )	T	El valor más alto del canal izquierdo y derecho (o el valor medio de los dos canales)
Aspereza ( <i>roughness</i> )	$R_{10}, R_{50}$	
Fluctuación ( <i>fluctuation strength</i> )	$F_{10}, F_{50}$	

- Triangulación **metodológica**: se distinguen en este caso dos subtipos, el que usa el mismo método en diferentes ocasiones (“*within-method*”) y el que usa varias técnicas dentro de una misma metodología (“*between-methods*”), por ejemplo, usar un cuestionario en papel o su versión electrónica mediante una tableta. En este segundo caso, se habla de triangulación cuando las diferentes técnicas se emplean dentro de una misma investigación.
- Triangulación **en la investigación**: este tipo de triangulación se da cuando diferentes investigadores analizan el mismo lugar. Esto garantiza diferentes puntos de vista y la posibilidad de que participen una gran cantidad de especialistas además de expertos en acústica.
- Triangulación **teórica**: supone aplicar diferentes enfoques, teorías complementarias, a la hora de examinar los datos.

Si bien lo más habitual es que se verifique triangulación de datos y metodológica, sea cual sea el tipo la triangulación en el estudio del paisaje sonoro reduce la incertidumbre de las medidas en comparación con el uso de un único método y un único conjunto de datos.

#### 4.3.10. Anexo F. Estudios de laboratorio

El último anexo de la norma se dedica a comentar las posibilidades adicionales que ofrece el estudio del paisaje sonoro en laboratorio, ya sea analizando con mayor profundidad los datos registrados en las experiencias de campo o desarrollando experiencias específicas a partir de esos registros (audiciones y cuestionarios). El estudio en laboratorio permite controlar las circunstancias, el contexto, del ambiente evaluado de tal modo que todas las personas que participen en la experiencia sean sometidas exactamente al mismo ambiente acústico.

El anexo ofrece recomendaciones sobre diferentes tipos de experiencias, el modo de desarrollarlas y el valor extra que puede suponer su realización en un laboratorio. En general, concluye, cualquier método para la recopilación de datos descrito en la segunda parte (ISO/TS 12913-2:2018) puede emplearse en un laboratorio.

## 5. La norma en acción: ejemplos de aplicación

Como se ha comentado anteriormente, las partes 2 y 3 de la norma podrán experimentar cambios a consecuencia del desarrollo de esta ciencia y del avance del conocimiento (son normas TS). Por lo tanto, los ejemplos de aplicación de la norma que se muestran a continuación no deben ser interpretados como “verdades absolutas”, sino únicamente como una muestra de trabajos

en los que ha participado el autor y de la evolución en la realización de estos estudios a consecuencia de la propia definición de la norma en estos años. Es decir, lo único que se pretende es mostrar el camino recorrido, fundamentalmente en los últimos cinco años, y algo de lo aprendido en la evaluación de determinados ambientes en las ciudades de Madrid, Granada y Elche.

El caso de Madrid se incluye como ejemplo de la realización de este tipo de actividad en un momento en el que la parte 2 de la norma se acababa de publicar, pero aún era una gran desconocida, y la parte 3 aún no se había redactado. Se produce en un momento en el que la lucha contra la contaminación acústica en las ciudades comienza a dar síntomas de necesitar algo más, nuevos puntos de vista, nuevos enfoques. El grupo de acústica de la Fundación CONAMA, responsable de la organización de la correspondiente sesión técnica en el congreso CONAMA de 2018 (ST-21), diseñó y realizó un paseo sonoro por Madrid como actividad paralela de concienciación y participación [28].

En el caso de GRANADA, la investigación sobre el paisaje sonoro urbano se inició a finales de 2017, por lo que la parte 2 y 3 de la norma aún no estaban formuladas. En su continuación, durante 2019, 2020 y 2022, algunas técnicas fueron depuradas y adaptadas según lo recomendado en la norma, aunque también se tomaron decisiones propias que se comentan más adelante.

A finales de 2017 y principios de 2018, el objetivo de la investigación desarrollada sobre el paisaje sonoro en el PTS (Parque Tecnológico de Ciencias de la Salud) era, y sigue siendo, determinar qué elementos de diseño y planificación podían dar respuesta al importante conflicto que presentaba esa zona de la ciudad, la más protegida legalmente – por la existencia de un hospital y dos facultades de la Universidad de Granada – y al mismo tiempo la más expuesta al ruido de la carretera de circunvalación que, literalmente, “abraza” al PTS. Este trabajo se ha continuado en 2022 rectificando aquellas cuestiones metodológicas y de análisis de datos que la parte 2 y 3 de la norma han definido desde 2017.

En 2019, el grupo SHH (*Soundscape, Health and Heritage*) de la Universidad de Granada en el que se integra el autor, una suerte de confluencia de interés por la investigación en *soundscape*, urbanismo y acústica tradicional, tiene la oportunidad de colaborar en el proyecto ERC SSID [5] y desarrollar en Granada parte de la campaña experimental prevista en ese proyecto. Con un panorama ISO mucho más definido, la experiencia sirve a los integrantes de SHH para coger experiencia en la técnica de encuestar “in situ”.

En 2020, todo el conocimiento adquirido se adapta para ser usado con personas con discapacidad visual,

estableciendo para ello contactos con la ONCE en su delegación de Granada y con el Ayuntamiento de Granada. La investigación sobre percepción del paisaje sonoro de personas con discapacidad visual es una iniciativa única, desarrollada por primera vez en España en el contexto de la investigación sobre paisaje sonoro urbano según la metodología de esta norma.

Finalmente, la evaluación realizada en ELCHE en 2022 es resultado de una actividad de concienciación incluida en la programación de TECNIACÚSTICA 2022 [29] El objetivo era conectar la celebración del congreso con la ciudad y fomentar la participación de la ciudadanía y congresistas. También se quería poner de relieve la importancia del ruido como agente contaminante y, al mismo tiempo, la importancia del sonido como elemento de valor en el diseño urbano inspirado en los principios de sostenibilidad. Existe la voluntad, y se trabaja actualmente en ello, de reproducir la actividad de paseos sonoros en la ciudad de Cuenca durante la celebración de TECNIACÚSTICA 2023 [30]

### 5.1. MADRID: centro urbano

La realización de un paseo sonoro durante la celebración de CONAMA 2018 fue posible gracias a la colaboración de varios organismos, entre ellos la SEA y la Universidad de Granada, así como numerosas empresas que aportaron generosamente los equipos acústicos necesarios para su desarrollo. La actividad, organizada y coordinada por Miguel Ausejo (SEA, Eurocontrol), Antonella Radicchi (TUBerlin) y el autor (UGR, COFIS,

CONAMA), se desarrolló el 27 de noviembre de 2018 por el trazado que muestra la siguiente ilustración.

El paseo sonoro tuvo una duración total de tres horas incluyendo el tiempo de reunión, explicaciones previas, realización de la actividad, conclusiones y despedida. El trazado, de 2.3 kilómetros, se recorrió en unas dos horas durante las que 15 voluntarios/as realizaron la evaluación del clima acústico en cada uno de los 8 puntos seleccionados. En 2018, como se ha dicho, la reciente publicación ese mismo año de la parte 2 de la norma hizo que aún no fuera muy conocida ni usada. Por eso y por la participación en la coordinación de la Dra Antonella Radicchi (TUBerlin), con gran experiencia en este tipo de procesos participativos, se consideró que lo mejor era usar su aplicación para móvil HUSH CITY APP [31], aplicación de uso libre que en ese momento estaba sirviendo para llevar a cabo un proyecto de ciencia ciudadana para la caracterización de los ambientes sonoros en ciudades de todo el mundo.

Se da la circunstancia de que en 2018 ya se disponía de una traducción al castellano de la aplicación (realizada por el autor), por lo que su uso desde un dispositivo móvil aparecía como la opción más fácil y cómoda para realizar la evaluación de los espacios seleccionados. Al mismo tiempo, algunos de los participantes y colaboradores realizaron las medidas acústicas de acompañamiento. El uso de la aplicación HUSH CITY para la evaluación y el empleo de diversos equipos acústicos en las medidas del ambiente sonoro (incluyendo medidas binaurales y ambisónicas) son dos decisiones que se tomaron en ese momento, mo-

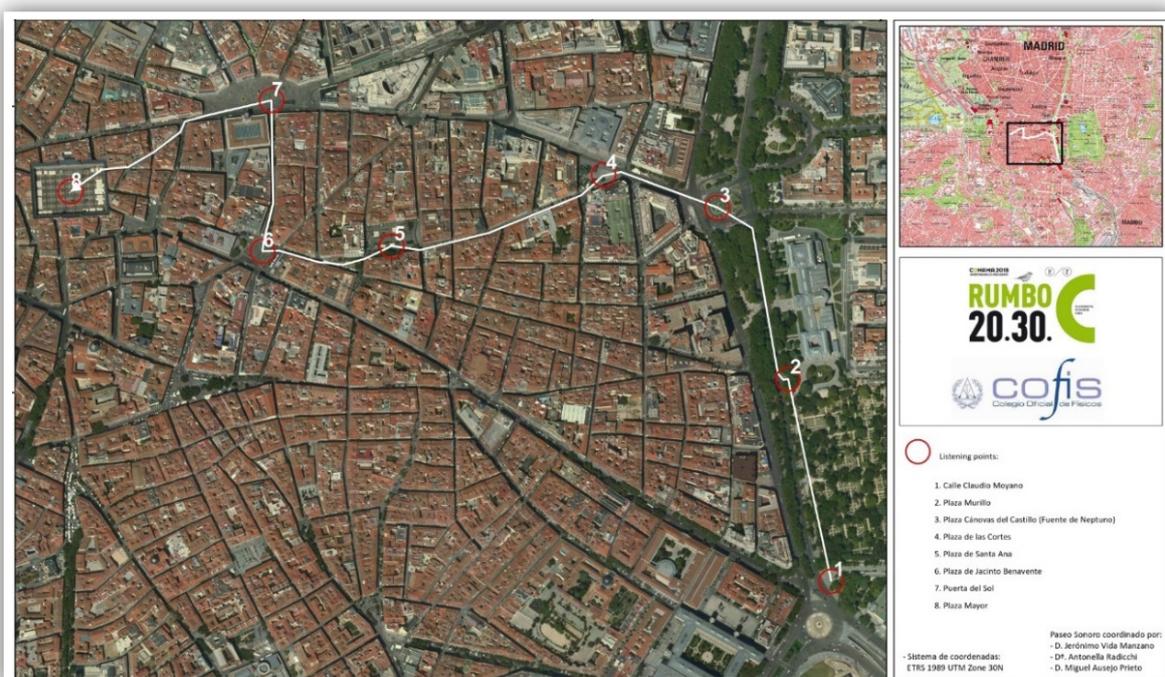


Ilustración 6. Paseo sonoro por Madrid durante CONAMA 2018. 27 de noviembre de 2018.

tivadas más por el deseo de desarrollar la experiencia y dar difusión a este tipo de actos, que a una planificación ordenada de un trabajo de investigación como tal.

Con el tiempo, se ha demostrado que es mucho mejor que las personas que realizan las medidas acústicas no participen en la evaluación y, de forma semejante, que quien evalúa el ambiente acústico no esté implicado en las medidas acústicas. Aunque sean actividades complementarias e incluso familiares para personas expertas, responder a un cuestionario sobre percepción del ambiente acústico en contexto precisa toda la atención de las personas que lo realizan. Las imágenes siguientes muestran escenas de su desarrollo, un paseo sonoro que fue el primero realizado en Madrid y también el único hasta la fecha.

Los datos de la evaluación aún no han sido analizados, tan sólo se estimaron los principales indicadores acústicos en cada parada del trazado. No obstante, se mantienen los registros de la aplicación (Hush City) y de las grabaciones (de audio ambisónico y binaural) para su estudio. Con el tiempo, el trabajo realizado en 2018 ha adquirido un gran valor por los cambios que ha experimentado la ciudad de Madrid desde entonces en la zona recorrida en el paseo sonoro.

## 5.2. GRANADA: parque tecnológico PTS

La evaluación del paisaje sonoro en la zona del PTS de Granada surge como consecuencia de la necesidad de “hacer algo más” en la prevención y control de la contaminación acústica en una zona donde las solucio-



**Ilustración 7.** Diferentes momentos del paseo sonoro por Madrid realizado en 2018.

nes tradicionales, mapa estratégico de ruido y plan de acción contra el ruido, habían demostrado tener una efectividad limitada. Esto es así por cuanto la zona del PTS de Granada era y sigue siendo, como ya se ha dicho, el área urbana más protegida legalmente frente al ruido ambiental y, al mismo tiempo, la más expuesta al ruido del tráfico de vehículos. Todo un desafío para el que a finales de 2017 se pensó que el diseño urbano del área, aún en desarrollo, podría aportar ese plus que el mapa estratégico de ruido y subsiguiente plan de acción no aportaban.

La imagen siguiente muestra el trazado diseñado para tal fin, un recorrido de 3.4 kilómetros con ocho puntos de evaluación que se inicia en una zona de tipología acústica “Residencial”, punto 1, y termina en una zona de tipología “Sanitaria, Educativa y Cultural”, punto 8. Así pues, el trazado incluye la evaluación de localizaciones muy diversas, emplazamientos afectados legalmente por objetivos de calidad acústica también diversos donde la población es aún escasa, pero en aumento.

