

- (A) Imagen del tejido mediante ecografía convencional en modo-B y fotográfica de una inclusión de hígado, donde se muestra la morfología.
- (B) Elastografía empleando el método del gradiente de fase, donde se aprecia una inclusión más rígida que el medio que lo rodea, y los detalles de las estructuras internas.

XIII Congresso Ibérico de Acústica
55º Congresso Español de Acústica
TECNIACÚSTICA 2024

Faro, 11 al 13 septiembre 2024



- Presentación
- Comités
- Conferencias Plenárias
- Fechas y sede
- Contactos
- ExpoAcústica 2024
- Temas



Fechas y sede

Universidade do Algarve - Campus de Gambelas - Faro - PORTUGAL

11 al 13 de septiembre de 2023



Universidade do Algarve



Revista de Acústica

Publicación periódica de la
Sociedad Española de Acústica,
SEA

Portada: Cortesía de los autores
del artículo: "midiendo la
elasticidad de tejidos biológicos
empleando ultrasonidos".

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.



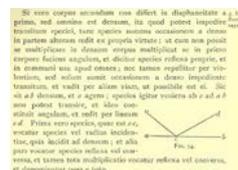
Revista de acústica

Vol. 54 | Núms. 3 y 4 | 3.º y 4.º Trimestres 2023

Sumario

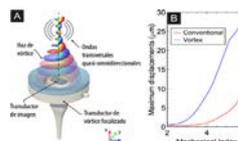
3 Juan Andrés y Morell: La Ilustración española y la ciencia Acústica

Walter A. Montano Rodríguez



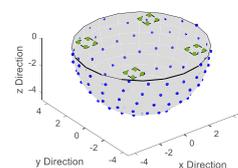
12 Midiendo la elasticidad de tejidos biológicos empleando ultrasonidos

Enrique Gonzalez-Mateo, Josep Rodriguez-Sendra, Francisco Camarena, Noé Jiménez



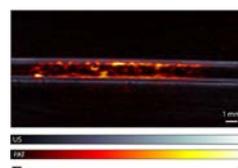
21 3D Hybrid Method for Assessing Re-Radiated Noise Induced by Railway Traffic: Numerical Validation

Soares, Paulo J.; Alves Costa, Pedro; Colaço, Aires Arcos, Robert; Godinho, Luís



28 Imagen fotoacústica empleando nanopartículas de redes orgánicas covalentes (nCOFs) como agente de contraste

Irene Pi-Martín, Carla María Vidaurre Agut, Alejandro Cebrecos, Juan J. García-Garrigós, Noé Jiménez, Pablo Botella Asunción, Francisco Camarena



35 Noticias

41 Publicaciones

44 Entrevista a Raúl Alcaraz Martínez

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 Backbase de
los últimos 10 s

PERFECTAMENTE SIMPLE

SIMPLEMENTE PERFECTO

Juan Andrés y Morell: La Ilustración española y la ciencia Acústica



Walter A. Montano Rodríguez¹

¹ 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; *43.10.Mq; 01.65.+g

Resumen

El alicantino Juan Andrés y Morell es el primero en escribir sobre la Historia Universal cuyo trabajo fue reconocido en Europa en el siglo XVIII, siendo escasamente divulgado en el siglo XXI. Su obra *Origen, progresos y estado actual de toda la literatura* incluye un capítulo de acústica, en el cual examina aspectos de música y matemáticas con una visión desde la física y mecánica, desde los griegos hasta los filósofos de la Ilustración, en el cual pone énfasis en separar lo que se corresponde al pensamiento científico de las especulaciones, introduciendo la experimentación en la física, convirtiendo ese compendio a una obra de Historia de la Ciencia. En este artículo se presentará lo que Juan Andrés subrayó, porque no hay documentos anglosajones o franceses que versen sobre lo que él esgrimió, y para comenzar a redactar sobre el devenir de la historia de la Acústica en España.

Palabras clave: Acústica; Historia de la ciencia; Ilustración española.

Abstract

The Alicante-born Juan Andrés y Morell is the first to write about Universal History whose work was recognized in Europe in the 18th century, being scarcely divulged in the 21st century. His work *Origin, progress and present state of all literature* includes a chapter on acoustics, in which he examines aspects of music and mathematics with a view from physics and mechanics, from the Greeks to the philosophers of the Enlightenment, in which he emphasizes separating what corresponds to scientific thought from speculations, introducing experimentation in physics, turning this compendium into a work of History of Science. This article will present what Juan Andrés emphasized, because there are no English or French documents that deal with what he wielded, and to begin to write about the evolution of the history of Acoustics in Spain.

Keywords: Acoustics, History of Science, Spanish Enlightenment.

Preámbulo

Difusión científica en castellano

Este artículo además de traer a la historia contemporánea los aportes que Juan Andrés y Morell hizo a la acústica en 1790, tiene como objeto comunicar ciencia escrita en lengua castellana, situación a veces dejada de lado por nosotros los lberoamericanos, y tal como indica la investigadora brasileña Ana Cristina Suzina (2020, p. 173) que para muchos investigadores existe el mantra de «publicar en inglés o perecer», por ser ésta considerada como la *lingua franca* del siglo XXI.

De acuerdo con el Instituto Cervantes, después del inglés «el español es la segunda lengua en la que más documentos de carácter científico se publican, y tres cuartos de la producción científica se reparten entre tres áreas temáticas: ciencias sociales, ciencias médicas y artes y humanidades» (Cervantes, 2022-a), sólo el 7% del total de las publicaciones en castellano están en el área de la ingeniería, y además «el español es la segunda lengua materna del mundo por número de hablantes, tras el chino mandarín» (Cervantes, 2022-b), por lo que en pleno siglo XXI es tiempo que los acústicos hispanoparlantes continuemos con la difusión de ciencia en nuestra propia lengua, y aquí a través de la *Sociedad Española de Acústica*.

Introducción

La *Historia de la ciencia* es una disciplina que fue conceptualizada por el belga George Sarton (1884–1956), cuando en 1913 publicó «*The History of Science*» (Sarton, 1916) en el cual explica que la ciencia (o un área específica de ella) debe ser revelada, teniendo en cuenta qué fue lo que la originó porque todo está vinculado, y no se puede separar satisfactoriamente un hecho de otro, la evolución de la ciencia como un hecho cultural es dependiente de la evolución humana.

Entonces, uno de los objetos de la Historia de la ciencia es entender cómo se llegó a una situación determinada, indagando los métodos que se utilizaron para resolver un problema específico, que la convierte en una herramienta poderosa que sirve para determinar plagios o falsos ‘descubrimientos’; otro de sus objetos está en descubrir o dar a conocer hechos históricos o eventos que fueron olvidados, brindando un instrumento teórico para llamar a la reflexión y tratar de entender por qué se dejaron de lado. Este artículo se concentra en esa segunda visión para comenzar (por así decirlo) a delinear cómo evolucionó el estudio del comportamiento de las ondas a convertirse en una disciplina independiente, y cómo llegó a ser considerada materia integrante de la «Física experimental» en las universidades españolas.

En el evento *International Congress on Acoustics-ICA* que se realizó en Aachen, Alemania, en noviembre de 2019, por primera vez se organizó una sesión dedicada a la Historia de la ciencia en la acústica, que es un intento de divulgar su importancia dentro de esa disciplina, y este artículo compone un Ensayo para contribuir con la acústica de Iberoamérica, divulgando el hecho histórico de cuando Juan Andrés y Morell filósofo español (de origen valenciano) narró científicamente sobre la acústica en el siglo XVIII, no sólo porque está en castellano sino también porque no existe algo semejante, de esos años, en inglés, francés o alemán.

Se encuentran muchas investigaciones que analizan la obra de Juan Andrés y Morell, pero con una visión de musicología, de teoría musical, de historia universal o literaria, mas no desde la acústica. La disquisición que escribió hace más de doscientos años desafió parte de la ciencia de la Ilustración, cuyo basamento era el redescubrimiento de la cultura griega y las fundaciones introducidas por Newton, Descartes, etc., y lo inédito de su obra yace en dar un sustento histórico y filosófico al estudio del comportamiento de las ondas mecánicas *independientemente* de la música (o de lo espiritual), que la eleve a la categoría de ciencia, y este artículo está focalizado en rescatar qué fue lo que Juan Andrés destaca de la Acústica.

1. Breve biografía de Juan Andrés y Morell

Juan Andrés y Morell nació en Planes (Alicante, Valencia) el 15 de febrero de 1740, y si bien ingresó a la Orden Jesuita a temprana edad, se dedicó más al estudio, lectura y docencia que a las labores eclesiásticas; en 1767 después de la expulsión de la Compañía de España, emigró a Italia (por esta razón se lo conoce también como el «Abate Juan Andrés»), donde continuó enseñando filosofía a los jesuitas exiliados. Bajo el mecenazgo del *Marqués Bianchi* de Mantua en 1774, se volcó de lleno al estudio de las ciencias publicando una disertación sobre «Problema hidráulico», con el cual se ganó la confianza de la Real Academia de Ciencias de Mantua, a la cual fue admitido como Miembro (Scoltti, 1818).

Imbuido en el enciclopedismo de la Ilustración, a partir de 1776 comienza a escribir sobre las ciencias en modo literario, reuniendo de a compendios todo lo que se encontraba disperso en materia científica. Viajó a distintos países europeos ya que algunas de sus obras estaban traducidas al alemán y francés, enriqueciéndose intelectualmente con lo que iba leyendo en las colecciones privadas de las ciudades que visitaba, donde fue recibido por las realezas locales que le permitieron acceder a códices y documentos originales; su fama de científico lo trascendió, y el Papa Pío VII le concedió la gracia de permitirle ingresar a la biblioteca del Vaticano a leer manuscritos (Scoltti, 1818).

Muchos de esos compendios los reunió en siete tomos y fueron publicados en Italia, entre 1782 y 1799, bajo el título *Dell'origine progressi e stato attuale d'ogni letteratura*; en el Capítulo VIII del Tomo IV presentó *Dell'Acústica* (Andrés, 1790, p. 247); esta obra fue traducida al castellano por su hermano Carlos que se editó en Madrid en diez tomos, y llegó a ser utilizada en la primer clase de *Historia literaria* en 1790 que se impartió en España, en los Reales Estudios de San Isidro, Madrid (Romero, 2004, p. 241).

A pesar de que el abate Juan Andrés fue absuelto e invitado por las Cortes a regresar a España, él permanece en Italia falleciendo el 17 de enero de 1817 en Roma (GdM, 1817, p. 421). Otra pista de la trascendencia de su vida académica se encuentra en un diccionario histórico de 1830, que comenta el impacto que tuvo su fallecimiento: «Los periódicos de Italia, Francia y Alemania, el diario de Roma, el de Valencia, y la gaceta de Madrid, todos publicaron la vida del abate Andrés; elogiando justamente su extraordinario mérito» (V.A.R., 1830, p. 414).

2. Acústica: La última ciencia nacida en la Ilustración

En esta sección se hace un esquema de las fuentes de información a las que pudo tener acceso Juan An-

drés, a modo de ubicar al lector a la inmensa tarea de lectura y análisis que emprendió para escribir su obra científico-literaria, y para entender el análisis al que él llegó acerca de la acústica como disciplina independiente, dado que hasta fines del siglo XVII se la consideraba parte de otras (Montano, 2019).

2.1. La acústica como parte de otras disciplinas

En el siglo XIII Roger Bacon (1214? –1292) teólogo franciscano inglés es quien ‘redescubre’ a los clásicos griegos pero a través de lo que tradujeron los filósofos árabes (y el primero en transcribirlos al latín); Roger Bacon propuso circa 1280 que la experimentación es herramienta para la teorización de problemas de la realidad, proposición que más tarde se integró el corpus del empirismo en el siglo XVIII.

Es importante mencionar a Roger Bacon porque es el responsable de estudiar el fenómeno sonoro, e introducirlo como herramienta de la música como parte del Quadrivium, ya que los griegos utilizaban las matemáticas y las ondas más para lograr un ‘equilibrio espiritual’ (la gramática como le llamaban) que un raciocinio intelectual; Roger Bacon le dio forma científica a la música al incorporarle la lógica matemática, en el cual el sonido es parte de la música (Bacon, 1912).

Se puede establecer que Roger Bacon en el siglo XIII es el primer filósofo que le otorga al estudio del sonido la entidad de carácter científico; además, formalizó el estudio de las ondas sonoras asegurando que no se propagan como un rayo con trayectoria lineal, pero sí conceptualizando (Bacon, 1912, p. 463) que el sonido «se puede estudiar como la trayectoria de un rayo»¹ (ver Fig. 1). Son escasos los trabajos sobre Roger Bacon que analicen sus conceptos acerca del comportamiento de las ondas, uno de ellos es de Yael Kedar (2021); la mayoría de lo publicado se orientan desde la musicología a examinar su obra como un solo conjunto.

2.2. El ingreso a la ciencia de la Acústica como disciplina independiente

La *Opus Majus* de Roger Bacon fue censurada y prohibida, y fragmentos de sus manuscritos se descubrieron en Francia recién a fines del siglo XVI, que fueron ‘reversionados’ al pensamiento filosófico de esos años pero sin mencionar su nombre. El filósofo francés Marin Mersenne (1588–1648) dedicó su vida al estudio sistemático del comportamiento de las ondas sonoras dentro de la música, profundizando lo que introdujo Roger Bacon, siendo Mersenne uno de los primeros en dar explicación

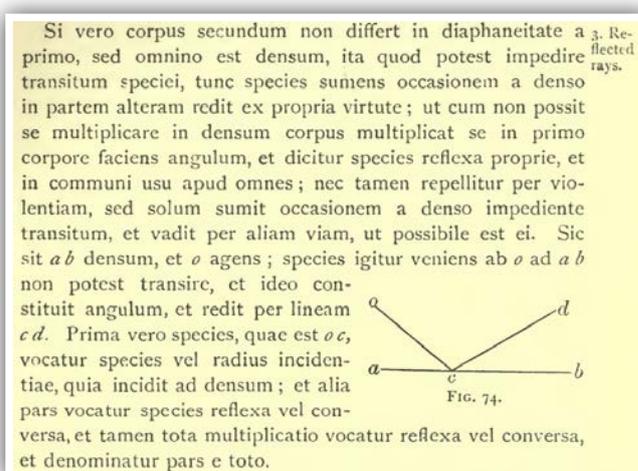


Figura 1. Explicación de la Ley de reflexión de rayos sonoros sobre una superficie plana –mencionadas en el texto como «species»– introducida por Roger Bacon circa 1283.

matemática a las ondas elásticas como un fenómeno particular de la música, y en 1627 predijo que las vibraciones de las cuerdas podrían medirse con algún medio físico (Mersenne, 1636).

El autor de este artículo apunta que los escritos de Mersenne que involucra el comportamiento de las ondas sonoras son anteriores a los de Descartes y a los de Galileo. A partir de la década de 1990 a Mersenne se le comienza a dar su merecido reconocimiento, y el acústico norteamericano e historiador de Física Allan D. Pierce lo ubica como «el padre de la acústica» (Pierce, 2006, p. 4).

El físico y matemático francés Joseph Sauveur (1653–1716) conceptualizó que el estudio de las ondas elásticas es una rama independiente de otras disciplinas, y acuñó en 1696 la palabra «acoustique» para darle identidad a dicho fenómeno de la física, término que fue aceptado en el universo del Conocimiento cuando Sauveur dio su discurso de ingreso a la *Académie des sciences de Francia*, al publicar su influyente obra *Principes d’Acoustique et de Musique* (Sauveur, 1701) dando así inicio al paradigma científico de la Acústica como disciplina científica (Montano, 2020).

3. La acústica narrada por Juan Andrés y Morell

Comienza ese capítulo con una ironía diciendo que si sostuviera la idea de los griegos (o también la de d’Alembert) no tendría sentido escribir acerca de la acústica, tal vez a modo de provocación de aquellos que hacia 1780 todavía sostenían que la música no se

¹ Popularmente se la menciona como ‘Ley de Snell’ por el matemático Willebrord Snell (1580-1626), siendo esto erróneo ya que esa regla geométrica fue conceptualizada circa 1283 por Roger Bacon (Bacon, 1912, p. 463).

correlacionaba con las matemáticas, ni que debía tener un lugar en las ciencias exactas, porque sería «excluir de la historia de las matemáticas la de la acústica ó de la música» (Andrés, 1795, p. 439).

3.1. Crítica a «las sectas griegas»

Juan Andrés efectúa hondas observaciones y comentarios sólo de la escuela Pitagórica, la Tolomayca y la Aristoxénica (refiriéndose a Aristógenes de Tarento), y sólo describe a sus teóricos de la música, porque el resto de las escuelas griegas no tienen una doctrina destacable, porque no pudieron dar explicaciones sobre la influencia del largo de las cuerdas o de su grosor en la determinación de las frecuencias de vibración, ni de la mecánica del sonido; luego da cuenta a describir los experimentos que realizó Hípasso usando discos de bronce con mismo diámetro pero distinta masa, que lograba ‘una sinfonía’ al percutirlos (refiriéndose a los armónicos superiores).

Continúa su crítica en la inconsistencia en cómo los griegos definían los saltos entre las notas musicales, y aquí es importante el razonamiento de Juan Andrés, porque deja entrever que la música no es capaz de explicarse por sí misma sino que se requiere de una teoría específica, ya que los griegos pretendían explicar el sonido en función de las escalas musicales, sus tonos y fracciones de tonos ‘provenientes de las armonías del alma’.

Juan Andrés no pone en discusión la finura y delicadeza de su música, sino que discurre en los pocos conocimientos que tenían sobre la física del sonido: «Pero en medio de tanta copia de escritos músicos debemos confesar que hay aun mucha escasez de buena doctrina, y reconocer no poca esterilidad en medio de tanta fecundidad de escritores» (Andrés, 1795, p. 454); en la Fig. 2 se puede leer la argumentación de Andrés explicando que la doctrina de las escuelas griegas, no están sustentadas desde la Física.

Se especularía que Juan Andrés llama ‘sectas’ a las distintas escuelas griegas, porque no visualiza en ellas una teoría unificada, y a su vez demuestra que tampoco hay un devenir en sus ideas sino que una doctrina nueva es para justificar la no utilidad de las anteriores, siempre refiriéndose a esas teorías musicales como parte del *Quadrivium*, que se agrupaban en las matemáticas con alguna confusa idea de los principios del sonido.

3.2. Sobre la «música de los romanos»

Comenta brevemente que si bien los romanos fabricaron y diseñaron instrumentos musicales diferentes a

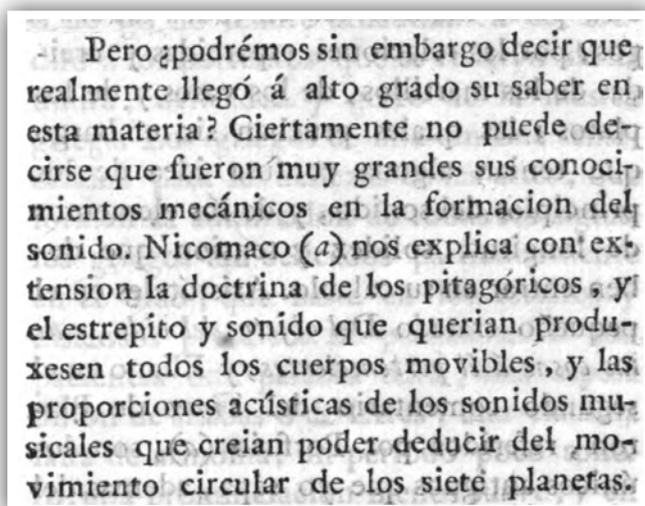


Figura 2. La música de los griegos y la mecánica del sonido (Andrés, 1795, p. 457).

los griegos, en cuanto a la teoría de música y su comportamiento, desde la física no brindaron aportes destacables.

3.3. Los escritos «de los árabes»

A falta de acceso a bibliografía de la cultura árabe porque «están sepultados en las bibliotecas, poco o nada sabemos para poder sacar de ellos alguna luz, y conocer los progresos que tal vez deberá aquella ciencia á sus eruditas fatigas» (Andrés, 1795, p. 463), Juan Andrés tuvo que mandar a hacer la traducción del árabe de partes de manuscritos en cueros, que se encontraban en El Escorial, siendo él quien identificó que esos fueron conceptualizados por una misma persona: Al-Fārābī (870–950)² (Donoso & Mombelli, 2017). Las observaciones de Andrés están concentradas en lo que él llamó el «código Al-Farabi *Elementos de música*»,³ mencionando cómo los árabes corrigieron los errores incurridos por los griegos en sus descripciones de la matemática en la música (en materia de ondas y mecánica del sonido), y que dieron completitud a una nueva doctrina musical.

3.4. La «música de la iglesia»

A lo largo de doce hojas examina la música eclesiástica, narrando que introduce cambios en el uso de la combinación de los sonidos –como especulaciones dentro de la espiritualidad religiosa– cuyas doctrinas difieren de la acústica propiamente dicha. A través de lo escrito por diversos compositores, analiza la influencia en la «música sagrada» de las reglas cromáticas de la música profana, la eclesiástica griega, la oriental y también la morisca. Da

² Bajo la custodia de la Biblioteca Nacional de España en El Escorial, se encuentra la única copia manuscrita del *Kitāb al-mūsīqā al-kabīr* (El gran libro de la música), que hoy en día está siendo estudiada por expertos de todo el mundo.

