

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

**FACULTAD
DE INGENIERÍA
UDELAR**

**EN COLABORACIÓN CON
LA ASOCIACIÓN
URUGUAYA DE ACÚSTICA**



ECOS

ISSN 2697-2913

**AÑO 6, VOL. 6, Nº 1
ENERO - JUNIO 2025**



REVISTA DE LA ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA
ISSN 2697-2913

**PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA – UdelaR, en
colaboración con la ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA**

<u>Consejo Editor</u>	<u>Tabla de contenidos</u>
Alice Elizabeth González (UdelaR, Uruguay) Editora Responsable Ana Abreu (UdelaR, Uruguay) Julieta António (Universidade de Coimbra, Portugal) Gustavo Basso (UNLP, Argentina) Héctor Campello Vicente (UMH, Elche, España) Fernando Elizondo-Garza (FIME - Universidad Autónoma de Nuevo León, México) Juan Cruz Giménez de Paz (Argentina) Ricardo Hernández Molina (Universidad de Cádiz, España) Federico S. Miyara (UNR, Argentina) Ismael Núñez Pereira (UdelaR, Uruguay) Dinara Xavier da Paixão (UFSC, Brasil) Jorge Patricio Fradique (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal) Diego Pablo Ruiz Padillo (Universidad de Granada, España) Nilda Vecchiatti (UBA, Argentina) Secretaría General: Carolina Ramírez (UdelaR, Uruguay)	<i>Artículos académicos</i> Recordaremos por siempre a Mario René Serra ----- 2 Revisión comparativa de la normativa internacional sobre exposición laboral a ruido. <i>Gonzalo Javier Barcia, Alice Elizabeth González</i> ----- 4 Primera transmisión de voz y música en 1878 durante el primer ensayo telefónico argentino. <i>Walter Alfredo Montano Rodríguez</i> ----- 16 El pasisaje sonoro de la Era pospandémica en Lima, Perú. <i>Walter A. Montano, Elena I. Gushiken Uesu</i> ----- 25 Esparcimiento de ondas en metamateriales acústicos. <i>Ana Abreu</i> ----- 36

Recordaremos por siempre a Mario René Serra



29/10/24... Día de luto para la Acústica en Argentina por la partida de Mario René Serra, a los casi 87 años, referente nacional e internacional en ese campo de la ciencia. Fue profesional, docente, investigador... y ...apasionado por la Acústica.

Ingresó al mundo de la Acústica siendo muy joven, formándose con el Prof. Ing. Guillermo Fuchs en el Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (CIAL) de la Universidad Nacional de Córdoba. Fue allí que, dando sus primeros pasos en ese mundo, se enamoró de esta rama de la ciencia, comenzando un camino de constante formación y perfeccionamiento. Pudo completar ese camino en los principales Centros de Acústica de distintos países de Europa, especialmente en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) (Instituto Federal Físico-Técnico) de Alemania, donde trabajó con destacados acústicos en temas como la conservación de la audición y contaminación sonora. Allí fue donde llevó

a cabo el desarrollo de dispositivos especiales, inexistentes hasta ese momento, para la medición y control de los elementos de protección auditiva, que rápidamente fueron incluidos en la normativa internacional. Desde entonces, y siempre en conexión con ese país, que lo apoyó y colaboró en su trabajo en el campo científico y técnico, llevó a cabo una lucha incansable en pos de la conservación de la audición. Lideró importantes investigaciones, dictó permanentemente cursos de formación e información, participó en innumerables eventos científicos y publicó en numerosas revistas nacionales e internacionales.

Merecen destacarse algunas cualidades que lo caracterizaban. Una de ellas, fue su generosidad con su propio saber. Le encantaba transmitir todo su *background* de conocimientos, acumulados a lo largo de sus años, para que pudieran ser de utilidad a quienes lo escuchaban, tanto en sus clases, conferencias,

charlas o asesoramientos. Nunca escatimó información.

Otra de sus cualidades a destacar fue su empeño en transmitir todo su saber a la comunidad a través de acciones que pudieran perdurar en el tiempo, por esa razón se dedicó de lleno a la elaboración de normas y ordenanzas que permitieran la regulación del ruido en los distintos tipos de ambientes y la protección auditiva. Para ello formó parte de la Comisión de Acústica del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), y en su propia ciudad, Córdoba, colaboró estrechamente con la Municipalidad mediante la elaboración de Ordenanzas para la regulación y control del ruido, como así también, con el dictado de cursos de formación para los profesionales que debían poner en práctica esas Ordenanzas. Fue miembro fundador de la Asociación de Acústicos Argentinos (AdAA) donde se desempeñó como vicepresidente y miembro durante toda su carrera científica, también fue miembro de la Acoustical Society of America (ASA) de los Estados Unidos de Norteamérica y participó en la creación de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) y dictó conferencias en sus congresos durante varias décadas.

Estas cualidades hicieron que rechazara el ofrecimiento de establecerse definitivamente en Alemania. Él quiso regresar a su propio país para entregar allí, con sencillez y dedicación, todo su saber. Y... fue en su propia ciudad donde participó en la creación del Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), actualmente Unidad Ejecutora de doble dependencia CONICET y Universidad Tecnológica Nacional, con sede en la Facultad Regional Córdoba. Esta última Institución, donde fue su primer Director desde 2000 hasta 2009, año en que se jubiló, formó a numerosos investigadores en Acústica en las áreas de acústica arquitectónica, electroacústica, control de ruido, metrología acústica, audiología y conservación de la audición. Aún jubilado continuó ligado a la Acústica contribuyendo permanentemente con sus aportes y experiencia.

Miembros del Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA) Unidad Ejecutora (UE) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Córdoba (FRC), Córdoba, Argentina

Revisión comparativa de la normativa internacional sobre exposición laboral a ruido

Comparative review of international regulations on occupational exposure to noise

Revisão comparativa das regulamentações internacionais sobre exposição ocupacional ao ruído

Gonzalo Javier Barcia¹; Alice Elizabeth González²

¹ Investigador independiente gjbarcia@gmail.com

² DIA-IMFIA, Facultad de Ingeniería, UdelAR

Resumen

El presente artículo analiza la normativa internacional sobre exposición laboral a ruido, centrándose en los límites máximos de exposición diaria, la tasa de intercambio, la respuesta temporal de la medición (Slow o Fast) y las diferencias regionales. Se comparan normas de Europa, Asia, África, Oceanía, Norteamérica y Sudamérica, presentando los datos en una tabla comparativa. Se identifican las similitudes y divergencias entre las regiones, destacando la importancia de una armonización global para proteger la salud auditiva de los trabajadores.

Palabras clave: exposición laboral a ruido, normativa internacional, normativa ocupacional, límite máximo de exposición diaria, tasa de intercambio

Abstract

This article analyzes the international regulations on occupational exposure to noise, focusing on the maximum daily exposure limits, the exchange rate, the time response of the measurement (Slow or Fast) and regional differences. Standards from Europe, Asia, Africa, Oceania, North America and South America are compared, presenting the data in a comparative table. Similarities and divergences between regions are identified, highlighting the importance of global harmonization to protect workers' hearing health.

Keywords: occupational exposure to noise, international regulations, occupational regulations, maximum daily exposure limit, exchange rate

Resumo

Este artigo analisa as regulamentações internacionais sobre exposição ocupacional ao ruído, com foco nos limites máximos de exposição diária, na taxa de câmbio, na resposta temporal da medição (Lenta ou Rápida) e nas diferenças regionais. São comparados padrões da Europa, Ásia, África, Oceania, América do Norte e América do Sul, apresentando os dados em uma tabela comparativa. São identificadas semelhanças e divergências entre regiões, destacando a importância da harmonização global para proteger a saúde auditiva dos trabalhadores.

Palavras-chave: exposição ocupacional ao ruído, regulamentações internacionais, regulamentações ocupacionais, limite máximo de exposição diária, taxa de câmbio

1. INTRODUCCIÓN

El ruido ha sido un contaminante tradicionalmente asociado al mundo laboral, ya en 1713 Bernardo Ramazzini describió en su obra “De Morbis Artificum Diatriba” cómo los trabajadores del cobre expuestos al ruido que generaba el golpeteo del martillo sobre el metal perdían la audición a través de los años. Sin embargo, no es hasta la revolución industrial, cuando se observa que el ruido es un factor de riesgo a tomar

en cuenta en la producción de alteraciones de salud de los trabajadores.

Es por esta afectación laboral que ha sido necesario su regulación, para lo cual se han determinado cuáles son las variables a analizar desde el punto de vista ocupacional:

- el nivel de exposición admisible
- el tiempo de referencia al que se refiere el nivel de exposición admisible
- la tasa de intercambio

- el nivel de pico, que actúa como un nivel de techo que no debe superarse en ningún caso.

El nivel de exposición admisible se entiende como un nivel sonoro continuo equivalente cuya duración es el tiempo de referencia que especifica la reglamentación en cuestión; cuando este tiempo no se especifica, entonces el nivel de exposición admisible debería interpretarse como un nivel de presión sonora instantáneo.

El tiempo de referencia es en general de 8 horas diarias, aunque hay dos de los casos que se presentan en que ese tiempo no se especifica; estrictamente, debería interpretarse que se trata de valores de techo, es decir que no deberían ser superados en ningún momento. Otra excepción a mencionar es un caso en que la jornada laboral tiene una duración diferente según se trate de horario diurno o nocturno.

Un aspecto a mencionar cuando se habla de exposición a ruido en ambiente de trabajo es el cálculo de la dosis. Son varias las normativas consideradas en donde se contempla la exposición “escalonada”, es decir, compuesta por varios períodos de exposición a distintos niveles de presión sonora. En tal caso, para tomar en consideración la totalidad de la exposición a lo largo de la jornada laboral, se debe realizar la suma de las razones que resultan de la totalidad de los valores C_i y T_i que se presentan a continuación.

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots$$

C_i indica la duración total de la exposición a un nivel específico de ruido y T_i indica la duración total de la exposición permitida a ese nivel (es decir, la que llevaría la dosis a un valor de 1 o de 100 %, según se trabaje en tanto por 1 o en porcentajes). Si la suma de las fracciones resultantes es mayor que la unidad o que el 100 %, entonces se debe considerar que la exposición total sobrepasa el valor límite admitido.

En los cálculos citados, se usarán todas las exposiciones al ruido en el lugar de trabajo que alcancen o sean superiores a un valor dado, que suele fijarse en 80 dBA cuando el $L_{AEx,T}$ es de 85 dBA.

La tasa de intercambio (exchange rate, ER) es el valor que hay que adicionar a un nivel de presión sonora para que pase a ser el nivel legalmente admisible para un tiempo mitad del anteriormente considerado. La posición que cada vez tiene mayor aceptación es la de tomar $ER = 3$ dB, puesto que la duplicación de la energía acústica se corresponde con un incremento de 3 dB. Sin embargo, hay todavía muchos países que mantienen el antiguo valor de ER

= 5 dB, aunque no se lo pueda defender con argumentos objetivos.

Por último, muchas regulaciones acotan también el nivel de exposición que no debe superarse en ningún momento, expresado como nivel de pico L_{peak} . El nivel de pico L_{peak} no se corresponde con el nivel máximo de una medición, ni tampoco con un nivel medido con respuesta impulsiva $L_{i,A}$ o $L_{i,C}$. Se trata de un valor “crudo” de presión sonora, que no pasa por un circuito de ponderación temporal rápido, lento ni impulsivo, es decir, no es un valor RMS (root mean squared) sino una expresión directa de la presión sonora que recibe el instrumento de medición. Se suele expresar en dBC o directamente en dBZ (es decir, sin ponderar; la escala Z corresponde a lo que antiguamente se llamaba escala lineal). El valor de L_{peak} representa la máxima presión sonora que puede alcanzar al oído y, por ello, su valor de comparación es el que se considera en la actualidad el umbral del dolor (140 dB o 200 Pa).

En este trabajo se presentan y comentan los valores que aparecen para cada uno de esos 4 parámetros en las normativas vigentes en algunos países, que se han agrupado según el continente a que pertenecen: países europeos, asiáticos, africanos, de Oceanía, norteamericanos y, finalmente, países latinoamericanos.

Un comentario que no debe omitirse se refiere al uso de ponderación lenta para las mediciones de niveles de presión sonora que se establece en la amplia mayoría de las normativas analizadas.

2. NORMATIVA INTERNACIONAL

2.1 Convenio 148 de la OIT

La protección contra la exposición a elevados niveles de presión sonora está instalada en la Organización Internacional del Trabajo desde la promulgación del Convenio 148 en el año 1977. Allí se establece la obligación, para los países que lo suscriban, de fijar valores límite de exposición y de efectuar la revisión periódica de los mismos. Introduce el concepto de Elementos de Protección Personal (EPP) y establece que se deben tomar las medidas técnicas u organizacionales “para eliminar los riesgos debidos a la contaminación del aire, al ruido y a las vibraciones en el lugar de trabajo”, tanto en instalaciones nuevas como existentes. Las disposiciones sobre ruido en el ambiente de trabajo que establece el Convenio 148 están actualmente en vigor únicamente en 44 países. Suecia y Ecuador fueron los dos primeros países del mundo en ratificarlo. Son muy pocos los países que ratificaron este Convenio en Latinoamérica, solamente 7, y 4 de ellos son centroamericanos: Ecuador (1978); Cuba (1980); Costa Rica (1981); Brasil (1982); Guatemala (1996); El Salvador (2022); y Uruguay, que lo ratificó el 5 de setiembre de 1988.

2.2 Reglamentación en distintos continentes

2.2.1 Países Europeos

La Unión Europea (UE) regula la exposición laboral a través de la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (6 de febrero de 2003) sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido). Toma en consideración dos parámetros: la exposición diaria o semanal a ruido (de 8 h o 40 h respectivamente) y presenta límites para cada uno de ellos. En cuanto a la exposición diaria, no debe pasar de $L_{A,eq,8h} = 87$ dBA.

La normativa de la UE (2003) no menciona en forma explícita la tasa de intercambio que adopta; solo a modo de ejemplo, se puede observar que el valor que se aplica en España y Portugal es de 3 dB.

La regulación británica sobre ruido ocupacional (2005) data de la época en que este país estaba incorporado a la Unión Europea, por lo que sus valores son idénticos. Tampoco Reino Unido indica la tasa de intercambio que considera para duplicar el tiempo de exposición en ambiente laboral.

En la Tabla 1 se presentan los valores relevados en los dos casos considerados.

Tabla 1. Resumen de valores vigentes en países europeos seleccionados

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
Unión Europea	Directiva 2003/10/CE	87	8 h diarias, 40 h semanales	140 dBC	--
Reino Unido	The Control of Noise at Work Regulations 2005	87	Diario o semanal	140 dBC	--

2.2.2 Países asiáticos

Entre los países asiáticos se han tomado cuatro casos como ejemplo: Japón, Hong Kong, Singapur y China. La normativa de Japón (2023) y de Singapur (2011) establecen idénticos valores: 85 dBA como límite de exposición para una jornada de 8 horas de trabajo, con una tasa de intercambio de 3 dB.

Sin desmedro de los valores establecidos para niveles expresados en banda ancha, Japón (2023) propone además ciertos límites por bandas de octava, asociados con una cierta duración en cada caso, con el objetivo de proteger la salud auditiva de los trabajadores (Tabla 2).

Adicionalmente, si los sonidos impulsivos tienen una duración de por lo menos 180 ms, se les asocia un nivel de pico de 140 dB; para duraciones inferiores, el nivel de pico se incrementa según una recta representada en un gráfico semilogarítmico. Por ejemplo, para una duración de 18 ms el nivel será de 145 dB y para 3 ms, el nivel de pico a considerar será de 150 dB. Japón

propone representar el nivel de los sonidos impulsivos con un valor expresado con respuesta impulsiva y escala de ponderación A, y establece un nivel 20 dB por debajo del nivel de pico si el número de impulsos a lo largo de la jornada es no mayor que 100. Por ejemplo, si el L_{peak} es de 140 dB, el nivel impulsivo correspondiente será de un máximo de 120 dBA, que luego se puede corregir a menores niveles de presión sonora si el número de impulsos es superior a 100; algunos de los valores que se leen en la curva correspondiente se han incluido en la Tabla 3.