En 2018 se realizaron dos paseos sonoros (SW), uno por la mañana (SW\_M) con la participación de 14 personas y otro por la tarde (SW\_E) en el que participaron 9 personas. Nos centraremos ahora en cuestiones relacionadas con el uso de la norma, destacando algunos resultados que ponen de manifiesto lo que esta ciencia, el estudio del paisaje sonoro (*soundscape science*) puede aportar en el diagnóstico acústico urbano y en las propuestas de acción contra el ruido desde una visión ciudadana. No obstante, una descripción detallada de los trabajos realizados en 2018 y sus resultados pueden consultarse en [18, 19].

En 2018 acababa de publicarse la segunda parte de la norma y era poco conocida y la tercera parte aún no, razón por la que se consultaron expertos internacionales en *soundscape* para el desarrollo del trabajo. El cuestionario empleado no fue exactamente el que luego recomendó la ISO12913, aunque compartió muchos elementos en común porque se elaboró a partir de las recomendaciones (directas, a nivel personal) de investigadores que luego participaron en la redacción de la parte 2 y 3 de la norma. En concreto, la pregunta Q2 (“Describe el ambiente sonoro de este lugar globalmente, en general”) y la Q3 (“¿El ambiente sonoro existente es el apropiado para este lugar?”) resultan ser exactamente idénticas a las correspondientes del Método A (ISO/TS12913-2:2018 apartados C.3.1.4 y C.3.1.5 Anexo C) La principal diferencia radica en que la norma valora las respuestas de (1 a 5) y en este trabajo se valoró de (1 a 10), pero en ambos casos el valor más bajo (1) indicaba la respuesta menos favorable.

La ilustración 9 muestra los resultados obtenidos durante el paseo de tarde (SW\_E) para estas dos preguntas (Q2, percepción global del ambiente sonoro y Q3, adecuación del ambiente sonoro) junto con la información de los indicadores de ruido más relevantes en cada parada.

Si nos centramos en las respuestas en los puntos P4 y P8, observamos que el nivel equivalente es semejante, así como los niveles percentil 10 y 90. Sin embargo, la evaluación global del ambiente y su grado de adecuación (si es apropiado o no) tienen valoraciones muy diferentes. El punto 8 está situado en el exterior del hospital y facultad de medicina y el punto 4 en una zona de viviendas (ver ilustración 10).



**Ilustración 8.** Trazado y puntos de evaluación en los paseos sonoros por el PTS de Granada en 2018 y 2022.

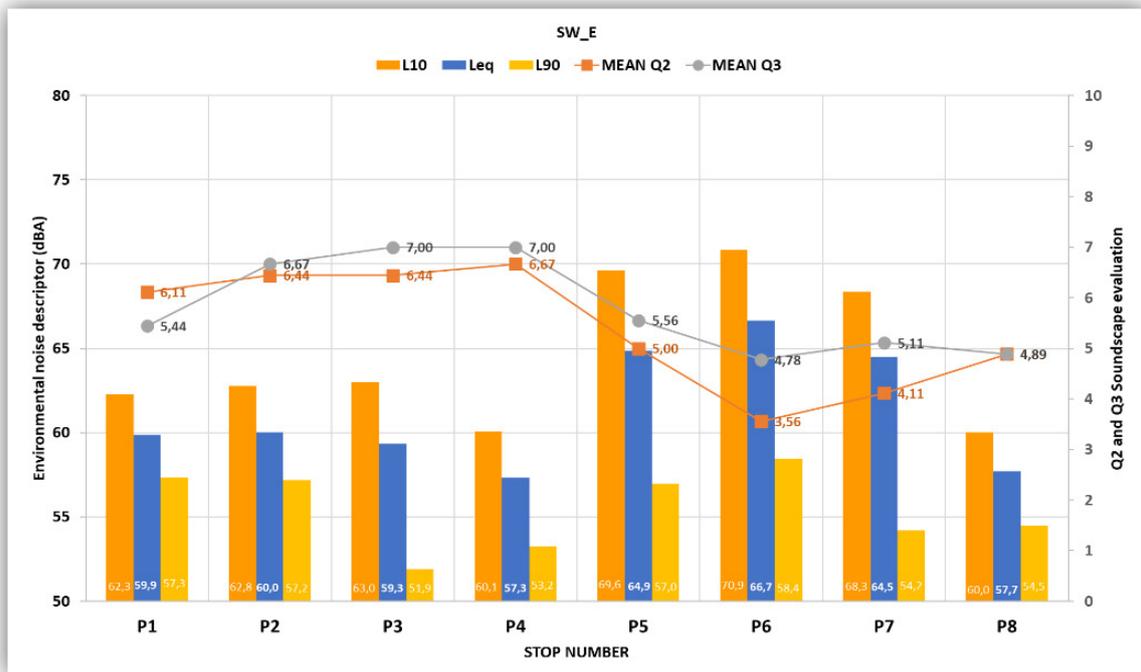


Ilustración 9. Evaluación del paisaje sonoro en el PTS Granada 2018. Figura 9 en [19].



Ilustración 10. Puntos P8 (superior) y P4 (inferior) paseos sonoros PTS 2018.

¿Dónde está la causa para esa diferencia en la percepción? Pues seguramente es muy diversa, pero el análisis de la pregunta Q4 (“Indique si puede oír estos sonidos en este momento”) ofrece algunas pistas, pues el sonido dominante del tráfico en P8 contrasta con el mayor protagonismo del sonido de la naturaleza que se observa en P4, tal y como se ve en la ilustración 11.

Como se ha dicho, en 2018 se realizó un paseo sonoro por la mañana y otro por la tarde. Para ver las diferencias entre la evaluación de la mañana y la de la tarde podemos analizar, por ejemplo, los resultados obtenidos en el punto P2 (una gran plaza, al final de un parque, con una fuente en el centro de una rotonda de tráfico rodado y circulación próxima del metropolitano; ver ilustración 12.)

En la ilustración 13 observamos una clara evolución hacia la percepción “agradable” durante la tarde, coincidente con una mayor apreciación de los sonidos de origen natural. En esta figura, el modelo emocional está reflejado en la pregunta Q5 (“El ambiente sonoro de este lugar es...”) donde se empleó una traducción libre al castellano de las ocho dimensiones del modelo. Se ha mantenido la designación empleada en 2018 para que se pueda apreciar la evolución posterior, a la luz de los resultados del proyecto SATP [25, 26] Por ejemplo, actualmente no se recomienda usar “acogedor” o “tedioso” y las palabras “dinámico”, “estático”, “vibrante” o “molesto” se toman como alternativas a las recomendadas en primer lugar “con actividad”, “sin actividad”, “estimulante” o “desagradable” como se muestra en la Tabla 2.

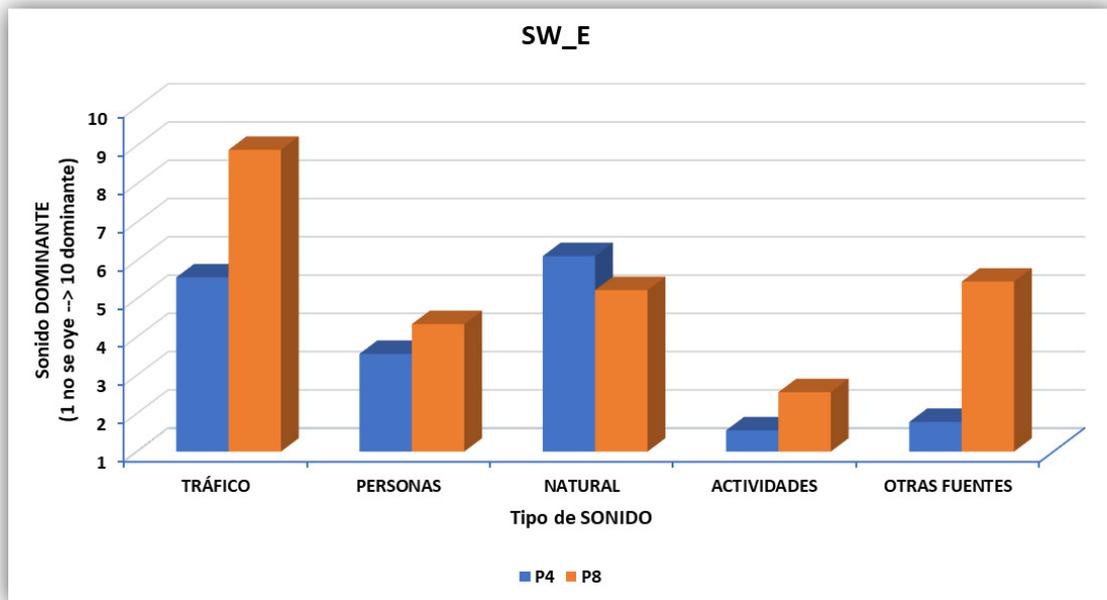


Ilustración 11. Evaluación del sonido dominante en los puntos P4 y P8 (paseo sonoro PTS 2018).



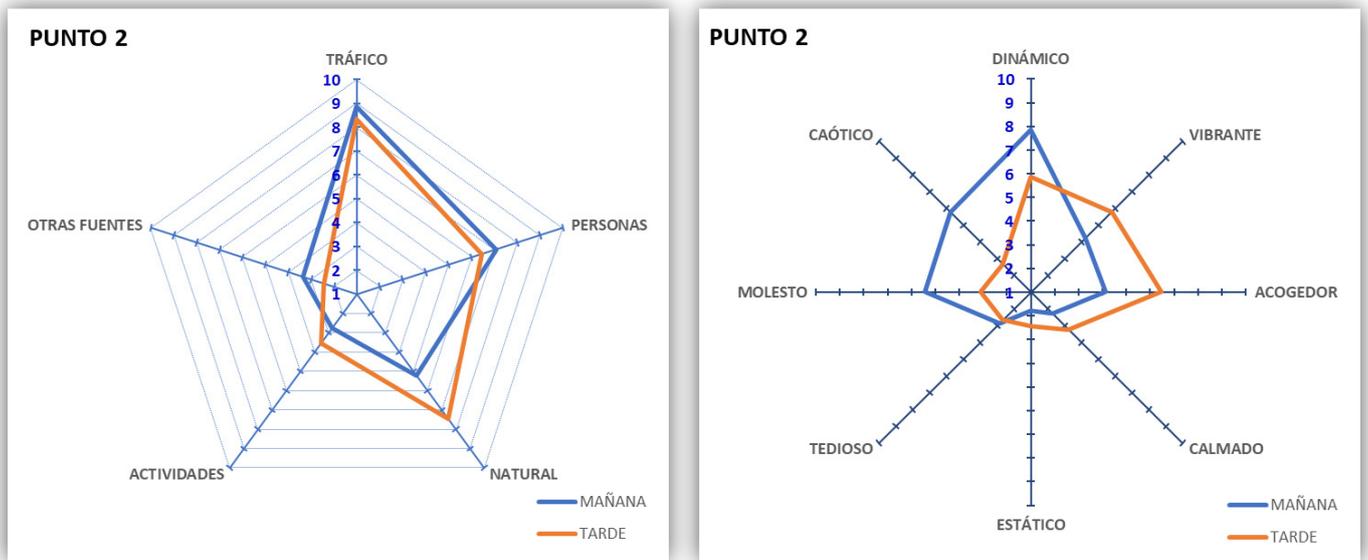
Ilustración 12. Punto P2, paseos sonoros PTS Granada 2018.

En el cuestionario de 2018 se introdujeron algunas preguntas que podían parecer redundantes, pero que pretendían servir de control sobre las respuestas en las dimensiones principales del modelo emocional. Así, por ejemplo, la pregunta Q7 (“Valore la tranquilidad del ambiente sonoro de este lugar”) está relacionada con la respuesta “calmado” del modelo emocional, pregunta Q5 dimensión 5 (Q5.5), antes comentada, y debería resultar contraria a la respuesta “caótico”, pregunta Q5 dimensión 2 (Q5.2), tal y como efectivamente mostraban las respuestas obtenidas, confirmando que el modelo está bien formulado pues es interpretado (por la ciudadanía) tal cual es la intención original (ver figuras en ilustración 14).