³ Quienes estén interesados en leer el *Tratado de música* de Al-Farabi, pueden recurrir a (Soriano Fuertes, 1853).

cuenta el largo devenir de la composición eclesiástica, que varía dependiendo del año y de la región originaria de la misma, esto a modo de detectar alguna elucidación posible que explique la mecánica del sonido. Destaca sólo a cinco personas, como las únicas que hicieron aportes novedosos (pero siempre dentro de la doctrina pitagórica): Guido de Arezzo, Franco de Colonia, Johannes de Muris, Francisco de Salinas y Philippe de Vitry.

Juan Andrés concluye en que el desarrollo de la música de la iglesia no tenía como objeto complementar el *Quadrivium*, sino de satisfacer las exigencias eclesiásticas en materia de cumplir los divinos oficios, ya que eso constituía una ciencia y que sólo puede conocerse a través de los libros de coro y de canto, es decir, no existieron libros explícitos con teorías de física o mecánica.

3.5. Las universidades y el restablecimiento de la música

Juan Andrés explica que en las universidades se continuaba con la doctrina y enseñanza pitagórica (sobre las razones de los tonos, escalas, etc.), sin introducir en ellos alguna reforma y que cada compositor se aferraba a una doctrina sin cambios ni discusiones, porque tenían como único objetivo cumplir con los servicios de la iglesia.

Describe a las universidades como «escuelas públicas de música» aportando un dato prácticamente desconocido, que la primera universidad que instauró una *Cátedra de música* fue la de Salamanca⁴ de la mano de Alfonso X *El Sabio*, quien agregó las matemáticas a las clases de música, especificando que las universidades inglesas comienzan a otorgar títulos en teoría de la música a mediados del siglo XV, y el primero de Italia es al final de ese siglo.

Identifica a la Ilustración como el punto de partida en la teorización musical «después de la introducción de las luces de la literatura griega», y recién a fines del siglo XVI «empieza la ciencia del sonido a ser tratada con algún rigor, matemático, y á sujetarse la acústica á las leyes de la mecánica (SIC)» (Andrés, 1795, p. 480)

3.6. Los filósofos de la Ilustración

El análisis de Juan Andrés sobre este periodo está concentrado en el trabajo de Galileo Galilei (1564–1642), comentando que por analogías mecánicas llega a conceptualizar el comportamiento de las ondas, y cómo la vibración de las cuerdas se convierte en sonido y por la ondulaciones del aire llegan al oído; menciona que Galileo fue quien teorizó en cómo la longitud, grosor y tensión de una cuerda es la que determina su frecuencia de osci-

lación; Andrés considera que Galileo ‘es el iniciador de una doctrina acústica’ pero señalando que «tanto en la parte armónica, como en la mecánica de los sonidos, es en general la de los pitagóricos» (Andrés, 1795, p. 483).

Sobre René Descartes (1596–1650) (italianiza su nombre a ‘Cartesio’) dice que su doctrina está basada y es la misma que la de Galileo, hasta dejando entrever un supuesto plagio.

Alude sólo una vez a Marin Mersenne (lo escribe italianizado como ‘Merseno’) pero no hace referencia a sus investigaciones y apunta a que creció bajo la sombra de Galileo y de Descartes. Entonces, se puede discurrir que Andrés no tuvo acceso a las publicaciones de Mersenne, que son escritos previos a los de Galileo y Descartes, y considerando que ellos mantenían contacto epistolar (Academic, n.d.), es de suyo evidente que ambos estaban al tanto de las doctrinas de Mersenne; para el caso de la teoría de ondas, Mersenne es quien las representó mediante ecuaciones lineales (Sharp, n.d.), más tarde Galileo sólo ofreció una explicación teórica de ellas.

De Isaac Newton (1642–1727) sólo dice que para referirse a las vibraciones de las ondas sonoras en el aire y su velocidad de propagación, escribió «una teoría muy ingeniosa y docta, pero complicada y oscura» (Andrés, 1795, p. 486).

Sobre el resto de quienes escribieron acerca de la mecánica y física del sonido, son filósofos posteriores a 1701 (Euler, Marian, Bernoulli, Rameau, D’alambert, etc.), por lo que sólo comenta los descubrimientos adicionales que hicieron al trabajo de Joseph Sauveur, que en definitiva fortalecieron la acústica como ciencia independiente.

4. Notas sobre «Joseph Sauveur»

Bajo este título Andrés tributa a Sauveur diciendo que al querer ingresar a una disciplina casi enteramente desconocida (refiriéndose a la acústica): «quanto mas se internaba, tanto mas encontraba que examinar, tanto mas creia necesario formar una ciencia acústica, la qual le parecia que debia ser mas vasta (SIC)» (Andrés, 1795, p. 489), y resume sus aportes introducidos: los armónicos, ondulaciones, nodos, extensión de los intervalos musicales, etc., que coadyuvaron a crear nueva música, además de una nueva ciencia independiente: La acústica.

Acerca de cómo Sauveur elicó el término *acoustique*, en el sentido de explicarla como rama científica (no su raíz etimológica), Juan Andrés explica que los filósofos a fines del siglo XVII no consideraban el estudio de las ondas sonoras como fenómeno particular –como sí lo

⁴ De acuerdo con un blog de la Biblioteca Nacional de España, dicha cátedra se fundó en 1254 (Sierra, 2012).

era la óptica— porque «no han tenido igual necesidad de conocer exâctamente lo que pertenece al sonido, ni han mirado la música mas que por el deleyte del oído (SIC)» (Andrés, 1795, p. 489), agregando que «[ellos] no creían necesario buscar las reglas en el fondo de la filosofía, no habian dirigido por aquella parte sus especulaciones, ni habian pensado en formar una ciencia para el oido, como la tenian para los ojos (SIC)» (Andrés, 1795, p. 489).

Esos argumentos de 1790 asombran por su claridad, son reflexiones más comunes de encontrarlas en investigaciones de Historia de la Ciencia del siglo XX, por lo que ubican este capítulo —de la obra científico-literaria del alicantino Juan Andrés— a la palestra en la disciplina de la Acústica, obra que es desconocida en pleno siglo XXI.

5. Recuperar y difundir el legado de Juan Andrés y Morell

Los centros científicos ingleses, alemanes y franceses, así como también de las grandes editoriales, impusieron en el pasado su hegemonía de pensamiento y ‘condenaron’ (en este caso en particular) al olvido la obra de Juan Andrés y Morell *Dell’origine...*, obra que nació a partir de él disertar sobre las causas de los pocos progresos que hacían las ciencias en aquel tiempo.

Se reproduce en la Fig. 3 el parágrafo final del capítulo de acústica que es toda una declaración de principio, porque en cierto modo Juan Andrés ‘se lamenta’ de que no pudo seguir en su obra todos los pasos de la acústica a través de la música y: «tal vez hemos hablado de ella más de lo que correspondía» y que «La música mas ha de ser mirada como arte deleytable, que como ciencia matemática (SIC)» (Andrés, 1795, p. 506).

Juan Andrés no ejecutó ni replicó pruebas de fenómenos acústicos o mecánicos pero sí abogó por la experimentación en la física, que era una corriente de

la acústica, que debe comprehender toda la doctrina del sonido , puede aun considerarse como naciente, y apenas tocada en pocos de sus puntos : empleen en ella sus estudios los géómetras y los físicos , que con experiencias y con cálculos , descubrirán muchas útiles verdades , que son ahora desconocidas , y nos formarán una verdadera ciencia de la acústica ,

Figura 3. Último parágrafo del capítulo de acústica (Andrés, 1795, p. 506).

pensamiento filosófico introducido a Europa en 1743 por el francés Jean-Antoine Nollet (1700–1770).

Tal como se presentó en las secciones precedentes, Juan Andrés justificó sus argumentos sobre la acústica como ciencia y disciplina independiente, basado en las acciones y experimentos prácticos que hicieron otros filósofos, por lo que se estaría en condiciones de ubicar a Juan Andrés entre los primeros en fomentar la *Física experimental* en España.

Nota. La Universidad de Alicante y otras instituciones de Planes y valencianas, realizaron en 2017 muchos homenajes y tributos a Juan Andrés y Morell, en ocasión de cumplirse 200 años de su muerte.

Epílogo La acústica no tuvo su Newton

Juan Andrés destaca el logro y los aportes que hizo Sauver, siendo que desde su niñez fue prácticamente sordo: «estaba reducido á tomar prestado el oido y la voz, y daba en cambio demostraciones desconocidas á los músicos, que le prestaban aquel auxilio (SIC)» (Andrés, 1795, p. 491), poniendo en evidencia que el esfuerzo intelectual de Sauver es doblemente valioso, no sólo por sus teorías sino también porque se tuvo que valer de lo que escuchaban y le comentaban sus discípulos, concluyendo con una pregunta retórica de por qué la óptica es más rigurosa que la acústica «¿Qué ventajoso no sería para la humanidad el que la filosofía llegase á dar tantos auxilios al oido como ha dado á la vista? » Para responderla con una contundente explicación:

Es increíble que un interrogante que muchos acústicos contemporáneos nos hacemos en pleno siglo XXI, del por qué la Acústica no tiene el lugar en la ciencia como se merece, Juan Andrés ambicionó una respuesta hace más de 200 años: No tuvo su Newton.

Conclusiones

Este artículo se gestó en el 2016 pero el autor tuvo que esperar a que fuentes primarias de información estuviesen digitalizadas y disponibles en Internet, que ade-

Si Sauveur hubiese podido llevar al término deseado las divisadas teorías , si la muerte no hubiese cortado el curso de sus meditaciones , hubiera él sido el Newton de la acústica , y nosotros tendríamos esta ciencia reducida á la perfeccion de la óptica .

Figura 4. La Acústica no tiene su Newton (Andrés, 1795, p. 491).

más de resultar en lo que aquí se presentó, produjo fuentes de información inéditas que podrán ser profundizadas en el futuro, como el de la primera *Cátedra de Música* en la Universidad de Salamanca en 1254.

El alicantino Juan Andrés y Morell (o Abate Juan Andrés) es considerado como el primero en escribir sobre la ciencia en forma literaria, respetando una línea diacrónica de la historia, y su visión científica lo destaca del resto de los personajes de la Ilustración española o europea.

El por qué Juan Andrés 'omite' el trabajo originario en la física y mecánica de ondas introducido por Mersenne comentando sólo el de Galilei, o diciendo que la doctrina de Sauveur se sostenía en la de Galileo, se podría conjeturar que no tuvo ánimo de evidenciar o contradecir a la hegemonía italiana predominante a fines del siglo XVIII, teniendo en cuenta que hacia 1785 en Italia estaban boga las escrituras de Galileo y Juan Andrés residía allí.

El capítulo de Acústica incluido en el *Dell'origine...*, es una trabajo digno de ser difundido entre los acústicos del siglo XXI interesados en la historia, no sólo porque deja en claro que debemos referenciarlos a ella a partir de la introducción de la palabra *acoustique* en 1701 al lenguaje científico, sino también porque no hay nada hacia 1790 publicado en inglés, francés o alemán que trate sobre lo que escribió Juan Andrés y Morell.

El autor quiere agradecer a revisores y editores de la *Revista de Acústica* de la SEA, por las sugerencias, observaciones y la publicación de este artículo.

Se presenta este artículo bajo una única agenda de pura investigación acústica e *Historia de la ciencia*, y no se está 'produciendo un informe' que argumente en contra de alguna teoría o personaje histórico.

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.

Referencias

- Academic (n.d.) *Marin Mersenne*. Encyclopedia, Science News & Research Reviews. Academic accelerator. <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/marin-mersenne>
- Andrés, Giovanni (1790) *Dell'origine progressi e stato attuale d'ogni letteratura*. Parma, Dalla stamperia reale con approvazione https://books.google.it/books?id=OmnlAAAAMAAJ&pg=PR3&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false
- Andrés, Juan (1795) *Origen, progresos y estado actual de toda la literatura* (Traducido por Carlos Andrés). Imprenta de Sancha, Madrid <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=ucm.5327366727;view=1up;seq=7>
- Bacon, R. (1912). *Capitulum II. Multiplicationis specierum. Pars secunda*. Opus Majus Volume II.
- Cervantes (2022-a) 4. *El español en la ciencia y la cultura*. El español: una lengua viva. Informe 2022.. Instituto Cervantes, España. https://cvc.cervantes.es/lengua/anuario/anuario_21/informes_ic/p04.htm
- Cervantes (2022-b) 1. *El español en cifras*. El español: una lengua viva. Informe 2022. Centro Virtual Cervantes. Instituto Cervantes, España. https://cvc.cervantes.es/lengua/anuario/anuario_21/informes_ic/p01.htm
- Donoso, I.; Mombelli, D.(2017) *Juan Andrés «Carta sobre la música árabe»*. Universidad de Alicante. AnMal, XL, 2018-2019, págs. 257-274. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7709975.pdf>
- GdM (1817) *Gazeta de Madrid*, N° 48, 22 de abril de 1817 pp. 421-424. https://www.boe.es/diario_gazeta/comun/pdf.php?p=1817/04/22/pdfs/GMD-1817-48.pdf
- Kedar, Yael (2021) *Sound is not made of rays: Roger Bacon's rejection of heavenly music*. Tel Hai College, Haifa https://www.academia.edu/47569567/Sound_is_not_made_of_rays_Roger_Bacons_rejection_of_heavenly_music
- Mersenne, M. (1636) *Harmonie universelle. Contenant la theorie et la pratique de la mvsiqve*, 2 vols. Paris. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5471093v>
- Montano, W. A. (2019) *El paradigma del comienzo de la acústica como disciplina independiente en 1700. Apuntes para la discusión*. Revista Ecos de la Asociación Uruguaya de Acústica <http://dx.doi.org/10.36044/ec.v1.n1.2>
- Montano, W. A. (2020) *El ingreso de la palabra «acústica» a la lengua castellana. Doscientos años de la última ciencia de la era de la Ilustración*. Revista de Acústica 51(1-2) pág. 3-9. http://documentacion.sea-acustica.es/storage/publicaciones/01_17.pdf
- Pierce, Allan D. (2006) *The Wave Theory of Sound*. Excerpts from Chapter 1. Acoustical Society of America. <https://jontallen.ece.illinois.edu/uploads/403/Pierce-History.pdf>
- Romero Recio, Mirella (2004) *La historia antigua en la enseñanza: Los ejercicios públicos de historia literaria en los Reales Estudios de San Isidro (1790-1791)*. Cuadernos del Instituto Antonio de Nebrija N° 7, pp. 235-262. https://culturahistorica.org/wp-content/uploads/2020/02/romero-historia_antigua_en_ense%C3%B1anza.pdf

- Sarton, G. (1916) *The History of Science*. The Monist 26(3) pp. 321-365. Oxford University Press Stable <https://www.jstor.org/stable/27900596>
- Sauveur, J. (1701) *Principes d'Acoustique et de Musique, ou Système général des intervalles des sons et de son application à tous les systèmes et à tous les instruments de musique*. Inséré dans les « Mémoires » de 1701 de l'Académie royale des sciences. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1510877z.r=Principes%20d%27Acoustique%20et%20de%20Musique?rk=21459;2>
- Scotti, Ángel Antonio (1818) *Elogio histórico del padre Juan Andrés de la Compañía de Jesús*. Biblioteca Valenciana. Colección: BV Fondo moderno. <https://bivaldi.gva.es/es/consulta/registro.cmd?id=1797>
- Sharp, Tom (n.d.) *1637 Mersenne's laws*. The book of science. <https://sharpgiving.com/thebookofscience/items/p1637b.html>
- Sierra Pérez, José (2012) *Entrevista musical imaginaria en la Biblioteca Nacional de España*. Blog de la BNE. <https://www.bne.es/es/blog/blog-bne/entrevista-musical-imaginaria-en-la-biblioteca-nacional-de-espana>
- Soriano Fuertes, M. (1853) *Música árabe-española, y conexión de la música con la astronomía, medicina y arquitectura*. https://www.academia.edu/24647318/Al_Farabi_Tratado_de_M%C3%BAsica
- Suzina, A. C. (2020) *English as lingua franca. Or the sterilisation of scientific work*. SAGE Journals. Media, Culture & Society 2021, Vol. 43(1) 171–179. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0163443720957906>
- V. A. R. (1830) *Diccionario histórico o Biografía Universal compendiada*. Tomo primero, págs. 412(626) - 415(629) Librería de Narciso Oliva, Barcelona <https://ia902609.us.archive.org/5/items/diccionariohist01diccgoog/diccionariohist01diccgoog.pdf>

Índice de anunciantes

	Pág.
Cesva Instruments	2
SAES	11
HBK	20
Cesva Instruments	27
Ingeniería Acústica García-Calderón	34
Sound of Numbers	40
Sto	43
Audiotec	48

El futuro es un mundo apasionante. Hagámoslo seguro.

Especialistas en tecnología y protección submarina.



saes[®]

Innovar_Desarrollar_Proteger

Midiendo la elasticidad de tejidos biológicos empleando ultrasonidos



Enrique Gonzalez-Mateo¹, Josep Rodriguez-Sendra¹,
Francisco Camarena¹, Noé Jiménez¹

¹ Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular,
Universitat Politècnica de València - CSIC, España

PACS: 43.35.-c, 87.19.Rr, 43.60.-c

Resumen

La elastografía por ultrasonidos es una técnica de imagen médica que evalúa y mapea la elasticidad de los tejidos blandos. La elastografía proporciona información cualitativa y cuantitativa para diagnósticos, utilizando modos de imagen especializados que miden la rigidez en respuesta a fuerzas mecánicas. Esta modalidad presenta una alta sensibilidad y especificidad debido a que muchas patologías provocan grandes cambios en la rigidez de los tejidos, siendo útil en fibrosis hepática y detección y cuantificación de tumores como los de mama, tiroides o próstata. En este resumen presentamos los principios básicos de la elastografía por ultrasonidos, su relevancia clínica y revisamos las nuevas técnicas de imagen de mapas de elasticidad.

Palabras clave: Elastografía, Ultrasonidos, Imagen por deformación, Imagen por Ondas Transversales.

Abstract

Ultrasound elastography is a medical imaging technique that assesses and maps the elasticity of soft tissues. Elastography provides qualitative and quantitative diagnostic information using specialized imaging modes that measure stiffness in response to mechanical forces. This modality presents high sensitivity and specificity because many pathologies result in large changes in tissue stiffness, being particularly useful in liver fibrosis and detection and quantification of tumors such as breast, thyroid, or prostate. In this summary we present the basic principles of ultrasound elastography, its clinical relevance, and review the new elasticity mapping imaging techniques.

Keywords: Elastography, Ultrasound, Strain Imaging, Shear Wave Imaging.

1. Introducción

Las imágenes por ultrasonidos producen imágenes morfológicas mediante el mapeo de la ecogenicidad de los tejidos, es decir, la capacidad que tienen para reflejar las ondas longitudinales acústicas. Sin embargo, en el cuerpo humano existen muchos tejidos que presentan una reflectividad similar, pero, sin embargo, una muy diferente elasticidad. Por ejemplo, un tumor benigno y otro maligno pueden aparecer en las imágenes de ecografía convencionales, llamadas modo-B, con un moteado de nivel de gris muy similar. Sin embargo, se conoce que muchos tumores malignos, debido a su crecimiento y microestructura, presentan una rigidez mecánica mucho mayor que los benignos. En estos casos, la ecografía convencional presenta una pobre sensibilidad y especificidad para discernirlos, y como no es una técnica cuantitativa, el nivel de gris en la imagen no se asocia necesari-

amente a un biomarcador de interés que cuantifique la patología.