Singapur (2011) no establece valores límite para L_{peak} . Por su parte, la normativa de Hong Kong fija el nivel de exposición diaria en 90 dBA pero sin expresar a qué período corresponde, por lo que estrictamente debería entenderse como un nivel máximo instantáneo a respetar en cualquier momento de la jornada laboral. Asimismo, establece el nivel de presión de pico en 140 dB. No se establece la tasa de intercambio.

La información mencionada se resume en la Tabla 3.

Tabla 2. Límites de exposición ocupacional por bandas de octava en dB, para ruido continuo o intermitente; normativa japonesa (basada en The Japan Society of Occupational Health, 2023)

Frecuencia central (Hz)	480 min	240 min	120 min	60 min	40 min	30 min
250	98	102	108	117	120	120
500	92	95	99	105	112	117
1000	86	88	91	95	99	103
2000	83	84	85	88	90	92
3000	82	83	84	86	88	90
4000	82	83	85	87	89	91
8000	87	89	92	97	101	105

Tabla 3. Síntesis de normativa sobre ruido ocupacional en países asiáticos seleccionados

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
Japón	Occupational Exposure Limits (2023–2024)	85	8 h diarias	Nivel impulsivo con respuesta Fast: 120 dBA hasta 100 impulsos por jornada; 100 dBA para 1000 impulsos; 90 dBA para 10.000 impulsos, 85 dBA para 100.000 impulsos por día	3 dB
Hong Kong	Cap. 59 T	90	--	140 dB	--
Singapur	No. S 424 Workplace safety and health (noise) - Regulations 2011	85	8 h diarias	--	3 dB

En el caso de China, según la Enciclopedia de la OIT (2011), la legislación de entonces tenía la particularidad de discriminar los tipos de fuentes de exposición asociados a la actividad y les asignaba distintos valores límites de exposición, y por otra parte según fueran instalaciones nuevas o existentes. A modo de ejemplo, se admitía 70 dBA para líneas de ensamblaje de precisión, talleres de procesamiento y salas de computación; 75 dBA para salas de servicio, observación y descanso; 85 dBA para nuevos talleres; y 90 dBA para talleres existentes. Esta normativa fue sustituida posteriormente por una nueva norma vigente desde 2018.

2.2.3 Países africanos

Entre los países africanos, se presentan los valores que imponen las normativas de Kenya (2010), Nigeria (2009) y República de Sudáfrica (2003). En este último caso, solamente se acota el nivel de exposición para 8 horas diarias, que se establece en 85 dBA. Ese mismo valor es el que tiene la legislación de Nigeria (2009), pero además agrega una tasa de intercambio de 3 dB y valores para acotar los niveles de pico, para los que da tres cotas: 120 dBA si ocurren hasta 10.000 impactos por día; 130 dBA si se trata de hasta 1.000 impactos

por día; y 140 dBA si ocurren hasta 100 impactos por día. Esto recuerda a la normativa de algunas jurisdicciones de Canadá (2023).

La normativa de Kenya (2010) impone un valor de 90 dBA para el nivel de exposición diaria para 8 horas de trabajo, y un valor de 140 dBA para el nivel de presión de pico, que implica admitir una presión sonora más elevada que en los casos en que se admite 140 dB.

En la tabla 4 se resume la información presentada.

2.2.4 Países de Oceanía

En este caso, se ha elegido la normativa de Australia (2011) y de Nueva Zelanda (2003). Ambas tienen el mismo límite admisible de 85 dBA como nivel de exposición para la jornada laboral de 8 horas. Australia agrega que se debe considerar una tasa de intercambio de 3 dB.

En cuanto a los niveles de presión de pico, aunque el valor numérico es el mismo en ambos casos, la presión sonora que admite Australia (2011) es levemente superior a la que admite Nueva Zelanda (2003), pues la unidad que ambos países emplean no es la misma: Australia admite un nivel de pico de 140 dBC, en tanto Nueva Zelanda admite 140 dB.

Esta información se presenta en la Tabla 5.

Tabla 4. Síntesis de normativa sobre ruido ocupacional en países africanos seleccionados

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
Kenya	The factories and other places of work (Noise prevention and control) rules, 2005 rev. 2010	90	8 h diarias	140 dBA	--
Nigeria	NESREA, National Environmental (Noise Standards and Controls) Regulations	85	8 h diarias	140 dBA hasta 100 impactos por día; 130 dBA hasta 1.000 impactos por día; 120 dBA hasta 10.000 impactos por día	3 dB
República de Sudáfrica	Noise-induced hearing loss regulations No. R. 307 – 7 March 2003	85	8 h diarias	--	--

Tabla 5. Síntesis de normativa sobre ruido ocupacional en países de Oceanía seleccionados

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
Australia	Work health and Safety Regulation 2011 Current as at 22 March 2024	85	8 h diarias	140 dBC	3 dB
Nueva Zelanda	Health and Safety in Employment Regulations, 1995	85	8 h diarias	140 dB	--

2.2.5 Países de América del Norte

En EE.UU. el organismo encargado de establecer los límites y criterios es la Agencia de Salud y Seguridad Laboral (OSHA) del Departamento de Trabajo de EE.UU. El reglamento actual está contenido en el documento OSHA 1910.95.

Estados Unidos está entre los pocos países que mantienen el nivel de exposición para 8 horas diarias en 90 dB con ponderación A, y la tasa de intercambio (es decir el valor que se debe sumar al L_{AEx} cuando el tiempo correspondiente se divide entre 2) en 5 dB. El valor que adopta para L_{peak} está en consonancia con el valor numérico que toma la Unión Europea y Reino Unido, pero Estados Unidos lo expresa en dB sin ponderación, por lo que estrictamente la presión sonora a que corresponde es algo inferior a la de los casos anteriormente mencionados. Para el caso de que se disponga de la caracterización del ruido en bandas de octava y no solamente en banda ancha (escala A), la normativa presenta un conjunto de curvas para relacionar los niveles admisibles en escala A y en las diferentes bandas de octava por un método que recuerda al de aplicación de los contornos de confort acústico: se debe trazar el espectro medido sobre el gráfico G-9 que presenta la normativa, y adoptar el nivel en escala A que se corresponda con la envolvente del espectro para determinar el tiempo de exposición admisible.

Otro hecho que merece ser mencionado es que una de las más prestigiosas referencias técnicas internacionales en materia de higiene laboral es la publicación bienal de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) en que se recopilan los valores de los TLV® (Threshold Limit Values). El TLV que propone la ACGIH (2016) es de 85 dBA para 8 horas de trabajo con una tasa de intercambio de 3 dB; además, establece un L_{peak} de 140 dBC. Tanto el nivel de exposición que recomienda como la tasa de intercambio difieren de los valores legales establecidos por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

La situación de Canadá es diferente, porque diferentes provincias y territorios pueden tener regulaciones diferentes a la normativa federal, que prevé un límite de exposición de 87 dBA para 8 horas de trabajo, con una tasa de intercambio de 3 dB (Tabla 6). El nivel de pico no está establecido a nivel federal, pero sí está acotado en muchas jurisdicciones. Sin embargo, se

describe como nivel de ruido de impacto o impulso, pero se acota como un valor de L_{peak} al que, en algunos casos, se le asocia un número máximo de impactos a lo largo de la jornada laboral.

En la tabla 7 se resume la información normativa de los dos países norteamericanos mencionados.

2.2.6 Países latinoamericanos

La realidad de los países latinoamericanos en cuanto a normativa de exposición a ruido en el ambiente de trabajo es muy diversa. No solo hay normativas de muy diferentes edades, sino que también son diferentes los parámetros que incluyen y los niveles que consideran admisibles.

Se relevó la normativa vigente en 20 países latinoamericanos (Tabla 8).

Entre la normativa relevada, se observa que la amplia mayoría tienen el valor de 85 dBA como nivel admisible para 8 horas de exposición. Las excepciones son, por un lado, México (2001) y Puerto Rico (2008), que admiten 90 dBA para ese período de tiempo y por otro, República Dominicana (2006) y Uruguay (2012), cuyo límite está fijado en 80 dBA. Hay sin embargo una diferencia importante entre estos dos últimos casos, que radica en que en República Dominicana ese valor corresponde al $L_{AEx,8h}$, en tanto para Uruguay no hay una duración asociada, por lo que correspondería considerar que es válido para cualquier exposición instantánea a lo largo de la jornada laboral.

Un aspecto que es interesante señalar es que la normativa de Costa Rica indica que la jornada de trabajo es de 8 horas en horario diurno y de 6 en horario nocturno; esta diferenciación no aparece en ninguna otra de las normativas analizadas.

En lo que refiere a la tasa de intercambio, hay 7 países que en sus documentos oficiales emplean un valor de 5 dB, 9 países que usan un valor de 3 dB, y 4 países - entre los que se cuenta Uruguay- que no dan información al respecto.

En lo que tiene que ver con el nivel de presión sonora de pico L_{peak} , 7 países no lo acotan, en tanto los restantes toman niveles que varían bastante no solamente en su valor sino en la unidad en la que están expresados. Así, aparecen niveles en escala Z o lineal, valores con ponderación frecuencial A y con ponderación frecuencial C.

Tabla 6. Niveles de exposición admisibles en varias jurisdicciones de Canadá (tomada de CCOHS, 2023)

Jurisdicción (federal, provincial, territorial)	Ruido continuo		Ruido de Impacto / Impulso *	
	Máximo nivel de exposición permitido para 8 horas (dBA)	Tasa de intercambio dB(A) ²	Máximo nivel de presión de pico dB (peak)	Máximo número de impactos
Canadá (Federal)	87	3	-	-
British Columbia	85	3	140	-
Alberta	85	3	-	-
Saskatchewan ⁴	85	3	-	-
Manitoba	85	3	-	-
Ontario ⁵	85	3	-	-
Quebec	85	3	140	-
New Brunswick	85	3	140	-
Nova Scotia ³	85	3	140	-
Prince Edward Island	85	3	-	-
Newfoundland and Labrador ³	85	3	140	-
Northwest Territories ⁴ ,*	85	-	140	100
Nunavut ^{4,*}	85	-	140	-
Yukon Territories	85	3	140	90

* En estos territorios, la normativa (Mine Health and Safety Regulations) referencia una tasa de intercambio de 3 dBA y un máximo nivel impulsivo de 140 dB.

² Cuando se usa una tasa de intercambio de 3 dB, por lo general no hay normativa separada para ruido de impacto / impulso. El nivel sonoro equivalente de exposición ($L_{A,ex}$) considera el ruido impulsivo del mismo modo que el ruido continuo o intermitente.

La normativa de ruido en varias jurisdicciones trata al ruido de impulso en forma separada del ruido continuo. Un abordaje usual es limitar el número de impulsos a un cierto nivel de presión de pico a lo largo de una jornada laboral. Los números exactos pueden variar levemente, pero generalmente las normativas que toman tasa de intercambio de 5 dB permiten 10.000 impulsos con una presión de pico de 120 dB; 1.000 impulsos a 130 dB; 100 impulsos a 140 dB, y ninguno por encima de 140 dB.

³ Las normativas en estas jurisdicciones no especifican valores, pero referencian los TLVs de la ACGIH.

⁴ Las normativas en estas jurisdicciones indican que por encima de un límite de exposición $L_{A,ex}$ de 85 dBA o para un nivel de ruido ocasional con límite 90 dBA, el empleador está obligado a proveer protección auditiva, capacitar a los trabajadores e implementar controles audiométricos. El nivel $L_{A,ex}$ establece el nivel de exposición total del trabajador promediado en una jornada entera de trabajo y ajustada a una exposición equivalente de 8 horas. Estas jurisdicciones tampoco permiten exposición sin protectores para niveles de presión sonora por encima de los 90 dBA. Aun cuando el nivel de exposición equivalente sea inferior a 85 dBA, si el trabajador está expuesto en cualquier momento a niveles de presión sonora iguales o superiores a 90 dBA, el empleador está obligado a tomar medidas de protección.

⁵ La normativa de ruido de Ontario exige que el empleador se asegure de que ningún trabajador esté expuesto a niveles sonoros mayores que el límite de exposición de 85 dBA promediado en el tiempo, medido en una jornada de trabajo de 8 horas. Los empleadores deben adoptar la “jerarquía de los controles”, que utiliza controles de ingeniería y prácticas laborales para proteger a los trabajadores y pone restricciones en el uso de dispositivos de protección auditiva por parte de los trabajadores.

Tabla 7. Síntesis de normativa sobre ruido ocupacional en países norteamericanos

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
EE.UU.	OSHA 1910.95	90	8 h diarias	140 dB	5 dB
Canadá (normativa federal)	Occupational Exposure Limits in Canada	87	8 h diarias	--	3 dB

Tabla 8. Síntesis de normativa sobre ruido ocupacional en países latinoamericanos seleccionados

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
Argentina	Decreto 351/79	85	8 h diarias	140 dBC	3 dB
Bolivia	NTS-002/17 Ruido	85	8 h diarias	--	3 dB

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
Brasil	NR 15 - Atividades e operações insalubres (actualización 2022)	85	8 h diarias	130 dB	5 dB
Costa Rica	Decreto N° 10541-TSS	85	8 h diurnas o 6 h nocturnas	--	--
Chile	Decreto 594/99	85	8 h diarias	95 dBC 140 dBC	3 dB
Colombia	Resolución 1792/1990	85	8 h diarias	--	5 dB
Cuba	Norma Cubana Obligatoria NC 871:2011 - Seguridad y salud en el trabajo — Ruido en el ambiente laboral — Requisitos higiénico-sanitarios generales	85	8 h diarias	Hasta 10 impactos en una jornada de 8 h: 140 dB; hasta 100, 130 dB; hasta 1000, 120 dB; hasta 10.000, 110 dB	3 dB
Ecuador	Decreto Ejecutivo 2393 (en proceso de revisión)	85	8 h diarias	$L_{impulse}$ 140 dB hasta 100 impactos por jornada; 135 dB hasta 500 impactos; 130 dB hasta 1000 impactos; 125 dB hasta 5000 impactos; 120 dB hasta 10.000 impactos por jornada de trabajo	5 dB
El Salvador	Decreto N°89 - Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo	85	8 h diarias	95 dBC	3 dB
Guatemala	Acuerdo Gubernativo Número 229-2014, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional	85	8 h diarias	90 dBA	3 dB
Honduras	Reglamento General de Medidas Preventivas de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales Reformado - Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04	85	8 h diarias	140 dB	5 dB
México	Norma Oficial Mexicana-NOM-011-STPS-2001	90	8 h diarias	--	3 dB
Nicaragua	Ley general de higiene y seguridad del trabajo N°. 618, aprobada el 19 de abril de 2007	85	8 h diarias	140 dBC	--
Panamá	Reglamento Técnico DGNTI-COPANT 44-2000	85	8 horas	--	5 dB
Paraguay	Calificación de Riesgos Laborales por Puestos de Trabajo para Paraguay. Anexo N° 1	85	8 h diarias	130 dB con respuesta Impulse o 120 dBC con respuesta Fast	5 dB
Perú	Decreto Supremo N° 055-2010-EM	--	--	140 dBC	--
	Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR	85	8 h diarias	--	3 dB
Puerto Rico	29 CFR Parte 1910 - Exposición ocupacional a ruido; enmienda de conservación de audición	90	8 h diarias	--	5 dB

	Documento	$L_{Aeq,T}$	T referencia	L_{peak}	Tasa de intercambio
República Dominicana	Reglamento de seguridad y salud en el trabajo Decreto Núm. 522-06	80	8 h diarias	140 dB	--
Uruguay	Decreto 143/012	80	--	--	--
Venezuela	Norma Venezolana COVENIN 1565:1995	85	8 h diarias	--	3 dB

En Cuba (2011), el nivel admisible está asociado al número de impactos en la jornada de trabajo. En la normativa de Chile hay dos valores para L_{Peak} , pero según reporta Barcia (2022) se trata de un error de redacción y solamente debe tomarse en cuenta el mayor de ellos, 140 dBC.