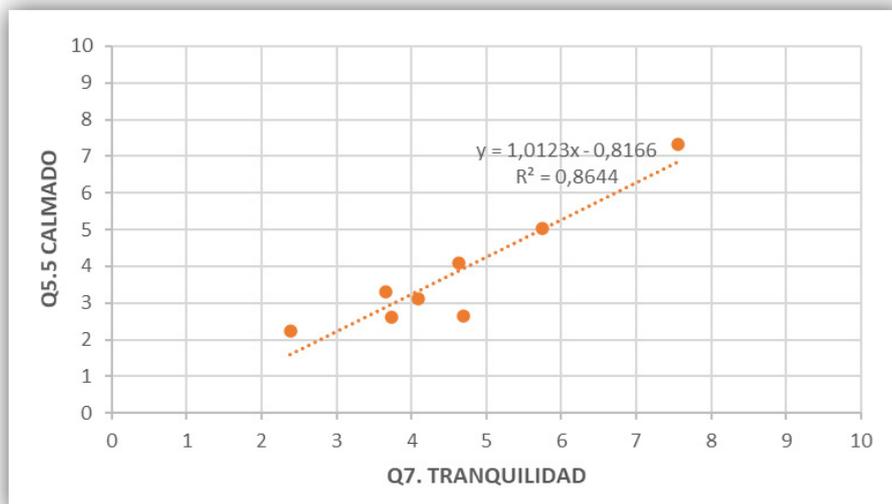
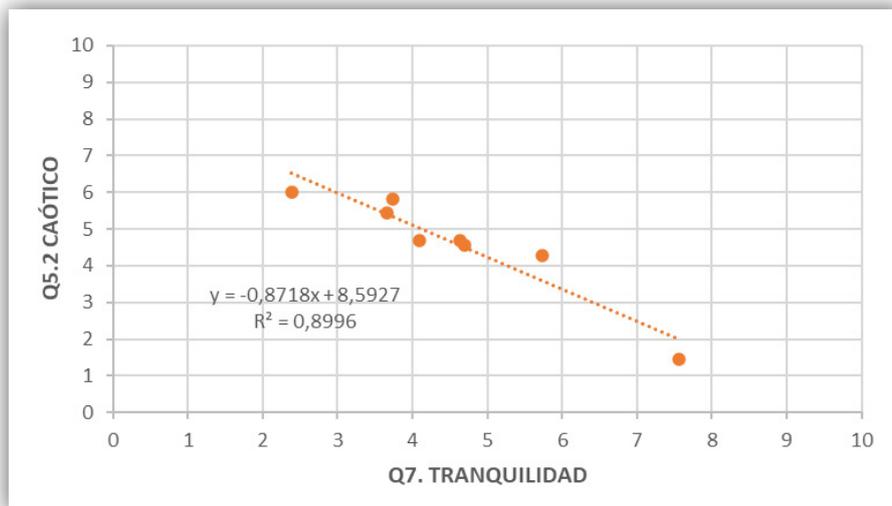
Precisamente la disparidad en las respuestas de la pregunta Q7, por ejemplo, durante el paseo de tarde (SW\_E) mostradas en la ilustración 15, y su no dependencia del nivel equivalente invitaba, una vez más, a analizar esas “otras cuestiones” que el estudio del paisaje sonoro urbano pone de manifiesto y a las que la simple evaluación acústica del ambiente no llega.

Los paseos sonoros realizados en esta parte de la ciudad de Granada en 2018 pusieron de manifiesto que la información recogida era muy valiosa y que, con toda probabilidad, sería útil para el propósito que se perseguía. Sin embargo, ante tal variedad y diversidad de resultados, también pusieron de manifiesto que era aconsejable **extender la investigación en el tiempo** e intentar registrar el máximo posible de situaciones, ambientes y contextos evaluados con el mayor número posible de personas. Es decir, hacer la base de datos tan grande como fuera posible ya que cada resultado arrojaba nuevas incógnitas.

Por eso, en 2022 se reprodujo la investigación a lo largo del mismo trazado. En esta ocasión, se realizaron cuatro paseos sonoros, dos por la mañana y dos por la tarde, participando un total de 30 personas en la experiencia. En 2022, con las partes 2 y 3 de la norma ISO 12913 ya publicada, se procuró realizar los paseos sonoros con grupos más reducidos y completar al menos 20 evaluaciones en total en cada punto. Para ello, participaron 14 personas en los dos paseos de mañana (6 en el primero y 8 en el segundo) y 16 personas en los de tarde (9 en el primero y 7 en el segundo). Además de realizar más paseos sonoros, el cuestionario empleado se modificó para adaptarlo a la norma en la formulación y valoración de las preguntas del método ISO y para incluir una nueva pregunta



**Ilustración 13.** Evaluación del sonido dominante (izq) y del modelo emocional (derecha) en el punto 2, paseos sonoros PTS Granada 2018.



**Ilustración 14.** Correlación entre Q7 (tranquilidad), Q5.2 (caótico) y Q5.5(calmado), paseos sonoros PTS Granda 2018.

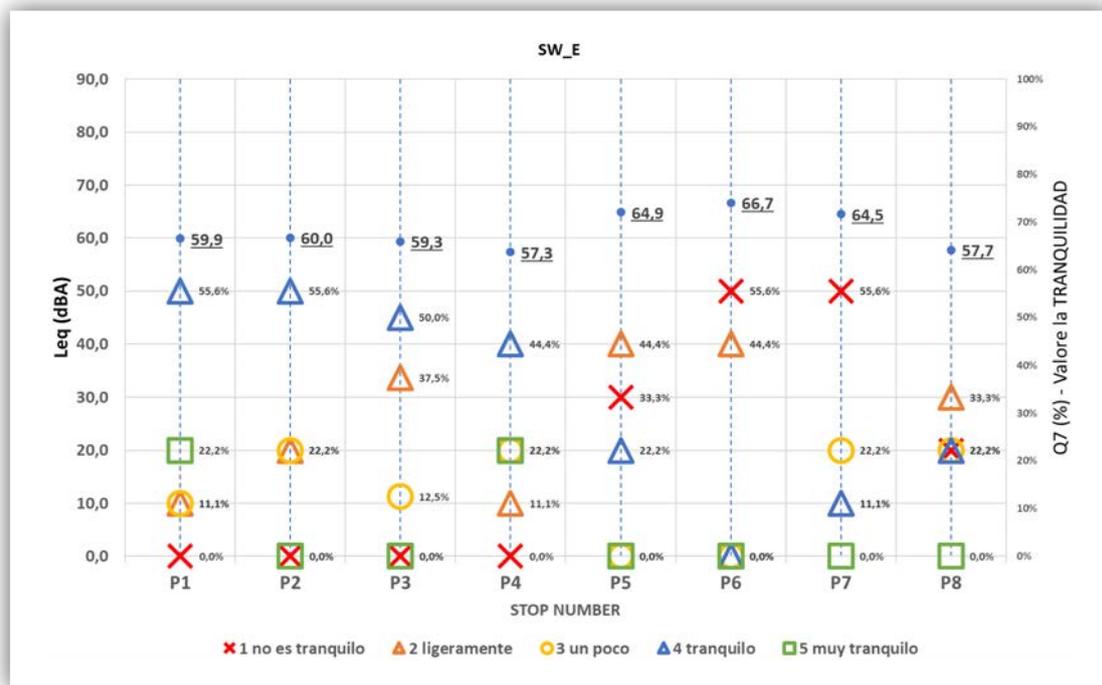


Ilustración 15. Evaluación de la tranquilidad, Q7, paseos sonoros PTS Granada 2018.

sobre el **índice WHO-5 Well Being Index** (Índice de Bienestar de la OMS) [32] El WHO-5 Index es incluido habitualmente en la actualidad en este tipo de estudios [33, 34].

Los datos de esta evaluación todavía se están analizando, no sólo centrados en la comparación con el estudio de 2018 sino también investigando sobre algunas cuestiones que esta ciencia aún presenta. En este sentido, quizá la más importante sea la gran diferencia observada en las evaluaciones con datos registrados en distintos momentos del día y del año en un mismo lugar y, consecuentemente, la determinación de qué datos deben considerarse como globalmente representativos de la percepción ciudadana de un determinado ambiente, es decir, de la caracterización del *soundscape*.

De momento, el análisis del paisaje sonoro permite estudiar los cambios que ha experimentado esta zona de Granada en la que además de nuevas edificaciones de diverso tipo, se ha instalado nuevas empresas y ha aumentado considerablemente la actividad recreativa y hostelera, en parte relacionada con la mayor presencia y afluencia de estudiantes de la Universidad de Granada por las facultades allí ubicadas. El aumento del tráfico por la zona también es un elemento que ha cambiado considerablemente el ambiente acústico del PTS.

Si un resultado destacado de la evaluación en 2018 fue el importante contraste mañana-tarde en la percepción a partir del modelo emocional (pregunta Q2, según se puede ver en [19]) los datos de 2022 dibujan un panorama muy distinto, tal y como se puede apreciar en los gráficos si-

guientes del espacio ISO (espacio coordenadas [P,E] según ISO 12913-3:2019) durante la mañana y durante la tarde (resultados provisionales, aún no publicados y bajo estudio).

Observando estas gráficas, es posible apreciar que la evaluación no es tan distinta entre mañana y tarde, como ocurrió en 2018, y que algunos emplazamientos del paseo sonoro han experimentado una evolución “a mejor” en este tiempo. Tal sería el caso de los puntos P1, P2 y P3 durante la mañana, aunque la mejora es sólo evidente en P1 durante la tarde. Si analizamos los datos de los dos paseos realizados en cada período, observamos que es distinta e incluso muy distinta, por lo que la determinación de qué parámetros describen mejor esos ambientes durante todo el día o cómo llegar a combinar resultados obtenidos en diferentes momentos del día surge, de nuevo, como un reto en este tipo de estudios.

Estos ejemplos sirven también para observar claramente la intención del modelo emocional. Dicho modelo se formula sobre la base de dos ejes principales:

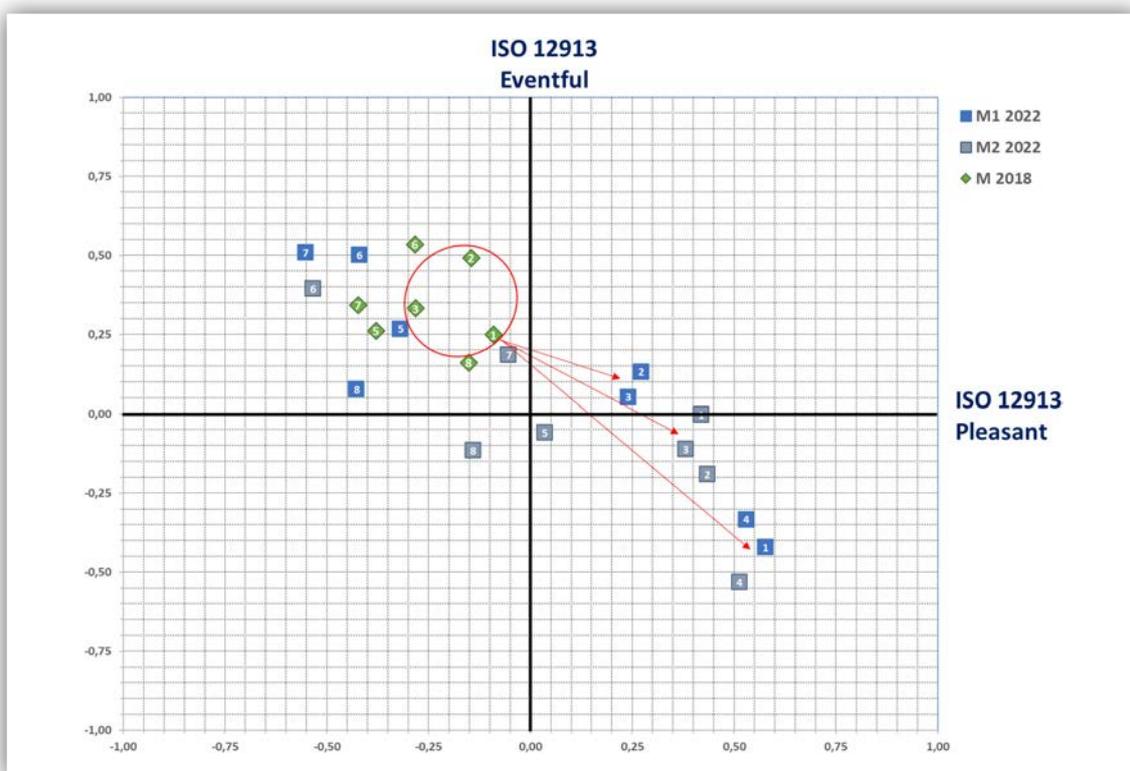
Eje X: “agradable - desagradable”

Eje Y: “con actividad - sin actividad”