Para mejorar la sensibilidad y especificidad de la ecografía, la elastografía [1] se ha convertido en una herramienta fiable de diagnóstico médico, pues la rigidez local se ha identificado como un biomarcador fiable vinculado a varias patologías como la evaluación de la fibrosis hepática [2] y la obtención de imágenes de mama, próstata [3] o riñón [4]. Empleando técnicas de elastografía, podemos mapear y cuantificar la elasticidad de los tejidos blandos. La elastografía por ultrasonidos combina imágenes de ultrasonidos estándar con una fuente de vibración o esfuerzo mecánico. Cuantificando el grado de deformación del tejido en respuesta al esfuerzo inducido, podemos medir la elasticidad de este. En otras palabras, ante la aplicación de la misma fuerza, un tejido blando experimentará una mayor deformación en comparación con un

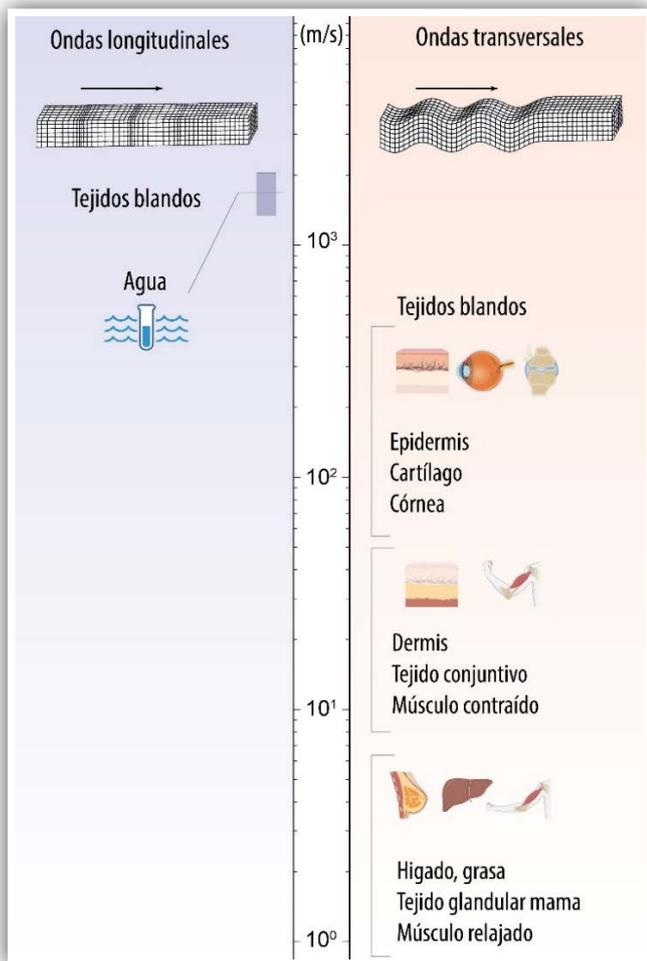


Figura 1. Velocidad de las ondas longitudinales (izquierda) y transversales (derecha) de varios tejidos blandos.

tejido rígido. Esta tecnología para evaluar la elasticidad de los tejidos blandos es una alternativa segura, portátil y rentable a otras técnicas de imagen, como la resonancia magnética o la tomografía computarizada, que requieren equipos caros y/o exposición a la radiación.

La forma más primitiva de la elastografía consiste en la palpación. La palpación es útil como un primer diagnóstico, pero es una prueba superficial y completamente subjetiva que dependerá de la interpretación de cada médico. El desarrollo de técnicas de imagen elastográficas mediante ultrasonidos, óptica, y resonancia magnética pretende proporcionar una manera de “palpación” por imagen que sea cuantitativa, sensible y específica.

Los tejidos blandos, predominantemente compuestos de agua atrapada en una matriz de tejido conectivo, exhiben propiedades acústicas únicas. El agua contribuye significativamente al módulo de compresibilidad, lo que hace que la velocidad de las ondas de compresión ultrasónicas sea comparable a la del agua misma. Es fundamental recordar que la obtención de imágenes en el

modo convencional implica la emisión y recepción de ondas longitudinales. Por otro lado, el tejido conectivo proporciona rigidez estructural, aunque con un bajo módulo de elasticidad transversal. Dado que la cantidad de agua es similar entre los tejidos, el módulo de compresibilidad permanece constante, resultando en una velocidad del sonido relativamente invariable. Sin embargo, la variabilidad estructural entre los tejidos es considerable, presentando módulos de elasticidad transversal significativamente diferentes. Por tanto, la velocidad de las ondas transversales es muy diferente entre tejidos. Como podemos ver en la Figura 1, las ondas longitudinales en los tejidos blandos alcanzan valores en torno a 1500 m/s, mientras que las transversales cubren valores muy diferentes, desde 1 a 100 m/s. La gran especificidad de la elastografía se fundamenta en que los módulos elasticidad transversal presentan una extraordinaria variabilidad entre tejidos y patologías.

Además, el hecho de que los dos tipos de ondas viajen a velocidades tan diferentes es un aspecto clave para la elastografía por ultrasonidos, pues en la práctica, podemos considerar que ambas ondas están físicamente desacopladas, y emplear las rápidas para visualizar las lentas. Como los ultrasonidos empleados para ecografía viajan rápido (1500 m/s), podemos hacer imágenes en modo-B a una tasa de cuadros muy alta, por ejemplo, 15 kHz, y detectar las deformaciones que produce a su paso una onda transversal (10 m/s). Efectivamente, ello nos permite capturar “a cámara lenta” los desplazamientos del tejido al paso de la onda transversal. Con esta información, podemos reconstruir una imagen de la elasticidad del tejido de una manera cuantitativa.

2. Técnicas de elastografía por ultrasonidos

En elastografía por ultrasonidos se diferencian dos tipos de modalidades de imagen en función de la magnitud física medida; imagen por compresión [1] e imagen por onda transversal o en inglés “shear wave imaging” [5]. En la Fig. 2 se representan las principales técnicas de cada tipo de imagen.

Todas las técnicas elastográficas se basan en deformar el tejido mediante un estímulo o fuerza mecánica externo. La propiedad física que mide la relación entre la deformación producida por la fuerza aplicada es el módulo de Young, E , el cual nos proporciona un valor de la elasticidad axial del tejido. De una manera simplificada, para generar una imagen de elastografía por compresión se aplica un estrés sobre el tejido, σ , lo que da lugar a una deformación, ϵ . Así, mediante la Ley de Hooke, $E = \sigma / \epsilon$, se puede calcular el valor de elasticidad. Sin embargo, los sistemas de imagen por compresión no se

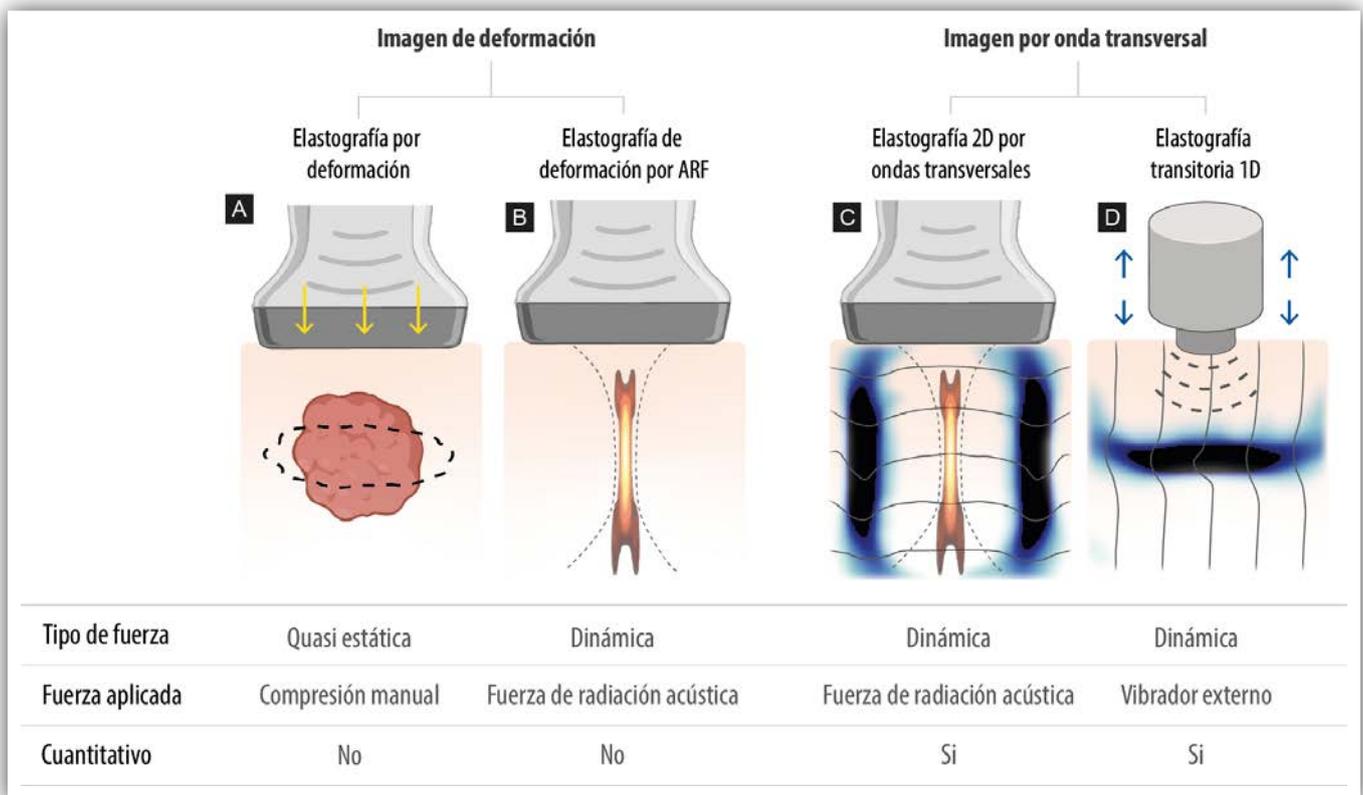


Figura 2. Principales técnicas de elastografía por ultrasonido: Deformación (izquierda) y ondas transversales (derecha), midiendo cualitativa y cuantitativamente, respectivamente. Se emplean varios métodos de excitación: (a) compresión manual en elastografía por deformación, (b) fuerza acústica de radiación para empuje, (c) elastografía 2D por ondas transversales, y (d) vibración externa con actuadores mecánicos en elastografía transitoria.

suelen usar para calcular el valor del módulo de Young ya que la fuerza aplicada normalmente no se conoce, por lo que la elasticidad se mide de manera relativa en lugar de absoluta. Por el contrario, las técnicas de imagen por ondas transversales se basan en emplear la fuerza de radiación de un haz de ultrasonidos para inducir un leve y breve empuje en el interior del tejido, lo que genera ondas transversales que se propagan a lo largo del tejido y de las que se puede medir su velocidad de propagación, c_s . Suponiendo un medio elástico, cuasiincompresible e isotrópico, el módulo de Young se puede expresar como $E = 3\rho c_s^2$, donde ρ representa la densidad del tejido.

2.1. Imagen por compresión

Este tipo de imagen fue la primera técnica elastográfica, publicada a principios de 1990 [1]. En sus primeras aplicaciones, la deformación del tejido se lograba mediante una compresión manual sobre el tejido con el transductor de ultrasonidos, Fig. 2 (a). Primero, antes de inducir compresión alguna, se realiza una imagen convencional de ultrasonidos. Después, se ejerce una compresión, típicamente con la misma sonda, y se realiza otra imagen. La correlación de ambas proporciona la

deformación producida. Cuanto menor sea esa deformación, el tejido tendrá un comportamiento más rígido y viceversa. Las principales ventajas de esta técnica son la fácil implementación y los requerimientos del sistema de imagen. La compresión manual es muy útil para evaluar órganos superficiales como la mama y el tiroides, pero es difícil evaluar órganos más profundos como el hígado.

Una década después, en los 2000, en la imagen por compresión se introduce una nueva manera de ejercer esfuerzos en el tejido, en lugar de usar fuerzas cuasiestáticas, como la compresión manual, se propone el uso de fuerzas dinámicas basadas en fuerza radiación acústica, Fig. 2 (b). La técnica consiste en focalizar un haz de ultrasonidos en el interior del tejido para generar un pulso de empuje por medio de la fuerza acústica de radiación (ARF) del haz. De esta manera, ejercemos un esfuerzo a distancia y en una zona localizada en el tejido, lo que resulta en una deformación del orden de micras. Midiendo la deformación mediante la correlación de imágenes en modo-B, podemos evaluar la elasticidad de manera relativa. Esta técnica es conveniente ya que, tanto el haz de ultrasonidos de empuje como los pulsos de imagen se pueden generar con una sonda de ultrasonidos convencional. Alternativamente, se pueden emplear los pro-

pios movimientos fisiológicos, como el pulso cardíaco o la respiración, para la generación de esfuerzos en el tejido. Tanto estos movimientos endógenos como el uso de ARF permiten la evaluación de órganos más profundos.

La principal limitación de estas técnicas es que son cualitativas, pues, aunque se conoce la magnitud de los desplazamientos producidos, generalmente no se conoce la magnitud de los esfuerzos generados, lo que impide calcular la elasticidad del tejido de una manera absoluta.

2.2. Imagen por onda transversal

Este tipo de imagen, a diferencia de la de compresión, proporciona información cuantitativa. La técnica consiste en generar ondas transversales y mediante la correlación de imágenes por ultrasonidos tomadas a una tasa de cuadros elevada, medir su velocidad. Esto es posible ya que las ondas transversales (1 – 10 m/s) en tejidos blandos están completamente desacopladas en el espectro de velocidad de las ondas de compresión (1450 – 1550 m/s). Así, la imagen por ultrasonidos proporciona el desplazamiento del tejido al paso de onda transversal. Generalmente, las ondas transversales viajan en el tejido en una dirección perpendicular a los pulsos longitudinales que se utilizan para monitorizar su desplazamiento. Con esta información, se calcula la velocidad de la onda y con ello, el módulo elástico del tejido. Además, esta técnica permite medir otro tipo de propiedades mecánicas del tejido como la anisotropía o la viscosidad.

Existen distintas modalidades basadas en ondas transversales para evaluar la rigidez de tejidos; por ejemplo, las técnicas de elastografía transitoria [6], Fig. 2 (d), o las técnicas de elastografía por ondas transversales [5], Fig. 2 (c).

En efecto, la elastografía transitoria fue la primera técnica en utilizar ondas transversales. Esta técnica se caracteriza por generar un empuje mecánico en la superficie del tejido mediante un actuador mecánico externo de baja frecuencia, 50 Hz, lo que produce una onda transversal. El actuador mecánico lleva acoplado un transductor ultrasónico para monitorizar la propagación de la onda transversal a lo largo del mismo eje del actuador.

En cuanto a las técnicas de imagen por ondas transversales, se basan en el mismo principio que ARF y se puede resumir en tres pasos, representados en la Figura 3. Primero, se emplea uno o una sucesión de varios pulsos de ultrasonidos de intensidad moderada ($SPTA = 1400 \text{ W/cm}^2$, $ISPT = 0,7 \text{ W/cm}^2$) para inducir un campo de fuerza acústica de radiación de corta duración (0,1 – 0,5 ms) en el interior del tejido. Ello resulta en la generación de una onda transversal. Si se emplean varios pulsos focalizados a diferentes profundidades, el frente de ondas transversales es casi cilíndrico, lo que resulta conveniente para la conformación de una imagen. En segundo lugar, el desplazamiento de las ondas transversales se monitoriza mediante la correlación de cuadros de imagen de ecografía tomados a una tasa de cuadros ultrarrápida (5 – 15 kHz). Por último, esta infor-

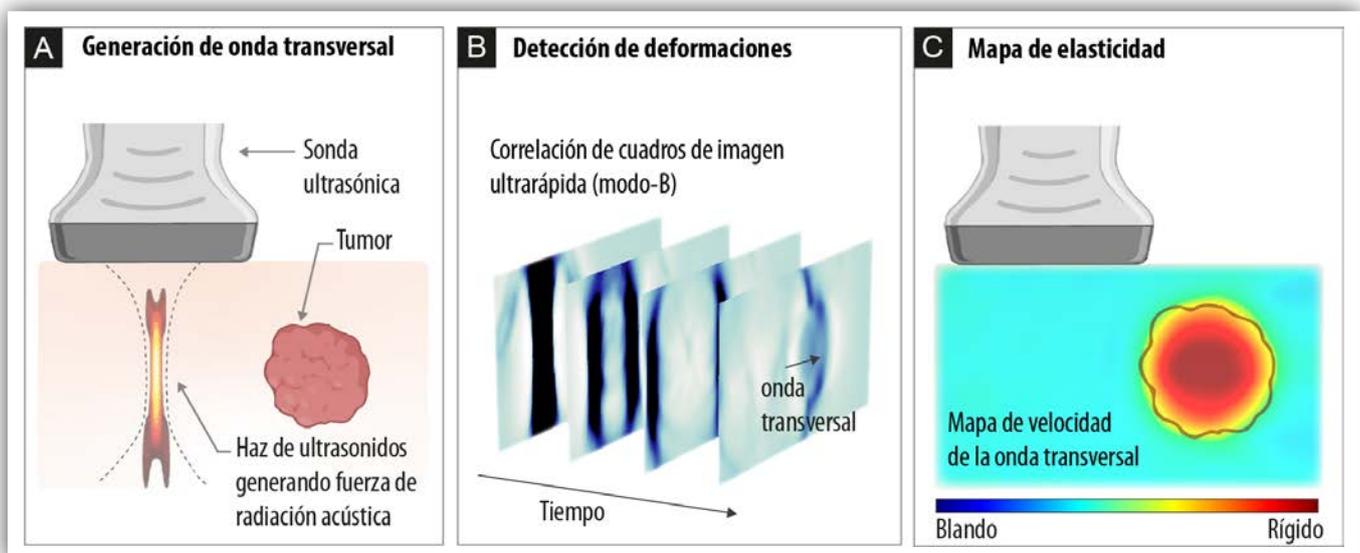


Figura 3. Procedimiento de elastografía 2D con ondas transversales: (a) Inicialmente, se deforma el tejido utilizando un pulso de fuerza acústica de radiación (ARF) generado por una sonda de ultrasonidos. (b) Posteriormente, con la misma sonda, se adquieren múltiples cuadros de imagen con un ecográfico ultrarrápido para, mediante correlación, estimar la deformación del tejido al paso de la onda transversal. (c) Finalmente, se emplea un algoritmo para medir la velocidad de propagación de estas ondas, y se crea una representación visual de la elasticidad del tejido. En esta representación, las zonas más rígidas se visualizan en tonos de color rojo, mientras que las áreas más blandas se muestran en tonos azules.

mación se emplea para calcular la velocidad de las ondas transversales y, finalmente, obtener un mapa de la elasticidad del tejido, Fig.3 (c).

3. Avances y mejoras

En esta sección nos enfocaremos en la técnica de imagen elastográfica 2D basada en ondas transversales. Exploraremos nuevas formas de generar ondas transversales mediante la fuerza acústica de radiación, mejorando las relaciones de señal/ruido sin causar daño al tejido examinado, mediante el uso de vórtices acústicos o técnicas de compresión de pulso. También examinaremos nuevas técnicas para la composición de imágenes elastográficas en tiempo real.

3.1. Generación de ondas transversales por vórtices acústicos

Las técnicas tradicionales de elastografía por ondas transversales inducen un campo de esfuerzo mediante un haz que únicamente puede empujar el tejido. Sin embargo, recientemente se ha propuesto el uso de haces de vórtices acústicos [7], en lugar de empujar, producir una torsión en el tejido. Los haces de vórtice son frentes de ondas longitudinales que contienen una dislocación de fase en el eje del haz y se caracterizan por que transportan, además de momento lineal, momento angular. De esta manera, mientras que un haz focalizado convencional se puede transferir su momento lineal al tejido y empujarlo, un haz vórtice puede transferir momento angular al tejido e inducir un torque en su interior [8].

El poder transferir momento angular en el tejido permite la creación de un patrón cuasi-omnidireccional en todas las

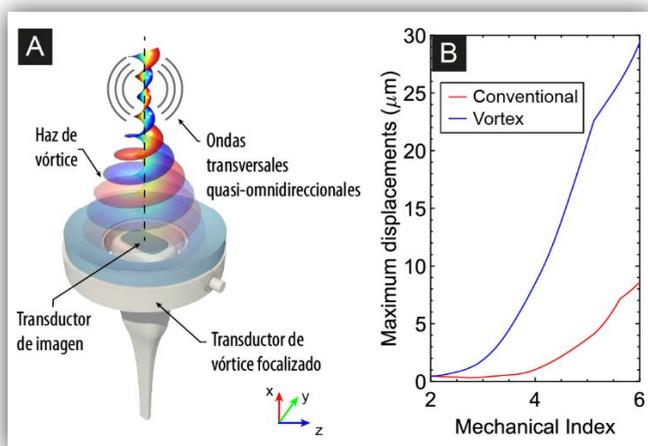


Figura 4. (a) Esquema conceptual del sistema de elastografía por vórtice acústico. (b) comparación experimental de los desplazamientos máximos obtenidos en un tejido al excitar con un pulso de vórtice (azul) y un pulso focalizado convencional (rojo) en función del índice mecánico.

direcciones [9], lo que puede mejorar la robustez y la información de la onda transversal a lo largo del área objetivo. Otra ventaja que proporciona el uso de vórtices es su eficiencia en la generación de deformaciones, por lo que, empleando la misma energía, podemos generar una onda transversal con mayor amplitud que con un pulso focalizado convencional. Ello reduce el índice mecánico del haz de ultrasonidos, como se muestra en la Fig. 4, lo que permite minimizar el riesgo de cavitación y daño en el tejido, e incrementar la relación señal/ruido. Esto es debido a que el haz de vórtice, debido a su dislocación de fase, está realmente defocalizado y, por tanto, la presión acústica se reparte en un área mayor que en un pulso focalizado convencional.

3.2. Compresión de pulso en ARF

Por otro lado, las técnicas de compresión de pulso se utilizan ampliamente en otras aplicaciones como radar, sonar o cardiografía [10].