Paraguay y Ecuador (2003) indican que los valores que acotan son niveles impulsivos, que implican una ponderación temporal que ha sido derogada por la norma ISO-IEC 61672:2013: la respuesta impulsiva, que tenía un tiempo de ascenso de 35 ms y un descenso de 1 s. Esta respuesta implica considerar un valor RMS, por lo que conceptualmente no tiene un significado análogo al de L_{Peak} .

En Perú el valor de L_{AEX} está fijado por una Resolución Ministerial (2008) que no incluye el nivel de pico, pero éste está fijado posteriormente para el sector minero a través de un Decreto Supremo (2010) que establece su nivel en 140 dBC.

2.3 Reglamentación sobre ruido ocupacional en Uruguay y su evolución

2.3.1 Decreto 406/988

El 28 de junio de 1988 se promulga la Ley 15.965 que ratifica tres Convenios de la OIT, entre ellos el Convenio 148 de 1977. El primer reglamento de esta Ley había sido promulgado unos días antes, el 3 de junio de 1988, aunque como decreto reglamentario de la Ley 5.032 de 1914, Ley de Prevención de Accidentes de Trabajo.

El Decreto 406/988, “Reglamento de seguridad e higiene ocupacional. Seguridad laboral”, estableció por primera vez límites legales para la exposición a elevados niveles sonoros en el ambiente de trabajo. Así, en el Art. 14 del CAPITULO III - Riesgos Físicos, que los trabajadores ocupados en tareas con exposición a ruido de intensidad superior a 85 dB(A) deben ser sometidos a exámenes de Audiometría Tonal Liminar al ingreso a la función, como también en forma periódica, a efectos del diagnóstico previo de daños al oído según lo que determine la autoridad competente. Posteriormente, las premisas de este decreto fueron modificadas y a la fecha (2024) el nivel de presión sonora en ambientes de trabajo que rige en Uruguay es de 80 dBA, según lo establece el Decreto 143/012.

2.3.2 Decreto N° 321/009 – Reglamentación del Convenio Internacional de Trabajo N° 184 Sobre Seguridad y Salud en la Agricultura

Este decreto es el primero en Uruguay que establece un límite más restrictivo que el que entonces regía, de 85 dBA. Lo hace para un sector determinado, el sector agrícola. El nuevo límite es de 80 dB, sin especificar ponderación frecuencial; tampoco se establece a qué período de tiempo corresponde, por lo que debería entenderse que es de aplicación a cualquier trabajador del sector agrícola que esté expuesto a niveles de presión sonora que superen incluso instantáneamente el valor de 80 dB:

Artículo 47.- A los efectos de evitar las consecuencias perjudiciales del ruido sobre la salud de los trabajadores deberán tomarse las medidas administrativas (ejemplo: reducción del período de exposición al riesgo), de prevención técnica, eliminación o reducción de la intensidad de presión sonora en su fuente de origen o control de su propagación al medio ambiente con vistas a reducir dicho factor como agente causal de enfermedades y molestias. Se requerirá el uso obligatorio de medios de protección personal auditiva cuando el nivel de intensidad sonora del puesto de trabajo considerado sea superior a 80 dB y luego de haberse agotado las medidas anteriores o las mismas sean de muy difícil aplicación o ejecución debidamente demostrado ante la Inspección General del Trabajo y de la Seguridad Social.

A la fecha de promulgación de este decreto, posiblemente República Dominicana fuera el único país con un límite ocupacional de 80 dBA, aunque en ese caso se trata de un nivel de exposición $L_{AEX,8h}$, es decir, un límite para la exposición a ruido a lo largo de una jornada laboral de 8 horas.

El Decreto 321/009 está citado en los considerandos del 143/012, para regular a nivel nacional y en todo ámbito laboral el máximo nivel admisible de exposición laboral.

2.3.3 Decreto N° 143/012

El Decreto 143/012 marca un punto de inflexión en la reglamentación uruguaya sobre ruido ocupacional, al establecer en el art. 1 que se requerirá el uso obligatorio de medios de protección personal auditiva cuando el nivel de intensidad sonora del puesto de trabajo considerado sea superior a 80 dBA y derogar las

disposiciones hasta entonces vigentes del Decreto 406/988.

La redacción del decreto es similar a la del Decreto 321/009 en cuanto a que no especifica a qué período de tiempo se refiere el valor de 80 dBA, por lo que estrictamente debe entenderse que se aplica aun a niveles instantáneos. Desde este punto de vista, la normativa acaba siendo más exigente y con menos probabilidad de poderse cumplir que su equivalente de la República Dominicana.

2.3.4 Decreto N° 125/014 - Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción

Cuando se efectuó la revisión integral de decreto de seguridad e higiene ocupacional en la industria de la construcción, los niveles de presión sonora admisibles en el nuevo decreto debieron compatibilizarse con los del Decreto 143/012:

Artículo 373.- Cuando el nivel sonoro supere los 80 decibelios (A), será obligatorio adoptar las medidas necesarias a fin de eliminar o reducir el nivel sonoro en la fuente.

373.1. Cuando dichas medidas no logren reducirlo al valor máximo permitido, será obligatorio proveer al trabajador de protectores auditivos que aseguren la necesaria atenuación de acuerdo al nivel y características del ruido.

373.2 La curva de atenuación de los mismos deberá estar certificada bajo norma reconocida.

2.3.5 Vigilancia epidemiológica

En Uruguay el criterio de vigilancia está regulado según la Ordenanza MSP 145/009. Esta ordenanza establece un esquema de vigilancia de la salud de los trabajadores según su exposición a agentes físicos o químicos. En particular, en el caso de exposición a ruido establece una audiometría tonal anual para aquellos trabajadores expuestos a 85 dB¹ o más, límite que cambió a 80 dBA luego que el decreto 143/012 derogase el art. 12 del decreto 406/988.

El Banco de Seguros del Estado (BSE) clasifica los resultados de la audiometría según los siguientes criterios:

A- LABORAL (1) Trazado compatible con HIPOACUSIA PROFESIONAL bilateral y simétrico sin afectación de la zona de la palabra. En ese caso la resolución es remitir audiometría a BSE anualmente

B- LABORAL (2) Trazado compatible con HIPOACUSIA PROFESIONAL bilateral y simétrico con afectación de la zona de la palabra. En ese caso la resolución es quedar a cargo del servicio de hipoacusias ocupacionales del BSE para controles anuales.

C- NO LABORAL Trazado Alterado NO COMPATIBLE con la pérdida auditiva por exposición crónica a ruido nocivo. En ese caso la resolución es recomendar seguimiento por Otorrinolaringólogo del servicio asistencial

D- NORMAL Trazado dentro de límites normales (0 – 25 dB)

Nótese que, ante una hipoacusia laboral de tipo 2, el equipo de salud ocupacional del empleador deja de tener incidencia sobre la situación del trabajador, al pasar directamente a ser controlado por el Banco de Seguros del Estado. Esto además hace “desaparecer” al trabajador de los casos de hipoacusia que se declaran en la empresa, con lo que podría aparecer involuntariamente un subregistro de casos de hipoacusia laboral. Esto es lo que se estima puede estar sucediendo, dado que en las estadísticas del BSE aparecen únicamente tres (3) casos declarados de hipoacusias laborales para el año 2021 (BSE, 2021).

3. COMENTARIOS SOBRE LA NORMATIVA COMPARADA

La medición con respuesta lenta es adecuada cuando se trata de niveles de presión sonora calificables como estables, es decir, que varían en un intervalo no mayor que 5 dB; en este caso, trabajar con respuesta temporal rápida o lenta debería ser indistinto en cuanto a los niveles obtenidos. Sin embargo, cuando se trata de ruidos fluctuantes, esto deja de ser así: las rápidas variaciones de los niveles de presión sonora en sonidos fluctuantes deberían medirse con respuesta temporal rápida para evitar subestimar los niveles más elevados y sobreestimar los más bajos. En mediciones realizadas simultáneamente con respuesta rápida y respuesta lenta, las diferencias entre los niveles equivalentes que se obtienen pueden alcanzar incluso la decena de dB. Por ello, parece recomendable emplear la respuesta temporal rápida ya que, en caso de tratarse de niveles estables, no habrá diferencia apreciable con la medición con respuesta lenta, pero en el caso de sonidos fluctuantes, se logrará una representación de la realidad mucho más fidedigna que si se optara por medir con respuesta lenta.

El más bajo de todos los niveles de L_{peak} vigente en los países latinoamericanos considerados es 90 dBA, valor vigente en Guatemala (2014) y que parece por demás difícil de cumplir. Es posible que, a la hora de considerar los valores a colocar en la normativa, haya habido algún grado de confusión y se haya modificado el valor propuesto técnicamente, ya que guarismos

¹ En la Ordenanza n° 145 ref. n° 001 -3 -5137 – 2008 establece la realización de audiometría tonal anual para exposiciones a ruido

mayores a 85 dB (sin especificar escala de ponderación frecuencial).

como 90 dBA o 95 dBC (valor vigente en El Salvador) son demasiado bajos como niveles de pico, como para que su cumplimiento sea ya no sencillo sino posible en un ambiente de trabajo, y tampoco parecen tener mucho sentido como valores de L_{peak} a imponer con el objetivo de proteger la salud auditiva de los trabajadores.

4. A MODO DE SÍNTESIS

Si bien existe consciencia del ruido como contaminante físico con potencial de causal de daño a la salud de los trabajadores expuestos, no hay un criterio claro y homogéneo de su abordaje a nivel global en límites de exposición.

Las distintas normativas analizadas, tanto a nivel individual en algunos casos, como vistas en conjunto, muestran falta de rigor técnico en la temática por parte de quienes deben legislar al respecto lo cual sugiere, como mínimo, un abordaje incompleto del tema.

Llevado al caso específico de Uruguay, si bien la normativa desde el punto de vista de límites de exposición es una de las dos más exigentes de todos los casos analizados, resulta claramente incompleta en como falla en definir, elementos tan básicos como escala de ponderación, tasa de intercambio y niveles de exposición de ruidos de impulso, evidenciando claramente las carencias técnicas de nuestra legislación vigente.

BIBLIOGRAFÍA

- ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2016). *TLV Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos en el Ambiente de Trabajo*
- Banco de Seguros del Estado BSE. *Monitor de Enfermedades Profesionales* <https://institucional.bse.com.uy/inicio/servicios/monitor-accidentes-del/monitor-enfermedades-profesionales/monitores-anteriores/2021>, último acceso 11/5/24
- Barcia, Gonzalo Javier (2022). *Estudio epidemiológico de una población ocupacionalmente expuesta a ruido*. Tesis de Maestría presentada para la obtención del título de Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Uruguay, diciembre, 2022.
- BOE Boletín Oficial del Estado Español. *Real Decreto 286/2006, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido*. Ministerio de la Presidencia, «BOE» núm. 60, de 11 de marzo de 2006. Referencia: BOE-A-2006-4414
- Brasil. *Norma Regulamentadora No. 15 (NR 15) - Atividades e operações insalubres* (Atualizado em 12/12/2023 17h33). <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>
- Casal-Pardo B, Jasso-Gascón NE, Preciados-Sola R, Reinoso-García K. Pérdida auditiva y exposición laboral a ruido en minería: una revisión sistemática. *Med Segur Trab (Internet)*. 2022;68(266):36-55. doi: 10.4321/s0465-546x2022000100004
- CCOHS Canadian Centre of Occupational Health and Safety. *Noise. Occupational Exposure Limits in Canada*. Fact Sheet Last Revised 2023-07-17.
- Council of Australian Governments. *Work Health and Safety Act 2011*. Work Health and Safety Regulation 2011, Current as at 22 March 2024. <https://www.legislation.qld.gov.au/view/pdf/inforce/current/sl-2011-0240>
- Diário da República do Portugal, 1ª Série, N.º 172. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. *Decreto-Lei N.º 182/2006, de 6 de Setembro*, pp. 6584-6593. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/182-2006-539986>
- Diario Oficial de El Salvador en la América Central. *Decreto N°89 - Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo*. Tomo 395, Número 78, pp. 50-129. San Salvador, abril 2012. <https://www.salud.gob.sv/wp-content/uploads/2021/01/DE-DECRETO-89-DO-78-TOMO-395-30042012-REGLAMENTO-GENERAL-DE-PREVENION-DE-RIESGOS-EN-LOS-LUGARES-DE-TRABAJO.pdf>
- Ecuador. Decreto Ejecutivo 2393. *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores*. Registro Oficial 565 de noviembre de 1986, última actualización febrero 2003. Estado: reforma. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulaciones/2018-11/Documento_Reglamento-Interno-Seguridad-Ocupacional-Decreto-Ejecutivo-2393_0.pdf
- Estado libre asociado de Puerto Rico, Departamento del Trabajo y Recursos Humanos, Oficina de Seguridad y Salud en el Trabajo (OSHO). *PR-OSHO - 29 CFR Parte 1910 - Exposición ocupacional a ruido; enmienda de conservación de audición*, 2008.
- Estado Plurinacional de Bolivia, Ministerio de Trabajo, Empleo y Previsión Social (2017). *NTS-002/17 Ruido. Norma de condiciones mínimas de niveles de exposición de ruido en los lugares de trabajo*. <https://www.biotica-bo.com/wp-content/uploads/2020/03/NTS-002-Ruido.pdf>

- Federal Republic of Nigeria Official Gazette. NESREA, *National Environmental (Noise Standards and Controls) Regulations*. Vol.96 No 67, Government Notice No. 288, pp. B 1299-1318. <https://archive.gazettes.africa/archive/ng/2009/ng-government-gazette-dated-2009-10-19-no-67.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. Decreto N° 10541-TSS. *Reglamento para el control de ruidos y vibraciones*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=10349&nValor3=11071&strTipM=TC
- Guatemala. *Acuerdo Gubernativo Número 229-2014, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional*. Publicado en el Diario oficial 8/8/2014
- Hong Kong. *Factories and Industrial Undertakings (Noise at Work) Regulation* (Cap. 59 sub. leg. T), 28/04/2023. <https://www.elegislation.gov.hk/hk/cap59T>
- ISO-IEC 61672:2013
- Kenya Law Report, National Council for Law Reporting (2010). *The Occupational Safety and Health Act rev.2010, No.15 of 2007, The factories and other places of work (noise prevention and control) rules, 2005, L.N. 25/2005, Revised Edition 2010 (2007)*. Published by the National Council for Law Reporting with the Authority of the Attorney General pp. 185-190. [https://kenyalaw.org/kl/fileadmin/pdfdownloads/Acts/OccupationalSafetyandHealth\(No.15of2007\).pdf](https://kenyalaw.org/kl/fileadmin/pdfdownloads/Acts/OccupationalSafetyandHealth(No.15of2007).pdf)
- México. *Norma Oficial Mexicana-NOM-011-STPS-2001 – Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo Donde se Genere Ruido*
- Nicaragua. *Ley general de higiene y seguridad del trabajo N° 618, aprobada el 19 de abril de 2007*. [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/16624DBD812ACC1B06257347006A6C8C?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/16624DBD812ACC1B06257347006A6C8C?OpenDocument)
- Nueva Zelanda, Occupational Safety and Health National Office, Occupational Safety and Health Service. *Occupational Noise Exposure — Selection and Use of Hearing Protectors*, October 2003 Edition. <file:///C:/Users/Elizabeth/Downloads/3612WKS-2-noise-occupational-noise-exposure.pdf>
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba (NC). *Norma Cubana Obligatoria NC 871:2011 - Seguridad y salud en el trabajo — Ruido en el ambiente laboral — Requisitos higiénico-sanitarios generales*. <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2014/NC%201057%20a2014%2013p%20smt.pdf>
- OIT Organización Internacional del Trabajo (1977). *Convenio sobre el medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones)*, 1977 (núm. 148) http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C148
- OIT Organización Internacional del Trabajo. *Ratificación del C148 - Convenio sobre el medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones)*, 1977 (núm. 148). Consultado 30 de abril 2024. https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLLEXPUB:11300:0::NO:11300:P11300_INSTRUMENT_ID:312293:NO
- OIT Organización Internacional del Trabajo. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* (2011). <https://www.iloencyclopaedia.org/es/part-vi-16255/noise/item/755-standards-and-regulations>
- OSHA, USA Occupational Safety and Health Administration Occupational Safety and Health Standards, Part 1910 Subpart G “Occupational Health and Environmental Control”, Standard Number: 1910.95, “Occupational noise exposure”. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>
- Parlamento Europeo (2010). *Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido)* <https://www.boe.es/doue/2003/042/L00038-00044.pdf>
- Reino Unido de Inglaterra. *The Control of Noise at Work Regulations* 2005. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2005/1643/contents>
- República Argentina. *Decreto 351/79 del Poder Ejecutivo Nacional. Higiene y Seguridad en el Trabajo*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-351-1979-32030>
- República de Honduras, Secretaría de Trabajo y Seguridad Social, Dirección General de Previsión Social. *Reglamento General de Medidas Preventivas de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales Reformado - Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04*. Gaceta No. 30.253, octubre 2004. <https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/Honduras-REGLAMENTOGENERAL DE MEDIDAS PREVENTIVAS STSS 053-04.pdf>
- República de Panamá. Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección General de Normas y Tecnología Industrial (2000). *Resolución 506 – Reglamento Técnico DGNTI-COPANT 44-2000. Higiene y Seguridad Industrial. Condiciones de Higiene y Seguridad en Ambientes de Trabajo donde se genere Ruido*. Octubre 2000. <https://mici.gob.pa/wp->