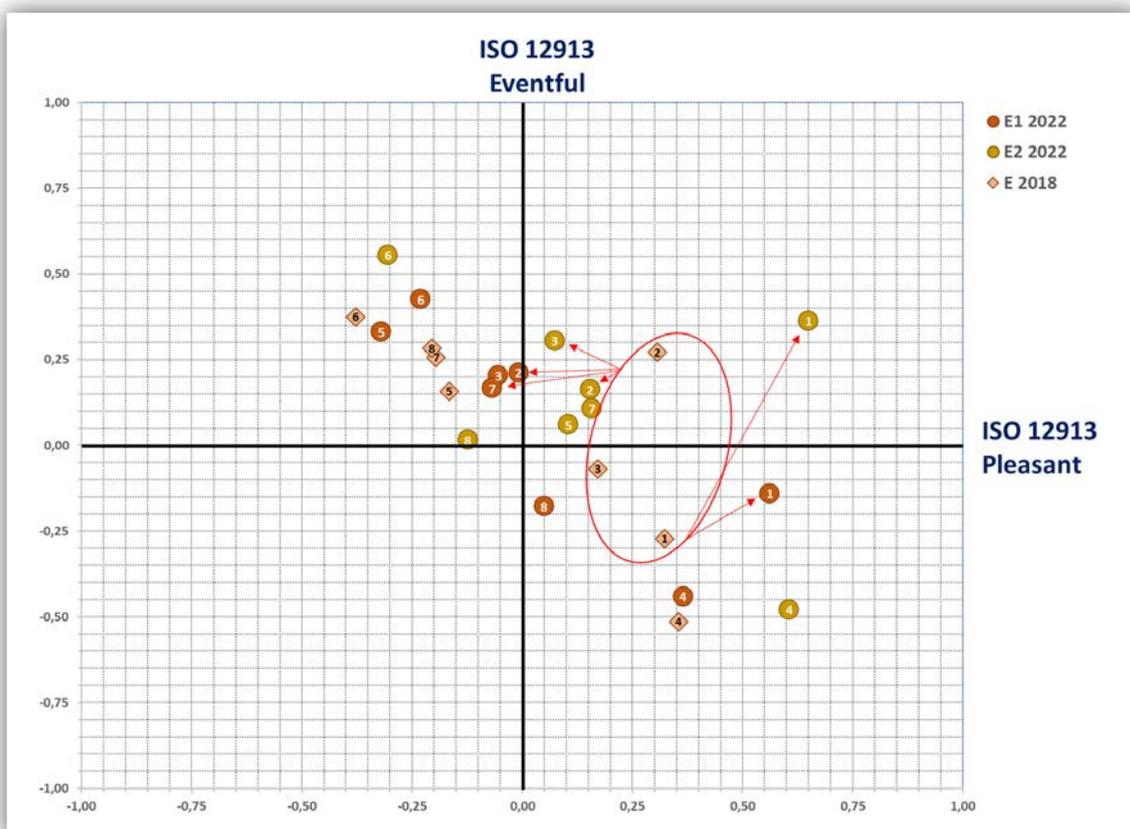
A partir de ellos, se determinan los otros dos de la siguiente forma:

Diagonal derecha: “agradable” y “con actividad” = “estimulante”  
 “desagradable” y “sin actividad” = “monótono”

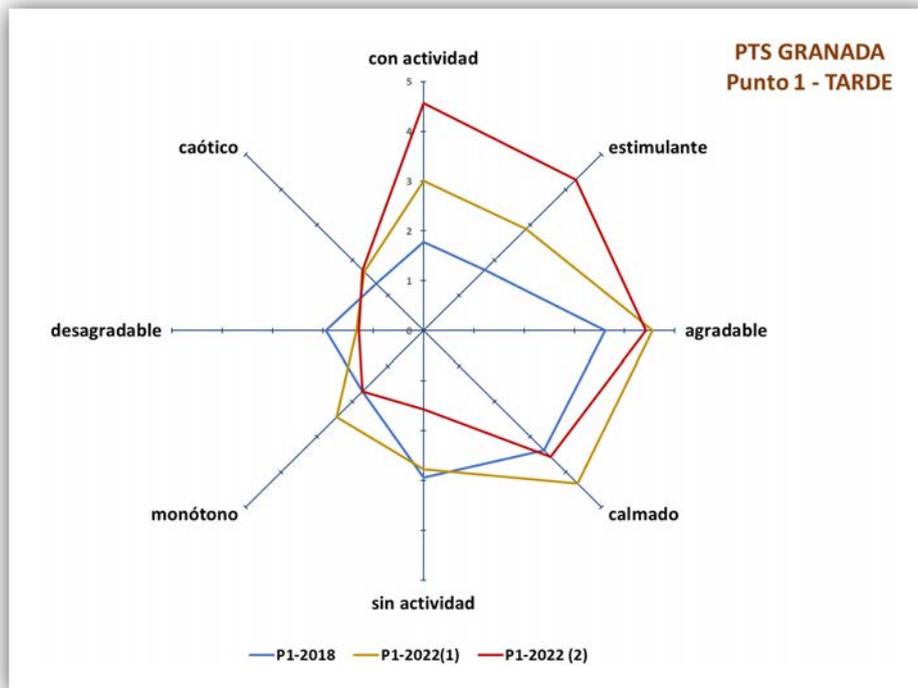
Diagonal izquierda: “agradable” y “sin actividad” = “calmado”  
 “desagradable” y “con actividad” = “caótico”



**Ilustración 16.** Evaluación del paisaje sonoro en PTS Granada, 2022 vs 2018, período MAÑANA (rombos, resultados de 2018; en rojo, evolución de algunos puntos en 2022).



**Ilustración 17.** Evaluación del paisaje sonoro en PTS Granada, 2022 vs 2018, período TARDE (rombos, resultados de 2018; en rojo, evolución de algunos puntos en 2022).



**Ilustración 18.** Diferencias entre la evaluación ISO 12913 en el P1 en 2018 y en 2022.

Por lo tanto, si la evolución de un determinado ambiente urbano que ha sido diseñado para constituir una zona urbana de recreo, deporte, relax y/o paseo (características típicas de un parque público), es adecuada, los resultados de este estudio deberían reflejarlo así. Para verlo de forma práctica, podemos centrar el análisis en el punto P1 (ver ilustración 18).

La evaluación en 2018 en este punto durante la tarde fue predominantemente “agradable” (línea azul). En los dos paseos realizados en 2022 observamos que, tras cuatro años, el cambio ha sido hacia más “calmado” (línea amarilla) y hacia más “estimulante” (línea marrón) En ambos casos una evolución parecida y favorable desde el punto de vista del diseño urbano: ese lugar ha mantenido su esencia como parque, a pesar del desarrollo de la zona. Incluso se ha potenciado esa esencia, pues es más “agradable” que en 2018. Un elemento para la reflexión sería ¿qué ha pasado para que sea así?

Pues seguramente una combinación de circunstancias, pero la evolución hacia más estimulante durante uno de los paseos podría tener una respuesta algo más sencilla: la celebración de un cumpleaños y el que la fuente del parque estuviera en funcionamiento. Ambas actividades (cumpleaños y fuente con agua) daban como consecuencia mayores valores de los índices acústicos, pero está claro que el modelo reproduce adecuadamente la situación (ilustración 19, comparativa del ambiente 2018-2022)

“agradable” + “con actividad” = “estimulante”



**Ilustración 19.** Punto 1 del trazado del paseo sonoro por el PTS Granada en 2018 (superior) y en 2022 (inferior).

### 5.3. GRANADA: centro urbano con la ONCE

La evaluación del paisaje sonoro en Granada con la participación de voluntarios/as de la ONCE, era un proyecto largamente deseado que en 2020 por fin se pudo realizar. La colaboración de la ONCE y del Ayuntamiento de Granada permitió realizar tres paseos sonoros a lo largo de recorridos que, intencionadamente, se diseñaron por la zona más céntrica de la ciudad, de interés turístico y patrimonial y de fácil recorrido para los participantes. Es posible consultar todos los detalles de los recorridos, así como fotos de la experiencia, datos y resultados en [20] También se pueden consultar otros detalles del proyecto en la presentación realizada en ST-40 de CONAMA 2020 [35]

Por lo tanto, comentaremos aquí algunas cuestiones interesantes que tienen que ver con la norma ISO 12913 y su aplicación en este contexto, un proyecto en el que había mucha ilusión y deseo de realizarlo, pero ningún apoyo económico porque no se enmarcaba en ninguna convocatoria de investigación, ni pública ni privada. Era, en todos los sentidos, un proyecto de participación desinteresada con una importante componente de integración social y generosidad de las partes implicadas. Hay que tener en cuenta que algunos de las/los voluntarios de la ONCE iban acompañados de personas sin discapacidad para ayudarles en el recorrido y en la evaluación del ambiente acústico al cumplimentar el cuestionario.

Así, una vez determinados los itinerarios de los paseos sonoros, el siguiente reto fue diseñar el cuestionario y determinar el modo de realizarlo por parte de las/los voluntarios. Aprovechando la experiencia que ya se disponía y la recomendación de la ONCE de que las/los voluntarios podrían usar sus propios dispositivos digitales, la encuesta en el primer paseo se realizó en formato **digital online**. A través de un **formulario Google** se incluyeron las preguntas que, en ese momento, se usaban habitualmente en los estudios con personas sin discapacidad visual. Fundamentalmente un cuestionario formado con preguntas del Método A de la parte 2 de la norma, alguna pregunta del Método B y C y, finalmente, la pregunta para evaluar el Well Being Index WHO-5 antes comentado.

El primer paseo sonoro fue, como tal, muy decepcionante, pero se obtuvo una gran cantidad de información metodológica para los siguientes. Tomando la parte positiva del primer paseo, lo aprendido, se pudo modificar el método en los paseos 2 y 3 adoptando algunas decisiones importantes en relación al cuestionario y a la forma de cumplimentarlo. También se detectó que la persona sin discapacidad visual que acompañaba al voluntario/a de la ONCE, interfería en las respuestas de la persona con discapacidad, se observó que no caminaban en silencio de un punto a otro, que no entendían

bien la formulación de algunas preguntas y que, en general, había que simplificar el procedimiento.

Para los paseos sonoros 2 y 3 el cuestionario se simplificó, se editó en papel además de en formato digital y se puso más énfasis en las explicaciones iniciales y durante el propio recorrido. El núcleo del cuestionario fue el Método A de la ISO 12913-2:2018 al que se añadieron, a propuesta de la ONCE, algunas preguntas específicas para el colectivo (ver Tabla 4). Estas preguntas podrían llegar a formar parte de una futura revisión de la norma, que se adaptaría, de esta forma, a la investigación del paisaje sonoro urbano teniendo en cuenta intereses de personas con discapacidad visual.

### 5.4. ELCHE: centro urbano

Para terminar este catálogo de ejemplos y experiencias de aplicación de la norma, se muestran los resultados de los paseos sonoros realizados en la ciudad de ELCHE durante la celebración del Congreso TECNIA-CÚSTICA 2022. El trazado de los paseos sonoros ISO estaba formado por ocho puntos de evaluación a lo largo de un recorrido que partía del Centro de Congresos “Ciutat d’Elx” y terminaba en la entrada de la estación de ferrocarril (ver ilustración 20).

Se realizaron dos paseos sonoros, uno por la mañana con la participación de 8 personas y otro por la tarde en el que participaron 9 personas. Se empleó una encuesta en papel, la misma que actualmente se usa en los estudios en la ciudad de Granada y es el resultado de la experiencia adquirida en la realización de estos estudios, formada por dos partes. La primera, con cinco preguntas que se formulan al principio, una sola vez en todo el recorrido, incluye la evaluación del WHO-5 Well Being Index y cuatro cuestiones sobre la persona que participa en la evaluación (edad, género, situación laboral y nivel de estudios) A continuación, le sigue una segunda parte con 10 preguntas que forman el núcleo de la evaluación del ambiente en contexto por parte del voluntario/a. Estas 10 preguntas se repiten en todas las paradas: cuatro del Método A de la norma, tres del Método B de la norma y tres que no están en la norma, pero que la experiencia indica que es conveniente realizar.

Resulta evidente que 17 evaluaciones en cada punto, si sumamos las de mañana (8) y las de tarde (9), no es una cantidad adecuada en virtud de lo que establece la parte 3 de la norma (20 evaluaciones) Sin embargo, el objetivo de la actividad era conectar el congreso con la ciudad y mostrar lo que esta ciencia y este tipo de investigación puede aportar en la gestión del ruido en las ciudades y el diseño urbano con criterios de sostenibilidad.