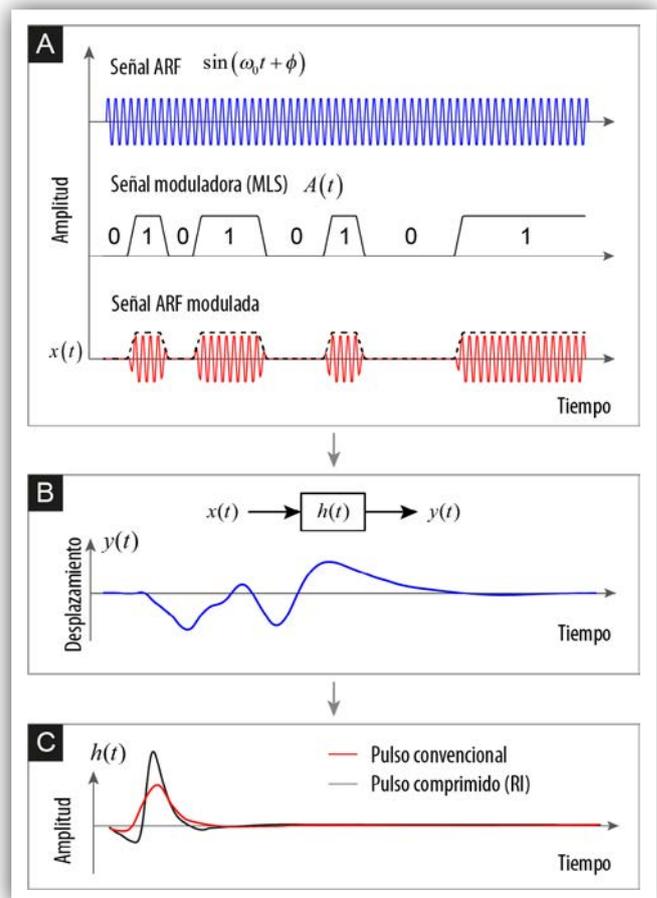


Figura 5. Diagrama gráfico del método de compresión de pulso. (a) Señal de entrada del sistema, $x(t)$, que resulta de modular una señal ARF con una señal codificada. (b) salida del sistema en términos de desplazamiento, $y(t)$, generado al excitar el medio con la señal $x(t)$. (c) Respuesta al impulso del medio, $h(t)$, (negro) donde se compara los desplazamientos obtenidos con un pulso convencional (rojo).

Recientemente, las técnicas de compresión de pulso se han trasladado a la elastografía con el objetivo de mejorar la calidad de la detección de los desplazamientos de las ondas transversales, aumentando la amplitud de desplazamiento dando lugar a mejor señalruido (SNR).

El procedimiento consiste en usar pulsos largos de ARF modulados por secuencias conocidas, por ejemplo, secuencias pseudoaleatorias, para excitar el tejido, Fig. 5 (a).

Después, los desplazamientos detectados se demodulan, Fig 5 (b), con las excitaciones ARF codificadas. La demodulación da lugar a la respuesta al impulso del medio, Fig. 5 (c), lo que permite la recuperación de la forma de pulso en banda ancha, lo que mejora la amplitud de desplazamiento y la SNR. Al comprimir el pulso obtenemos una señal más impulsiva que la que obtendríamos con un pulso convencional, como se puede observar en la Fig. 5 (c), lo cual se traduce en un aumento del ancho de banda de la señal que permite una mejora de la resolución de la imagen.

3.3. Composición en tiempo real por gradiente de fase

Una de las principales limitaciones de la elastografía por ondas transversales es el elevado tiempo de cálculo

empleado para la reconstrucción de las imágenes elastográficas, lo que impide la implementación en tiempo real de las técnicas.

Actualmente existen ecógrafos clínicos que realizan imágenes de elasticidad en tiempo real, pero están basados en métodos temporales [11] application of these methods to in vivo data are challenging because of the presence of gross outlier data resulting from sources such as physiological motion or spatial inhomogeneities. This paper describes a new method for estimating SWS by considering a solution space of trajectories and evaluating each trajectory using a metric that characterizes wave motion along the entire trajectory. The metric used here is found by summing displacement data along the trajectory as in the calculation of projection data in the Radon transformation. The algorithm is evaluated using data acquired in calibrated phantoms and in vivo human liver. Results are compared with SWS estimates using a random sample consensus (RANSAC donde miden el tiempo de vuelo de las ondas transversales para estimar su velocidad de grupo. Estos métodos temporales presentan limitaciones ya que no pueden medir aspectos como la viscosidad porque trabajan bajo la asunción de que los medios que examinan son elásticos e isotrópicos. Para ello es necesario utilizar métodos espectrales [12]we present the feasibility of the local phase velocity based imaging (LPVI que, en contrapartida, tienen un coste computacional mucho mayor que los métodos temporales. Sin embargo, los métodos espectrales permiten evaluar la velocidad de fase de la onda en función de la frecuencia por lo que abren la posibilidad a la cuantificación de la viscoelasticidad. Esto también permite analizar otras propiedades, como la anisotropía o la no linealidad.

La principal causa del elevado coste computacional de los métodos es debido al uso de transformadas de Fourier y procesado por bloques [12]we present the feasibility of the local phase velocity based imaging (LPVI. Para mitigar esta limitación recientemente se ha propuesto un nuevo método de cálculo de mapas de velocidad de onda transversal mediante la combinación de métodos de gradiente de fase y filtrado angular [13]. El método se basa en calcular localmente el número de onda en el dominio de la frecuencia mediante la estimación del gradiente de la fase de los desplazamientos. Una vez conocido el número de onda es muy sencillo calcular el mapa de velocidad de la onda transversal en función de la frecuencia mediante la expresión $C_s = \omega_0/|k|$, donde ω_0 hace referencia a la frecuencia angular de estudio. Al medir la dispersión de la velocidad de fase, el método propuesto es capaz de caracterizar tanto los medios elásticos como los viscoelásticos. Además, tiene una complejidad algorítmica menor que los métodos actua-

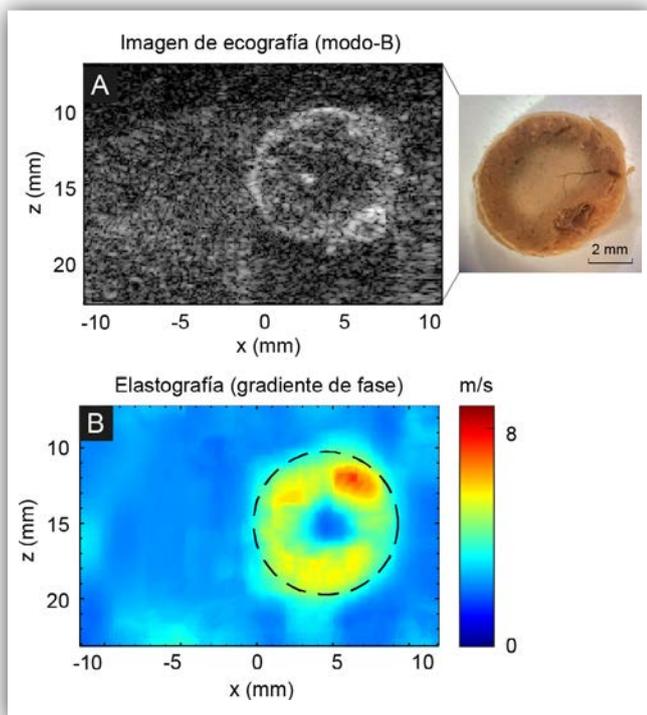


Figura 6. (a) Imagen del tejido mediante ecografía convencional en modo-B y fotográfica de una inclusión de hígado, donde se muestra la morfología. (b) Elastografía empleando el método del gradiente de fase, donde se aprecia una inclusión más rígida que el medio que lo rodea, y los detalles de las estructuras internas.

les, lo que lo convierte en un enfoque más eficiente para la reconstrucción de mapas de elasticidad en tiempo real.

En la Fig. 6 se aplica el método sobre un tejido blando en laboratorio, en un material compuesto por una inclusión de hígado rodeada de gelatina elástica. En la Fig. 6 (a) se aprecia la morfología de la inclusión, mientras que en la Fig. 6 (b) se representa los valores de velocidad transversal del medio obtenidos con el método de gradiente de fase, donde color rojo indica más rigidez que el color azul. Se aprecia como el método propuesto es capaz de caracterizar que la inclusión de hígado es más rígida que el medio que le rodea e incluso detecta que la inclusión es heterogénea con una forma toroidal ya que los bordes de la inclusión de tejido blando son más rígidos que el interior como se puede apreciar en la imagen fotográfica. De esta manera, los métodos de gradiente de fase son capaces de generar una imagen de la elasticidad de los tejidos con una alta resolución espacial y empleando pocos recursos computacionales, lo que convierte esta modalidad en una opción viable para aplicaciones en tiempo real.

4. Conclusiones

La elastografía por ultrasonidos desempeña un papel creciente en el diagnóstico por imágenes no invasivo. Mientras que algunas de las modalidades de elastografía mapean la elasticidad relativa de los tejidos para identificar lesiones rígidas, como los cánceres de mama y próstata, otras ofrecen estimaciones cuantitativas de la elasticidad, demostrando utilidad en la detección temprana de la fibrosis y la clasificación de diversos tipos de lesiones. La elastografía se emplea en el diagnóstico médico y el empleo de la elasticidad como biomarcador resulta particularmente beneficioso en casos en los que la patología provoca alteraciones en la rigidez mecánica de los tejidos. Esto se ve reflejado en la cantidad de estudios clínicos que se realizan hoy en día analizando los tipos de técnicas elastográficas para la detección de distintas patologías.

Asimismo, cabe recordar que es una modalidad de imagen disponible en gran parte de los hospitales debido a su gran accesibilidad, portabilidad y bajo coste respecto a otros sistemas de imagen médica como la resonancia magnética. Sin embargo, existe un gran margen de mejora en cuanto a la precisión, resolución espacial, relación señal/ruido, y tasa de imágenes por segundo de los sistemas de imagen.

Además de los parámetros básicos de elasticidad, el avance en métodos eficientes para evaluar otros aspectos mecánicos, como la dispersión de la velocidad de

fase, la viscoelasticidad, la no linealidad y la anisotropía, permite una comprensión más profunda de las propiedades mecánicas del tejido. Así, la evaluación multiparamétrica abre nuevas puertas a la aplicación de nuevos biomarcadores con gran valor de diagnóstico médico para aumentar la especificidad y sensibilidad de las técnicas de elastografía.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido apoyada por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación y el Ministerio de Universidades a través de las Becas Ramón y Cajal RYC2021-034920-I. Agradecemos el apoyo financiero de la Agencia Estatal de Investigación (PID2019-111436RBC22 y PID2022-142719OB-C21 financiados por MCIN/ AEI/10.13039/501100011033), a la Agència Valenciana de la Innovació a través de los proyectos LI-TOVORTEX AP202108 y METASMART IN-NEST/2022/345 y a la Generalitat Valenciana a través de los programas Programa de Garantía Juvenil I+D ED-GJID/2021/189 y el Programa Equipamiento e Infraestructuras FEDER 2021-22 IDIFEDER/2021/004.

Referencias

- [1] J. Ophir, I. Céspedes, H. Ponnekanti, Y. Yazdi, y X. Li, «Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues», *Ultrason. Imaging*, vol. 13, n.º 2, pp. 111-134, abr. 1991, doi: 10.1177/016173469101300201.
- [2] R. J. DeWall, S. Bharat, T. Varghese, M. E. Hanson, R. M. Agni, y M. A. Kliever, «Characterizing the compression-dependent viscoelastic properties of human hepatic pathologies using dynamic compression testing», *Phys. Med. Biol.*, vol. 57, n.º 8, p. 2273, mar. 2012, doi: 10.1088/0031-9155/57/8/2273.
- [3] T. A. Krouskop, T. M. Wheeler, F. Kallel, B. S. Garra, y T. Hall, «Elastic Moduli of Breast and Prostate Tissues under Compression», *Ultrason. Imaging*, vol. 20, n.º 4, pp. 260-274, oct. 1998, doi: 10.1177/016173469802000403.
- [4] N. Grenier, J.-L. Gennisson, F. Cornelis, Y. Le Bras, y L. Couzi, «Renal ultrasound elastography», *Diagn. Interv. Imaging*, vol. 94, n.º 5, pp. 545-550, may 2013, doi: 10.1016/j.diii.2013.02.003.
- [5] J. Bercoff, M. Tanter, y M. Fink, «Supersonic shear imaging: a new technique for soft tissue elasticity mapping», *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 51, n.º 4, pp. 396-409, abr. 2004, doi: 10.1109/TUFFC.2004.1295425.

- [6] L. Castera, «Transient elastography and other noninvasive tests to assess hepatic fibrosis in patients with viral hepatitis», *J. Viral Hepat.*, vol. 16, n.º 5, pp. 300-314, 2009, doi: 10.1111/j.1365-2893.2009.01087.x.
- [7] J.-L. Thomas y R. Marchiano, «Pseudo Angular Momentum and Topological Charge Conservation for Nonlinear Acoustical Vortices», *Phys. Rev. Lett.*, vol. 91, n.º 24, p. 244302, dic. 2003, doi: 10.1103/PhysRevLett.91.244302.
- [8] N. Jiménez, J. M. Benloch, y F. Camarena, «A new elastographic technique using acoustic vortices», en *2020 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, sep. 2020, pp. 1-4. doi: 10.1109/IUS46767.2020.9251417.
- [9] E. González-Mateo, N. Jiménez, y F. Camarena, «Quasi-omnidirectional shear wave generation using acoustic vortices for elastography», en *2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, oct. 2022, pp. 1-4. doi: 10.1109/IUS54386.2022.9957369.
- [10] C. E. Cook, «Pulse Compression-Key to More Efficient Radar Transmission», *Proc. IRE*, vol. 48, n.º 3, pp. 310-316, mar. 1960, doi: 10.1109/JRPROC.1960.287599.
- [11] N. C. Rouze, M. H. Wang, M. L. Palmeri, y K. R. Nightingale, «Robust estimation of time-of-flight shear wave speed using a radon sum transformation», *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 57, n.º 12, pp. 2662-2670, dic. 2010, doi: 10.1109/TUFFC.2010.1740.
- [12] P. Kijanka y M. W. Urban, «Local Phase Velocity Based Imaging of Viscoelastic Phantoms and Tissues», *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 68, n.º 3, pp. 389-405, mar. 2021, doi: 10.1109/TUFFC.2020.2968147.
- [13] E. González-Mateo, N. Jiménez, y F. Camarena, «Mapeado de la elasticidad de tejidos mediante un método rápido basado en gradiente de fase», en *TECNIACUSTICA 2022. 53º Congreso Español de Acústica. XII Congreso Ibérico de Acústica. European Symposium on NVH in Electric Vehicles.*, Elche, España: Sociedad Española de Acústica -SEA, pp. 1127-1132.



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

Estoy interesado en:

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

Apellidos: _____ Nombre: _____

Dirección para correspondencia: _____

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

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

Centro de trabajo: _____

Puesto de trabajo: _____

Dirección: _____

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

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



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.



3D Hybrid Method for Assessing Re-Radiated Noise Induced by Railway Traffic: Numerical Validation



Soares, Paulo J.¹; Alves Costa, Pedro¹; Colaço, Aires¹; Arcos, Robert²; Godinho, Luís³

¹ Construct-FEUP, University of Porto, Porto, Portugal

² Acoustical and Mechanical Engineering Laboratory (LEAM), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Terrassa (Barcelona), Spain

³ Department of Civil Engineering, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

PACS: 43.40

Abstract

In this study, a novel 3D hybrid methodology for assessing re-radiated noise induced by railway traffic is presented. This method combines numerical modelling techniques with experimental measurements to provide a comprehensive evaluation. Instead of fully modelling the train-track-ground system, the proposed methodology offers an innovative approach to accurately quantify, in a first step, the elastodynamic response of the building in the form of vibrations. Then, the structural velocities are used as input for a model based on the Method of Fundamental Solutions (MFS), enabling the assessment of the acoustic response inside the building's compartments. The ground-breaking aspect of the presented methodology lies in its ability to compute the dynamic response of the system without requiring any detailed information regarding the geometric or material properties of the track, rolling stock, and ground condition across the propagation path. The validation of this approach is achieved through a rigorous comparison between the results obtained using the hybrid method and those from a reference fully theoretical model of the system. The proposed hybrid methodology overcomes some of the limitations of traditional empirical models and offers a higher level of accuracy and flexibility in predicting railway-induced ground-borne noise.

Keywords: Building acoustics; Structure-borne noise and vibrations; Building hybrid methodology.

1. Introduction

One of the most common scenarios demanding a rigorous assessment of railway-induced noise and vibration occurs when planning the construction of new buildings near existing operational urban railway lines. In such instances, urban administrations typically require studies certifying that future buildings will comply with the noise and vibration regulations. Thus, predictive models for assessing railway-induced ground-borne noise and vibration levels within these buildings are imperative.

Over the past few decades, various theoretical models to assess railway-induced ground-borne noise and vibration in buildings have been developed to comprehensively address this issue, considering the entire system, including the railway infrastructure, the soil medium, and the target building. Early approaches, such as those by Balendra et al. [1,2] and Trochides [3], employed two-dimensional (2D) finite element method (FEM) modelling to assess train-induced vibrations. However, the transi-

tion to three-dimensional (3D) modelling approaches appearing in the literature has been motivated due to their enhanced accuracy in capturing complex wave propagation and precise representation of moving loads [4].

Empirical prediction models have also been widely used in engineering practice due to their simplicity and cost-effectiveness. The Federal Railroad Administration (FRA) and the Federal Transit Administration (FTA) introduced an empirical model for predicting vibration levels due to railway traffic [5], widely adopted for preliminary assessments. However, their limitations become evident when a detailed and highly accurate prognosis is required, as demonstrated by recent studies [6]. Furthermore, uncertainty in predictions due to the varying local subsoil conditions has been highlighted in several studies, underlining the need for probabilistic models [7-12]. To address these challenges, hybrid modelling approaches combining experimental data and theoretical models have emerged as promising alternative [13-15].

Concerning the acoustic field, only a few works can be found concerning the prediction of re-radiated noise due to railway traffic through numerical approaches [16-22]. Given the potential negative effects induced by a continuous exposition to re-radiated noise, an increase in the interest of the scientific community in this field is expected in the near future.

In this study, a novel methodology for predicting ground-borne vibrations and re-radiated noise in new buildings induced by railway traffic is presented. It is worth emphasizing that this methodology exhibits remarkable versatility as it can be employed across a wide spectrum of vibration sources. The present approach utilizes railway-induced ground vibrations measured at the building's future location to compute virtual forces representing the incident wave field from the nearby railway line. These forces are then applied to a theoretical model of the building-soil system to predict vibration levels throughout the structure. Once the vibration velocities of the building elements are determined, it becomes possible to predict the re-radiated noise within each of its compartments. This methodology, characterized by a weak coupling between the railway infrastructure and building structure, simplifies the traditional numerical process since it reduces the domain of the model and the need for some data that is sometimes inexistent or confidential, such as soil condition from the source to the building, source characteristics, etc... Given that the measurements taken in the initial step enable to fully characterize the vibration source and a substantial portion of the propagation path, this approach will substantially diminish uncertainties of the prediction. This hybrid methodology has been previously examined through a parametric study and a rigorous verification [23] using synthetic vibration measurements from a 2D and 2.5D perspectives.

In this paper, a verification of this hybrid method for re-radiated noise predictions is conducted also employing synthetic ground measurements. This verification comprises different scenarios involving a two-story building with shallow foundations on homogeneous soil. The primary aim of this study is to assess the accuracy of vibration predictions obtained through the hybrid methodology, along with the re-radiated noise prediction within the building.

2. Modelling Approach

2.1. General Description

The chosen modelling approach unfolds in two distinct phases: firstly, it involves calculating the induced vibration velocities of the building elements and, subse-

quently, it focuses on evaluating sound pressure levels inside the structure.

To validate the proposed methodology, sound pressure levels obtained through the hybrid model are compared with those derived from the reference model. Concerning vibrations, the reference model accounts for the entire system, taking into account the soil-structure interaction, directly computing the vibrations induced in the building due to the application of a point force on the ground surface. In the case of the hybrid approach, three essential models are employed: the soil model, which facilitates the acquisition of displacement fields at specified locations; the virtual force distribution as a model of the incident wave field; and the soil-building model, which enables the determination of the vibration transmitted to the building.

2.2. Vibration Response

To compute the vibrations induced to the building, two modelling approaches have been employed: a hybrid methodology, and a Green-FEM 3D model, the latter representing the reference model.

The hybrid methodology for the assessment of the building response was firstly introduced by Arcos et al. [24], and its formulation is similar to the Method of Fundamental Solutions. This methodology is divided into three steps.

Step 1. To perform the experimental measurements of the vibration induced at the ground surface where the building structure will be constructed. In this work, synthetic responses will be used to verify the method and to study its accuracy. These artificial measurements have been obtained through a numerical model of the soil that includes the domain of collocation points, as shown in Figure 1 - Model 1.