- [content/uploads/2021/12/44rt-dgnti-copanit-44-2000-1.pdf](#)
- República Bolivariana de Venezuela. *Norma Venezolana COVENIN 1565:1995. Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación.* (3ª Revisión). https://www.medicinalaboraldevenezuela.com.ve/archivo/covenin/ruido/1565-1995_Ruido_ocupacional.pdf
- República de Chile. *Decreto Supremo 594/999. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.* <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766>
- República de Colombia. *Resolución 1792 de 1990 Ministerio del Trabajo - Ministerio de Salud y Protección Social.* <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=87427&dt=S%20>
- República de Paraguay. *Calificación de Riesgos Laborales por Puestos de Trabajo para Paraguay. Anexo N° 1.* <https://www.aduana.gov.py/uploads/archivos/Anexoriesgosidad.pdf>
- República de Perú. *Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico, Anexo 1.* https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/472127/Anexo_1-Norma_B%C3%A1sica_de_Ergonom%C3%ADa....pdf?v=1578090278
- República de Perú. *Decreto Supremo N° 055-2010-EM Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería.* <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2010/AGOSTO/DS%20055-2010--EM.pdf>
- República de Sudáfrica (2003). *Occupational Health and Safety Act. Act 85 of 1993. Noise-induced hearing loss regulations*, Updated to 7 March 2003. GoN R307, G. 24967 (c.i.o 7 March 2003). https://www.saflii.org/za/legis/consol_reg/nhlr356/
- República Dominicana, Ministerio de Trabajo, Dirección General de Higiene y Seguridad Industrial (2014). *Reglamento de seguridad y salud en el trabajo Decreto Núm. 522-06, octubre 2006.* ISBN: 978-9945-8841-9-7 <https://www.sismap.gob.do/GestionPublica/uploads/Reglamento522-06.pdf>
- República Oriental del Uruguay. *Decreto 406/988. Decreto N° 406/988 - Reglamento de seguridad e higiene ocupacional. Seguridad laboral* <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/406-1988>
- República Oriental del Uruguay. *Decreto 321/009*
- República Oriental del Uruguay. *Decreto 143/012. Fijación de medidas para evitar las consecuencias perjudiciales en la salud de los trabajadores, por la intensidad de la presión sonora (ruido).* <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/143-2012>
- República Oriental del Uruguay. *Decreto 125/014*
- República Oriental del Uruguay. *Ley 15.965*
- República Oriental del Uruguay. *Ordenanza MSP 145/009.* <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/institucional/normativa/ordenanza-n-145009-ordenanza-14509>
- Singapur, Government Gazette, Electronic Edition (2011). No. S 424/2011. *Workplace safety and health act (Chapter 354A), Workplace safety and health (noise) - Regulations 2011, Arrangement of Regulations.* <https://sso.agc.gov.sg/SL/WSHA2006-S424-2011>
- The Japan Society for Occupational Health (2023). Recommendation of occupational exposure limits (2023–2024). *Environ Occup Health Practice* 2023; 5, doi:10.1539/eohp.ROEL2023

Primera transmisión de voz y música en 1878 durante el primer ensayo telefónico argentino

First transmission of voice and music in 1878 during the first Argentine telephone test

Primeira transmissão de voz e música em 1878 durante o primeiro teste telefônico argentino

Walter Alfredo Montano Rodríguez

ARQUICUST, Depto. Técnico. Gualeguaychú, Argentina.

ORCID: 0000-0002-0059-5257 – Scopus Author ID: 57205127863

Correo de contacto: wmontano@arquicust.com

Resumen

En 1990 se publicó un libro sobre la historia de las comunicaciones en Argentina, el cual rescató del olvido que en febrero de 1878 se practicó un ensayo de telefonía en la ciudad de Buenos Aires, con aparatos totalmente contruidos en el país por dos inventores argentinos. Esa noticia fue aumentada con diversas fuentes de datos por parte de otros investigadores, pero se limitaron a narrar únicamente lo que aconteció ese día de la prueba pública. En este artículo se aportarán nuevos datos obtenidos en lo que publicó el diario La Prensa (utilizando copias digitalizadas), se describirán los acontecimientos que sucedieron antes y en los días siguientes a tan importante hecho histórico que son prácticamente desconocidos en el mundo, ya que sólo se encuentran contados en el diario mencionado. Aquí se ofrecerá (entre otros hallazgos históricos) una mirada completa de cómo se gestó el primer ensayo de un sistema telefónico vernáculo durante el cual se transmitió la voz y música, y que aparentemente fue utilizado en otras ciudades de Argentina.

Palabras clave: Acústica, Telefonía, Historia de la ciencia, Filosofía de la tecnología, Sonido.

Abstract

In 1990, a book was published on the history of communications in Argentina, which rescued from oblivion that in February 1878 a telephone trial was carried out in the city of Buenos Aires, with devices completely built in the country by two Argentine inventors. This news was augmented with various sources of data by other researchers, but they limited themselves to narrating only what happened that day of the public test. This article will provide new data obtained from what the newspaper La Prensa published (using digitized copies) the events that happened before and in following days of such important historical event will be described, which are practically unknown in the world, since they are only narrated in the aforementioned diary. Here we will offer (among other historical findings) a complete look at how the first test of a vernacular telephone system was created during which voice and music were transmitted, and which was apparently used in other cities in Argentina.

Keywords: Acoustics, Telephony, History of science, Philosophy of technology, Sound.

Resumo

Em 1990, foi publicado um livro sobre a história das comunicações na Argentina, que resgatou do esquecimento que em fevereiro de 1878 foi realizado um teste telefônico na cidade de Buenos Aires, com aparelhos totalmente contruídos no país por dois inventores argentinos. Essa notícia foi complementada com diversas fontes de dados por outros pesquisadores, mas estes se limitaram a narrar apenas o que aconteceu naquele dia da prova pública. Este artigo apresentará novos dados obtidos a partir do que publicou o jornal La Prensa (em exemplares digitalizados). Serão descritos os acontecimentos ocorridos antes e nos dias seguintes a tão importante acontecimento histórico, praticamente desconhecidos no mundo, pois só são narrados no referido diário. Aqui ofereceremos (entre outras descobertas históricas) uma visão completa de como foi criado o primeiro teste de um sistema telefônico vernacular durante o qual foram transmitidas voz e música, e que aparentemente foi usado em outras cidades da Argentina.

Palavras chave: Acústica, Telefonia, História da ciência, Filosofia da tecnologia, Som.

1. INTRODUCCIÓN

Mario Tesler es un investigador de la Biblioteca Nacional Argentina, y entre muchas de sus publicaciones, en 1990 escribió «La telefonía argentina. Su otra historia», en el cual salvó del olvido un invento argentino: El ensayo de la telefonía con recursos locales (Tesler, 1990), que se concretó públicamente el domingo 17 de febrero de 1878 en la ciudad de Buenos Aires.

Existen decenas de sitios en Internet (también libros y revistas) que resumen o extraen información de lo que escribió Tesler ‘adicionando datos’ de origen dudoso no verificable, sólo uno se destaca del resto porque reprodujo imágenes originales en las que se puede leer lo que escribieron otros medios de comunicación de aquella fecha (Sequeiros, 2017). Hasta hoy nadie ha investigado qué fue lo que sucedió en los días previos o subsiguientes, o de cuántas veces se repitió en ensayo del teléfono autóctono, seguramente porque no consultaron archivos o hemerotecas.

El autor de este artículo inició una pesquisa en 2018 y encontró pocos datos inéditos que ya fueron publicaron en dos artículos, y en esta oportunidad da cierre a la misma porque tuvo acceso al archivo digital del diario La Prensa (una empresa norteamericana posee los Derechos), y aquí se comparte un resumen de la mayoría de lo que se publicó en ese diario referente al ensayo de telefonía practicado en Argentina, mencionado en al menos en veintiocho fechas diferentes (la última es de agosto de 1878); reapareció una mención a este invento argentino en enero de 1881, cuando sus inventores solicitaron participar en la licitación para el desarrollo comercial de la telefonía en Argentina, convocada por la presidencia de la Nación.

De aquí en adelante cuando se utilice la palabra «diario» se estará haciendo referencia al diario La Prensa.

Nota. Las referencias con enlaces a este diario no se citan, porque sólo se acceden mediante suscripción a la empresa que posee los Derechos.

2. LA INVENCION DEL TELÉFONO Y SU PRIMERA PRESENCIA EN AMÉRICA DEL SUR

En el 2002 el Congreso de los EE. UU. puso fin a una disputa iniciada en 1876, otorgándole a Antonio Meucci (1808–1889) el reconocimiento de que él fue el primero en ensayar la telefonía en 1854 (LOC, 2022), ya que Meucci en 1869, 1870 y 1871 había presentado una *advertencia* de patente (*caveat* en inglés) porque no tenía el

dinero para pagar su inscripción (NYT, 1889, pág. 4), y al no haber tenido respuesta a su petición, años después pidió la devolución de sus documentos, y recién en 1876 le respondieron que los habían perdido y a pocos días de esa respuesta, le otorgaron a Graham Bell (1847–1922) la patente del teléfono para su explotación comercial, situación que provocó a que Meucci le hiciera un juicio de Derechos de Propiedad, el cual si bien la justicia a principios de 1889 le concedió la invención de la telefonía (Controversia, 1889, p. 20), nunca recibió el resarcimiento económico por su muerte en octubre de ese año, ni el reconocimiento de su invención finalmente dictada en 1892 (Ilustración, 1899, p. 414). El sistema de la telefonía se conoció mundialmente cuando Graham Bell lo presentó en la Feria Internacional de Filadelfia en julio de 1876, en ocasión del primer centenario de los EE. UU.

Respecto a Sudamérica, se encuentra que en 1877 en Brasil se instalaron las primeras líneas telefónicas, que usaron el cableado telegráfico de la ciudad de Río de Janeiro, para conectar una casa comercial –que vendía aparatos y novedades eléctricas cuyo propietario era Antônio Ribeiro Chaves– con el destacamento del Cuerpo de Bomberos, y él desarrolló su propio sistema de telefonía a finales de 1877 «quien fabricaba teléfonos según la descripción del periódico francés *La Lumière électrique*» (Fazano, 2012, pág. 8) (Do Vale Cabral, 2023, pág. 170).

3. DIFICULTADES DE LA INVESTIGACIÓN

En general se cree que la lectura de documentos antiguos digitalizados es algo sencillo pero no lo es, el autor tuvo varios inconvenientes: **(a)** El motor de búsqueda del sitio donde están digitalizadas las copias del diario, no lee correctamente los caracteres y no accede a toda la información posible; **(b)** la exposición del escáner es automática, por lo que algunas hojas quedaron con demasiada iluminación (ver Figura 1) y otras ennegrecidas por escasa luz; **(c)** no se encuentran todos los ejemplares, y de los que están disponibles algunos no poseen todas las hojas.

Es entonces que el autor tuvo que leer los ejemplares del diario desde 1878 a 1881 de a uno, a fin de encontrar información.

4. BREVES DATOS SOBRE CAYOL Y NEWMAN

Tesler en 2011 amplía la historia familiar de Carlos Cayol y Fernando Newman (Tesler, 2011) con datos que

no están en su libro de 1990, comentando que Cayol proviene de una familia de inventores; acerca de la fecha posible en que ambos comenzaron a trabajar juntos, Tesler establece que podría ser en 1876 cuando se presentaron para hacer la inspección de líneas telegráficas para la Policía, pero se encontró en el ejemplar del diario del domingo 22 de diciembre de 1872, que el gobierno argentino le concedió a Cayol y Newman una patente por una pila que mejoraba la de Leclanché (ver Figura 2), por lo que se está en condiciones de establecer que a ese año ya existía colaboración entre ambos.

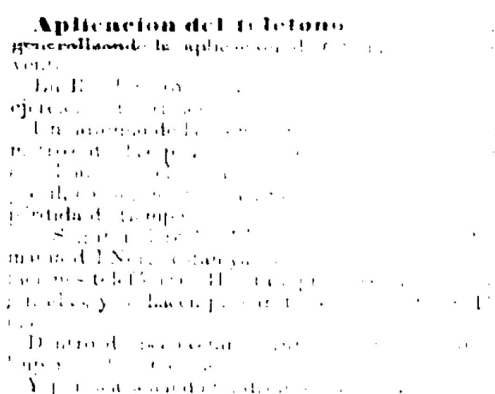


Figura 1: Digitalización de diario con sobreexposición de iluminación, que impide la lectura del texto

Patente de invencion —El Gobierno Nacional ha concedido patente de invencion por cinco años á los Sr. Carlos Cayol y Neumann por un aparato titulado «Pila Cayol y Neumann».

La novedad de este aparato consiste en sustituir en la pila de Leclanché, el vaso poroso por el carbon.

Figura 2. Patente de Cayol y Newman, 1872.

Respecto a la *Pila de Leclanché* era un tipo de pila seca (se considera como la primera) inventada en 1866, que fue utilizada en telegrafía y telefonía (Colegio, 2010); el cambio que ellos implementaron en Argentina, tal vez se debió a que al utilizar tecnología nacional, se evitaría el pago de alguna patente extranjera.

En la década de 1870 los medios de comunicación no se vendían en la calle sino que se distribuían por suscripción, y en una lista de ellos del diario (aparecida el 13 de octubre de 1873) figuran Cayol y Newman, con dirección en calle Del Cuyo 125 (es la actual calle Sarmiento de la Ciudad de Buenos Aires) donde tal vez se encontraba su taller.

Sobre las fechas de nacimiento o de defunción de Cayol o Newman, Tesler no ha brindado datos, y el autor encontró entre los avisos fúnebres del diario, que el 24 de

febrero de 1886 falleció un tal «Carlos Cayol» (no menciona su edad), y se podría especular que se trataría de la misma persona que hizo el ensayo telefónico, porque dada la trascendencia mediática y tecnológica que tuvo su trabajo, es de suponer que la noticia de su deceso fuese un tema de importancia periodística.

5. ENSAYO PÚBLICO DEL TELÉFONO

Hasta el momento no se han encontrado evidencias de cuándo Cayol y Newman comenzaron a experimentar con la telefonía, por lo que si el ensayo lo hicieron a principios de 1878 seguramente lo estuvieron probando semanas antes.

Las subsecciones siguientes, para ubicar mejor temporalmente la lectura, se identificarán con el mismo título que se usó en el diario para su columna periodística, y a continuación se menciona a qué día se corresponde dicha publicación.