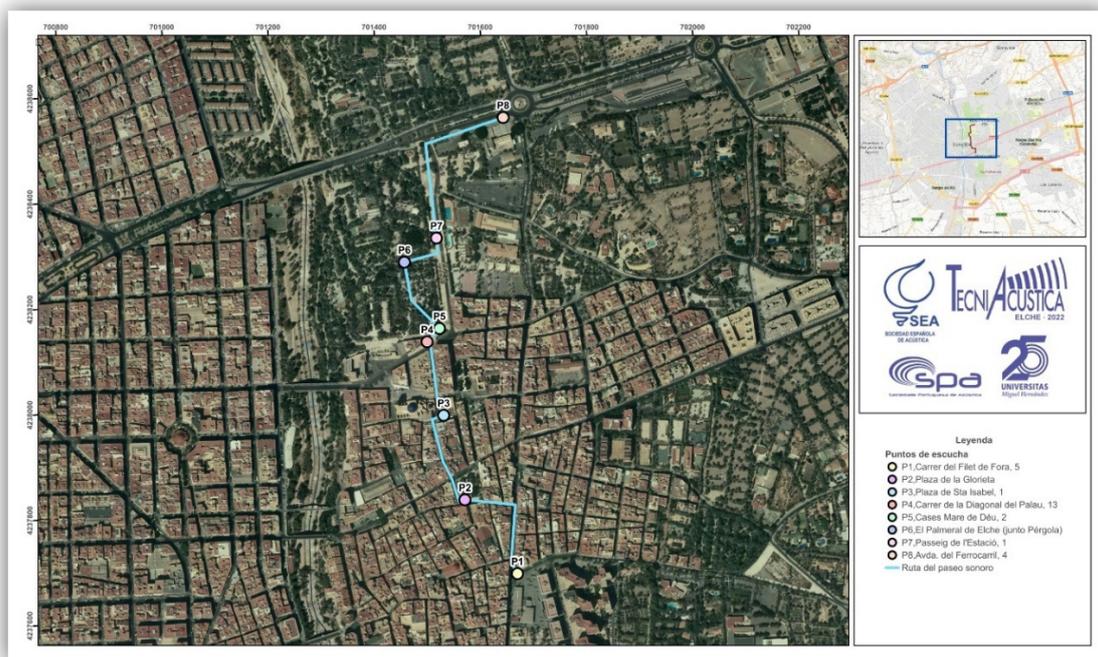
La generosa colaboración de algunas empresas hizo que las necesidades de instrumentación acústica para la realización de los paseos sonoros estuvieran ampliamen-

**Tabla 4.** Encuesta empleada con voluntarios/as de la ONCE (de [36]).

Pregunta	contenido	SSID	ISO 12913-2:2018	
Q9	¿Cuál es su género?	Sí	No	
Q10	Situación laboral	Sí	No	(pregunta similar está incluida en Method C)
Q11	Nivel de estudios más alto alcanzado	Sí	No	
Q12	Indique para cada una de las cinco afirmaciones siguientes, cuál define mejor cómo se ha sentido durante las últimas dos semanas	Sí	No	(WHO)
Q8	¿Con qué frecuencia visita este lugar?	Sí	No	(pregunta similar está incluida en Method B)
Q1	Indique si PUEDE OÍR estos sonidos en este momento	Sí	Sí	Method A
Q2	Hasta qué punto está de acuerdo o en desacuerdo con que el sonido ambiental actual es	Sí	Sí	Method A
Q3	Describe el AMBIENTE SONORO de este lugar (globalmente, en general)	Sí	Sí	Method A
Q4	¿El ambiente sonoro existente es el ADECUADO para este lugar? (apropiado)	Sí	Sí	Method A
Q7	Valore el RUIDO del ambiente sonoro (su volumen, magnitud, no su calidad)	Sí	Sí	Method B
NUEVA 1	¿Cuál es tu nivel de orientación en este lugar?	No	No	
NUEVA 2	¿Dirías que el ruido puede ser una problemática en este lugar?	No	No	
NUEVA 3	¿Reconocerías el punto si volvieras en otra ocasión?	No	No	

Sólo al inicio del paseo

A propuesta de la ONCE



**Ilustración 20.** Trazado paseos sonoros ELCHE 2022.

te cubiertas con los equipos prestados para la actividad (ilustración 21).

El resultado de la evaluación pone de manifiesto la gran diferencia que existe entre el Palmeral (P6) y el resto de puntos del trazado, algo que en principio se podía esperar. Sin embargo, la evolución de la percepción de la mañana a la tarde invita a pensar sobre sus causas, sobre qué elementos de diseño urbano y qué circunstan-

cias propias de la ciudad son las responsables de esa evolución, tal y como se puede ver en la ilustración 22. Estos resultados tampoco han sido aún publicados y se muestran como avance provisional.

En el trazado de Elche se incluyeron dos puntos muy próximos, apenas unos metros uno de otro, el punto 4 y el punto 5, paradas previas a la entrada del grupo de voluntarios/as en el Palmeral, para acceder al punto 6. La razón



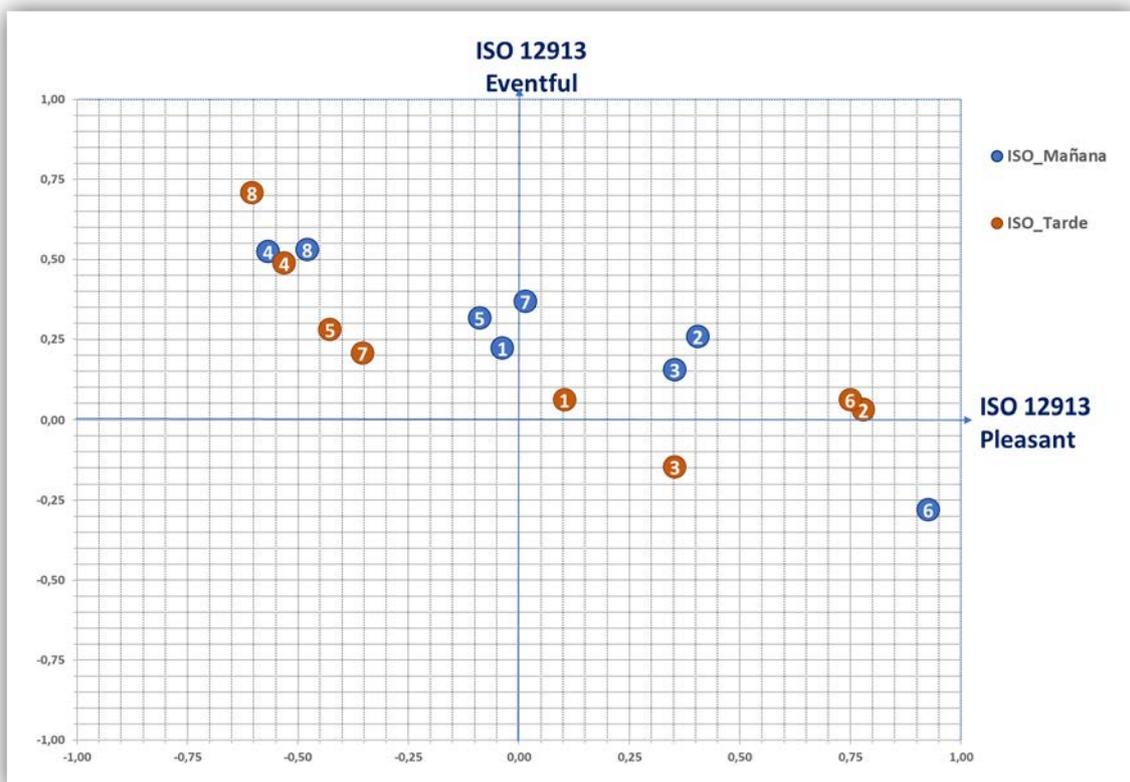
**Ilustración 21.** Concentración de instrumentación acústica en el Punto P1, mañana, paseo sonoro ISO ELCHE 2022.



**Ilustración 23.** Puntos P4, superior, y P5, inferior, del paseo sonoro por Elche durante la mañana.

de estos dos puntos, separados menos de 30 metros, es un elemento de diseño urbano muy interesante para el control de la contaminación acústica provocada por el tránsito de vehículos por la calle Diagonal del Palau. Se trata de una hilera curva de asientos de uso público, que constituye una barrera vegetal que impide la visión del tráfico y protege la entrada al Palmeral de su impacto acústico. El paseo sonoro permitiría comprobar, por primera vez, su efecto (si lo hay) en la percepción ciudadana en contexto.

La ilustración 23 muestra el punto P4 (calle Diagonal del Palau en su sección directamente expuesta al tráfico)



**Ilustración 22.** Evaluación ISO 12913-3, ELCHE, 2022.

y el punto P5 (25 metros de distancia de P4, pero sin visión del tráfico y protegido por el asiento-barrera vegetal) durante las medidas en el paseo de mañana.

Los resultados de la evaluación conforme a la norma en estos dos puntos se pueden ver en la ilustración 24, que representa las ocho dimensiones del modelo emocional PAQ (pregunta Q2 del cuestionario).

Tal y como puede observarse, la barrera tiene un efecto claro en la percepción ciudadana según el modelo emocional, por cuanto la dimensión “calmado” se acentúa respecto a la evaluación en el punto P4. De la misma forma, la impresión “agradable” es más fuerte y la sensación de “con actividad” más pequeña.

En relación a los resultados obtenidos con la instrumentación acústica (SQobold, HEADscape y Artemis

suite) las tablas 5 y 6 muestran un resumen de los indicadores acústicos ambientales (Ambiente, en dBA) y psicoacústicos (Psico). En relación a los parámetros psicoacústicos, se relacionan los siguientes: *Loudness* ( $N_{rnc}$  y  $N_5$ , sones), *Sharpness* (S, acum), *Roughness* (R, asper), *Fluctuation Strength* (F, vacil), *Tonality* (T, tuHMS) y, a partir de los anteriores, *Sensory Pleasantness* (SP) y *Psychoacoustic Annoyance* (PA) empleando las expresiones de Fastl & Zwicker [4]

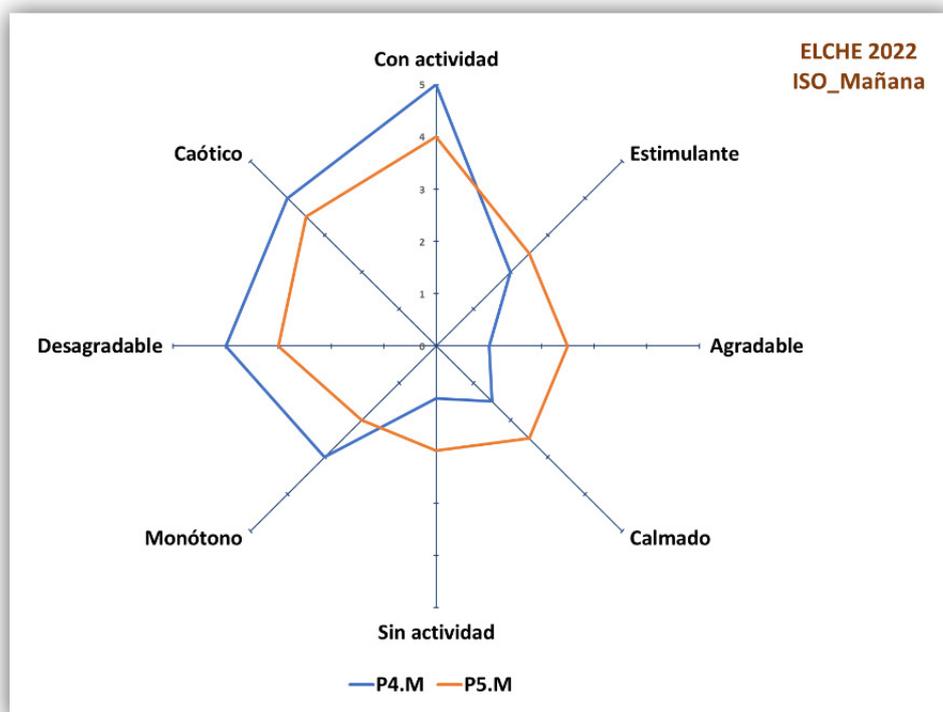
Observando la información objetiva (instrumentación) se observa que, si bien las diferencias en los indicadores de ruido ambiental no son demasiado grandes, las diferencias en los parámetros psicoacústicos constatan mejor el efecto de la barrera vegetal. El análisis según la norma ISO 12913 aporta, adicionalmente, una valoración de los elementos (de las dimensiones) que parecen con-

**Tabla 5.** Indicadores de ruido ambiental en los puntos P4 y P5, período mañana (Artemis suite).

Ambiente	L(A)	Min(A)	Max(A)	L5(A)	L10(A)	L50(A)	L90(A)	L10-L90
P4	69,43	57,95	84,25	74,15	72,28	68,05	60,33	11,95
P5	68,84	58,15	85,37	73,69	70,39	65,27	61,33	9,06

**Tabla 6.** Parámetros psicoacústicos en los puntos P4 y P5, período mañana (Artemis suite).

Psico	N <sub>rnc</sub>	N <sub>5</sub>	S	R	F	T	SP (N <sub>rnc</sub> )	SP (N <sub>5</sub> )	PA
P4	22,50	30,50	1,29	0,131	0,008	0,191	0,0492	0,0340	36,306
P5	19,90	27,50	1,19	0,153	0,022	0,291	0,0743	0,0524	33,768



**Ilustración 24.** Evaluación de la percepción en contexto, Elche puntos P4 y P5, período de mañana.



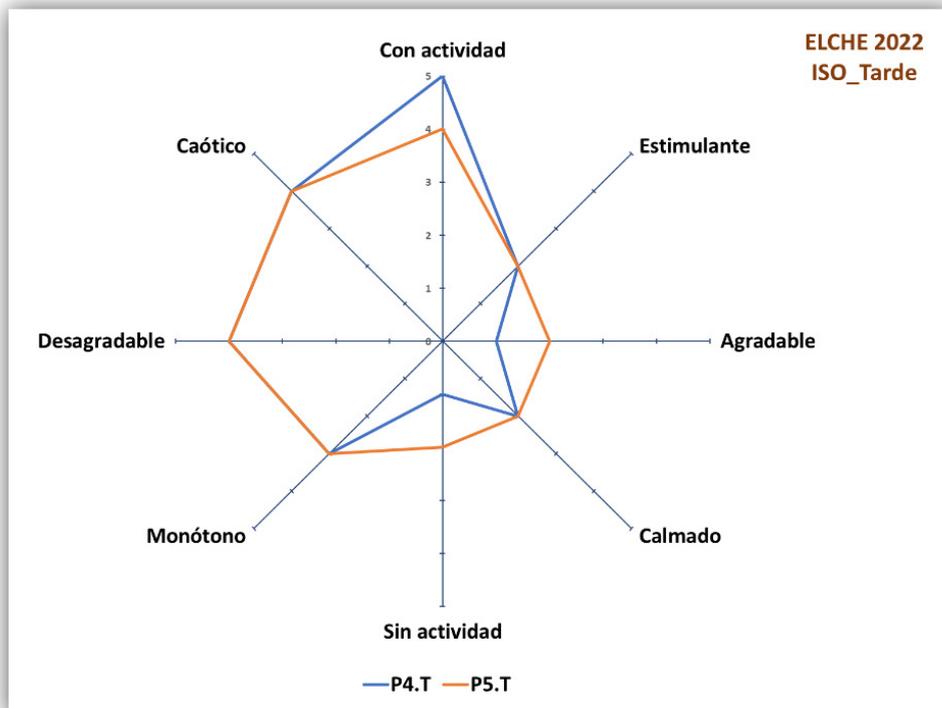
**Ilustración 25.** Puntos P4, izquierda, y P5, derecha, del paseo sonoro por Elche durante la tarde.

tribuir con mayor intensidad a la mejor percepción en el punto P5 respecto del P4.