Step 2. To determine the virtual forces, taking into account the "measured" response at the collocation points, transforming them from space-time domain into displacements in the frequency domain, collected in the vector \mathbf{U}_c . From those displacements, the virtual forces, \mathbf{F}_v , can be computed, according to equation Eq. (1).

$$\mathbf{F}_v = \mathbf{H}_{cf}^{-1} \mathbf{U}_c \quad (1)$$

The \mathbf{H}_{cf}^{-1} is a square receptance matrix that relates the virtual forces and the collocation points response obtained with a local subsoil model of the existing ground, as visually exemplified in Figure 1 – Model 2.

Step 3. Computation of the building/soil system response according to Eq. (2).

$$\mathbf{U}_b = \mathbf{H}_{bf} \mathbf{F}_v \quad (2)$$

where U_b represents the response of a set of evaluation points placed in the building/soil model and H_{bf} is the receptance matrix that relates the virtual forces and the evaluation points response. The H_{bf} matrix is obtained using the building/soil theoretical model specifically developed for the case study, as illustrated in Figure 1 - Model 3.

2.3. Acoustic Response

For the determination of the acoustic response, an approach based on the method of fundamental solutions (MFS), previously validated by Colaço et al. [22] in an experimental context, is employed. The input parameters for the acoustic model are the vibration velocities of the structural elements of the building, obtained through the elastodynamic model of the building. Those vibration velocities are imposed as boundary conditions for the assessment of the sound pressure levels generated within the individual rooms of the building. This methodology corresponds to a collocation method that allows computing the response of the acoustic medium through a linear combination of the Green functions of the governing differential equation – the Helmholtz equation – considering a set of virtual sources positioned outside the propagating domain [25–28].

3. Case Study

The primary objective of this case study is to compare the acoustic responses obtained inside a room of a build-

ing due to the application of a force on the ground surface, 7.5 meters away from the geometrical centre of the building. This comparison will verify the correctness of the hybrid method and confirm its suitability for determining the vibration velocities of structural elements, which subsequently enable the prediction of re-radiated noise.

To streamline the parameter analysis, a homogeneous geotechnical scenario is considered, with properties listed in Table 1.

Table 1. Mechanical properties of the building-soil system, where E represents the Young’s modulus of the material, ρ its density, ν is Poisson’s ratio and η the material damping.

Designation	E [GPa]	ρ [kg/m ³]	ν [-]	η [-]
Soil	0.325	2000	0.3	0.03
Masonry walls	1.2	1200	0.2	0.03
Concrete	30	2500	0.2	0.02

The building structure was considered to be a reinforced concrete structure comprising two floors. To maintain simplicity, given the academic nature of this study, the building stands at a total height of 6 meters with a footprint area of 5x5 square meters. Structural elements, including beams and columns, maintain regular dimensions of 0.2x0.4 square meters and 0.2x0.2 square meters, respectively, while the slab thickness measures 0.2 meters. Masonry walls, of 0.15 meters thick, are integrated into the structure, and their mechanical properties are also detailed in Table 1. Four shallow foundations, each measuring 1x1 square meters with a thickness of 0.25 meters, support the building. Additionally, Table 1 provides the mechanical properties of the concrete used in this structure.

Both the hybrid method and the acoustic model demand the definition of some deployment characteristics. In the case of the hybrid method, this entails defining the placement of the collocation points and virtual forces, while for the acoustic model, it involves choosing the virtual forces locations. In the context of the hybrid method, 100 virtual forces uniformly distributed within a semi-sphere with a radius of 4.5 meters are considered, surrounding the building foundations and centred at the building symmetry axis. This choice of virtual forces quantity adheres to the empirical guideline established, stating that the spacing between consecutive virtual forces should be smaller than the wavelength of S-waves in the medium for the frequency of interest. In terms of the number of collocation points, an amount of four per foundation is adopted, totalling 16 collocation points. In Figure 2, it can be observed the position of the collocation points and virtual sources with respect to the location of the building foundations.

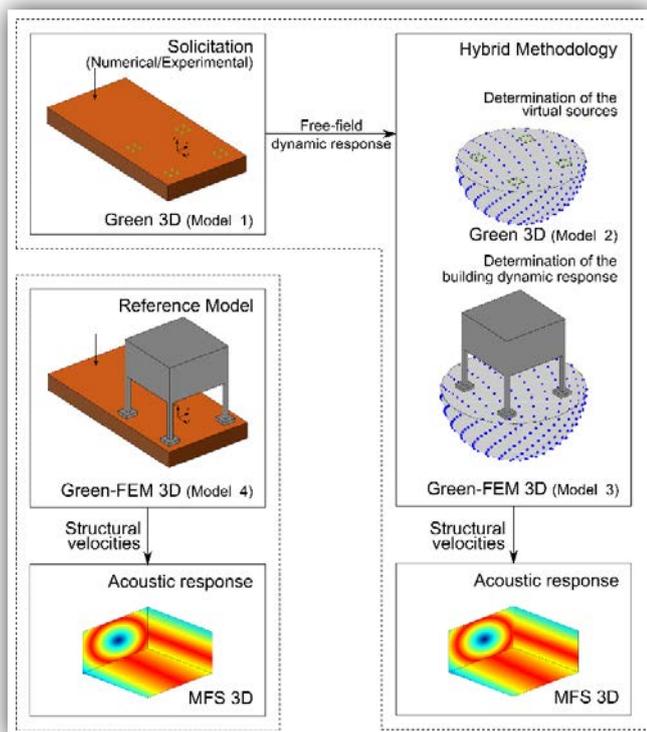


Figure 1. Representative scheme of the numerical modelling approach.

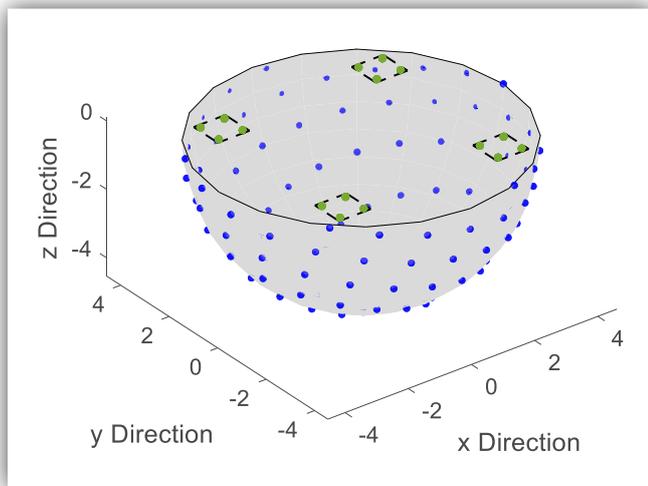


Figure 2. Representative scheme of the collocation points (green) and virtual forces (blue) with respect to the building foundations domains (dashed lines).

For the acoustic model, the collocation points were placed based on the locations of the building FEM model nodes, while the virtual forces were positioned with a one meter offset from the collocation points domain, as illustrated in Figure 3.

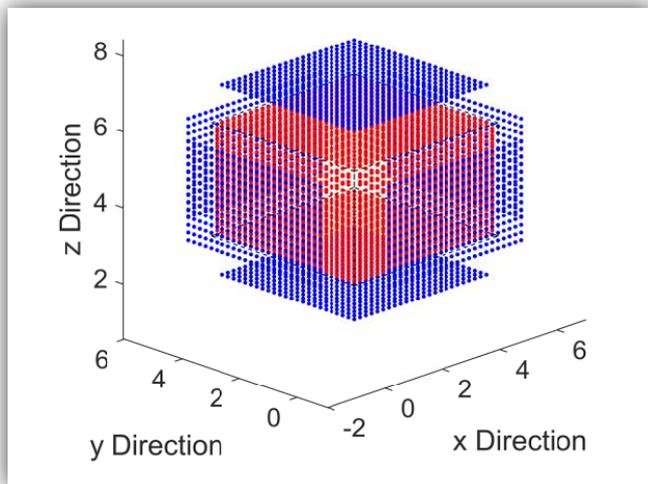


Figure 3. Representative scheme of the collocation points (red) and virtual forces (blue) of the re-radiated noise model.

4. Results

In alignment with the initially defined primary objective of this study, the numeric computations were proceeded in two phases. First, the predicted displacements at each point within the domain were determined through the hybrid method and, simultaneously, through a direct approach, used as the reference model. Then, in the second part, the sound pressure levels within the building room under analysis were computed based on the vibration velocities of the

building structural elements. Three evaluation points were chosen to compute and compare the response. The evaluation points were situated 0.5 meters away from the corners of the room, as illustrated in Figure 4.

Notably, the evaluation points P1 and P2 exhibit symmetry with respect to one of the problem symmetry axis, implying that their responses should be equivalent. Subsequently, the assessed sound pressure levels at each of these three evaluation points, are presented in Figures 5 to 7.

5. Conclusions

As observed in the obtained results, it should be highlighted the significant overall agreement between the sound pressure levels computed on each evaluating point through the two different approaches, for all the range of frequencies adopted in this study. The strong agreement observed emphasizes the capabilities of the hybrid methodology to accurately estimate the acoustic

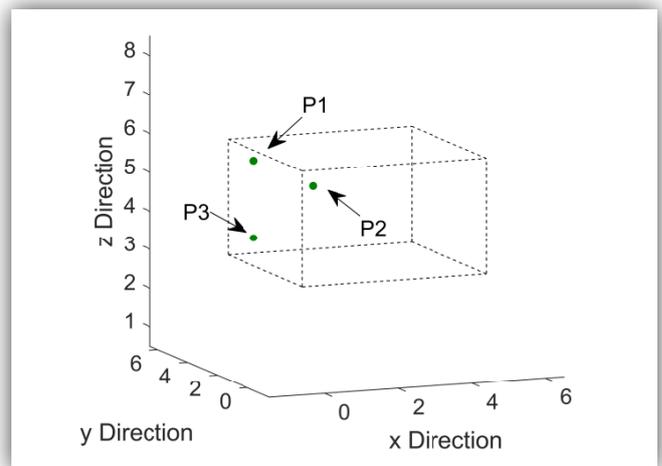


Figure 4. Location of the evaluation points.

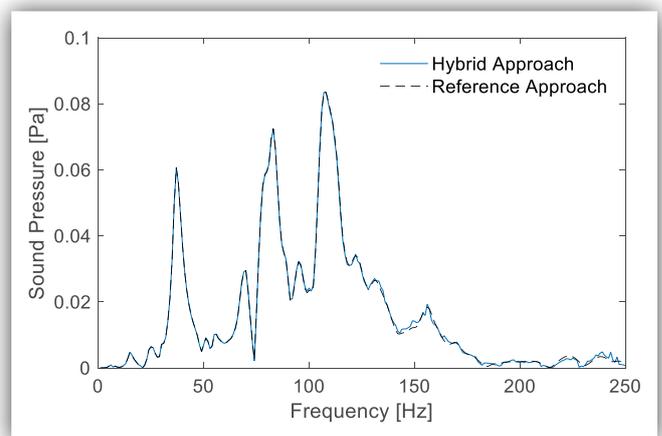


Figure 5. Acoustic pressure level calculated at Point P1, derived from vibrations obtained using the hybrid method (blue line), and through the reference model (black dashed line).

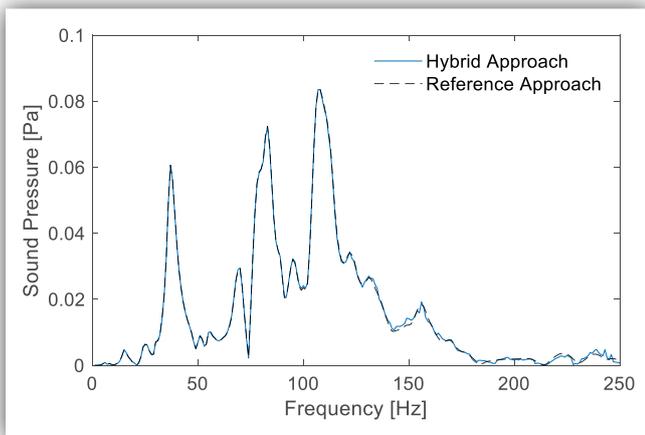


Figure 6. Acoustic pressure level calculated at Point P2, derived from vibrations obtained using the hybrid method (blue line), and through the reference model (black dashed line).

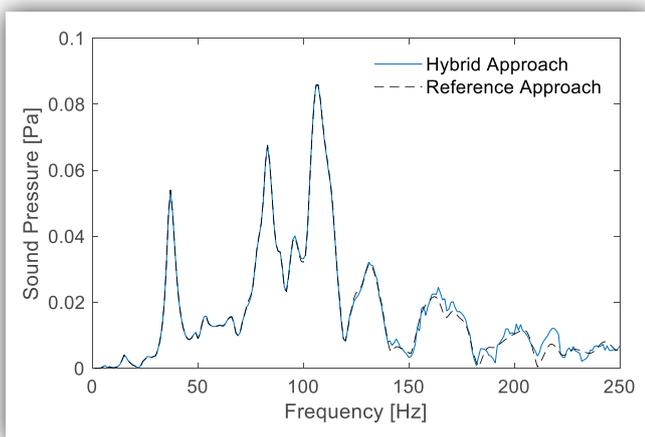


Figure 7. Acoustic pressure level calculated at Point P3, derived from vibrations obtained using the hybrid method (blue line), and through the reference model (black dashed line).

responses inside a room of a building. Notably, the differences between the responses become slightly higher at higher frequencies, which can be effectively mitigated by considering a larger number of collocation points on the ground surface. An increase in the amount of virtual forces can also produce slightly better results.

In conclusion, this hybrid methodology represents a substantial step forward to effectively deal with ground-borne vibrations and reradiated noise problems in buildings to be constructed near to vibration sources. The methodology can be used to develop accurate assessment studies that not only enhance living conditions but also play a pivotal role in ensuring regulatory compliance regarding exposure limits, thereby safeguarding the well-being of the occupants of the buildings affected by this issue.

By combining experimental measurements with numerical models, this approach offers a practical and reliable tool

applicable to multiple scenarios. It not only provides precise predictions of vibration and noise levels but also reduces the levels of uncertainty in the final predictions, allowing for detailed studies of diverse types of mitigation measures. These studies empower stakeholders, especially infrastructure managers to choose the most effective mitigation measures for addressing the issue, allowing for the selection of solutions based on their cost-effectiveness.

Acknowledgments

This work was financially supported by:

- Base Funding - UIDB/04708/2020 and Programmatic Funding - UIDP/04708/2020 of the CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções – funded by national funds through the FCT/MCTES (PIDDAC);
- Project PTDC/ECI-EGC/3352/2021, funded by national funds through FCT/ MCTES;
- European Union's Horizon 2020 Programme Research and Innovation action under Grant Agreement No 101012456 – In2Track3;
- Individual Grant no. SFRH/BD/148276/2019, provided by FCT;
- Individual Grant no. 2022.00898. CEECIND (Scientific Employment Stimulus - 5th Edition) provided by FCT;
- Project WIBWAY: Web-based computational tool for the assessment of VIBrations induced by railway traffic, with grant reference PDC2022-133093-I00, funded by Agencia Estatal de Investigación (Spain) - Proyectos de Prueba de Concepto 2022.

References

- [1] Balendra T, Chua KH, Lo KW, Lee SL. Steady-state vibration of subway-soilbuilding system. *J Eng Mech* 1989;115:145–62.
- [2] Balendra T, Koh CG, Ho YC. Dynamic response of buildings due to trains in underground tunnels. *Earthq Eng Struct Dynam* 1991;20:275–91.
- [3] Trochides A. Ground-borne vibrations in buildings near subways. *Appl Acoust* 1991;32:289–96.
- [4] Sheng X, Jones CJC, Thompson DJ. Prediction of ground vibration from trains using the wavenumber finite and boundary element methods. *J Sound Vib* 2006; 293:575–86.
- [5] Quagliata A, Ahearn M, Boeker E, Roof C, Volpe JA. Transit noise and vibration impact assessment manual, technical report 0123. Federal Transit Administration;

- [6] Sadeghi J, Esmaeili MH, Akbari M. Reliability of FTA general vibration assessment model in prediction of subway induced ground borne vibrations. *Soil Dynam Earthq Eng* 2019;117:300–11. 2018.
- [7] Lombaert G, Degrande G, Clouteau D. The influence of the soil stratification on free field traffic-induced vibrations. *Arch Appl Mech* 2001;71:661–78.
- [8] Jones S, Kuo K, Hussein M, Hunt H. Prediction uncertainties and inaccuracies resulting from common assumptions in modelling vibration from underground railways. *Proc Inst Mech Eng - Part F J Rail Rapid Transit* 2012;226:501–12.
- [9] Lopes P, Alves Costa P, Calçada R, Silva Cardoso A. Influence of soil stiffness on building vibrations due to railway traffic in tunnels: numerical study. *Comput Geotech* 2014;61:277–91.
- [10] Schevenels M, Lombaert G, Degrande G, François S. A probabilistic assessment of resolution in the SASW test and its impact on the prediction of ground vibrations. *Geophys J Int* 2008;172:262–75.
- [11] Schevenels M. The impact of uncertain dynamic soil characteristics on the prediction of ground vibration. Ph.D. thesis. Katholieke Universiteit Leuven; 2007.
- [12] Papadopoulos M, François S, Degrande G, Lombaert G. The influence of uncertain local subsoil conditions on the response of buildings to ground vibration. *J Sound Vib* 2018;418:200–20.
- [13] Kuo KA, Verbraken H, Degrande G, Lombaert G. Hybrid predictions of railway induced ground vibration using a combination of experimental measurements and numerical modelling. *J Sound Vib* 2016;373:263–84.
- [14] López-Mendoza D, Romero A, Connolly DP, Galvín P. Scoping assessment of building vibration induced by railway traffic. *Soil Dynam Earthq Eng* 2017;93:147–61.
- [15] López-Mendoza D, Connolly DP, Romero A, Kouroussis G, Galvín P. A transfer function method to predict building vibration and its application to railway defects. *Construct Build Mater* 2020;232.
- [16] Nagy AB, Fiala P, Márki F, Augusztinovicz F, Degrande G, Jacobs S, et al. Prediction of interior noise in buildings generated by underground rail traffic. *J Sound Vib* 2006;293(3–5):680–90.
- [17] Fiala P, Degrande G, Augusztinovicz F. Numerical modelling of ground-borne noise and vibration in buildings due to surface rail traffic. *J Sound Vib* 2007;301(3–5):718–38.
- [18] Romero A, Galvín P, António J, Domínguez J, Tadeu A. Modelling of acoustic and elastic wave propagation from underground structures using a 2.5D BEM-FEM approach. *Eng Anal Boundary Elem* 2017;76:26–39.
- [19] Colaço A, Alves Costa P, Amado-Mendes P, Godinho L. Prediction of vibrations and reradiated noise due to railway traffic: a comprehensive hybrid model based on a finite element method and method of fundamental solutions approach. *J Vib Acoust* 2017;139(6). 061009-061009-10.
- [20] António J, Tadeu A, Godinho L. A three-dimensional acoustics model using the method of fundamental solutions. *Eng Anal Boundary Elem* 2008;32(6):525–31.
- [21] Nennig B, Perrey-Debain E, Chazot JD. The method of fundamental solutions for acoustic wave scattering by a single and a periodic array of poroelastic scatterers. *Eng Anal Boundary Elem* 2011;35(8):1019–28.
- [22] Colaço, A., Costa, P. A., Amado-Mendes, P., Magalhaes, F., & Godinho, L. (2018). Experimental validation of a FEM-MFS hybrid numerical approach for vibro-acoustic prediction. *Applied Acoustics*, 141, 79-92.
- [23] Arcos, R., Soares, P. J., Costa, P. A., & Godinho, L. (2021). An experimental/numerical hybrid methodology for the prediction of railway-induced ground-borne vibration on buildings to be constructed close to existing railway infrastructures: Numerical validation and parametric study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150, 106888.
- [24] R. Arcos, A. Clot, J. Romeu, Dynamic representation of excitation sources on construction-induced vibration problems based on multiple harmonic loads applied on the ground, in: *Proceedings of 46th international congress and exposition on noise control engineering*, Internoise 2017, Hong-Kong.
- [25] António J, Tadeu A, Godinho L. A three-dimensional acoustics model using the method of fundamental solutions. *Eng Anal Boundary Elem* 2008;32(6):525–31.
- [26] Godinho L, Branco FG, Amado Mendes P. 3D multi-domain MFS analysis of sound pressure level reduction between connected enclosures. *Arch Acoust* 2011;36(3):575–601.
- [27] Godinho LMC, Costa EGA, Pereira ASC, Santiago JAF. Some observations on the behavior of the method of fundamental solutions in 3D acoustic problems. *Int J Comput Methods* 2012;9(4).
- [28] Godinho L, Amado Mendes P, Ramis J, Cardenas W, Carbajo J. A numerical MFS model for computational analysis of acoustic horns. *Acta Acustica United Acustica* 2012;98(6):916–27.