5.1. Una maravilla de la ciencia

En la columna del 14 de febrero se da cuenta del invento de la telefonía (ver Figura 3), brindando dos datos relevantes: «No es el mismo aparato del inventor; pero es otro construido por el joven Cayol [...] El primer ensayo entre dos estaciones telegráficas se ha hecho aquí con buen éxito. Se prepara uno nuevo y grande ensayo», dejando en claro que ya se había probado anteriormente y que no es el mismo diseño que el sistema de Bell.

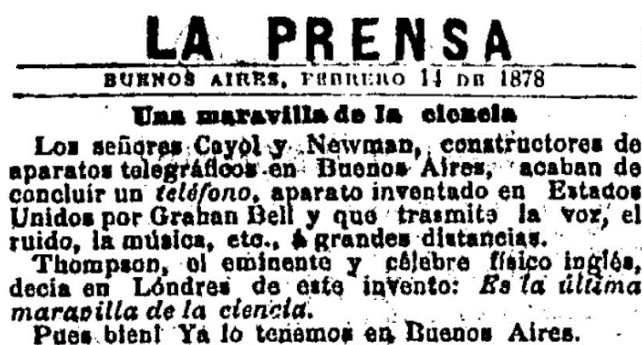


Figura 3. Extracto de la columna editorial que comenta sobre la telefonía, y de la futura presentación pública del teléfono.

En una parte del texto se insinúa que en Brasil había transmisión telefónica, y acerca del experimento que se realizaría en la redacción del diario comenta que «Vamos a ensayar la transmisión de los sonidos de varios instrumentos musicales, aparte de que se conversará, cantará. etc. entre dos estaciones establecidas a gran distancia»; el texto anterior tenía la intención de

diferenciar este invento argentino que fue de producción local, del sistema que se utilizó a fines de 1877 en Brasil (tal como se mencionó).

Acerca de los cables para la transmisión, sólo dice que colocarán unos adicionales hasta las líneas telegráficas (en esa época tenían núcleo de acero con poco cobre) de la policía, que las utilizarían para establecer la conexión entre los dos lugares elegidos para realizar el ensayo telefónico.

3.2 El teléfono en Buenos Aires

El 16 de febrero aparece un segundo artículo, donde se explica extensamente cómo se llevaría a cabo el ensayo del teléfono argentino, dando cuenta de los beneficios que tendrán las futuras conversaciones telefónicas; respecto al aparato diseñado por Cayol y Newman explica los resultados obtenidos del ensayo preliminar, diciendo que «es necesario aproximarlos al oído para escuchar bien la transmisión, pero el hecho es que esta se opera clara y perfectamente», agregando que «Las condiciones de esta audición son las siguientes: Mayor o menor intensidad según la potencia de los sonidos, de manera que se oye tal cual se produce».

Sobre la calidad apunta otra característica: «Conservación del timbre de la voz, de suerte que una persona conoce en el acto a la que habla, si antes han tenido relación»; es interesante cómo a través de lenguaje común explica el funcionamiento de la telefonía. Con relación al aparato telefónico, en la Figura 4 se extrae el comentario publicado.

Tiene la forma y el tamaño de una copa de Champagne sin base.
Lo que podría llamarse el tallo de la copa es hueco, así como la parte superior.
En esta se halla fijo un iman permanente. Sobre el iman se coloca un disco de metal (Bell usó una membrana) muy delgado, mas que un cobre y de un diametro de cinco centímetros.
Naturalmente el iman atrae el disco de hierro; pero la corriente eléctrica de trasmision llega al iman, le quita su propiedad y deja en libertad el disco ó membrana.
Esto es una vibracion y cada vibracion corresponde á una palabra ó á cualquier otro sonido.

Figura 4: Explicación del aparato telefónico fabricado por Cayol y Newman

Advierten la diferencia del elemento transductor utilizado por Cayol y Newman respecto al de Bell, esto no significa que el invento argentino era técnicamente superior, sino que Bell se encontraba en disputa legal con Elisha Gray por algunas patentes de su diseño, por lo que Bell estaba impedido en aplicar tecnologías diferentes, y el hecho de que Buenos Aires estaba a miles de

kilómetros de distancia de los ojos vigilantes de las patentes, tal vez condujo a que en Argentina se ensayara la combinación de diferentes diseños industriales, para obtener el mejor acoplamiento eléctrico-mecánico.

En la columna se aclara que Cayol y Newman: «creen concluir para mañana un nuevo teléfono de más potencia, para emplearlo en el gran ensayo», tal vez se referían a incrementar el voltaje de la batería, y de hacer experimentos de «prueba y error» que logran un mejor acoplamiento de impedancia entre los cables telegráficos y las bobinas de sus aparatos, ya que se encontraban a una distancia aproximada de 600 m: Uno en la redacción del diario en Moreno 109, el otro en la oficina del telégrafo de la calle Piedad 83 (hoy Bartolomé Mitre).

Finaliza compartiendo la larga lista de invitaciones que enviaron a científicos, empresas, políticos, personalidades, etc., y para que todos pudieran presenciar el ensayo —que se realizaría al día siguiente a partir de las 20.00 h— las personas se distribuirían en ambo sitios donde se ensayarían sus aparatos telefónicos.

Nota. Todos los ensayos de telefonía se realizaron a la noche, por lo que se conjeturan dos razones de esta acción, para tener la mínima distorsión posible: **(a)** Menor transmisión de telegramas, para que el ruido eléctrico de sus pulsos no enmascarara la señal del sonido; **(b)** temperaturas más bajas, que provocan a tener una menor resistividad de los cables y así poder transmitir la señal del sonido con mayor nivel eléctrico.

3.3 El programa del ensayo telefónico

El diario era de edición matutina, por lo que la columna del 17 de febrero da precisiones de lo que sucedería a la noche (ver Figura 5), y acerca de que probarán la transmisión de diversos sonidos destacan que «La música no ha sido aún transmitida telefónicamente en Sud-América» (en clara referencia al teléfono instalado en Brasil), y que invitaron para tal efecto a grupo musical nombrado como «Cuarteto» a que ejecuten la «Canzonetta del cuarteto op. 12 de Mendelshonn».

Es 1878 época que reinaba el positivismo científico del cual la Universidad de Buenos Aires no estaba ajena a ese pensamiento, por lo que era de esperar la evaluación del ensayo telefónico por parte de académicos, y el jurado (el Juri) quedó compuesto con las siguientes personas:

- Estación La Prensa: por el resultado general, el Ing. Luis A. Huergo y catedráticos de Física de la Universidad y Colegio Nacional, los ingenieros Emilio Rosetti y Bernardino Spelluzzi; por la música, D. Alejandro Paz.

- Estación de la calle Piedad: por el resultado general, el Jefe del Departamento de ingenieros de la Nación, Guillermo White, el Director del Telégrafo del Estado, Lorenzo B. Trant, y el Ing. telegráfico Rodolfo Warner; por la música, Dr. D. Salustiano J. Zavalía.

Carlos Cayol estaría a cargo de la dirección de las operaciones en La Prensa, y Fernando Newman a las de la estación en calle Piedad.

Esa columna sólo informa y comenta detalladamente las actividades que se harían esa noche en ambas estaciones, no hay descripciones técnicas.

3.4 El primer ensayo público del teléfono

El diario no salía los lunes porque la imprenta se armaba el día anterior y los domingos estaba cerrada, entonces el comentario de lo sucedido se publicó en la columna del martes 19 de febrero que se inicia así: «Tuvo lugar el Domingo esta fiesta de carácter científico, con un entusiasmo y un éxito dignos de la maravilla del siglo», y a continuación comenta que las pruebas de transmisión comenzaron a las cinco de la tarde sin éxito, y recién a las nueve menos cinco minutos [de la noche] iniciaron la ceremonia del ensayo público del teléfono.

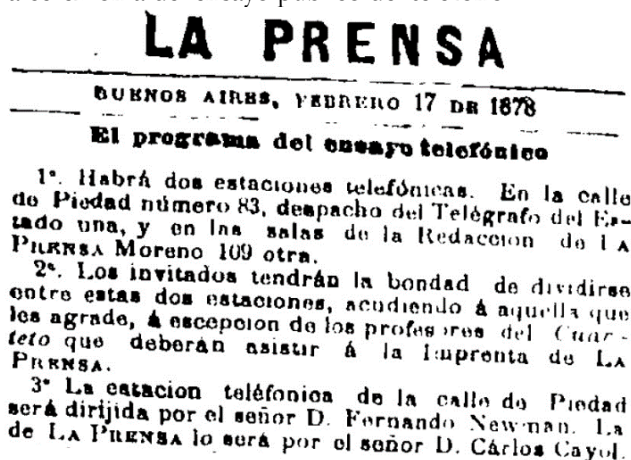


Figura 5. Extracto del programa de las actividades que se realizarían el 17 de febrero por la noche.

En la Figura 6 se comparten las primeras palabras de la conversación mantenida telefónicamente que se transmitió en Argentina frente al público.

Se comenta que en la redacción del diario estuvieron presentes 150 personas, las que se acomodaron entre todos los ambientes, y en un salón independiente había sillas sólo para los miembros del jurado; a la estación de calle Piedad concurrieron alrededor de 60 personas. En la columna se transcriben todos los diálogos mantenidos desde cada una de las estaciones y los sonidos que

se transmitieron: Conversaciones, silbidos, aplausos, gritos con «vivas y felicitaciones telefónicas a los señores Graham Bell, Carlos Cayol y Fernando Newman», piezas musicales (*Solo* de violines del cuarto acto de *La Africana* y *Fatasías*), cantos (*Lorelei* canción alemana), sonidos variados; el comentario cierra que muchas personas se turnaban para escuchar los sonidos por el tubo. La transmisión desde La Prensa culmina con el público cantando a coro una estrofa del Himno Nacional.

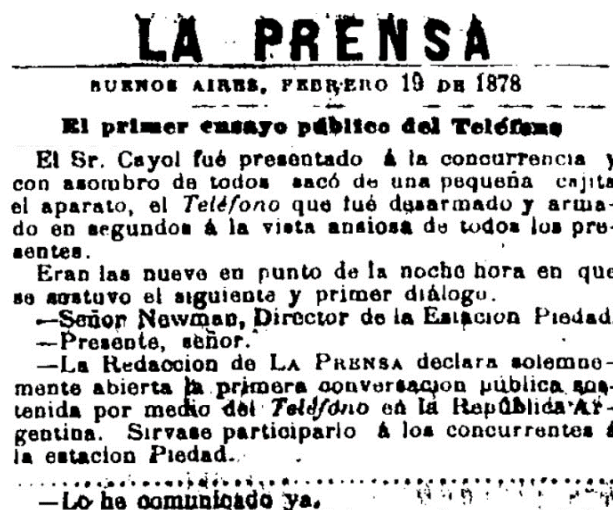


Figura 6. Extracto de la columna que da cuenta del resultado del ensayo telefónico.

Entre todos los beneficios, comentados por las personas que estuvieron durante el ensayo, de los que brindaría la tecnología telefónica en el futuro, uno se destaca del resto: Transmisión de los conciertos musicales que se realizaran en Europa para ser escuchados en directo en Buenos Aires.

Al final de la columna se transcriben los veredictos de los jurados:

- De la estación «La Prensa». Emilio Rosetti hace un largo comentario, diciendo que más allá del invento telefónico, estaba admirado por el esfuerzo de Cayol y Newman de construirlo «con los pocos datos que hasta ahora nos han llegado por las publicaciones científicas del otro hemisferio».
- De la estación «Piedad». El comentario de Luis Huergo a diferencia de Rosetti es escueto, dirigiéndose al director del diario escribió: «Puedo informar a Ud. como miembro del Juri, que ha dado los mismos resultados que los ensayados en Estados Unidos y Europa».
- Sobre la transmisión de sonidos musicales, Alejandro Paz apuntó que el ensayo resultó satisfactorio y que «el sonido llega al oído, como es usual,

amortiguado por la distancia como algo que se oye en sueños, pero es perfectamente perceptible»; Salustiano J. Zavalía indicó que los sonidos se escucharon bien tal cual fueron ejecutados por los instrumentos, y que esperaban los resultados de la respuesta de los teléfonos a mayor distancia.

Sugerencia de prueba pública del teléfono en los festejos del centenario del nacimiento de José de San Martín

Después que finalizaron el canto de la estrofa del Himno Nacional, el músico Alejandro Paz director del «Cuarteto» (y miembro del Juri), estaba a cargo de la música que se ejecutaría durante los festejos del 25 de febrero de 1878, que se harían en ocasión del centenario del nacimiento de José San Martín (INS, 2024), le pidió a Newman de utilizar el teléfono porque deseaba transmitir los discursos centrales de dicho festejo, desde la Plaza de Mayo —donde se haría el acto oficial— al teatro donde se haría una conferencia literaria y que «el Presidente transmita su voz para dar la orden al Jefe de la guardia de honor que ejecute el himno nacional»... deseo no fue llevado a cabo.

6. LOS MÚSICOS Y EL «CUARTETO»

La mención en el diario de la participación del «Cuarteto», en realidad se trata de la *Sociedad del Cuarteto* una famosa agrupación musical que se dedicó a divulgar la música de cámara, creado en 1875 por el destacado músico Edelmiro Mayer (1837–1897) el cual funcionó hasta 1882, y se considera que este cuarteto fue el primero en América Latina que ejecutó música de cámara (Hurtado Ramírez, 2023).

Acerca de los músicos que ejecutaron los instrumentos los integrantes del cuarteto el diario nombra a «los profesores Raigneri, Bomon, Gaito y Ghignatti», todos ellos eran famosos músicos emigrados de Europa que vinieron a la Argentina.

Después de una exhaustiva búsqueda cruzando y verificando datos de aquella época con investigaciones contemporáneas, a continuación se comparten los nombres correctos de estos músicos:

- **Emilio Rajneri** (no «Raigneri») violinista. Nacido en Italia en 1840 y fallecido en Paraná, Entre Ríos, en 1890; fue además un destacado empresario musical.
- **Enrique Bomon** (su nombre originalmente era Henri Beaumont) chelista, nacido en 1849 en Bélgica, fallecido en San Nicolás, Buenos Aires, en 1929.

- **Gaetano [Cayetano] Gaito** violinista, nacido en Nápoles en 1852 fallecido en Argentina en 1915; es el padre del famoso compositor Constantino Gaito.
- **Gaetano [Cayetano] Ghignatti** violista (180?, 187?), nacido en Italia y fallecido en Argentina; algunas veces mencionado también como violinista.

Acerca de Alejandro Paz no se encuentran muchos datos sobre su vida (salvo que fue compositor, profesor y músico), y de Salustiano José Zavalía, se trata de un periodista e influyente abogado, político y legislador nacional, y exdirector de la «Sociedad del Cuarteto» al momento de la prueba telefónica.

7. ENSAYOS POSTERIORES DEL TELÉFONO ARGENTINO

No se publicaron más columnas editoriales en el diario sobre el teléfono que construyeron Cayol y Newman, sino hay menciones esporádicas a que hicieron nuevos ensayos, o de solicitudes para la colocación de líneas, o de permisos para instalación en oficinas gubernamentales, siempre en textos cortos que aparecieron en la sección «Boletín del día» (ver Figura 7), que hoy los identificaríamos como *Tweets*; respecto a la transmisión de la música, era para que la gente la escuche de a una por vez con el tubo auricular pegado a su oído.

Buenos Aires, Sábado 23 de Marzo de 1878



Figura 7. Uno de los *Tweets* que comenta sobre un ensayo telefónico a practicar por Cayol y Newman [Nota. Conchas hoy es la localidad Tigre].

En varias publicidades posteriores aparecidas en el diario, aluden a ensayos que «se han extendido aquí hasta 42 leguas (del Salto a la Capital), y a 28 entre Villa María y Villa Mercedes».