Si ahora analizamos el resultado durante el paseo sonoro de la tarde, con la misma secuencia en la información mostrada a continuación, se puede comprobar que el efecto es menor, las diferencias entre el P4 y el P5 se reducen en cuanto a la evaluación emocional (ver ilustración 26).

Si analizamos los resultados del análisis de datos de la instrumentación acústica, las diferencias en los niveles ambientales son mayores y también en los parámetros

psicoacústicos. En este caso, la evaluación emocional ISO añade detalles que no son directamente visibles en las tablas 7 y 8: nos muestra un aumento de la sensación “monótono”, “desagradable” y “caótico” durante la tarde, probablemente al existir más actividad en esa zona durante ese período (personas paseando y presencia del tren turístico por la acera). Es decir, **la información ISO complementa y completa la interpretación de las características acústicas del entorno**, algo que permitiría diseñar una intervención urbana (plan de acción) mucho más precisa y eficaz.



**Ilustración 26.** Evaluación de la percepción en contexto, Elche puntos P4 y P5, período de tarde.

**Tabla 7.** Indicadores de ruido ambiental en los puntos P4 y P5, período tarde (Artemis suite).

Ambiente	L(A)	Min(A)	Max(A)	L5(A)	L10(A)	L50(A)	L90(A)	L10-L90
P4	70,68	57,79	85,35	76,06	74,36	67,80	60,27	14,09
P5	64,21	53,08	74,90	67,78	66,92	63,36	56,87	10,05

**Tabla 8.** Parámetros psicoacústicos en los puntos P4 y P5, período tarde (Artemis suite).

Psico	Nrmc	N5	S	R	F	T	SP (Nrmc)	SP (N5)	PA
P4	25,00	36,70	1,23	0,180	0,008	0,231	0,0495	0,0289	44,938
P5	16,60	21,20	1,14	0,148	0,006	0,176	0,0721	0,0584	26,188

## 6. Conclusiones

La evaluación del ambiente acústico urbano en contexto es una ciencia que ha llegado para quedarse, no es algo nuevo, pero sí una disciplina que ha experimentado un importante desarrollo en los últimos años. La norma ISO 12913 pretende ordenar la práctica de este tipo de estudios, desde su propia definición (parte 1), la toma de datos (parte 2) y el análisis e interpretación de esos datos (parte 3). A lo largo de este artículo se ha intentado mostrar no sólo lo que dice la norma sino también, con ejemplos, el resultado de su aplicación. Al menos, el resultado según la interpretación de los autores de los ejemplos mostrados, porque el estudio del soundscape es algo vivo, en permanente transformación a la luz de nuevos resultados.

En la actualidad, el WG54 (en el que participa el autor) estudia la futura versión de la parte 3. Son muchas las cuestiones que aconsejan su modificación, para incorporar nuevas técnicas de análisis y representación de los datos y para intentar definir de forma más concreta qué hacer cuando se tienen distintas evaluaciones en distintos momentos del día o del año. La evidencia indica que se obtienen resultados diferentes y la pregunta en el aire es ¿cómo se combinan esas evaluaciones? además de ¿es posible combinar esas evaluaciones?

Porque el objetivo final es llegar a caracterizar un lugar de forma tal que se pueda decir que esos “parámetros” definen realmente las condiciones representativas del emplazamiento. Actualmente sólo hay un criterio, y es que al menos se tengan 20 evaluaciones de cada lugar registradas en “condiciones ambientales” parecidas. Pero la realidad es que ya sea mediante paseos sonoros o mediante evaluaciones in situ, las repuestas nos llevan a diferencias que pueden llegar a ser importantes. Al menos lo suficientemente importantes como para que sea aconsejable determinar qué parámetro o parámetros (estadísticos) indicarán cuándo y bajo qué circunstancias las evaluaciones en diferentes momentos del día y del año se pueden combinar para determinar una evaluación media tipo.

Y con independencia de que estas cuestiones se vayan aclarando, quizá afectando no sólo la modificación futura de la ISO12913-3 sino también a la forma y requisitos de la toma de datos según la ISO 12913-2, sigue siendo muy importante definir para qué sirve todo esto. Debemos tener en cuenta que el estudio del paisaje sonoro no es una actividad excluyente de los modos y técnicas tradicionales empleadas en la gestión del ruido urbano. Al contrario, se trata de un complemento a mapas estratégicos de ruido y planes de acción que puede aportar algo que sería muy complicado de lograr a través de esas herramientas tradicionales. Porque **las personas no entienden de decibelios, pero sí saben si el ambiente que le rodea le gusta o no**. Como dice el arquitecto experto en paisaje sonoro Francesc Daumal, “o transformamos la ciudad o la gente se va a ir de la ciudad; cuando el ruido desaparece, nos olvidamos de él”. Y ese es el camino, lograr que el ruido desaparezca, ya sea porque reducimos decibelios o porque diseñamos mejor (nuestras ciudades) o por las dos cosas.

Es incluso un tema social, de educación sonora de la ciudadanía. Por eso el estudio del *soundscape* se presenta como la mejor forma de aportar la visión ciudadana en contexto en la lucha contra la contaminación acústica. Si lo vemos en positivo, sería la mejor forma para saber qué elementos de ciudad definen una ciudad amable, una ciudad que potencia el valor de sus sonidos y limita sus ruidos, una ciudad que pone en valor el sonido patrimonial y todos aquellos sonidos que generan calidad de vida. En el estudio del paisaje sonoro no sólo puede intervenir la ciudadanía, sino también expertos/as en acústica y cualquier colectivo, incluyendo personas con discapacidad como se ha visto [20] e incluso en situaciones de mayor complejidad urbana [36].

Por lo tanto, **el siguiente reto es definir para qué sirve todo esto**, algo que también asume el WG54 en los trabajos, ya iniciados, para elaborar la futura parte 4 de la norma [9] Al ejemplo de Gales en la elaboración de su Plan de Acción contra el ruido [10], que también incorpora el *soundscape* en la definición de sus propuestas

de acción, se unen otras iniciativas igualmente interesantes que deben ser tenidas en cuenta y que, con toda seguridad, constituirán referencias importantes en la definición de esa futura parte 4 de la norma [37, 38]

Finalmente, el análisis de los **factores no acústicos de la acústica** asume el reto de determinar, en primer lugar, qué son precisamente esos “*factores no acústicos*” y qué relación tienen con la determinación de la molestia por ruido (norma ISO 15666 [14]) y con la propia ISO 12913. Un trabajo que asume el WG68, en el que también participa el autor, y que tiene como principal desafío la elaboración de la futura ISO 16755 [13]

Al final, todos estos movimientos, todo este interés por la percepción en contexto y el estudio del sonido/ruido en nuestras ciudades bajo una óptica no necesariamente asociada al decibelio, no tiene más interés que **dar a la ciudadanía, a las personas**, el necesario **protagonismo** que, muy probablemente no han tenido hasta este momento. Un protagonismo que nos lleva incluso a estudiar el paisaje sonoro mediante los medios y herramientas “populares” que habitualmente usamos cada día como son los emojis [39] o a plantearnos la injusticia social origina por la exposición acústica [40], o la relación entre el paisaje sonoro y la luz [41] por citar sólo algunos nuevos nichos de investigación, estudios emergentes que cada vez lo son menos. Elementos de interés que ya se apuntaban en 2016 [42] y se concretaban en torno al estudio del paisaje sonoro en 2022 [43]

Relacionado con todo lo anterior se encuentra una cuestión que, teniendo en cuenta lo que esta ciencia puede llegar a aportar, adopta máximo interés, necesidad e incluso urgencia: la **traducción del modelo emocional**. Hablamos de su traducción al castellano y a cualquier otro idioma que no sea el inglés, idioma original de su formulación en la norma ISO12913-2:2018. Ese es el objetivo del **proyecto SATP** antes mencionado [25, 26], origen de la formulación del modelo emocional (**PAQ model**) en la encuesta empleada en los ejemplos que se han mostrado (ver Tabla 2), habitualmente como pregunta Q2. Si el objetivo final es diseñar un catálogo de intervenciones, de propuestas en planes de acción, para la prevención y control de la contaminación acústica en las ciudades - incluyendo la puesta en valor y defensa del patrimonio sonoro - y, también, para la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía, resulta evidente que sea cual sea el idioma, sea cual sea la comunidad - la población del mundo, en definitiva - que realice la evaluación emocional, la pregunta debe ser interpretada de la misma forma, con la misma intención, con la misma variabilidad, etc. Sólo así tendríamos una herramienta de valoración general que permita realizar evaluaciones independientes, es decir, de ámbito universal y no locales.

El proyecto SATP, puesto en marcha en 2019 por el Grupo de Acústica de University College London (UCL) con la participación en España desde su origen del Grupo SHH en la Universidad de Granada, cuenta actualmente con la participación de más de 24 universidades de todo el mundo. Este enorme grupo de investigadores/as han realizado ya la traducción del PAQ model a 19 idiomas [26]: albanés, árabe, chino, croata, holandés, francés, alemán, griego, indonesio, italiano, japonés, coreano, malayo, portugués, español, sueco, tailandés, turco y vietnamita. En el caso del castellano, la traducción propuesta (mostrada en la Tabla 2) fue realizada por colegas de la Universidad Austral de Chile (UACH) y Universidad de Chile (UChile) y el autor. Actualmente se trabaja en su validación, realizando comparaciones con la formulación original en inglés y también con las variantes que existen de algunos idiomas en los muchos países donde se hablan esos idiomas. Todos los resultados de esta investigación en el contexto de SATP, se está publicando en un número especial monográfico de la revista Applied Acoustic [44].

En el caso del castellano hablado por nativos españoles (está pendiente el estudio del castellano hablado por personas de otros países), los resultados muestran que algunas dimensiones del modelo no tienen la misma interpretación en castellano que en el inglés original y, lo que es más importante, que también la propia formulación del modelo en su inglés original debería ser revisada [45]

Lo que parece evidente es que asistimos a una importante evolución, a veces con tintes de revolución por la rapidez a la que se produce, por la que el estudio de la contaminación acústica en nuestras ciudades cada vez se analiza menos como contaminación y se gestiona más como recurso. Y que, para dar forma a esa evolución, la participación ciudadana es el vértice sobre el que pivotan todas las acciones. Cosas de la Agenda 2030, del desarrollo sostenible y del papel que la acústica urbana tiene en el diseño de las urbes en el siglo XXI.

## 7. Agradecimientos

El trabajo mostrado en los ejemplos de aplicación no habría sido posible sin la colaboración de: Rafael Garcia Quesada y José Antonio Almagro Pastor en Granada, Miguel Ausejo Prieto y Antonella Radicchi en la organización y desarrollo del primer paseo sonoro por Madrid, la organización ONCE en la primera actividad de este tipo realizada con personas con discapacidad visual en España, Francesc Daumal y Sergio Herguedas en los paseos sonoros por Elche y todas las personas que han participado en las actividades de evaluación de forma voluntaria y generosamente desinteresada (permitiendo igual-

mente que aparezcan en algunas fotos). También se agradece la colaboración de las empresas EUROCONTROL en la realización de la actividad de Madrid y Sound of Numbers, IAG y HEAD acoustics en la realización de los paseos sonoros en Elche. En el caso de HEAD acoustics, se agradece igualmente y de forma especial el uso del software Artemis para el análisis de los datos de 2022. Finalmente, se agradece a la Sociedad Española de Acústica (SEA) la posibilidad de elaborar este monográfico y, con ello, colaborar a un mejor conocimiento de esta importante norma llamada a tener un papel destacado en el futuro desarrollo de nuestras ciudades.