> 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

Imagen fotoacústica empleando nanopartículas de redes orgánicas covalentes (nCOFs) como agente de contraste



Irene Pi-Martín¹, Carla María Vidaurre Agut², Alejandro Cebrecos¹, Juan J. García-Garrigós¹, Noé Jiménez¹, Pablo Botella Asunción², Francisco Camarena¹

¹ Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (i3M)

² Instituto de Tecnología Química (ITQ)
Universitat Politècnica de València-Consejo Superior
de Investigaciones Científicas,
Av. Los Naranjos s/n, 46022 Valencia,
46022, Valencia, Spain

PACS: 43.35.Ud, 42.62.Be

Resumen

La imagen fotoacústica permite obtener imágenes moleculares y funcionales en cualquier medio biológico. Empleando contrastes endógenos se pueden estudiar procesos naturales o, mediante cromóforos exógenos, típicamente nanopartículas de oro, se puede mejorar la calidad de las imágenes obtenidas e incluso utilizarlos como marcadores de dianas fisiopatológicas específicas. En este trabajo exploramos la amplia gama de cromóforos empleados en imagen fotoacústica, profundizando especialmente en la viabilidad de utilizar nanopartículas de redes orgánicas covalentes (nCOFs) como agentes de contraste exógeno biocompatible y completamente inocuo. Para ello, se ha comparado la respuesta de dos tipos de nCOFs con el estándar actual. Los resultados obtenidos señalan a ambos tipos de nCOFs como agentes de contrastes muy prometedores para imagen fotoacústica debido a su satisfactoria respuesta y su biocompatibilidad. El empleo de nCOFs biocompatibles permitirá obtener imágenes moleculares de alta calidad empleando altas dosis de contraste y minimizando los efectos secundarios.

Palabras clave: fotoacústica, agentes de contraste exógenos, biocompatibilidad, redes orgánicas covalentes.

Abstract

Photoacoustic imaging allows obtaining molecular and functional images in any biological medium. Using endogenous contrasts is possible to study natural processes and using exogenous chromophores, typically gold nanoparticles, it is possible to improve the quality of the images obtained or even use them as markers of specific pathological targets. In this work we explored the wide range of chromophores used in photoacoustic imaging, especially delving into the feasibility of using nanoparticles of covalent organic networks (nCOFs) as biocompatible and completely harmless exogenous contrast agents. For this purpose, the response of two types of nCOFs has been compared with the current standard. The results obtained point to both types of nCOFs as very promising contrast agents for photoacoustic imaging due to their satisfactory response and biocompatibility. The use of biocompatible nCOFs will make it possible to obtain high quality molecular images using high contrast doses and minimizing side effects.

Keywords: photoacoustics, exogenous contrast agents, biocompatibility, organic covalent networks.

1. Introducción

La fotoacústica es una técnica de imagen médica emergente que permite visualizar estructuras y procesos biológicos en profundidad. Esta técnica combina la alta resolución espacial de la tomografía por ultrasonido y la alta sensibilidad al contraste de la espectroscopía óptica [1]. La clave de la imagen fotoacústica radica en los cromóforos, moléculas que absorben la luz y generan señales acústicas detectables cuando son excitadas por pulsos láser. Estos cromóforos, que pueden ser naturales o

diseñados químicamente en un laboratorio, desempeñan un papel crucial en la mejora del contraste y la especificidad de la técnica [2].

En este artículo, exploraremos la amplia gama de cromóforos empleados en imagen fotoacústica, desde las propias sustancias presentes en los tejidos biológicos hasta las nanopartículas sintéticas diseñadas para aplicaciones específicas. Examinaremos las propiedades fundamentales de estos cromóforos, sus ventajas y limitaciones, y cómo se han convertido en piezas clave para

la obtención de imágenes detalladas en una variedad de contextos, desde la detección temprana de enfermedades hasta la monitorización de terapias. Además, discutiremos las últimas tendencias en el desarrollo de nuevos cromóforos exógenos orgánicos biocompatibles e inocuos para el organismo y su potencial impacto en la evolución de la imagen fotoacústica en el futuro.

1.1. Cromóforos endógenos

La imagen fotoacústica destaca por su capacidad para aprovechar los cromóforos endógenos (moléculas naturales) presentes en tejidos biológicos, como la hemoglobina, la melanina o los lípidos [3].

La ventaja de utilizar cromóforos endógenos es que no requiere administración de agentes de contraste externos, lo que la hace especialmente atractiva para aplicaciones clínicas. Estos cromóforos naturales proporcionan información valiosa sobre la anatomía y la función de los tejidos, y su capacidad de generación de contraste contribuye al diagnóstico temprano y a la comprensión de diversas enfermedades [3].

La imagen fotoacústica del tejido excitado dependerá de la longitud de onda con la que se ilumine dicho tejido, ya que cada cromóforo tiene un espectro de absorción característico, como se puede ver en la Fig. 1. A continuación, se detallan los ámbitos de aplicación de los cromóforos endógenos más empleados.

La melanina, responsable de la coloración de la piel, el cabello y los ojos, se ha utilizado para la detección y caracterización de lesiones cutáneas, así como para estudios de melanoma [1, 3]. Como se puede ver en la Fig.1, tiene un alto nivel de absorción a múltiples longitudes de onda.

La hemoglobina, presente en los glóbulos rojos de la sangre, es uno de los cromóforos endógenos más utiliza-

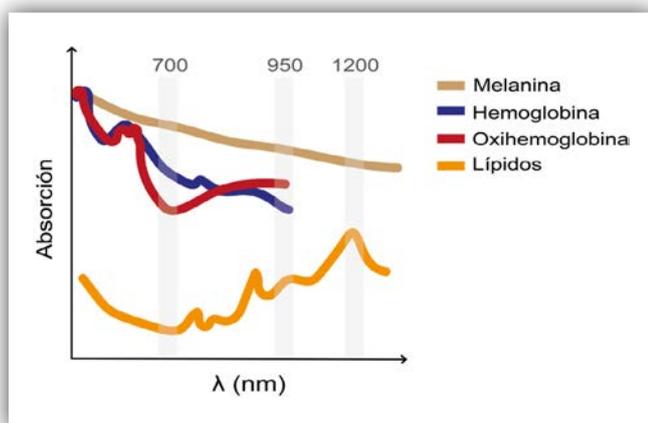


Figura 1. Espectro de absorción de los principales cromóforos endógenos empleados en fotoacústica [1].

dos en fotoacústica. Su capacidad para absorber la luz en el rango del infrarrojo cercano permite aprovechar esta ventana óptica para detectar y visualizar vasos sanguíneos con una alta sensibilidad y a profundidades de varios centímetros, siendo de gran aplicación en investigación cardiovascular, detección temprana de enfermedades vasculares y la monitorización de la oxigenación en tejidos [1, 3]. Seleccionando excitaciones a 700 nm o 950 nm, se visualizarán venas o arterias respectivamente.

Sin embargo, para estudiar enfermedades relacionadas con la acumulación de grasa, como la aterosclerosis o la obesidad, suele seleccionarse una excitación a 1200 nm para obtener imagen de los lípidos, componentes esenciales de las membranas celulares y tejidos adiposos [1, 3].

1.2. Cromóforos exógenos

Además de las moléculas naturalmente presentes en el organismo, la fotoacústica utiliza cromóforos exógenos, también conocidos como agentes de contraste, para ampliar su versatilidad y aplicaciones en la visualización de tejidos y procesos biológicos con alta precisión y sensibilidad [3]. Los cromóforos exógenos son nanopartículas diseñadas para interactuar selectivamente con tejidos o estructuras específicas y que, al ser irradiadas con pulsos láser, pueden generar una mayor respuesta acústica que los cromóforos endógenos y, por tanto, mejorar el contraste en las imágenes fotoacústicas obtenidas.

La versatilidad de los cromóforos exógenos en la imagen fotoacústica permite una amplia gama de aplicaciones. Estos agentes de contraste específicos proporcionan información detallada sobre tejidos y estructuras determinadas, lo que mejora la precisión del diagnóstico y la monitorización terapéutica. La investigación continua en el desarrollo de nuevos cromóforos exógenos promete expandir aún más el alcance de la imagen fotoacústica en el campo de la medicina y la biología.

Actualmente, las nanopartículas de oro son uno de los cromóforos exógenos más utilizados. Su fuerte capacidad para absorber luz en el rango de infrarrojo cercano y generar señales fotoacústicas las hace ideales para la visualización de tumores y su monitorización [4].

Por otro lado, las nanopartículas de sílice se utilizan comúnmente para la entrega dirigida de fármacos [3]. Estas partículas pueden cargarse con fármacos y dirigirse a lugares específicos, lo que permite la liberación controlada de medicamentos y el seguimiento de la respuesta terapéutica a través de la imagen fotoacústica. También pueden cargarse con agentes de contraste fluorocarbonados o tintas, que se utilizan en aplicaciones gastrointestinales y pulmonares, y ofrecen un contraste excepcional en tejidos ricos en agua. Esto los convierte

en herramientas valiosas para la detección de patologías y el seguimiento de la función pulmonar.

1.2.1. Características del diseño

Los cromóforos exógenos diseñados para imagen fotoacústica deben ser selectivos, eficientes y seguros [3], además de poseer las siguientes características específicas:

- Buena absorbancia en el rango de interés.
- Alta eficiencia de conversión de energía óptica en señales acústicas detectables.
- Estabilidad y biocompatibilidad.
- Targeting específico. Deben poder dirigirse a estructuras concretas, permitiendo la visualización selectiva de las áreas de interés.
- Buen contraste entre la estructura que se está investigando y su entorno.
- Capacidad de carga de fármacos.

Las nanopartículas metálicas utilizadas como contrastes exógenos presentan problemas de seguridad en aplicaciones médicas, debido principalmente a su acumulación a largo plazo en los tejidos, lo que empuja a buscar alternativas más seguras para los pacientes, como son los contrastes orgánicos [5-8]. Estos contrastes pueden ser diseñados con propiedades ópticas y acústicas a medida. Además, pueden llevar fármacos y liberarlos en sitios específicos, lo que es particularmente valioso para aplicaciones terapéuticas combinadas y abre nuevas posibilidades en el campo de la teranóstica, donde la terapia y el diagnóstico se combinan en una sola plataforma [9]. Por tanto, la investigación en agentes de contraste de marco orgánico permitirá una mejor adaptación de los contrastes a las necesidades específicas de la imagen fotoacústica.

2. Nanopartículas de redes orgánicas covalentes (nCOFs)

Las nCOFs son materiales nanoestructurados que han suscitado un gran interés en el campo biomédico [10-16]. Se caracterizan por su estructura ordenada y altamente porosa, que les otorga propiedades únicas y ventajosas para aplicaciones de fotoacústica médica, como las indicadas a continuación:

- Biocompatibilidad y no toxicidad.
- Estabilidad química y durabilidad, esencial para su uso en aplicaciones médicas a largo plazo.
- Alta superficie específica por su estructura porosa, permitiendo la carga de agentes de contraste o fármacos.

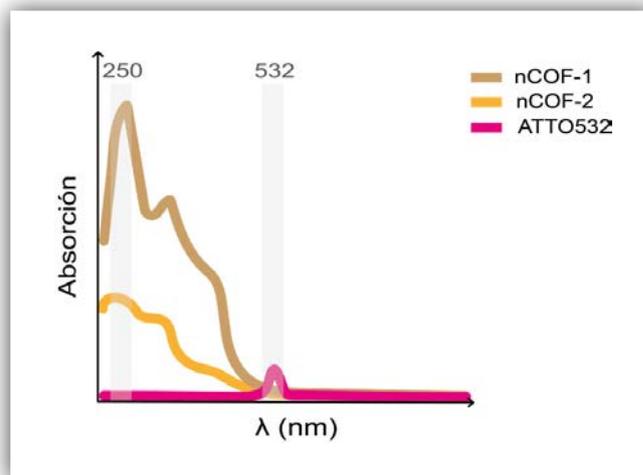


Figura 2. Espectro de absorción de las nCOFs empleadas (nCOF-1 y nCOF-2) y el cromóforo ATTO532.

Afinidad de absorción óptica y generación fotoacústica. Se pueden diseñar para tener una alta afinidad de absorción de luz en el rango de interés.

- Control de propiedades ópticas y acústicas. Su estructura y composición puede ajustarse con precisión, facilitando su adaptación a aplicaciones específicas de imagen fotoacústica.
- Versatilidad en la funcionalización. Es posible adaptarlas para dirigirse selectivamente a biomarcadores o estructuras específicas en el organismo, mejorando la especificidad de la imagen.

3. Motivación

Los agentes de contraste que se utilizan actualmente, como las nanopartículas de oro (NPAu), tienen limitaciones de concentración suministrable debido al estrés oxidativo que generan en el organismo al que se le suministran. Estas nanopartículas se acumulan en las células y no se pueden eliminar a corto ni largo plazo. Por ello, en este estudio se han probado algunas estructuras orgánicas (nCOFs) como agentes de contraste para imagen fotoacústica.

Se han empleado las nanopartículas con su estructura básica, sin sintonizar a una longitud de onda láser artificialmente ni cargar con agentes de contraste, fármacos o agentes con afinidad a estructuras determinadas. El objetivo es determinar la señal base que emitirían estas nanoestructuras, totalmente inocuas para el organismo, y, a partir de estos resultados, evaluar posibles vías futuras, ya sea modificando su estructura para sintonizarlas a determinadas longitudes de onda o cargándolas con diferentes agentes de contraste o fármacos dirigidos.

4. Métodos

Para evaluar si la amplitud de la respuesta PA de las nanopartículas orgánicas propuestas es similar a las de referencia NPAu, se ha seleccionado una excitación láser a 532 nm, correspondiente al verde en la región del espectro visible, donde estas tienen su máximo de absorción óptica. Para ello se han empleado NPAu comerciales a 0.1 mg/ml. Por otro lado, se han sintetizado dos tipos de nCOFs con estructura hexagonal y diferente diámetro de poro (D_p): nCOF-1 ($D_p=3.1$ nm) y nCOF-2 ($D_p=1.8$ nm) y se han preparado en disoluciones de 0,1 mg/ml. Finalmente, se han empleado nanopartículas de sílice mesoporosa (MSNs) y se han marcado con el cromóforo ATTO532, que tiene su pico de absorción óptica a la longitud láser seleccionada (532 nm). Todas las disoluciones empleadas han sido disueltas en la disolución tampón PBS (Phosphate Buffered Saline), por tanto, se ha medido también la señal PA del PBS como nivel de base.

En la Fig. 2 se representan los espectros de absorción de las dos nCOFs empleadas (nCOF-1 y nCOF-2) y del cromóforo ATTO532. Como se puede ver en la figura, el máximo de las nCOFs se sitúa alrededor de 250 nm en la región del ultravioleta, sin embargo, se ha mantenido su estructura original para evaluar su respuesta a la longitud de onda láser de 532 nm comúnmente utilizada en imagen fotoacústica. Además, esto permite comparar los resultados obtenidos con el nivel de contraste de las NPAu comerciales.

Para la excitación de las muestras se emplea un láser de tipo oscilador paramétrico óptico (OPO) EKSPILA NT350A trabajando a 532 nm, con un haz de diámetro 15 mm, una frecuencia de repetición de pulsos de 10 Hz y duración de 6 ns, sincronizado con el sistema de adquisición Vantage de Verasonics acoplado a la sonda ultrasónica lineal L11-5v de 128 elementos. La Fig. 3 representa esquemáticamente el montaje experimental, donde la disolución con nanopartículas se coloca en una

cánula de plástico paralela a la sonda y el láser incide perpendicularmente sobre la cánula.

El sistema implementado es un sistema dual de imagen ultrasónica y fotoacústica. Las imágenes de ultrasonidos proporcionan el posicionamiento de la cánula en el espacio de imagen, y las imágenes fotoacústicas aportan la respuesta PA de las nanopartículas iluminadas por el haz láser. La Fig. 4 muestra el resultado de la superposición de imagen ultrasónica, donde se pueden observar las paredes de la cánula, y la imagen fotoacústica, donde se observa la señal proveniente de la excitación láser de las nanopartículas contenidas en su interior.

Para cuantificar la respuesta fotoacústica de cada muestra, se integran las señales de cada píxel en la imagen conformada para obtener un único nivel de respuesta.

5. Resultados y discusión

La Fig. 5 representa la respuesta fotoacústica obtenida para todas las muestras evaluadas: el control (PBS),

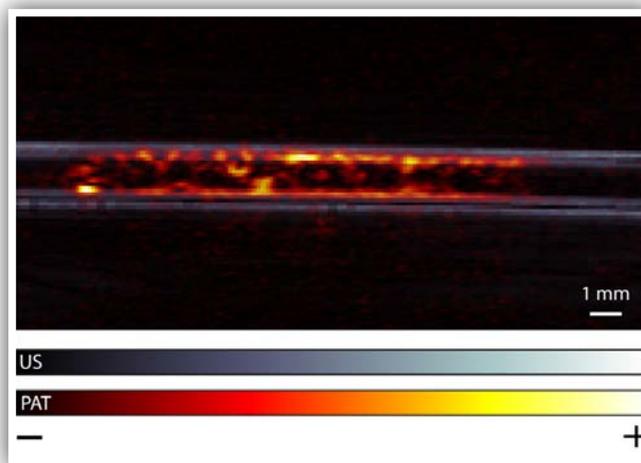


Figura 4. Imagen dual del sistema de imagen ultrasónica y fotoacústica.

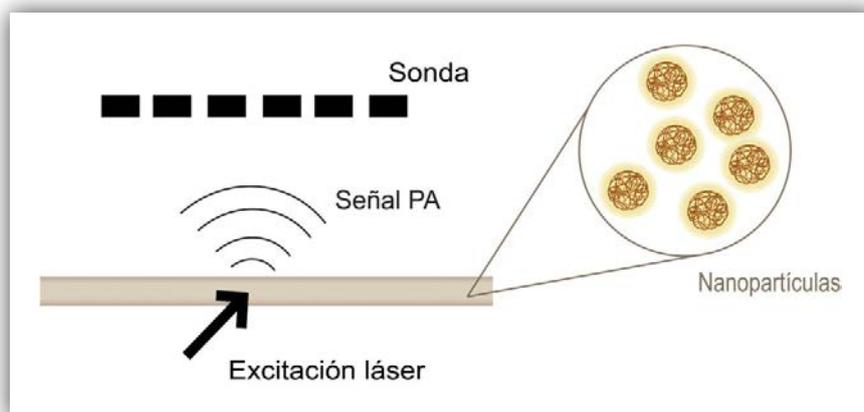


Figura 3. Esquema del montaje experimental empleado.

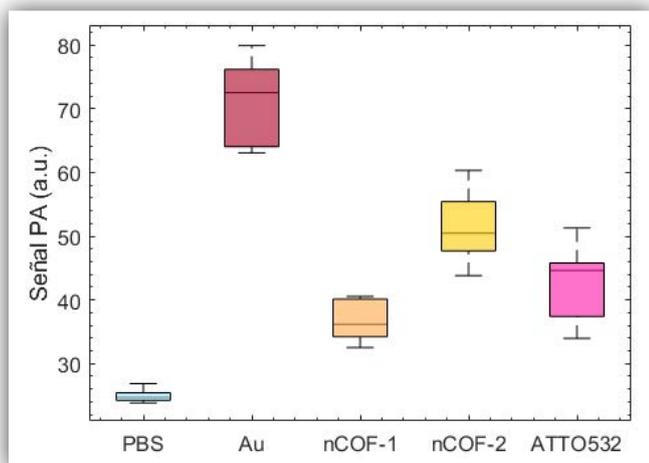


Figura 5. Representación en diagrama de caja y bigotes de la prueba comparativa de nivel de señal PA de nanopartículas de oro (referencia comercial) frente a nCOFs (nCOF-1 y nCOF-2) y MSNs marcadas con el cromóforo ATTO532. La señal PA de control del PBS, medio de disolución de las muestras, determina el nivel PA de fondo. Todas las muestras tienen una concentración de 0.1 mg/ml.

las nanopartículas de oro (Au), las nCOFs nCOF-1 y nCOF-2 y las MSN marcadas con el cromóforo ATTO532. Para cada muestra se realizaron seis réplicas donde el diagrama de caja y bigotes indica: la mediana de los datos, representada por la línea horizontal, y los percentiles 25 y 75, representados por los extremos inferior y superior de la caja; a su vez, los bigotes indican los datos más extremos que no se consideran valores atípicos.

En el gráfico se observa que las muestras orgánicas generan respuestas PA inferiores al estándar comercial (Au) aunque comparables. Así pues, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que tanto las nanopartículas de red orgánica nCOF-1 y nCOF-2 como las MSNs cromoetiquetas con ATTO532, tienen un gran potencial para su uso como contrastes exógenos en imagen fotoacústica, ya que presentan un nivel de respuesta cercano a la referencia. Al respecto, las diferencias en el diámetro de poro entre las dos estructuras hexagonales no manifiestan influencia alguna sobre la capacidad de contraste de los materiales. Cabe resaltar que, dado que las nanopartículas de red orgánica son inocuas para el organismo, existe la posibilidad de administrar dosis de mayores concentraciones del compuesto, aumentando así su nivel de respuesta sin perjudicar al futuro paciente.