Además de esa transmisión entre San Fernando y Tigre (se estiman unos 3 km de distancia), se mencionan otras dos conexiones: Entre el Departamento de ingenieros nacionales y la Municipalidad, para la

conmemoración del 9 de julio (aproximadamente 1,2 km); y entre una oficina comercial del centro con su depósito en La Boca (aproximadamente 5 km).

El último *Tweet* se publicó el 22 de agosto de 1878, y no hay más menciones en este diario sobre el teléfono de Cayol y Newman hasta enero de 1881, pero esto es otra historia porque se trata de la competencia comercial entre marcas y patentes internacionales para quedarse con el permiso del gobierno, de la implementación de la telefonía en toda la Argentina, de la cual el invento nacional no pudo competir contra las multinacionales.

8. PUBLICIDAD DEL TELÉFONO ARGENTINO COMO SI FUESE EL DE GRAHAM BELL

Tal vez entusiasmados por la aceptación que tuvo en el público local el teléfono fabricado por ellos, y de los ensayos adicionales que practicaron «el cual funciona satisfactoriamente», según sus propias palabras, decidieron comercializarlo; el 30 de marzo de 1878 aparece una publicidad en el diario (ver Figura 8) titulada «Teléfono de Graham Bell» (SIC), ofreciendo su sistema telefónico que constituye una clara situación de «publicidad falsa» o «publicidad engañosa», porque se trataba de un aparato fabricado por ellos, sin licencias de permisos ni de marcas ni patentes de empresas comerciales.

El texto es largo, y más que dar datos técnicos provee argumentaciones publicitarias difíciles de comprobar, tales como: «Los ensayos se han extendido (...) a 40 [leguas] en Chile entre Valparaíso y San Felipe», independientemente de la verosimilitud de las pruebas telefónicas ensayadas en Argentina a largas distancias, la de Chile es menos confiable porque en 1878 el traslado a dicho país se hacía en barco que insumía mucho tiempo el viaje, y teniendo en cuenta que la presentación pública de su teléfono había sido un mes antes, es de dudar que lo hayan probado en Chile. Ese aviso publicitario (como el de la Figura 8) apareció hasta mediados de junio de 1878.

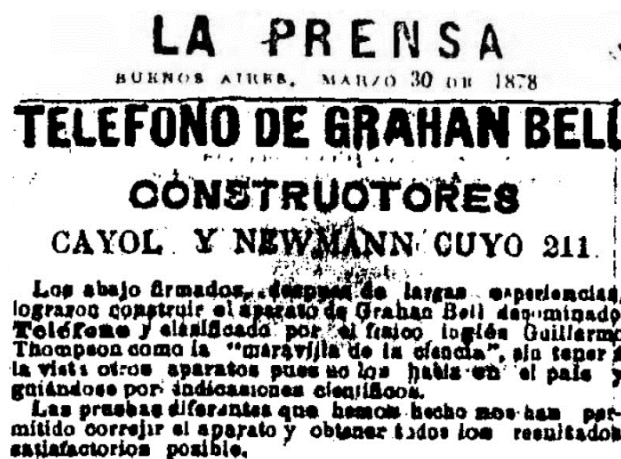


Figura 8. Extracto de la publicidad de Cayol y Newman ofreciendo su aparato telefónico.

9. ¿DESIDIA O INCOMPRENSIÓN ACADÉMICA?

Hasta el momento no se ha encontrado información sobre este acontecimiento social y tecnológico en los *Anales* de la Sociedad Científica Argentina, recién en abril de 1878 Emilio Rossetti publica un artículo titulado «Teléfono», en el que hace una breve reseña de la historia de la telefonía y un desarrollo técnico completo, pero no menciona el invento argentino (SCA, 1878, p. 215), siendo esto insólito (a criterio del autor) porque Rossetti fue una de las personalidades que certificó el funcionamiento del fabricado por Cayol y Newman; ese mismo artículo también fue publicado como columna en el diario el 13 de abril.

Tal vez a consecuencia de que en la Universidad de Buenos Aires no poseía laboratorios o talleres de práctica para física o ingeniería, el diseño de Cayol y Newman no fue perfeccionado por sus docentes, ni tampoco hay indicios de que integrantes de la Sociedad Científica Argentina hayan tenido voluntad de colaborar con ellos para mejorar su teléfono, ni técnica ni comercialmente, tal vez para no tener conflictos con los representantes legales de patentes extranjeras.

10. EL AMANECER DE LA ELECTROACÚSTICA ARGENTINA

Fernando Neumann y Carlos Cayol además de ser pioneros en la comunicación telefónica, a juicio del autor también podrían ser considerados como pioneros en la electroacústica, como los primeros «técnicos en sonido» de la Argentina, ya que:

- Conectaron cables con transductores para la transmisión eléctrica de las ondas sonoras, se preocuparon por obtener la mejor calidad del audio, y se animaron también a transmitir música ejecutada en vivo.
- Presentaron el 2 de septiembre de 1878 en la Sociedad Científica Argentina, un fonógrafo construido por ellos (Montano, 2022), constituyendo este hecho la primera grabación sonora en la Argentina.

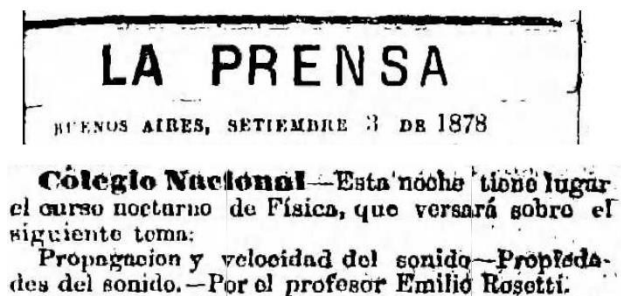


Figura 9. Clases de física del sonido, 1878

Tal vez motivado por el uso de esta nueva tecnología, se encuentra que el 3 de septiembre Rosetti dio una clase en el Colegio Nacional de Buenos Aires, sobre algunas propiedades de las ondas sonoras (ver Figura 9), clase que se repetirá en otras oportunidades.

11. CONCLUSIONES

Aquí se comentaron algunos de los hechos asociados al primer ensayo de la telefonía ocurrido en 1878 en Argentina, particularmente de lo que publicó el diario *La Prensa*, que a pesar de las dificultades mencionadas para encontrar datos en el repositorio digital, se pudo brindar una mejor idea y mayor precisión de lo que fue y lo que ocurrió antes y durante la presentación pública del ensayo de telefonía vernácula.

No se encuentran registros oficiales de que el aparato telefónico diseñado por Cayol y Newman haya sido patentado en Argentina, seguramente porque no se trataba de una invención original ya que ellos se preocuparon en adaptar tecnologías desarrolladas y registradas en otros países.

De esta investigación surge también otro hallazgo histórico: La transmisión en Argentina de música interpretada en vivo a través del teléfono ¿Será otro reconocimiento en deuda sobre este hecho social y tecnológico? Los músicos Rajneri, Bomon, Gaito y Ghignatti, integrantes del «Cuarteto» dirigidos por Alejandro Paz, en definitiva fueron parte de este ensayo tecnológico, la

primera transmisión eléctrica del sonido mediante la telefonía en Argentina.

Surge, además, otra pregunta retórica **¿Qué habría sucedido si ese teléfono argentino hubiese sido utilizado durante los festejos el centenario del nacimiento de José de San Martín?** Tal vez hoy sería conocido universalmente porque se debe recordar que para esas festividades, vinieron al país personajes de todo el mundo, pero también iba a quedar en evidencia que ese teléfono de producción argentina violaba patentes industriales.

El autor especula que los representantes en Argentina de las patentes telefónicas (a través de las compañías telegráficas) habrán interpuesto alguna queja o reclamo ante las autoridades, oponiéndose a validar el sistema telefónico de Cayol y Newman, porque es llamativo que abruptamente hayan dejado de escribir en ese diario sobre el teléfono desarrollado localmente, y que tampoco haya sido aludido en documentos de la Sociedad Científica Argentina ni de la época ni posteriores, y es gracias al libro de Mario Tesler que a partir de 1990, se rescataron del olvido los ensayos de la telefonía argentina.

Este hecho social y tecnológico que tuvo lugar en la ciudad de Buenos Aires en 1878 es importante difundirlo en el ámbito de la acústica, no sólo porque es parte de nuestro acervo científico sino también porque se trató del esfuerzo de personas que idealizaron una independencia tecnológica del país.

Al igual que otras investigaciones sobre un tema tan específico como el que se describió en este artículo, la indagación y búsqueda de datos adicionales tiene que hacerse en archivos físicos y/o microfilmados, que en general son de acceso restringido a causa de la protección de esos materiales, o esperar a que en el futuro existan repositorios con material digitalizado a libre disposición, tal vez sea posible actualizar la pesquisa aquí iniciada, por lo que seguramente se estará en condiciones de complementar lo que aquí fue compartido.

El autor es socio de la Asociación Uruguaya de Acústica (AUA) e integra la *Comisión de Archivos e Historia* de la *Acoustical Society of America* (ASA); también es miembro de la Asociación de Acústicos Argentinos (AdAA), y de la Sociedad Española de Acústica (SEA).

Agradecimientos. El autor quiere agradecer a editores y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo.

Responsabilidad. El autor declara que este artículo no tuvo fuentes de financiamiento externo, y fue escrito en sus tiempo libre; se declara también, que no hay conflictos de intereses y siempre se mencionan las fuentes de datos.

REFERENCIAS

- Colegio (2010) *Pila Leclanché*. Electricidad. Colegio de la Inmaculada, Jesuitas Gijón. <https://www.co-legioinmaculada.es/Laboratorio/leclanche.htm>
- Controversia, La (1889) *Extranjero*. Varias. Edición del 19/2/1889, Vol(III) 77. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=9689cfd-fc22-4e15-983b-82054ed49d1a>
- Do Vale Cabral, Alfredo (2023) *Guia do viajante no Rio de Janeiro. Acompanhado da planta da cidade, de uma carta das Estradas de Ferro do Rio de Janeiro, Minas e São Paulo e de uma vista dos Dois Irmãos no Rio de Janeiro Guia do viajante*. Edição revista e anotada por Luiz Carlos Ramiro Júnior. Rio de Janeiro. Fundação Biblioteca Nacional. https://www.gov.br/bn/pt-br/central-de-conteudos/producao/publicacoes/colecoes/guia-do-viajante-no-rio-de-janeiro/guia-do-viajante_digital-final-1-compressed-1-1-1-1.pdf
- Fazano, Carlos Alberto (2012) *Os anos pioneiros. A idade do elétron-100 anos de progresso na eletrônica no Brasil - XXXV. A Eletrônica em Foco (LI)621*. <https://issuu.com/aeletronicaemfoco/docs/abr-il?e=2595748%2F5943603>
- Ilustración artística, La (1899) *Exposición de Como*. N° 913, Barcelona. 26/6/1899. <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=68e74781-ded6-4d67-aa10-4ff566c58965&page=6>
- INS (2024) *El Centenario del Gran Capitán*. Instituto Nacional Sanmartiniano. Ministerio de Cultura. <https://sanmartiniano.cultura.gob.ar/noticia/el-centenario-del-gran-capitan/>
- LOC (2022) *Who is credited with inventing the telephone?* Technology. Science Reference Section. Library of Congress. <https://www.loc.gov/everyday-mysteries/technology/item/who-is-credited-with-inventing-the-telephone/>
- Montano, Walter Alfredo (2022) *Cayol y Newman inventores argentinos en 1878 del teléfono y fonógrafo. Enseñanza de audio en Argentina en 1887*. AES-LAC2022 Latin American Convention. http://argentina.aes.org/wp-content/uploads/2022/09/LLAC2022-5-02-Montano-Cayol-y-Newman-inventores-argentinos-en-1878-del-telefono-y-fonografo-Ensenanza-de-audio-en-Argentina-en-1887_V2.pdf
- NYT (1889) *Antonio Meucci*. Obituary. The New York Times, October 19, 1889.
- SCA (1878) *Telefonía*. Variedades. Anales de la Sociedad Científica Argentina. Tomo V, Entrega IV, abril de 1878.
- Sequeiros, J. C. (2017) *Y un día tuvimos teléfono (segunda parte)*. Blog Esa cultura frita (Café virtual). <https://esaviejacultura-frita.blogspot.com/2017/02/y-un-dia-tuvimos-telefono-segunda-parte.html>
- Tesler, M. (1990) *La telefonía argentina. Su otra historia*. Ed. Rescate. Argentina.
- Tesler, M. (2011) *Los familiares de Carlos Cayol y Fernando Newman*. Blog Buenos-Ayres. <http://serdebuenosayres.blogspot.com/2011/08/los-familiares-de-carlos-cayol-y.html>

El paisaje sonoro de la Era pospandémica en Lima, Perú

The postpandemic Era soundscape in Lima, Perú

A Era pós-pandemia da paisagem sonora em Lima, Perú

Walter A. Montano¹

Elena I. Gushiken Uesu²

¹ARQUICUST Laboratorio de acústica. Gualeguaychú, ER, Argentina. ORCID 0000-0002-0059-5257

²Gerente ARQUICUST. Presidente del Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú. ORCID 0000-0002-9893-9037

Correo de contacto: wmontano@arquicust.com

Resumen

Ya transcurrieron más de cuatro años desde la irrupción del virus SARS-CoV-2, cuyos efectos en la modificación temporaria en los factores ambientales están profusamente documentados, y desde el campo de la acústica lo que se suponía iba a ser el estudio del cambio en el paisaje sonoro durante una pequeña ventana temporal, resultó convertirse en prácticamente una subdisciplina, ya que al poder registrarse la gran disminución del ruido en las ciudades se pudo determinar cuán bajos podrían llegar a ser, y lo que se pensó que al finalizar las restricciones y encerramientos se recuperarían los niveles de ruido previos a la pandemia, resultó en que los paisajes sonoros ciudadanos muestran cambios en su contenido energético, porque si bien se están registrando los mismos niveles sonoros en dBA, se aprecia una modificación en el espectro en frecuencias. Los investigadores y especialistas en el estudio del paisaje sonoro desde fines del 2023, al advertir que esa característica se manifiesta en muchas grandes ciudades, han identificado esta nueva realidad con el nombre de *Era pospandémica*, es decir, paisajes sonoros existentes a posterior de la pandemia. En este artículo se presentará un primer análisis del ruido urbano en un distrito de la ciudad de Lima, Perú, desde esta nueva óptica de los paisajes sonoros pospandémicos, con mediciones que se vienen registrando ininterrumpidamente por más de cuatro años; también algunas reflexiones como resultado de la práctica profesional y la memoria colectiva respecto a una ciudad con bajo ruido.

Palabras clave: Ruido, Acústica, COVID-19, Paisaje sonoro, Postpandemia.

Abstract

More than four years have passed since the outbreak SARS-CoV-2, whose effects on the temporary modification of environmental factors have been extensively documented, and from the acoustics field, what was supposed to be the study of the change in the soundscape during a small-time window turned out to be practically a sub-discipline, since the big cities noise decrease could be registered. What was thought to be a return to pre-pandemic noise levels at the end of the restrictions and enclosures has turned out to be a change in the energy content of the urban soundscape, because although the noise in dBA levels are the same, there has been a change in the frequency spectrum. Researchers and specialists studying the soundscape since the end of 2023, noticing that this characteristic is manifested in many large cities, identified this new reality under the name of *postpandemic Era* i.e. soundscapes existing after the pandemic. This article presents a first analysis of urban noise in a district of Lima City, Peru, from this new perspective of post-pandemic soundscapes, with measurements that have been continuously registered for more than four years; also, some reflections as a result of professional practice and collective memory regarding a city with less noise.

Keywords: Noise, Acoustics, COVID-19, Soundscape, Postpandemic.