## 8. Referencias

- [1] Ö. Axelsson, C. Guastavino and S.R. Payne, Editorial: Soundscape Assessment, *Frontiers in Psychology*, 10, 2019. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.02514/full>
- [2] R. Barti, Introducción al Paisaje sonoro, *Revista de Acústica, SEA*, vol 53, nº 3 y 4, 2022.
- [3] M.S. Engel, A. Fiebig, C. Pfaffenbach. et al., A Review of the Use of Psychoacoustic Indicators on Soundscape Studies. *Curr Pollution Rep* 7, 359–378, 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-021-00197-1>
- [4] H. Fastl and E. Zwicker, *Psycho-acoustics: Facts and Models*. Springer, 3rd updated edition, 2007.
- [5] SSID – Soundscape Indices, ERC-2016-ADG - ERC Advanced Grant, 2018-2024. SSID Project in COR-DIS: <https://doi.org/10.3030/740696>
- [6] ISO 12913-1: 2014, Acoustics-Soundscape — Part 1: Definition and conceptual framework. <https://www.iso.org/standard/52161.html>
- [7] ISO/TS 12913-2: 2018, Acoustics-Soundscape — Part 2: Data collection and reporting requirements. <https://www.iso.org/standard/75267.html>
- [8] ISO/TS 12913-3: 2019, Acoustics-Soundscape — Part 3: Data analysis. <https://www.iso.org/standard/69864.html>
- [9] ISO/PWI TS 12913-4: #####, Acoustics-Soundscape — Part 4: Design and Intervention.
- [10] Welsh Government. Noise and Soundscape Action Plan 2018 to 2023. <https://www.gov.wales/noise-and-soundscape-action-plan-2018-2023-0>
- [11] Martin McVay, Noise and soundscape in Welsh planning policy. Proceedings of INTERNOISE 2022. <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairwesteu-prod/production-inconference-public/9adf5239317d4eb4a95cac2dca13bf1d>
- [12] ISO TC 43/SC 1, <https://www.iso.org/committee/48474.html>
- [13] ISO/AWI TS 16755-1: #####, Acoustics-Non-acoustic factors — Part 1: Definition and conceptual framework. Project under development by ISO/TC43/SC1/WG68
- [14] ISO/TS 15666:2021, Acoustics — Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. <https://www.iso.org/standard/74048.html>
- [15] ISO stage codes. <https://www.iso.org/stage-codes.html>
- [16] ISO 1996-1:2016, Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- [17] P. Dunbavin, ISO/TS 12913-2:2018 – Soundscape – Part 2: Data collection and reporting requirements – what’s it all about? *Acoustic Bulletin*, Vol 43, 4, July-August, pp 55-57, 2018. <https://www.ioa.org.uk/sites/default/files/Acoustics%20Bulletin%20July-August%202018.pdf>
- [18] Almagro, J.A., Vida, J. and García-Quesada, R., Soundscape approach for noise management of conflict urban areas. the PTS case in Granada (Spain). INTERNOISE 2019. MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 2019. [http://www.sea-acustica.es/fileadmin/INTERNOISE\\_2019/Fchrs/Proceedings/1414.pdf](http://www.sea-acustica.es/fileadmin/INTERNOISE_2019/Fchrs/Proceedings/1414.pdf)
- [19] Vida, J., Almagro, J.A. and García-Quesada, R., The importance of changing urban scenery in the assessment of citizens’ soundscape perception. On the need for different time-related points of view. *Noise Mapping*, 8, 138-161, 2021. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0011>
- [20] Vida, J., Almagro, J.A., García-Quesada, R., Aletta, F., Oberman, T., Mitchell, A. and Kang, J., Urban Soundscape Assessment by Visually Impaired People: First Methodological Approach in Granada (Spain)., *Sustainability*, 13, no. 24: 13867, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132413867>
- [21] F. Aletta, C. Guattari, L. Evangelisti, F. Asdrubali, T. Oberman and J. Kang, Exploring the compatibility of “Method A” and “Method B” data collection protocols reported in the ISO/TS 12913-2:2018 for urban soundscape via a soundwalk, *Applied Acoustics*,

- 155, 190-203, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.05.024>
- [22] ISO-TC43-SC1 N2984, May 2023. Adopted Resolutions, Montreal, Canada (Hybrid Meeting) Resolution 04/2023 - ISO/TS 12913-3:2019 review. ISO/TC 43 Plenary. May 2 to 6, 2023, Montreal, Canada. <https://caa-aca.ca/tc43-montreal-2023/>
- [23] ISO-TC43-SC1-WG54\_N222, Short Report on the AdHoc Meeting of WG 54 on 11th of April. Internal WG54 document, 2023.
- [24] Botteldooren, D., De Coensel, B., Aletta, F., Kang, J. (2023). Triangulation as a Tool in Soundscape Research. In: Schulte-Fortkamp, B., Fiebig, A., Sisneros, J.A., Popper, A.N., Fay, R.R. (eds) Soundscapes: Humans and Their Acoustic Environment. Springer Handbook of Auditory Research, vol 76. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22779-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22779-0_8)
- [25] F. Aletta et al., Soundscape assessment: Towards a validated translation of perceptual attributes in different languages. Proc. 49th Int. Congr. Noise Control Eng. INTER-NOISE 2020. Seoul. Korea. 2020.
- [26] F. Aletta et al., Preliminary results of the Soundscape Attributes Translation Project (SATP): lessons learned and next steps. Proc. Forum Acusticum 2023. Torino. Italy. 2023.
- [27] Andrew Mitchell, Francesco Aletta, Jian Kang, How to analyse and represent quantitative soundscape data. JASA Express Letters, 2, (3), 2022. <https://doi.org/10.1121/10.0009794>
- [28] Paseo sonoro por MADRID, 14ª edición del Congreso Nacional del Medio Ambiente, CONAMA 2018, 2018. <http://www.conama2018.org/web/es/prensa/noticias/un-paseo-sonoro-por-madrid-sera-una-de-las-actividades-practicas-de-conama-2018.html>
- [29] Paseos sonoros por la ciudad de ELCHE, TECNIACÚSTICA 2022, 53º Congreso Español de Acústica, 2022. <https://tecniacustica.es/TECNIACUSTICA2022/programa/concienciacion-paseos-sonoros>
- [30] Paseos sonoros por la ciudad de CUENCA, TECNIACÚSTICA 2023, 54º Congreso Español de Acústica, 2023 <https://tecniacustica.es/TECNIACUSTICA2023/bienvenida>
- [31] Antonella Radicchi, HUSH CITY APP, 2017. <https://opensourcesoundscapes.org/hush-city/>
- [32] World Health Organization. Wellbeing Measures in Primary Health Care/The Depcare Project. Copenhagen; 1998.
- [33] Aletta, F., Molinero, L., Astolfi, A., Di Blasio, S., Shrepi, L., Oberman, T. and Kang, J., Exploring associations between soundscape assessment, perceived safety and well-being: a pilot field study in Granary Square, London. Proceedings ICA 2019, Aachen, Germany, 2019.
- [34] Erfanian, M., Mitchell, A., Aletta, F. and Kang, J., Psychological well-being and demographic factors can mediate soundscape pleasantness and eventfulness: A large sample study, Journal of Environmental Psychology, 77, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101660>
- [35] Vida, J., Estudio del paisaje sonoro urbano interpretado por personas con discapacidad visual, CONAMA 2020, Sesión Técnica ST-40 ¿Cómo quieres que suene tu ciudad? Acústica sensorial e integración urbana. Madrid, 2020. [http://www.conama.org/conama/download/files/conama2020/STs%202020/5922\\_ppt\\_JVida.pdf](http://www.conama.org/conama/download/files/conama2020/STs%202020/5922_ppt_JVida.pdf)
- [36] Boucherit, S.; Maffei, L.; Masullo, M.; Berkouk, D.; Bouzir, T.A.K. Assessment of Sighted and Visually Impaired Users to the Physical and Perceptual Dimensions of an Oasis Settlement Urban Park. Sustainability 2023, 15, 7014. <https://doi.org/10.3390/su15087014>
- [37] Xiaochao Chen, Francesco Aletta, Cleopatra Moshona, Helen Henze, Andrew Mitchell, Tin Oberman, Huan Tong, Andre Fiebig, Jian Kang, Brigitte Schulte-Fortkamp; Developing a taxonomy of soundscape design from real-world examples. J Acoust Soc Am 1 March 2023; 153 (3\_supplement): A232. <https://doi.org/10.1121/10.0018743>
- [38] Catalogue of Soundscape Interventions, 2021. <https://soundscape-intervention.org/>
- [39] Pierre Aumond, Marlène Gaillard, Lise Rouy, Enrique Suárez, Catherine Lavandier, Translating soundscape descriptors with facial emojis, Applied Acoustics, 208, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109342>.
- [40] Christopher Trudeau, Nicholas King, Catherine Guastavino, Investigating sonic injustice: A review of published research, Social Science & Medicine, 326, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.socsci-med.2023.115919>.
- [41] Flores-Villa L, Oberman T, Guattari C, et al. Exploring relationships between soundscape and lightscape perception: A case study around the Colosseum and Fori Imperiali in Rome. Lighting Research & Technology. 2023. doi:10.1177/14771535231156617

- [42] Jian Kang, Francesco Aletta, Truls T. Gjestland, Lex A. Brown, Dick Botteldooren, Brigitte Schulte-Fortkamp, Peter Lercher, Irene van Kamp, Klaus Genuit, André Fiebig, J. Luis Bento Coelho, Luigi Maffei, Lisa Lavia, Ten questions on the soundscapes of the built environment, *Building and Environment*, 108, pp 284-294, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.011>.
- [43] Like Jiang, Abigail Bristow, Jian Kang, Francesco Aletta, Rhian Thomas, Hilary Notley, Adam Thomas, John Nellthorp, Ten questions concerning soundscape valuation, *Building and Environment*, 219, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109231>
- [44] Applied Acoustics, Special Issue: Soundscape Attributes Translation: Current Projects and Challenges. <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-acoustics/about/call-for-papers#soundscape-attributes-translation-current-projects-and-challenges>
- [45] J. Vida, JA Almagro, R. Quesada, F. Aletta, T. Oberman, A. Mitchell, J. Kang, Soundscape attributes in Spanish: a comparison with the English version of the protocol proposed in Method A of the ISO/TS 12913-2, *Applied Acoustics*, Volume 209, 2023 (expected) (aceptado para su publicación; 26th June).

## Entrevista a Antonio J. Torija, de la Universidad de Salford, para la Revista de Acústica



### 1. Describe brevemente tu carrera académica

Hice mi tesis doctoral en la Universidad de Granada, casi por casualidad. De hecho, durante la carrera nunca pensé trabajar en Acústica, creo que es algo bastante común en gente trabajando en Acústica. Fue uno de mis directores de tesis, Diego Pablo Ruiz Padillo, el que me ofreció trabajar con ellos en la realización de mapas de ruido ambiental. Después de aquello, solicité y conseguí una beca FPU, con la que hice mi tesis en cuatro años.

El final de mi tesis, en 2010, coincidió con la crisis económica, con lo que consideré casi necesario salir de España para continuar mi carrera investigadora. Tras aplicar a varias becas postdoctorales, conseguí un contrato Marie Skłodowska-Curie, el cual me dio la oportunidad de desarrollar mi investigación en uno de los centros de referencia en Acústica, el ISVR (Instituto de Investigación en Sonido y Vibraciones) de la Universidad de Southampton (Reino Unido). Tras finalizar mi Marie Skłodowska-Curie, ISVR me ofreció un puesto de trabajo como investigador, en el que me especialicé en “ruido de aviones”.

Un tiempo después encontré una plaza de Profesor Asistente en la Universidad de Salford, donde he ido progresando hasta obtener una plaza de Profesor Asociado (equivalente a Profesor Titular en España).

### 2. ¿Por qué la Acústica, en general, y el ruido aeronáutico, en particular?

Mi carrera académica comenzó con una licenciatura en “Ciencias Ambientales”. De hecho, mi primer trabajo

en Acústica fue en “Acústica Medioambiental”, precisamente, por el trasfondo de contaminación del ruido ambiental. De hecho, tal y como describe la OMS, el ruido es el segundo agente contaminante más importante después de la contaminación del aire. Comencé a trabajar en Acústica para abordar el problema del ruido ambiental como un problema de contaminación.

Creo que mis estudios de Ciencias Ambientales me permitieron conectar conceptos de diversas disciplinas con la Acústica, para tratar de ayudar a encontrar soluciones. Por ejemplo, en el ruido de aviones, aunque por supuesto no sólo en este ámbito, cualquier actuación que se tome desde el punto de vista acústico va a tener influencia en muchos otros aspectos. Por lo tanto, debe considerarse qué influencia tiene cualquier decisión en aspectos acústicos sobre otros factores, como por ejemplo, el rendimiento aerodinámico.

Por este hecho, mi investigación se centra, principalmente, en solventar problemas acústicos en aviación, drones, movilidad eléctrica, etc.

### 3. Muchas de tus últimas investigaciones se centran en el ruido generado por drones, que se encuentran aún en una etapa incipiente en su uso masivo: ¿se conoce o se ha estimado ya el impacto sobre la salud y los ecosistemas que podría tener su despliegue generalizado a nivel comercial?

La verdad es que aún no. Es un campo bastante nuevo. Hay varias zonas en algunos países como Estados Unidos, Australia, Francia o Reino Unido en las que se

están realizando diversas iniciativas, con drones operando, pero aún a una escala muy pequeña.