6. Conclusiones

La investigación en contrastes de origen orgánico para la imagen fotoacústica es esencial para abordar los problemas de nanotoxicidad y seguridad asociados con los contrastes actuales. Estos contrastes ofrecen la pro-

mesa de ser más seguros, versátiles y específicos, lo que puede conllevar avances significativos en aplicaciones médicas y de investigación biomédica. La continua exploración y desarrollo de contrastes orgánicos es fundamental para maximizar el potencial de la imagen fotoacústica en el campo de la salud.

Los resultados experimentales obtenidos en este estudio muestran que las nCOFs (nCOF-1 y nCOF-2) presentan un nivel de respuesta similar al máximo generado por las nanopartículas de oro, a la longitud de onda de 532 nm que se utiliza comúnmente en imagen fotoacústica. Además, dado que los nCOFs son inocuas para el organismo, este estudio podría ampliarse a concentraciones mayores, de forma que se obtendrán previsiblemente mejores niveles de contraste en la imagen final. Además, estas estructuras orgánicas se pueden modificar, cambiando su empaquetamiento o añadiéndoles cromóforos u otras estructuras orgánicas, para poder sintonizar su máximo de absorción a otras longitudes de onda, como podría ser a 532 nm, aumentando todavía más su respuesta fotoacústica.

En definitiva, estos resultados confirman a los compuestos orgánicos nCOF-1 y nCOF-2 como excelentes agentes de contraste biocompatibles para imagen fotoacústica, permitiendo obtener imágenes moleculares de alta calidad, sin producir efectos adversos en el organismo.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero de la Agencia Estatal de Investigación (PID2019-111436RBC22 y PID2022-142719OB-C21) y la Generalitat Valenciana a través de los programas Equipamiento e Infraestructuras FEDER 2021-22 IDIFEDER/2021/004, y Programa de Garantía Juvenil I+D EDGJID/2021/189. N. Jiménez agradece el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU) a través de la beca "Ramón y Cajal" RYC2021-034920-I. A. Cebrecos agradece el apoyo financiero de la Universitat Politècnica de València a través de los programas PAID-10-19 PAID-PD-22. Irene Pi agradece el apoyo financiero de la Generalitat Valenciana a través del programa CIACIF/2021/403.

Referencias

- [1] P. Beard, Biomedical photoacoustic imaging, *Interface focus 1* (2011) 602–631.
- [2] B. Park, S. Park, J. Kim, C. Kim, Listening to drug delivery and responses via photoacoustic imaging, *Advanced Drug Delivery Reviews* 184 (2022) 114235.

- [3] J. Weber, P. C. Beard, S. E. Bohndiek, Contrast agents for molecular photoacoustic imaging, *Nature methods* 13 (2016) 639–650.
- [4] V. P. Nguyen, W. Qian, Y. Li, B. Liu, M. Aaberg, J. Henry, W. Zhang, X. Wang, Y. M. Paulus, Chainlike gold nanoparticle clusters for multimodal photoacoustic microscopy and optical coherence tomography enhanced molecular imaging, *Nature Communications* 12 (2021) 34.
- [5] A. Manke, L. Wang, Y. Rojanasakul, et al., Mechanisms of nanoparticle-induced oxidative stress and toxicity, *BioMed research international* 2013 (2013).
- [6] A. Hariri, E. Zhao, A. S. Jeevarathinam, J. Lemaster, J. Zhang, J. V. Jokerst, Molecular imaging of oxidative stress using an led-based photoacoustic imaging system, *Scientific reports* 9 (2019) 11378.
- [7] Y. Pan, A. Leifert, D. Ruau, S. Neuss, J. Bornemann, G. Schmid, W. Brandau, U. Simon, W. JahnenDechent, Gold nanoparticles of diameter 1.4 nm trigger necrosis by oxidative stress and mitochondrial damage, *small* 5 (2009) 2067–2076.
- [8] J. J. Li, D. Hartono, C.-N. Ong, B.-H. Bay, L.-Y. L. Yung, Autophagy and oxidative stress associated with gold nanoparticles, *Biomaterials* 31 (2010) 5996–6003.
- [9] Q. Guan, D.-D. Fu, Y.-A. Li, X.-M. Kong, Z.-Y. Wei, W.-Y. Li, S.-J. Zhang, Y.-B. Dong, Bodipy-decorated nanoscale covalent organic frameworks for photodynamic therapy, *IScience* 14 (2019) 180–198.
- [10] D. Wang, Z. Zhang, L. Lin, F. Liu, Y. Wang, Z. Guo, Y. Li, H. Tian, X. Chen, Porphyrin-based covalent organic framework nanoparticles for photoacoustic imaging-guided photodynamic and photothermal combination cancer therapy, *Biomaterials* 223 (2019) 119459.
- [11] Z. Mi, P. Yang, R. Wang, J. Unruangsri, W. Yang, C. Wang, J. Guo, Stable radical cation-containing covalent organic frameworks exhibiting remarkable structure-enhanced photothermal conversion, *Journal of the American Chemical Society* 141 (2019) 14433–14442.
- [12] J. Feng, W.-X. Ren, J.-L. Gao, F. Li, F. Kong, B.J. Yao, Y.-B. Dong, Core-shell-structured covalent-organic framework as a nanoagent for single-laser-induced phototherapy, *ACS Applied Materials & Interfaces* 13 (2021) 17243–17254.
- [13] Y. Zhu, P. Shao, L. Hu, C. Sun, J. Li, X. Feng, B. Wang, Construction of interlayer conjugated links in 2d covalent organic frameworks via topological polymerization, *Journal of the American Chemical Society* 143 (2021) 7897–7902.
- [14] Q. Guan, L.-L. Zhou, W.-Y. Li, Y.-A. Li, Y.-B. Dong, Covalent organic frameworks (cofs) for cancer therapeutics, *Chemistry—A European Journal* 26 (2020) 5583–5591.
- [15] Ding, S. Y., Gao, J., Wang, Q., Zhang, Y., Song, W. G., Su, C. Y., & Wang, W. (2011). Construction of covalent organic framework for catalysis: Pd/COF-LZU1 in Suzuki–Miyaura coupling reaction. *Journal of the American Chemical Society*, 133(49), 19816–19822.
- [16] Smith, B. J., Overholts, A. C., Hwang, N., & Dichtel, W. R. (2016). Insight into the crystallization of amorphous imine-linked polymer networks to 2D covalent organic frameworks. *Chemical Communications*, 52(18), 3690–3693.

Ingeniería Acústica García-Calderón

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

CÁMARAS ACÚSTICAS



FUENTES SONORAS ULTRALIGERAS



MÁQUINA DE IMPACTOS



ANALIZADORES



MICRÓFONOS



ACELERÓMETROS



Ingeniería Acústica García-Calderón

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

 Telf.: +34 91 128 89 47

 info@garcia-calderon.com

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

 VIAG
Ingeniería Acústica García-Calderón



Resumen Tecniacústica 2023

El **54º Congreso Español de Acústica – TECNIACÚSTICA 2023**- se ha celebrado en Cuenca entre los días 18 y 20 de octubre de 2023. El congreso, que ha sido organizado por la Sociedad Española de Acústica, la Sociedade Portuguesa de Acústica y la Universidad de Castilla La Mancha, ha tenido como sede la Escuela Politécnica de Cuenca, y ha contado con el patrocinio de la International Commission for Acoustics (ICA), de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y de la Dirección General de Turismo, Comercio y Artesanía.

Tecniacústica 2023 incorporó el **XIII Encuentro Ibérico de Acústica**, el **International Symposium on Acoustics in Biomedical Engi-**

neering y el tradicional **Encuentro de Jóvenes Acústicos**. En paralelo al congreso, se llevó a cabo la exposición **EXPOACÚSTICA 2023** en la que las empresas del sector de la acústica mostraron sus novedades técnicas. También se realizaron diversas actividades paralelas abiertas al público en general, como los **Paseos Sonoros**, destinados a la concienciación de la población sobre la importancia del ambiente acústico, o la **Jornada sobre ruido de actividades de ocio**, en la que se trataron distintos aspectos de este controvertido tema.

A lo largo de los tres días del congreso, al que han asistido un total de 255 congresistas, se han presentado 164 comunicaciones distribuidas en 25 Sesiones Estructuradas. El texto completo de todas las comunicacio-

nes presentadas en el congreso se recoge en la Publicación Oficial del Congreso en versión digital que se encuentra en la WEB de la SEA.

La EXPOACÚSTICA de la presente edición del congreso ha contado con la participación de las siguientes 11 firmas comerciales: AMC Mecanocaucho, Audiotec, CDM Stravitec, CESVA, HBK Hottinger Brüel & Kjaer, HEAD Acoustics, Ingeniería Acústica García Calderón (IAG), Intecon, Sevenbel, SOUND OF NUMBERS y TRACK-NOISE.

El acto inaugural del Congreso fue presidido por D. César Sánchez Ortiz, Director Académico del Vicerrectorado de Cultura, Deporte y Responsabilidad Social en Cuenca de la UCLM quien dio paso a las intervenciones de D. Darío Dolz, Alcalde de la ciudad de Cuenca, D. Anto-





nio Pedrero, presidente de la Sociedad Española de Acústica y D. Jorge Patricio, Presidente de la Sociedade Portuguesa de Acústica. Finalmente, D. Samuel Quintana, Subdirector de la Escuela Politécnica de Cuenca, tomó la palabra en nombre del Comité Organizador para proporcionar informaciones prácticas sobre el desarrollo del Congreso y las diferentes actividades asociadas.

Terminado el acto inaugural se dio paso a la primera de las Confe-

rencias Plenarias que fue dictada por el Prof. Dr. Fausto E. Rodríguez Manzo de la Universidad Autónoma Metropolitana de México, con el título "Paisaje Sonoro y Bienestar Socio-Ecológico en las Ciudades" en la que se resaltó la importancia del paisaje sonoro urbano para la salud y el bienestar de los ciudadanos.

La segunda Conferencia Plenaria estuvo a cargo del Prof. Dr. Raúl Alcaraz Martínez, de la Universidad de Castilla La Mancha. Esta conferencia,

titulada "Buscando el equilibrio del triángulo: acústica, medicina e ingeniería biomédica" dio inicio al International Symposium on Acoustics in Biomedical Engineering, cuyas ponencias se desarrollarían a lo largo de la tarde del segundo día de congreso.

La Conferencia Plenaria de Clausura fue dictada por el Prof. Dr. Diogo Mateus, de la Universidad de Coimbra. Dicha ponencia, titulada "On the influence of the construction process on the sound insulation of





buildings – analysis of case studies in Portugal”, revisó los defectos más comunes en la ejecución de los proyectos de aislamiento acústico y cuantificó sus efectos en los resultados de aislamiento obtenidos.

Tras esta tercera Conferencia Plenaria de celebró el Acto de Clausura de TECNIACÚSTICA 2023, interviniendo en primer lugar D^a María Machimbarrena, quien además de ex-

poner un resumen de lo ocurrido a lo largo de los tres días de Congreso, fue dando paso a los sucesivos participantes en el acto de clausura.

D^a Belén Casla, Tesorera de la SEA hizo entrega del premio Andrés Lara que en esta edición ha recaído ex aequo en Irene Pi Martín y en Enrique González Mateo, por sus respectivos trabajos “Imagen Fotoacústica Empleando Nanopartículas

De Redes Orgánicas Covalentes (NCOFs) Como Agente De Contraste” y “*Improving SNR And Bandwidth Of Shear-Wave Displacements Via Modulated Force Excitation* “. Posteriormente otorgó el premio Luis de Camoens a Paulo Soares por su trabajo “*3D Hybrid Method For Assessing Re-Radiated Noise Induced By Railway Traffic: Numerical Validation*” así como el premio a la primera edición del Challenge SEA a Lena Benito Sendín por su trabajo “*Diviértete y aprende a escapar del ruido*”

Seguidamente tomaron la palabra D. Jaime Ramis, en representación de la Federación Iberoamericana de Acústica, D Luís Godinho, en nombre de la European Acoustics Association, D. Jorge Fradique, como representante de la Sociedade Portuguesa de Acústica, y D^a Sonia Antunes, quien presentó el próximo congreso Tecniacústica,



que se celebrará en Faro (Portugal) en septiembre de 2024. Finalmente, D. Antonio Pedrero, en nombre de la Sociedad Española de Acústica, informó del congreso Forum Acusticum / Euronoise 2025 y clausuró oficialmente el Congreso Tecniacústica 2023.

Con respecto a los actos sociales, el miércoles día 18 de octubre tuvo lugar un concierto en la Catedral de Cuenca, a cargo de la intérprete Cristina Alís. Finalizado el concierto los congresistas tuvieron la oportunidad de degustar la excelente gastronomía de la zona gracias a la actividad organizada por la organización local del congreso, denominada CALIDAD ACÚSTICA EN ESPACIOS DE RESTAURACIÓN (CAER), en la que los congresistas visitaron diferentes locales de restauración de la ciudad y, además de degustar sus especialidades culinarias, evaluaron sus características acústicas. Ese mismo día también se celebró un concierto de Jazz a cargo del grupo Javi Ruibal Cuarteto. Además del Programa de Acompañantes, se organizaron visitas culturales al Espacio Torner y al Museo Paleontológico de la ciudad.

La cena del congreso se celebró en el Restaurante La Playa de Cuenca, en la que tuvo lugar el tradicional sorteo de los regalos donados por las firmas expositoras, y que fue amenizada por el grupo musical My Sound Track.

Noticias de la FIA (Federación Iberoamericana de Acústica)

Con el objetivo de organizar el próximo congreso de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) que se celebrará en Santiago de Chile desde el 2 al 4 de diciembre de 2024, se han venido realizando distintas reuniones entre responsables de la SOCHA (Sociedad Chilena de



Acústicos) y miembros del consejo Directivo de la FIA. La siguiente imagen se ha extraído de la última reunión celebrada en martes 19 de diciembre en la que participaron:

Por parte de la SOCHA: D. Igor Valdebenito, David Parra, Xavier Irazoqui y Hugo Lobos.

Por parte de la FIA: Nilda Vechiatti, Alizabeth Gonzalez, Jorge Moreno Dinara Paixo y Jaime Ramis.

La sociedad ya ha nombrado un comité organizador, presidido por David Parra, cuyo organigrama es el de la figura mostrada sobre estas líneas.

Las fechas clave preliminares relacionadas con este importante evento se muestran a continuación:

Se podrán seguir las novedades asociadas a este evento en <https://www.fia2024.cl/>

Por otra parte, en la última reunión del consejo directivo de la FIA, celebrada el martes 19 de diciembre de 2023, se acordó lanzar la siguiente invitación a través del correo electrónico a todas las sociedades:

En el marco de la conmemoración del Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido (último miércoles de abril de cada año), el Consejo Directivo de la FIA los invita a participar de la Segunda Edición del Ciclo de Conferencias de Divulgación para compartir nuestras actividades.

Fecha	Actividad
30 de Enero	<ul style="list-style-type: none"> Conformación Comité Científico Apertura inscripción "early birds"
1 de Marzo	Apertura recepción resúmenes
15 de Mayo	<ul style="list-style-type: none"> Cierre inscripción "early birds" Inicio Inscripción regular
15 de Julio	Cierre oficial recepción resúmenes
2 de Septiembre	Aceptación de resúmenes
2 de Octubre	<ul style="list-style-type: none"> Cierre recepción de trabajos Fin Inscripción regular Inicio Inscripción Full
2 al 4 de Diciembre	Congreso FIA

Este correo es para invitarles a participar integrando los paneles de disertantes con representantes de vuestras sociedades.

Detallamos a continuación lo que estamos planificando:

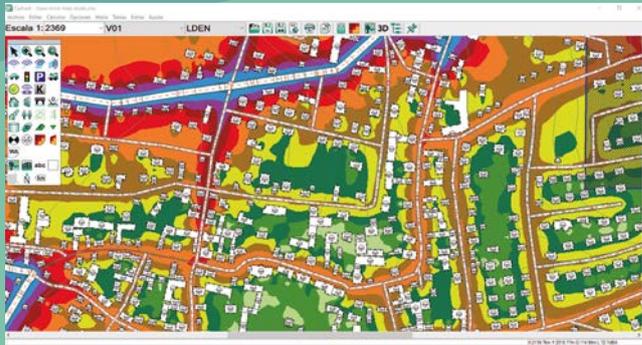
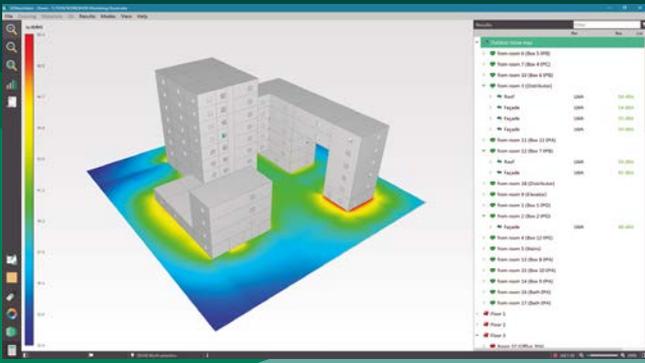
- *Las actividades serán gratuitas, y se llevarán a cabo en forma virtual, en la semana del 15 al 19 de abril de 2024.*
- *Se invita a que cada sociedad postule un orador.*
- *Los temas a presentar pueden ser elegidos libremente, y no es excluyente que se refieran a la toma de conciencia del ruido, sino que puede elegirse cualquier tema de acústica, incluyendo electroacústica.*
- *Cada orador dispondrá de 1 h (45 min para desarrollar su tema y 15 min para responder preguntas de los participantes).*
- *Cada Sociedad puede invitar a los oyentes que considere pue-*

dan estar interesados en partici-

par.
Necesitamos recibir respuesta a esta invitación antes del próximo 10 de marzo, y en la misma es necesario que indiquen:

- *Si planean postular un orador.*
- *Quién sería el disertante y sobre qué tema hablaría.*

Un cordial saludo.



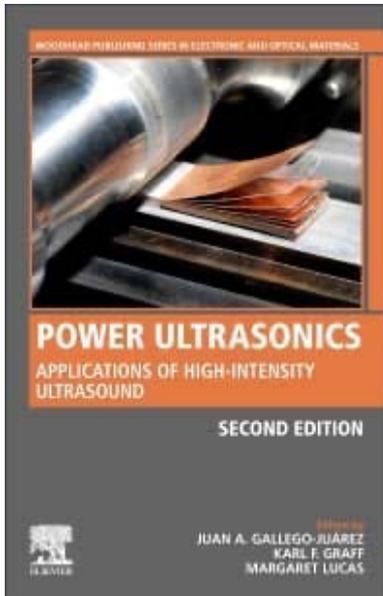
 **SOUND OF NUMBERS**

Desarrolladores y proveedores de tecnología para ingeniería acústica



www.acousticware.com

Power Ultrasonics Applications of High- Intensity Ultrasound



2nd Edition - April 6, 2023

Editors: Juan A. Gallego-Juarez,
Karl F. Graff, Margaret Lucas

Paperback ISBN: 9780128202548

eBook ISBN: 9780323851442

Description

Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound, Second Edition provides a comprehensive reference on the fundamentals, processing, engineering, medical, food and pharmaceutical applications of ultrasonic processing. Chapters cover the fundamentals of nonlinear propagation of ultrasonic waves in fluids and solids, discuss the materials and designs of power ultrasonic transducers and devices, identify applications of high power ultrasound in materials engineering and mechanical engineering, food processing technology, environmental monitoring and remediation and industrial and chemical processing (including pharmaceuticals), medicine and biotechnology, and cover developments in ultrasound therapy and surgery applications. The new edition also includes recent advances in modeling, characterization

and measurement techniques, along with additive manufacturing and micromanufacturing. This is an invaluable reference for graduate students and researchers working in the disciplines of materials science and engineering. In addition, those working on the physics of acoustics, sound and ultrasound, sonochemistry, acoustic engineering and industrial process technology, R&D managers, production, and biomedical engineers will find it useful to their work.

Este libro ofrece una referencia exhaustiva sobre los fundamentos, el procesamiento, la ingeniería y las aplicaciones médicas, alimentarias y farmacéuticas del procesamiento por ultrasonidos. Los capítulos cubren los fundamentos de la propagación no lineal de ondas ultrasónicas en fluidos y sólidos, discuten los materiales y diseños de transductores y dispositivos ultrasónicos de potencia, identifican aplicaciones de ultrasonidos de alta potencia en ingeniería de materiales e ingeniería mecánica, tecnología de procesamiento de alimentos, monitorización y remediación medioambiental y procesamiento industrial y químico (incluyendo productos farmacéuticos), medicina y biotecnología, y cubren desarrollos en aplicaciones de terapia y cirugía por ultrasonidos. La nueva edición también incluye avances recientes en técnicas de modelado, caracterización y medición, junto con fabricación aditiva y microfabricación. Se trata de una referencia inestimable para los estudiantes de postgrado y los investigadores que trabajan en las disciplinas de la ciencia y la ingeniería de materiales. Además, quienes trabajan en física de la acústica, sonido y ultrasonidos, sonoquímica, ingeniería acústica y tecnología de procesos industriales, directores de I+D, producción e ingenieros biomédicos lo encontrarán útil para su trabajo.