Resumo

Mais de quatro anos se passaram desde o surto do vírus SARS-CoV-2, cujos efeitos sobre a modificação temporária dos fatores ambientais foram amplamente documentados, e no campo da acústica, o que deveria ser o estudo da mudança na paisagem sonora durante uma pequena janela de tempo, acabou se tornando praticamente uma subdisciplina. A grande diminuição do ruído nas cidades pôde ser registrada para determinar o quão baixo ele poderia se tornar, e o que se pensava ser o fim das restrições e dos recintos que recuperariam os níveis de ruído anteriores à pandemia, acabou se revelando que as paisagens sonoras das cidades mostram mudanças em seu conteúdo de energia, pois, embora os mesmos níveis de som em dBA estejam sendo registrados, observa-se uma mudança no espectro de frequência. Pesquisadores e especialistas no estudo da paisagem sonora desde o final de 2023 identificaram essa nova realidade como *Era pós-pandemia*, ou seja, paisagens sonoras existentes após a pandemia. Este artigo apresentará uma primeira análise do ruído urbano em um distrito da cidade de Lima, Peru, a partir dessa nova perspectiva de paisagens sonoras pós-pandêmicas, com medições que foram registradas continuamente por mais de quatro anos; também algumas reflexões resultantes da prática profissional e da memória coletiva de uma cidade com baixo ruído.

Palavras chave: Ruido, Acústica, COVID-19, Paisagem sonora, Postpandemia.

1. INTRODUCCIÓN

La aparición de la COVID-19 afectó todos los aspectos de la vida en general y la humana en particular, y la naturaleza fue indirectamente beneficiada por un breve lapso de tiempo, porque los contaminantes atmosféricos químicos y físicos de origen antropogénico redujeron sus niveles, estableciendo ‘nuevos’ ambientes que duraron poco tiempo que, para el caso de las ciudades, la disminución del tráfico ferroviario, aéreo, marítimo y automotor, conllevó a una reducción de los niveles de presión sonora del ruido, y por consiguiente la aparición de un paisaje sonoro distinto dominado por un bajísimo nivel de ruido de fondo, que motivaron cambios en la percepción y a posterior del fin del encierro, se están produciendo cambios en las actividades humanas que están repercutiendo en los entornos acústicos, que están dando inicio a una Era post pandemia COVID.

En mayo de 2023 la OMS declaró que el mundo ingresó a la Era post COVID (WHO, 2023), después de tres años durante los cuales la gente estuvo aislada primero, para recuperar gradualmente el ritmo laboral, social y de ocio que tuvieron antes de la pandemia después, pero no se regresó a lo mismo ya que el encerramiento produjo modificaciones conductuales en las personas, por lo que si bien hay un retorno a la normalidad (como en algún momento se sostuvo), en todo el mundo se estaba viviendo una «nueva normalidad».

En este artículo se comentarán dos situaciones que podrían estar delineando el escenario acústico dentro de lo que sería la Era post COVID en la ciudad de Lima, Perú, uno es el que particularmente se manifiesta en el distrito Magdalena del Mar, que al estar en la cercanía donde los aviones que despegan del aeropuerto internacional hacen una curva para salir de Lima, esta zona urbana está parcialmente afectada por el ruido de los sobrevuelos de aeronaves; el otro es la percepción subjetiva de muchas personas frente al ruido, dentro de sus viviendas, a posterior del encerramiento, comportamiento observado empíricamente en la práctica profesional en temas de mitigación de ruido molesto proveniente de instalaciones HVAC.

Los autores quieren apuntar que si bien se conoce que la ciudad de Lima es la capital del Perú, se remarca esto en el título para evitar confusiones con las ciudades estadounidenses que comparten también el nombre «Lima».

2. NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL INFLUENCIADOS POR EL SOBREVUELO DE AERONAVES EN UN DISTRITO DE LIMA

A raíz de que Lima no tiene redes de monitoreo de ruido ambiental, a fines de febrero del 2020 los autores colocaron un *sensor de ruido* en una azotea, en condiciones de campo libre, del tercer piso de un departamento –ubicado casi al centro de la manzana– en Magdalena del Mar uno de los 43 distritos de la ciudad Lima, que si bien está a 7,5 km de distancia en línea recta del extremo de la pista del Aeropuerto Internacional de Lima (ver Figura 1), esta localización se encuentra próxima a la zona geográfica donde los aviones hacen una curva para ingresar al océano Pacífico para dejar la ciudad, por lo que el ruido derivado a causa del sobrevuelo de esas aeronaves, constituyen una fuente adicional de ruido ambiental, es decir, son parte del paisaje sonoro de esta urbanización.



Figura 1: Ubicación de la estación de monitoreo de ruido. Magdalena del Mar, Lima

En la Figura 1 se observa que hacia la izquierda de la pista señalada se está construyendo una nueva, que se prevé su puesta en funcionamiento a mediados del 2025; entonces, es probable que el nivel de ruido que será percibido en tierra sea mayor que el actualmente registrado, por lo que todo lo que se viene midiendo, analizando y estudiando hasta ahora será de vital importancia a futuro, en el sentido de que se podrá comprobar objetivamente el incremento del nivel de la presión sonora, que marcará un nuevo paisaje sonoro en este distrito urbano.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del sensor de ruido

El sensor de ruido registra de forma continua el nivel sonoro, transmitiéndolo vía Wifi a una nube alojada en Barcelona, tratándose del modelo **TA120** fabricado en Barcelona, España (CESVA, 2024), que posee un micrófono y procesamiento acústico que cumplen con la precisión de un sonómetro Clase 1, según Norma IEC 61672-1 (IEC, 2013), satisfaciendo además los protocolos WELMEC.

El sensor mide el nivel sonoro ponderado A (*Fast* o *Slow* a elegir) por cada segundo ($L_{Aeq,1s}$) y el ponderado C por cada minuto ($L_{Ceq,1min}$), los datos pueden descargarse de la nube en formato *.csv a través de la plataforma en-línea *Noise Platform*®. La gran cantidad de datos almacenados a posterior se procesaron con un programa modular por medio de rutinas en C# bajo el .NET framework (los autores diseñaron los procedimientos y funciones, otra persona escribió los códigos) cuyos algoritmos están diseñados *expresamente* para procesar los datos registrados con la normativa legal de Perú y la europea, considerando las formulaciones contenidas en las Normas ISO 1996.

Los autores aclaran que el monitoreo de ruido no tiene ni tuvo como objeto analizar específicamente el impacto sonoro proveniente de aeronaves, ya que para ello se debe utilizar el indicador de ruido L_{ASmax} (ISO, 2009), y para este monitoreo se eligió el modo *Fast*, por lo que se considera ese tipo de ruido como un componente más del paisaje sonoro.

3.2. Periodos de medición del paisaje sonoro

El monitoreo de ruido ambiental tiene dos periodos bien diferenciados:

- Antes y durante el encerramiento, entre el 1° de marzo y 30 de junio del 2020.
- A partir de la primera apertura el 1° de julio del 2020, durante todas las fases de de-escalamiento, hasta hoy día.

Las mediciones y análisis de los cambios en el paisaje sonoro registrados durante el primer periodo están publicados en el *Journal of the Acoustical Society of America* (Montano & Gushiken, 2020), cuyos resultados no pueden ser correlacionados directamente con los del segundo, porque se tuvo que trasladar de lugar el sensor de ruido, que a pesar de que fue a menos de 500 m de distancia, el entorno a la nueva ubicación es un poco distinto.

3.3. Índices y descriptores de ruido utilizados en el estudio

La legislación de Perú en materia de ruido ambiental es del 2003, y a más de veinte años de su publicación todavía no se ha publicado su reglamentación, sólo

establece valores de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) a cumplir por zonificaciones urbanas en dos periodos horarios: Diurno entre las 07:00 y 22:00 h, nocturno entre las 22:00 y 07:00 h (PCM, 2003).

A raíz de que el monitoreo del nivel sonoro que se viene realizando desde marzo del 2020, en este distrito de Lima, debe tener trazabilidad con los que se realizan en otros países, se concluyó que el índice L_{den} es el adecuado para comunicar los niveles de ruido registrados, así de esta manera tener un parámetro de evaluación y comparación internacional, ya que dicho índice para valorar el ruido ambiental a largo plazo tiene décadas de aplicación. En (1) se presenta el *índice* o *indicador* del ruido ambiental día-tarde-noche según (EU, 2002) (ISO, 2016):

$$L_{den} = 10 * \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

Los intervalos horarios elegidos son los utilizados por la Unión Europea, y los niveles sonoros están expresados en decibeles ponderados en frecuencia A (dBA), donde:

- L_{den} es el *indicador* de ruido día-tarde-noche, asociado a la molestia global, en el intervalo de 24 horas;
- L_{day} *indicador de ruido día*, es el nivel sonoro continuo equivalente en el intervalo horario entre las 06:00 y 18:00 h;
- $L_{evening}$ *indicador de ruido tarde*, es el nivel sonoro continuo equivalente en el intervalo horario entre las 18:00 y 22:00 h, penalizado con 5 dBA;
- L_{night} *indicador de ruido noche*, es el nivel sonoro continuo equivalente en el intervalo horario entre las 22:00 y 06:00 h, penalizado con 10 dBA.

En este artículo se utilizarán las siguientes funciones estadísticas:

- Nivel sonoro percentil**, el 90 (simbolizado $L_{A90,T}$) –que se calcula mediante el percentil estadístico 10th– no existe consenso mundial pero se lo considera como representativo del *ruido de fondo*; el 10 (simbolizado $L_{A10,T}$) –que se calcula mediante el percentil estadístico 90th– no existe consenso mundial pero se lo considera como representativo del promedio de los máximos.
- Cajas y bigotes**, es una herramienta importante para realizar análisis especiales, para este caso las cajas indican la distribución de los niveles sonoros que se ubican en el 50% de los registrados mensualmente, en cada caja la línea indica la mediana y la cruz la media, los puntos

que estén arriba o abajo se consideran valores atípicos que están más lejos de 1,5 veces de los valores del L_{Aeq} intercuartiles.

- c. **Tendencia**, es útil para extraer un patrón subyacente de comportamiento del nivel sonoro en la historia temporal que de otro modo estaría parcial o casi completamente oculto por la fluctuación de los niveles sonoros.
- d. **Básicos**, como el desvío, variancia y mediana.
- e. **Distribución normal**, es una distribución de probabilidad que es simétrica con respecto a la mediana, gráficamente se presenta con una «curva de campana» (o aproximadamente acampanada), mostrando que los datos cercanos a la mediana ocurren con mayor frecuencia que aquellos alejados. Para el caso del ruido ambiental es ilustrativa de cómo se distribuye la densidad de los niveles sonoros de una medición.

4. PAISAJE SONORO A POSTERIOR DE LA PRIMERA APERTURA

Tal como se mencionó el sensor de ruido tuvo que ser relocalizado (ver Figura 2), en un momento coincidente con el inicio de la tercera fase de la reactivación económica en Perú el 1° de julio del 2020.



Figura 2: Ubicación del sensor de ruido **TA120** desde el 1° de julio del 2020 a la fecha.

Las situaciones sociales durante las olas de la pandemia posteriores a esa tercera fase dependieron de muchos factores, además de las regulaciones sanitarias. También influyeron los sistemas y capacidades de atención de la salud, y los cambios permanentes en los horarios de los toques de queda nocturnos produjeron cambios en las personas porque, en días laborables, tenían que regresar a sus

viviendas a tiempo o debían movilizarse de madrugada, lo que dio lugar a alteraciones del ritmo normal de comportamiento, de expectativas, de preferencias y de actitudes sociales.

Esto generó una falta de relación coherente, al menos en la ciudad de Lima, en la variación de los niveles sonoros durante el día (ver Figura 3) o de la noche (ver Figura 4), es decir, ascendieron y descendieron sin manifestar un patrón modelable, cuyo comportamiento se observa mejor a través de su curva de *Tendencia*.

Acerca de los niveles sonoros tarde ($L_{Evening}$) no se muestra su evolución mensual, porque fluctúan en el intervalo de $55 \pm 1,7$ dBA y no suministra información relevante para analizar el comportamiento del paisaje sonoro.

Respecto a la curva de *Tendencia*, en ambas gráficas están asociadas a los valores del L_{Aeq} mensual y modelada con su media móvil.

Los gráficos de caja y bigotes que agrupan los niveles sonoros L_{Day} (Figura 3) y L_{Night} (Figura 4) ilustran la variabilidad (o dispersión) de todos los valores del nivel sonoro registrado en cada mes, indicando además los valores atípicos que se presentaron, y de cuán asimétricos fueron los niveles sonoros durante los diferentes periodos de tiempo en los cuales las autoridades sanitarias de Lima impusieron medidas de restricción para la circulación de personas en la calle, o de toque de queda nocturno.

En las subsecciones siguientes se hace un breve análisis de los niveles sonoros equivalentes por cada mes.

4.1. Análisis de la evolución mensual del L_{Day}

A partir del 1° de julio de 2020 en Perú se abrieron para el horario diurno las actividades comerciales no-esenciales, pero como hubo limitaciones de circulación (se requería de un permiso para ello) las calles estaban casi vacías, por lo que los vehículos circulaban a alta velocidad conllevando a que los niveles sonoros sean altos en un rango de hasta 15 dBA. Es interesante observar cómo el L_{Day} se reduce paulatinamente, a medida que las restricciones al movimiento de personas a consecuencia de las olas de contagio por la pandemia de la COVID-19 se imponían, hasta llegar a los niveles de ruido más bajos que tuvieron lugar durante la Semana Santa del 2022, que a partir de abril se incrementan nuevamente. De julio a octubre del 2022 la estación de monitoreo registró ruido proveniente de una demolición y excavación para la construcción de un edificio, por lo que esos valores deben considerarse como atípicos.

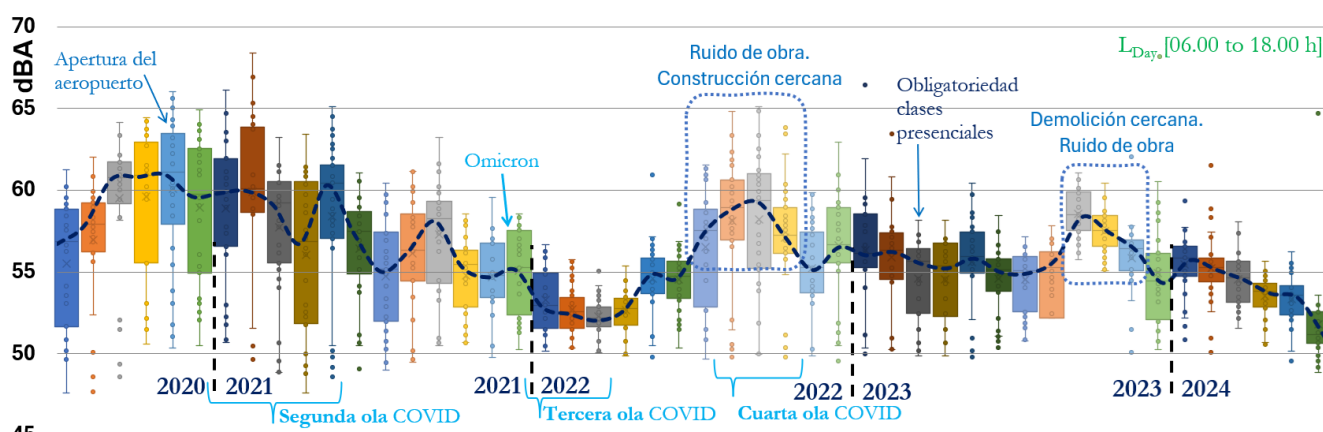


Figura 3: Evolución mensual del L_{Day} - 1° de julio de 2020 al 30 de junio de 2024 (dB re. 20 μ Pa)

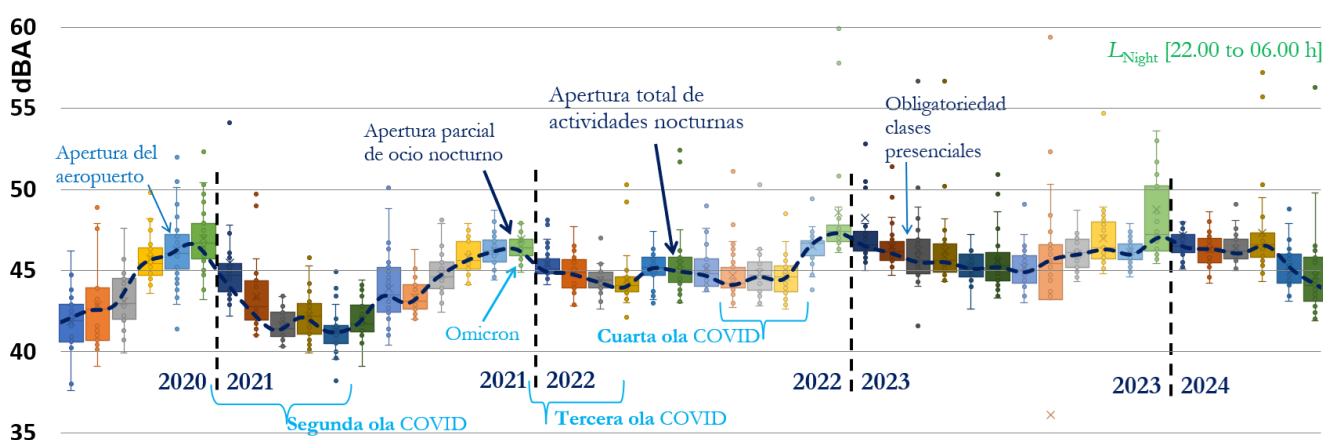


Figura 4: Evolución mensual del L_{Night} - 1° de julio de 2020 al 30 de junio de 2024 (dB re. 20 μ Pa)

Entre enero y abril de 2023 el nivel sonoro expresa gran dispersión pero su curva de *Tendencia* es estable, y a partir de mayo ya con plena actividad de todas las instituciones educativas (porque el Ministerio de Educación de Perú obligó el regreso a las clases presenciales), el nivel sonoro manifiesta menor distribución y una estabilización alrededor de los 55 dBA hasta agosto, ya que nuevamente el ruido proveniente de otra obra produjo niveles sonoros anómalos. A consecuencia de las festividades de fin de año, diciembre presenta valores atípicos. Pareciera algo curiosa la situación que se da a partir de enero del 2024 los niveles sonoros manifiestan una paulatina reducción a *contrario sensu*, ya que el aforo de vehículos es mucho más alto que durante las distintas fases de la pandemia, pero a diferencia de aquella época los vehículos ahora circulan a menor velocidad, y por otra situación (el retiro de buses obsoletos) que se analizará más adelante.