Precisamente, debido a esta pequeña escala, aún desconocemos el impacto que podría tener el ruido generado por estos vehículos sobre la salud. Lo que sí sabemos es que mucha de la investigación existente con respecto al impacto sobre la salud del ruido ambiental producido por aeronaves probablemente no sea de aplicación, por diversos motivos, entre los que se encuentran: (1) la forma de operar es distinta a la de la aviación tradicional, (2) el número va a ser muy diferente, (3) volarán más cerca de la población...

Además, el impacto sobre el bienestar puede que no sea tan sólo derivado de sus características acústicas como tal, sino también del contexto. Puede que, para algunas personas, escuchar el ruido de un dron sea molesto porque lo consideren un problema de seguridad, al desconocer quién está manejando el dron y qué está haciendo con él.

En conclusión, aún desconocemos bien los efectos sobre la salud, porque la operación de los drones no se está realizando a una escala suficiente, como para que podamos realizar los habituales estudios de campo que se realizan en Acústica Medioambiental con otros emisores acústicos.

De hecho, a día de hoy, EASA, NASA y también ISO están aún centrándose en cómo medir correctamente el ruido generado por drones.

Con respecto a las simulaciones y la modelización del ruido de este tipo de vehículos, las principales investigaciones se están centrando en evaluar si los modelos existentes para, por ejemplo, helicópteros son adaptables al ruido generado por vehículos UAM (Urban Air Mobility), que son los drones de gran tamaño destinados al transporte de personas.

**4. Tal y como comentabas anteriormente, mucha de la investigación en drones se está centrando en definir metodologías de medida: ¿es muy difícil medir el ruido generado por drones?**

Desde un punto de vista aeroacústico la caracterización es complicada. La emisión acústica generada por estos vehículos va a depender mucho, por ejemplo, de las condiciones ambientales. Si hace viento, la operación del vehículo (de un tamaño significativamente más pequeño que un avión o helicóptero) será muy inestable, y con ello, el ruido generado por éste, con mayores variaciones temporales y mayor solapamiento de los armónicos de las frecuencias fundamentales de los diferentes rotores. Todos estos hechos llevan a una gran complejidad a la hora de caracterizar el sonido.

Además, la medición en entornos ideales como una cámara anecoica o un túnel de viento genera caracterizaciones poco realistas. Por eso, en nuestras investigaciones en Salford tratamos de llevar a cabo los estudios con el vehículo operando realmente, en exteriores.

**5. Recientemente has comparecido en la “Cámara de los Lores” de Reino Unido, para presentar evidencias sobre los efectos del ruido sobre la salud. Con respecto a ello, ¿cómo está siendo la adaptación, tanto en Reino Unido como en la Unión Europea, a este nuevo tipo de ruido ambiental?**

La OMS publicó unas recomendaciones recientemente. La conversación con el comité científico-técnico de la Cámara de los Lores fue sobre cómo se estaban aplicando esas recomendaciones en diferentes países europeos. El consenso fue que no se están aplicando porque son demasiado restrictivas, lo que supone mucha complejidad de aplicación con la evidencia actual.

Para los nuevos tipos de fuentes sonoras sólo tenemos una pequeña muestra de regulación. Por ejemplo, en la UE existe una reglamentación para la medida de drones bajo condiciones muy controladas, siguiendo un proceso de medición de potencia sonora similar al utilizado para otros emisores como cortacésped.

Además de esta reglamentación tan sólo existen algunas guías de NASA, EASA y, próximamente, de ISO, centradas en la medición.

Si nos fijamos en otros nuevos emisores acústicos, como los vehículos eléctricos, sí que existen ciertas regulaciones acerca de las señales de aviso (AVAS), pero es difícil aún tener en cuenta su impacto en los mapas de ruido, puesto que estas flotas de vehículos están aún por modelizar. Hay bastante trabajo por hacer en este ámbito.

Sin embargo, creo que una buena motivación son los grandes avances que se están llevando, de manera general, en el abordamiento reglamentario del ruido ambiental desde la perspectiva del paisaje sonoro. Este abordamiento trasciende de la pura reglamentación relativa al control de ruido y trata de centrarse más en la salud. Algo bonito de este enfoque es que, además de centrarse en el control enfocado en la salud, también aborda la conservación del patrimonio sonoro de las ciudades. En este camino, se están haciendo grandes avances en Europa, siendo especialmente destacable el énfasis que está haciendo el País de Gales, parte del Reino Unido, en la reglamentación de paisajes sonoros.

**6. ¿Cuáles son, en tu opinión, las metodologías y tecnologías más innovadoras a la hora de reducir la molestia generada por los nuevos drones?**

Hay algunas cosas que se conocen bien. Por ejemplo, para minimizar el ruido hay que tratar, entre muchas

otras acciones, de reducir la velocidad de rotación y la carga de las aspas, aumentar el número de éstas, a la par que reducir la interacción entre aspas, las aspas y el cuerpo del vehículo, etc. Sin embargo, todas estas características de diseño tienen una gran influencia en la capacidad de operación del vehículo, cuya principal finalidad es garantizar un vuelo seguro.

Yo participo en consorcios que diseñan este tipo de vehículos y, claro, lo primero es que el vehículo vuele de forma segura, y tenga el rendimiento esperado y, una vez esta etapa esté lograda, ajustar el diseño para el resto de las características.

De hecho, históricamente, primero se ha diseñado el vehículo y, posteriormente, se ha tratado de aplicar algunos cambios que minimicen el ruido. Últimamente, sobre todo gracias a un gran empuje por parte de la NASA, se están utilizando herramientas de auralización durante el diseño, que permiten escuchar la emisión sonora generada por un vehículo durante su etapa de diseño, a partir de cálculos realizados con métodos numéricos. Posteriormente, con estas auralizaciones se pueden hacer pruebas perceptuales para evaluar cómo se modifica la molestia generada por el ruido, con determinados cambios en el diseño. Estos avances están permitiendo que el diseño acústico se realice hoy en día de manera simultánea al diseño mecánico o aerodinámico del aparato.

**7. Como acústico, especializado en Ciencias Ambientales, ¿consideras que los beneficios del uso de este nuevo tipo de vehículos, fomentados para reducir la contaminación atmosférica, superan los nuevos problemas de contaminación acústica que pueden generar?**

Creo que hay un interés claro en ir hacia la movilidad eléctrica. Tanto la reglamentación como el mercado van hacia ello. Esto puede llevar, temporalmente, a una serie de inconveniencias acústicas. Creo, precisamente, que para eso estamos nosotros. Lo que podemos hacer es generar el conocimiento y las herramientas necesarios para que los nuevos vehículos generen un paisaje sonoro agradable, evitando sinfonías inarmónicas y horribles en los entornos.

En particular, con respecto a los drones, pienso que su operación en entornos urbanos va a encontrarse muy regulada. Veo poco factible que, en ciudades europeas, veamos drones volando por todas partes, para todo tipo de tareas.

Sí pienso que los drones van a tener una gran relevancia a la hora de facilitar la vida en ciertas situaciones, aportando accesibilidad a zonas de acceso complejo, incrementando la velocidad en el reparto de suministros

médicos a hospitales, o descongestionando las ciudades de furgonetas, en el reparto final de paquetes, reduciendo las emisiones.

Pienso que, en general, la transición a estos nuevos sistemas de transporte va a ser positiva. Si se hace todo bien, estas acciones tendrán un gran beneficio social, económico y medioambiental.

**8. ¿Qué avances esperas que podamos ver, dentro de 10 años, de las investigaciones que tus colegas y tú estáis llevando a cabo actualmente?**

Uf, qué difícil. Son varias cosas en las que trabajo y no sabría bien qué decir.

Más que certezas voy a compartir esperanzas. Yo espero que, de aquí a 10 años, dispongamos de las herramientas necesarias para diseñar espacios sonoros que sean socialmente aceptados y que cumplan con las expectativas de los ciudadanos.

Por ejemplo, que dispongamos de las herramientas que nos permitan diseñar el sonido de nuestras futuras ciudades, en las que coexistan los nuevos vehículos eléctricos, con sus señales de aviso, los drones y demás vehículos futuros, en el mismo escenario y que, a su vez, ello genere una mejora del paisaje sonoro actual.

**9. ¿De qué te sientes más orgulloso en tu carrera investigadora?**

Puf, no lo sé. Yo diría que una de las cosas de las que más orgulloso estoy es de haber adquirido un estatus en mi ámbito de trabajo, que me permite colaborar con gente de NASA y haber sido invitado a presentar mi investigación allí, o trabajar con colegas de universidades de alto prestigio, como por ejemplo la Universidad de Cambridge.

**10. ¿Qué recomendación le darías a un joven acústico que esté comenzando sus investigaciones en tu ámbito?**

Es complicado, pero yo creo que lo que le diría a alguien que haya conseguido su primera beca de investigación es que es una gran oportunidad. Le diría que valore que la oportunidad que se le ha brindado es muy grande. También le diría que este ámbito del ruido ambiental o del ruido generado por emisores acústicos, tales como drones, es algo que puede tener mucho impacto sobre la sociedad.

La investigación del ruido ambiental contribuye a varias cosas, entre las que se enmarca la mejora de la salud de las personas, con lo que, más allá de hacerte sentir bien, puede tener una influencia muy grande sobre la calidad de vida de las personas.

El ruido ambiental y su investigación es algo de lo que no ves el impacto hasta que empiezas a trabajar en ello. Sin embargo, tiene una gran importancia para la sociedad. Le diría que no pierda de vista ese hecho.

**11. Por último, ¿hay algún acústico/a, cuyas investigaciones hayan tenido gran influencia sobre tu progreso investigador y al que quisieras darle las gracias?**

En realidad, creo que yo mencionaría no sólo a una, sino a cuatro personas.

Las dos primeras personas a las que me gustaría mencionar son mis dos directores de tesis, Diego Pablo Ruiz Padillo y Ángel Ramos Ridaó. A Diego le agradecería el haberme presentado con mundo de la Acústica. A Ángel le agradecería el gran apoyo brindado durante la tesis doctoral.

La tercera persona a la que me gustaría mencionar es el profesor Ian Findell, de la Universidad de Southampton, porque aprendí mucho de él, y me guió para convertirme en un investigador reputado. Me marcó mucho su forma de pensar y de orientar la investigación.

Por último, me gustaría mencionar a Steve Rizzi, de la NASA, porque yo empecé a aplicar el *Perception-driven Engineering*, es decir, el abordamiento de involucrar la percepción del sonido en el diseño de un sistema, como por ejemplo un avión, tras una conferencia plenaria suya en un congreso en Hamburgo en 2016. Su conferencia me dejó impresionado con las cosas que por aquel entonces estaban desarrollando. Sentí que aquello era lo que yo quería hacer y en lo que podía aplicar mi conocimiento transversal procediendo de las Ciencias Ambientales. Recuerdo esa conferencia plenaria bastante.



**BARRERAS ACÚSTICAS QUE ABSORBEN CO<sup>2</sup>**



## **EDIFICIOS Y ESPACIOS ACÚSTICAMENTE SALUDABLES**

**CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS  
NORMATIVA UNE 74201:2021**

**PROYECTOS PERSONALIZADOS**

**DISEÑOS INNOVADORES EN SOLUCIONES ACÚSTICAS**

**FABRICACIÓN E INSTALACIÓN HOMOLOGADA**

**PRODUCTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CERTIFICADOS**

**EDIFICIOS RESIDENCIALES & CULTURALES**

**WORKPLACES / COWORKINGS**

**HORECA / HOSPITALES**

**CENTROS EDUCATIVOS**

**GINNASIOS / POLIDEPORTIVOS**



[www.audiotec.es](http://www.audiotec.es)

## Año 2023

The 29th International Congress on sound and vibration, (ICSV29)

- 9 – 13 julio



Internoise 23

- 2 – 23 agosto



FORUM ACUSTICUM 2023.

Torino

- 11 – 15 septiembre



International Congress on Ultrasonics (ICU 2023)

- 18 – 21 septiembre



54º Congreso Español de Acústica Tecniacústica 2023

- 18 – 20 octubre



Acoustics 23, Sidney. Joint meeting of the Acoustical Society of America, WESPAC, The Australian Acoustical Society and the Pacific RIN underwater Acoustics Conference

- 4 – 8 diciembre



## Año 2024

13º Congreso Iberoamericano de Acústica (FIA 2022\* 2024)

- 2 – 06 diciembre



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

BRÜEL & KJAER  
<http://www.bksv.es>

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

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

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

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

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

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

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

EMS BRUEL & KJAER IBÉRICA S.A. ENVIROSUITE  
[MariaJesus.Ballesteros@envirosuite.com](mailto:MariaJesus.Ballesteros@envirosuite.com)

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

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

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

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

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

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

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INSTRUMENTACIÓN Y ACÚSTICA APLICADA -I2A2-  
[info@i2a2.upm.es](mailto:info@i2a2.upm.es)

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

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

IDEATEC ADVANCED ACOUSTIC SOLUTIONS, S.L.U.  
[www.ideatec.es](http://www.ideatec.es)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido

Miércoles 26 de abril de 2023



**Contra el ruido,  
mejor no generarlo**

Idea original de Ángela Pozo Navacerrada - 13 años