Sobre los editores

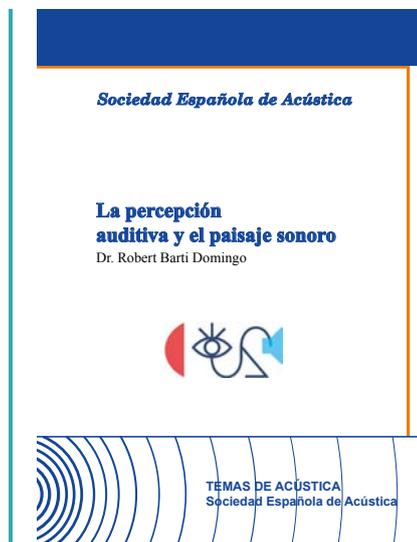
Juan A. Gallego-Juárez es Profesor de Investigación en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, España, donde fundó el Laboratorio de Ultrasonidos Instituto de Acústica” durante más de 12 años. más de 12 años. También fue Director del Centro de Tecnologías de la Física que integraba varios institutos de investigación.

Tras su jubilación forzosa en 2011, continuó durante 7 años en el CSIC en el cargo “ad Honorem”. Desde 2018, es el presidente de Pusonics S.L., empresa que fundó en 2008. Ha sido galardonado con la Medalla Rayleigh 2017 por el Instituto de Acústica (Reino Unido).

Karl F. Graff es una autoridad internacional en el campo de la ultrasonidos de potencia, incluidos transductores, aplicaciones y sistemas. Graff lideró los esfuerzos para fundar EWI y fue el director ejecutivo de la empresa de 1987 a 2000. En supervisó el crecimiento de EWI, que pasó de ser un pequeño mundial en unión de materiales y tecnologías tecnologías de fabricación. Desde 2000, ha estado investigación en ultrasonidos de potencia en diversos procesos de fabricación y sigue enseñando y asesorando a estudiantes en la Universidad Estatal de Ohio.

Margaret Lucas FEng FRSE ocupa la cátedra Regius de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad de Glasgow, donde también es catedrática de Ultrasonidos y Directora del Centro de Ultrasonidos Médicos e Industriales de la Escuela de Ingeniería James Watt. Su investigación se centra en los ultrasonidos de potencia en la medicina, aplicaciones médicas, industriales, espaciales y de exploración terrestre, Actualmente trabaja sobre todo en dispositivos quirúrgicos ultrasónicos.

La percepción auditiva y el paisaje sonoro



En las últimas décadas, va tomando fuerza el interés por el diseño acústico de los espacios urbanos; es el llamado soundscape o paisaje sonoro. Diseñar espacios urbanos para que suenen de una determinada manera no es una tarea fácil. Mayoritariamente, se to-

man decisiones para su diseño de acuerdo con algunas experiencias puntuales previas, donde algunas personas han elaborado los llamados soundwalks o paseos sonoros y donde se trata de valorar mediante una encuesta la calidad sonora percibida de una plaza o una calle en la ciudad. En paralelo con esta experiencia, generalmente se realizan mediciones acústicas de todo tipo para hacer después una valoración objetiva de los sonidos percibidos durante el paseo sonoro.

Es bastante simple describir con palabras una sala de conferencias a una persona que nunca ha estado en ella. Explicar con todo detalle las proporciones de la sala, los volúmenes, las texturas, los colores, los materiales, etc., que hay en ese lugar es una tarea simple que cualquier persona puede realizar sin esfuerzo, de suerte que la persona que nos escucha se hará una imagen mental muy cercana a la real. Sin embargo, para describir

la voz de una persona tendremos que recurrir a la «imitación» de esa voz o buscar el nombre de una persona conocida, con un tono de voz similar, para que nuestro interlocutor entienda lo que tratamos de explicar. Es decir, no tenemos palabras para explicar cómo suena un sonido.

Esta dificultad en describir el sonido es de vital importancia cuando se valora la calidad sonora de un espacio o ambiente sonoro. Los calificativos usados no siempre se interpretan de la misma manera ni en el mismo grado por distintas personas. Esto conduce a que en los paseos sonoros, por ejemplo, se hagan valoraciones subjetivas que, en general, presentan variabilidades importantes. Esto dificulta más, si cabe, el diseño de los ambientes sonoros, ya que es necesario disponer de datos objetivos tanto para el diseño como para poder predecir los resultados obtenidos y valorar la solución más adecuada.

StoSilent Distance C

**Sistema acústico suspendido
y pegado para superficies
planas y continuas**

El nuevo StoSilent Distance C es un sistema de techo acústico para paredes y techos con un montaje innovador: adhesivo en lugar de tornillos. Este sistema es perfecto para diseñar la forma de un espacio sin limitaciones, sin juntas y con absorción acústica. Estética y funcionalidad en perfecta sintonía.

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

www.sto.es

sto



Construir con conciencia.

Entrevista a Raúl Alcaraz Martínez, de la Universidad de Castilla-La Mancha, para la Revista de Acústica



Biografía

Raúl Alcaraz Martínez es Catedrático de Universidad (Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones) en la Universidad de Castilla-La Mancha con destino en el Campus de Cuenca. Obtuvo el Máster en Ingeniería Electrónica por la Universidad de Alcalá, Madrid, España, en 2005, y el Doctorado en Ingeniería Biomédica por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, en 2008. Desde 2006 es profesor en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y de Comunicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, España. Ha impartido varias asignaturas relacionadas con Instrumentación Electrónica y Biomédica, Electrónica Analógica y Digital y Procesado de Señal Biomédica y ha sido autor de varias publicaciones académicas en estas áreas. Sus intereses de investigación incluyen el procesamiento estadístico, no lineal y de arrays de señales aplicado a la señal biomédica y el desarrollo de nuevos equipos médicos. Es autor de más de 130 publicaciones, incluidos más de 30 artículos revisados por pares, unas 100 contribuciones en actas de congresos y 3 capítulos de libros. También es evaluador de numerosas revistas internacionales, como *Computers in Biology and Medicine*, *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, *Artificial Intelligent in Medicine*, *Physiological Measurement*, *Medical Engineering & Physics*, *Biomedical Signal Processing and Control*, etc. Desde 2014 es

miembro del Consejo Editorial de *Entropy - Open Access Journal* y *The Open Access Journal of Science and Technology*.

Nos hemos puesto en contacto con él con motivo de su charla plenaria impartida en el contexto del Congreso *Tecnicacústica 2023* al que hemos hecho referencia en una sección anterior de este número.

1. Su ámbito principal de investigación es el de la ingeniería biomédica. ¿Podría comentar brevemente cómo le ha llevado su carrera académica a acabar relacionado con la acústica?

Aunque realicé mis estudios de doctorado en el ámbito de la Ingeniería Biomédica, soy Ingeniero de Sonido e Imagen. En este sentido, aunque mi investigación se ha centrado en el estudio de otros tipos de señales, como la señal cardiaca, mi formación como Ingeniero de Sonido siempre me motiva a realizar experimentos con señales acústicas.

En particular, en nuestro grupo de investigación hemos realizado algunos experimentos a nivel inicial con señales de voz, para la detección de emociones y el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas. También estamos comenzando a trabajar con personal técnico de electromedicina, para cuantificar los niveles de ruido a los que están sometidos en sus entornos habituales de trabajo.



2. El nexa entre la ingeniería biomédica y la acústica es muy conocido en algunas aplicaciones, como la de los implantes auditivos o la de detección de enfermedades neurológicas por medio del habla. ¿En qué otras aplicaciones menos conocidas de la ingeniería biomédica se encuentra presente la acústica?

Una línea de aplicación muy clara es la denominada como Acústica Médica, que engloba todo lo referente al diagnóstico y tratamiento de patologías relacionadas con el sonido, sea en su fundamento, en su detección o en su tratamiento. Esta línea aglutina procesos en todas las capas de la asistencia médica, desde la escucha y detección de patologías en atención primaria, hasta el uso de tecnologías avanzadas basadas en sonido en las diferentes especialidades médicas.

En cuanto a detección, son muy destacables las ramas del diagnóstico que hacen uso de los ultrasonidos, así como las que hacen uso de la grabación y escucha de los sonidos de diferentes órganos. Relacionado con esta última, el procesado de la señal sonora del corazón permite determinar la apertura y cierre de sus válvulas, así como la identificación de ciertos factores del bombeo cardíaco. De manera similar a lo que se realiza con el sonido del corazón, el procesado del sonido pulmonar permite inferir o sospechar de ciertas patologías respiratorias a partir de las características de este sonido.

Con respecto al tratamiento, una de las aplicaciones más conocidas es la relacionada con los implantes y amplificadores auditivos. Sin embargo, también son muy destacables los tratamientos basados en ultrasonidos, como la litotricia o la recuperación muscular por ultrasonidos o radiación acústica de alta intensidad.

Por supuesto, hay tecnologías futuras, basadas en el procesado de señales acústicas, que se están desarrollando actualmente. Entre ellas se encuentran la de detección de la apnea del sueño mediante el procesado

sonoro de los ronquidos o la de detección de enfermedades respiratorias mediante el análisis de la tos.

Para terminar, me gustaría destacar una rama interdisciplinar que considero fundamental, que es la que se centra en el control de ruido en los hospitales y centros médicos. Me parece importante destacar esta rama, puesto que, en mi opinión, actualmente se le presta poca atención, aunque el ruido pueda tener efectos nocivos sobre pacientes con situaciones delicadas ya de por sí. Aunque la OMS recomienda unos límites de ruido en espacios médicos, éstos no son una prioridad en el día a día de estos entornos y, en general, no se están aplicando medidas de control generalizadas. Pienso que este control podría ser, en un futuro cercano, una de las atribuciones de los ingenieros biomédicos que trabajen en nuestros hospitales. De hecho, este profesional tendrá la suficiente formación en tecnología, acústica y medicina como para poder establecer las medidas más adecuadas con respecto al control del ruido en cada estancia hospitalaria.

3. Recientemente ha ofrecido una conferencia plenaria en Tecniacústica, en la que abordaba algunos de los principales nexos entre la ingeniería biomédica y la acústica. ¿Cuál de estos nexos cree que tiene un mayor potencial en el futuro cercano? ¿Y a largo plazo?

A corto plazo veo mayor potencial a todo lo que tiene que ver con la mejora de las tecnologías acústicas que ya se aplican al tratamiento y al diagnóstico de enfermedades, puesto que a día de hoy están muy consolidadas en la medicina. En este sentido, es previsible que las mejoras en implantes auditivos o en tratamientos mediante ultrasonidos lleguen a la sociedad antes que otras nuevas técnicas basadas en sonido, aunque tengan el potencial para revolucionar el diagnóstico o el tratamiento de cualquier patología.

Sin embargo, a medio plazo considero que las nuevas técnicas de diagnóstico mediante voz, sumadas a la telemedicina y con la ayuda de la inteligencia artificial, tienen un gran potencial, permitiendo optimizar los recursos médicos y facilitando una mayor cobertura de atención primaria incluso en zonas altamente despobladas, como las de la España vaciada.

También considero que la mejora de la calidad acústica de los centros médicos se debe considerar como un objetivo interdisciplinar de mejora, aunque a largo plazo, puesto que involucra no sólo a los acústicos, sino también a las administraciones públicas y los organismos de gerencia de los propios centros, etc.. Como comentaba antes, pienso que actualmente no se le está dando la importancia que requiere. Aunque la OMS recomienda

unos límites para los entornos hospitalarios, ni siquiera disponemos aún de un procedimiento claro y estandarizado de medida del ruido en este tipo de entornos.

4. Siguiendo con esta temática, la imagen médica es un ámbito del procesado de señal que ha probado grandes éxitos en el apoyo al personal sanitario en la detección de enfermedades. ¿Conoce usos similares del procesado de señales acústicas? ¿Ve potencial al uso de señales acústicas con fines similares?

Desde hace muchas décadas se utilizan técnicas de análisis de señales acústicas con fines médicos. El ejemplo más conocido, y que supone una tecnología médica muy consolidada, es la ultrasonología. No obstante, existen otros ejemplos. A este respecto, otra tecnología extremadamente madura que se basa en principios acústicos, aunque no de las más fiables, es la comúnmente utilizada para medir la presión arterial de forma no invasiva. En este caso el manguito que se coloca en el brazo presiona la arteria y cuando se libera la presión aparecen unos sonidos (ruidos de Korotkoff), los cuales se asocian con presión arterial. Aunque algunos dispositivos médicos utilizan esta técnica para medir la presión sanguínea, algunos expertos clínicos todavía la utilizan sin necesidad del tensiómetro, usando en cambio el fonendoscopio clásico.

También, como comentaba anteriormente, a nivel de investigación se están consiguiendo avances relevantes a partir del registro y procesado del sonido provocado de forma natural o forzado de determinados órganos, ya que este permite estimar información estructural y funcional de lo mismos. Quizás, los casos más desarrollados son los referentes al diagnóstico y seguimiento de patologías cardíacas y pulmonares. Además, la combinación de dichas señales sonoras con otras señales, como por ejemplo la eléctrica en el caso del corazón, también permite conseguir información más precisa que puede resultar muy útil para el personal clínico, por ejemplo, en el caso de problemas valvulares o fallo cardíaco.

5. Veo que le parece muy importante un adecuado confort acústico en los recintos médicos. Como usted comenta, los hospitales son, a menudo, lugares ruidosos, por la cantidad de personas que concurren y de tareas que se realizan. Siendo además el ruido reconocido por la OMS como el segundo agente contaminante con más impacto social después de la contaminación atmosférica, ¿cree que se han estudiado lo suficiente los efectos que el ruido puede tener sobre los pacientes? ¿Se están tomando medidas para mitigar el ruido y sus efectos nocivos?

El ruido existente en determinadas estancias hospitalarias se ha estudiado, pero desde mi punto de vista, no

con la intensidad que merece. En los últimos 10 o 15 años se pueden encontrar en la literatura científica muy pocos estudios centrándose en esta temática. De hecho, algunos de estos estudios apuntan a que el nivel de ruido en los hospitales está subiendo, lo cual parece asociarse al incremento de dispositivos tecnológicos en los hospitales y a una mayor afluencia de personas en los mismos.

Con respecto a los efectos, se ha observado que, en general, el ruido puede afectar al sueño y a los ciclos circadianos, probando alteraciones en el sistema cardiovascular e incrementando los niveles de hipertensión. Sin embargo, por su especial repercusión sobre pacientes vulnerables, estos efectos se han estudiado en mayor medida en el caso de neonatos y de pacientes de UCI. En estos últimos, se han encontrado asociaciones entre niveles excesivos de ruido y deterioro cognitivo, así como con episodios de delirio. En el caso de las unidades de neonatos existe un mayor control sonoro, así como regulaciones específicas acerca de los niveles y características del ruido que puede existir dentro de las incubadoras. En cualquier caso, a mi modo de ver, existe poca verificación periódica de este control. Tampoco debemos olvidar que los hospitales están habitados por pacientes, pero también por personal sanitario y técnico. En estos últimos, niveles excesivos de ruido se han asociado con un mayor estrés, pérdida de concentración y mayores niveles de error, lo que puede poder, sin lugar a duda, en situaciones de riesgo a algunos pacientes.

Aunque las actuaciones en los hospitales son, a mi modo de ver, muy menores, sí es cierto que algunos hospitales están realizando pequeños cambios. Además, en las nuevas remodelaciones de quirófanos y otras salas de atención médica, sí parece que el nivel sonoro esté siendo ahora un parámetro más a considerar en el diseño, cuando en el pasado no lo fue. Por último, en algunos recintos especialmente ruidosos por la naturaleza de su uso, como son los quirófanos de traumatología, se están probando técnicas de cancelación activa del ruido tanto para pacientes como para sanitarios, pero aún queda mucho trabajo por hacer.

6. En el último año la sociedad ha sido testigo de un proceso de cambio paradigmático en la ciencia, con la proliferación de sistemas de Inteligencia Artificial (IA), que están permitiendo identificar patrones y hacer eficientes muchos procesos. ¿Cree que estos nuevos sistemas pueden tener algún impacto en el uso de técnicas acústicas en el campo de la ingeniería biomédica?

La Inteligencia Artificial va a tener un impacto grande en este ámbito, como en casi todos los campos de estudio y de nuestras vidas. De hecho, en otros ámbitos

similares, como el de la imagen médica, la IA ya ha demostrado que puede ayudar a segmentar imágenes y determinar patrones con la misma precisión o mayor que un experto humano.

Es razonable pensar que algo similar ocurrirá con las señales acústicas que comentaba anteriormente, que se registran con un propósito de tratamiento o seguimiento de patologías cardíacas y respiratorias. Sin embargo, no se debe olvidar que la finalidad de las herramientas basadas en IA siempre será la de ayudar y dar soporte al facultativo, pero nunca de sustituirle. En este respecto, creo que este tipo de herramientas podrán realizar una labor muy interesante en cribados preventivos de la población, permitiendo estratificar a aquellos sujetos con mayor riesgo de sufrir determinadas patologías. En realidad, no estamos tan lejos de conseguir esta ayuda, que incluso es posible que ya se esté aplicando de forma supervisada en algunas áreas asistenciales muy concretas.

Por otro lado, ya se está incorporando también la IA al entrenamiento del personal clínico y sanitario, permitiendo la simulación de entornos y situaciones médicas hasta ahora difíciles de simular. Ello permite a los especialistas enfrentarse a situaciones complejas antes de tener que abordarlas en el mundo real, ganando una experiencia de valor incalculable.

7. Sobre su investigación en ingeniería biomédica, ¿están realizando actualmente alguna investigación que emplee señales acústicas? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué ámbito o aplicación deberíamos esperar avances?

Aunque es cierto que nuestro grupo trabaja más en el análisis de otro tipo de señales fisiológicas, estamos considerando el registro de señales acústicas del corazón en pacientes con una monitorización cardíaca prolongada. De hecho, recientemente hemos pensado en modificar algunos de nuestros monitores para incluir micrófonos que nos permitan captar tanto el ruido ambiente del entorno del usuario, como los sonidos del propio corazón.

Por otro lado, y aunque en un estado aún muy preliminar, estamos trabajando en otra línea de investigación relacionada con la acústica. En este caso, la finalidad es la de medir el nivel de ruido al que está expuesto el personal técnico de los recintos hospitalarios, con el fin buscar estrategias para reducir éste y mejorar la calidad de su entorno de trabajo. Esperamos que, en un futuro muy

cercano y, especialmente, cuando nuestros estudiantes del nuevo Grado en Ingeniería Biomédica que hemos puesto en marcha recientemente en la Universidad de Castilla-La Mancha se incorporen a los hospitales de nuestra región, podamos recabar los suficientes datos para dibujar un panorama lo más preciso posible y, entonces, poder plantear las medidas correctoras oportunas.

8. ¿Podría mencionar algún proyecto o iniciativa que ejemplifique bien, a su criterio, la colaboración estrecha entre la ingeniería biomédica y la acústica?

Me alegra poder afirmar que en España tenemos una investigación muy potente en este ámbito interdisciplinar. Aunque conozco diversas organizaciones o iniciativas interesantes, me gustaría destacar que existe una red de equipos de investigación trabajando en la aplicación médica de los ultrasonidos que está consiguiendo avances muy importantes. Esta red está consiguiendo, por ejemplo, obtener simulaciones ecográficas en tiempo real para entrenar a personal médico, pero también para facilitar el desarrollo de software de ayuda al diagnóstico clínico. También están haciendo avances tremendamente relevantes en la reconstrucción de imágenes por tomografía fotoacústica.

9. ¿Qué recomendación le darías a un joven biomédico o acústico que esté comenzando sus investigaciones en este ámbito interdisciplinar?

Voy a dar una recomendación totalmente basada en mi experiencia personal. Más allá de tener la formación académica y técnica necesaria para el desarrollo de la investigación en este ámbito, lo más importante es acercarse a los entornos clínicos y pasar mucho tiempo con el personal médico. En muchas ocasiones, el personal sanitario y los ingenieros tenemos maneras muy diferentes de pensar, por cómo es nuestro desarrollo profesional en el día a día. Por ello, estar con ellos el mayor tiempo posible es la única manera de entender las necesidades de este colectivo. No se debe olvidar que la principal finalidad del ingeniero biomédico es la de ayudar y dar soporte al personal clínico, con lo que hay que aportar soluciones convenientes a los problemas que les generan mayor interés. En resumen, el mejor consejo que puedo aportar es el de pasar mucho tiempo con el personal sanitario, para aprender a pensar como ellos y desarrollar las técnicas, protocolos y planes de actuación más apropiados considerando su forma de trabajar.



BARRERAS ACÚSTICAS QUE ABSORBEN CO²



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

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
MaríaJesus.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-UEG
<http://www.upv.es/contenidos/ACUSVIRT/>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



13° Congreso Iberoamericano de Acústica

FIA

2024

SANTIAGO-CHILE

www.fia2024.cl

2 al 4 de diciembre

[ABSTRACTS]

Marzo 2024

Primer llamado oficial
presentación de resúmenes

FIA

2024

SANTIAGO-CHILE

FIA 2024 - 2 al 4 de diciembre