4.2. Análisis de la evolución mensual del L_{Night}

En particular queda en evidencia que durante la segunda, tercera y cuarta ola de COVID el ruido

ambiental es más bajo, porque las autoridades sanitarias endurecían las restricciones de circulación de personas repercutiendo a que hubiese menor aforo vehicular; lo anterior produjo a que el nivel sonoro tenga un *comportamiento fluctuante* con periodos de varios meses, tal como se observa en la Figura 4 su curva de *Tendencia*.

En cuanto a esa oscilación del nivel sonoro, brinda una mejor idea del paisaje sonoro en el cual está inmersa la estación de monitoreo, ya que el L_{Night} fluctúa alrededor de los 45 dBA, indicando que se encuentra en una zona residencial.

Para el caso de las actividades de ocio, su apertura se habilitó sólo hasta las 23.00 h en julio de 2021, para que las personas tuvieran tiempo de regresar a sus viviendas, y antes de las fiestas de fin de año se permitieron actividades hasta las 01:00 h; para junio de 2022 se eliminaron todas las restricciones.

En la Figura 4 se observa que la curva de *Tendencia* de los niveles sonoros nocturnos se estabiliza a partir de octubre del 2021, variando con una mediana mensual (aproximada) de 46 dBA con un $\sigma \pm 1,2$ dBA.

5. VALORES DEL L_{DEN} DURANTE CUATRO AÑOS

En aquellas ciudades del mundo que poseen una red de monitoreo del ruido ambiental, sí pudieron hacer un estudio de su reducción y posterior recuperación durante el de-escalamiento, pero en Lima sólo se tienen son los resultados aquí presentados que no se tratan de datos aislados, ya que es relevante la descripción de la evolución del paisaje sonoro en este distrito de la ciudad de Lima, porque los paisajes sonoros son específicos de un contexto en un

momento determinado (ISO 12913-1, 2014); de ahí la importancia en considerar los impactos durante el contexto pandémico del entorno sonoro en el cual se registró el nivel sonoro presente en una urbanización del distrito de Magdalena del Mar.

Dado que el objeto es analizar con el valor global los niveles sonoros corregidos día-tarde-noche a largo plazo según (1) –presentes en esta ubicación geográfica– en la Tabla 1 se resumen los niveles sonoros promediados semestral y anualmente, registrados ininterrumpidamente a lo largo de cuatro años en el distrito de Magdalena del Mar de la ciudad de Lima.

Tabla 1: Niveles sonoros corregidos día-tarde-noche, desde el 1° de julio del 2020 al 30 de junio del 2024 (por semestre y por año acumulado), registrados en Magdalena del Mar, Lima (dB re. 20 μ Pa)

Semestre	Periodo	L_{Day}	$L_{Evening}$	L_{Night}	L_{den}
1°	1° de julio, 2020 al 31 de diciembre, 2020	59,8	51,3	45,1	58,2
2°	1° de enero, 2021 al 30 de junio, 2021	59,5	49,0	44,0	57,6
	1° de julio, 2020 al 30 de junio, 2021	59,7	50,3	44,6	57,9
3°	1° de julio, 2021 al 31 de diciembre, 2021	57,1	50,8	46,1	56,6
4°	1° de enero, 2022 al 30 de junio, 2022	53,7	50,9	45,1	54,6
	1° de julio, 2021 al 30 de junio, 2022	55,7	50,9	45,6	55,7
5°	1° de julio, 2022 al 31 de diciembre, 2022	58,3	51,9	51,8 *	59,7 *
6°	1° de enero, 2023 al 30 de junio, 2023	56,2	53,7	49,9 *	58,2 *
	1° de julio, 2022 al 30 de junio, 2023	57,3	52,9	51,0 *	59,0 *
7°	1° de julio, 2023 al 31 de diciembre, 2023	56,8	52,3	48,3	57,4
8°	1° de enero, 2024 al 30 de junio, 2024	54,4	51,5	48,5	56,5
	1° de julio, 2023 al 30 de junio, 2024	55,8	51,5	48,4	56,9

* Está influenciado por el alto nivel de ruido que se manifestó durante las celebraciones del Año Nuevo y fiesta de Reyes, ya que fue la primera vez en dos años que las personas pudieron reunirse sin restricciones.

La dispersión en los valores de los niveles sonoros diurnos L_{Day} por semestre de la Tabla 1, son los que más llaman la atención, explicándose de la siguiente manera:

- Los dos primeros están próximos a los 60 dBA; dado que las calles y avenidas tuvieron bajo aforo de circulación, por lo que al estar libres, los vehículos se desplazaron a mayor velocidad cuya aceleración produjo más ruido.
- Durante el tercero, el aforo vehicular aumentó pero el ruido descendió, por el desplazamiento a menor velocidad de los vehículos.
- En marzo del 2021 las autoridades inician una campaña de retiro de buses y carrocerías obsoletas, la mayoría de ellos ruidosos y que transitaban sin tubo de escape.
- En el quinto se registraron niveles anómalos, provenientes de actividades de construcción próximas a la ubicación del sensor.
- En el sexto se recupera la presencialidad total de las clases escolares y universitarias, y continúa el retiro de buses obsoletos.
- En el último, el L_{Day} es 5 dBA menor que durante los dos primeros, a pesar de que el aforo vehicular es mucho mayor pero ahora se trasladan a menor velocidad, considerando que no hay carrocerías obsoletas en uso.

Más adelante se analizará la política gubernamental del retiro de buses obsoletos.

6. PAISAJES SONOROS DE CORTA DURACIÓN DURANTE LA COVID-19

No se debe dejar de lado ni ponerlos en el olvido los paisajes sonoros de corta duración que tuvieron lugar durante el encerramiento y el de-escalamiento:

- Los aplausos dedicados a los trabajadores de la salud que laboraron durante la cuarentena, escenario que se dio en muchas ciudades del mundo, y a menudo se repitieron diariamente (Colectivo, 2023).
- La ejecución de música por las calles, empujados por la crisis económica derivada de la prohibición de actividades sociales, los músicos populares en Lima recorrían las calles para recaudar algo de dinero (Huayre Cochachin, 2020).
- Conciertos en lugares abiertos, muchas conjuntos musicales para poder ensayar en grupo daban conciertos gratuitos al aire libre (Karlin, 2020).
- Para favorecer actividades físicas al aire libre con distanciamiento social, en Lima hasta junio del 2021 se establecieron algunos «Domingos sin autos» (AFP, 2021), para caminar y bicicletear sin restricciones por avenidas troncales, y por un tramo de la *vía Costa Verde* que es una semi-carretera de casi 7 km de largo que bordea la costa oceánica de Lima.
- Hasta fines del 2021, al menos en Lima, hubo actividades grupales en plazas y parques de gimnasia y bailes.

7. CAMINO AL PAISAJE SONORO DE LA ERA POSPANDÉMICA EN LIMA

El de-escalamiento de las medidas por restricción por la COVID en muchos países, a medida que se abrían las actividades económicas y por consiguiente la movilidad social por calles, avenidas y rutas, dicha situación se identificó bajo el nombre de la «nueva normalidad» como si se volviera regresar a la situación anterior al encerramiento, es decir, retornar a la «vieja normalidad» con las conductas sociales previas al enclaustramiento, pero esto no fue así.

En el congreso europeo *Forum Acoustics 2023* se realizó una sesión técnica especial, en la cual se presentaron resultados de varias investigaciones acerca de los paisajes sonoros de la «nueva normalidad» (FA, 2023), que advierten los cambios significativos en la distribución de los niveles de ruido según la zona geográfica, ya que en algunas es mayor, en otros menor, y en algunos levemente diferentes.

Si se considera que las actividades sociales en Lima se recuperaron totalmente recién en marzo de 2023 (las universidades y establecimientos escolares fueron

obligados a regresar a las clases presenciales), tal como se señaló que a junio del 2024 el L_{Day} es 5 dBA menor respecto 2020 a posterior de la primera apertura, entonces **¿Qué causó esa disminución del nivel de ruido urbano?**

Cuatro situaciones relevantes pueden dar una pista del por qué probablemente sucedió eso:

- Los automotores transitaban a alta velocidad (emitiendo más ruido los motores), porque las vías de circulación estaban libres por el bajo aforo vehicular.
- El enclaustramiento y posterior restricción de circulación vehicular, provocó a que los vehículos antiguos y vetustos dejen de tener mantenimiento mecánico, produciéndose un retiro natural por parte de sus propietarios.
- En abril de 2022 el Ministerio de Transporte de Perú emitió un decreto para eliminar los vehículos con carrocerías obsoletas, mediante una «campana de chatarreo» (Peruano, 2022);
- En agosto de 2023, fue suprimida la circulación de las pocas líneas de transporte público que todavía mantenían servicio con buses tipo *combi* o *custer* (miniván) (Peruano, 2023).

Es entonces que la ciudad de Lima a posterior de la pandemia por la COVID-19 no regresó «a la vieja normalidad», sino que verdaderamente está exhibiendo un escenario pospandémico, o a la «Era pospandémica» tal como lo han conceptualizado los destacados acústicos André Fiebig y Brigitte Schulte-Fortkamp, quienes están focalizados en la temática de los Paisajes Sonoros (Fiebig & Schulte-Fortkamp, 2024).

8. EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL NOCTURNO EN POSTPANDEMIA

En esta sección se evaluarán dos periodos de tiempo tomando ventaja de dos situaciones particulares:

- una que ocurrió en el 2021, durante la segunda ola de COVID;
- otra que sobrevino en junio del 2024, por un evento fortuito.

En ambas se presentaron niveles de ruido ambiental nocturnos muy concretos, en el sentido de que esos registros permiten hacer comparaciones del paisaje sonoro en escenarios pospandémicos, ya que en ambos se midieron bajos niveles sonoros que pueden ser utilizados como referencia para comparar el impacto del ruido ambiental en este distrito de Lima.

8.1. Evaluación del L_{Night} pospandémico respecto a registros de la segunda ola de COVID

En la Figura 4 se observa que durante la segunda ola de la COVID-19 se presentaron los niveles sonoros nocturnos más bajos, porque a raíz de que la cantidad

de contagios en Perú seguían en aumento, el Estado decretó entre el 19 de abril y el 9 de mayo de 2021 un «toque de queda de lunes a sábado que empezará a las 21:00 horas y concluirá a las 04:00 horas del día siguiente. Los domingos la inmovilización social será todo el día» (Peruano, 2021).

En la gráfica de la Figura 5-a se presenta la evolución temporal del nivel sonoro nocturno registrado (curva color azul) entre el 19 de abril y el 3 de mayo del 2021, comparada con el registrado (curva color rojo) en los mismos días pero del 2024, y en la gráfica de la Figura 5-b se muestra la comparación de las distribuciones normales de sus niveles sonoros.

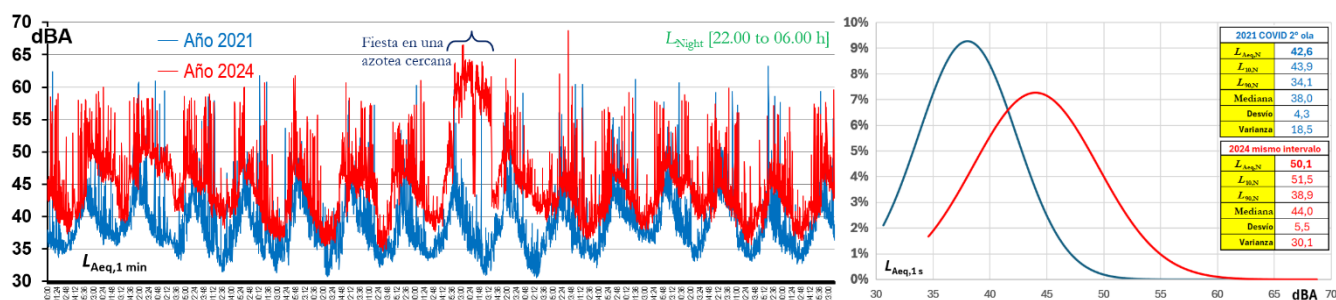


Figura 5: Comparación de los niveles sonoros nocturnos desde el 19 de abril al 3 de mayo entre:

(i) el 2021 durante la 2° ola de COVID, y (ii) el 2024 en postpandemia.

a) Evolución temporal; b) distribución normal. (dB re. 20 μ Pa)

Si bien las restricciones impuestas durarían hasta el domingo 9 de mayo del 2021, a partir del martes 4 de mayo la gente dejó de respetarlas por la necesidad económica de trabajar, por lo que la evaluación de interés se limita al intervalo de tiempo entre el 19 de abril y 3 de mayo.

De la Figura 5-b se observa que:

- Ambas distribuciones son leptocúrticas sesgadas y truncadas a izquierda (dependen del nivel sonoro mínimo registrado).
- El incremento del L_{Night} en 2024 es casi +8 dBA.
- En 2021 los niveles sonoros están concentrados alrededor de los 38 dBA, con un $L_{A10,N}$ de 43,9 dBA y un $L_{A90,N}$ de 34,1 dBA.
- En 2024 los niveles sonoros están repartidos alrededor de los 44 dBA con una gran cola hacia la derecha, con un $L_{A10,N}$ de 51,5 dBA y un $L_{A90,N}$ de 38,9 dBA.

Se eligió comparar esta situación particular en los mismos días del 2024, porque en una azotea cercana se organizó una fiesta, representando esto un escenario pospandémico; por supuesto que para este intervalo de referencia se pueden utilizar ventanas temporales distintas.

8.2. Evaluación en postpandemia del impacto por ruido del sobrevuelo de aeronaves

El domingo 2 de junio del 2024, a consecuencia de una falla eléctrica en la pista del Aeropuerto Internacional de Lima, su iluminación quedó desafectada toda la noche hasta la mañana del lunes 3 de junio, y a consecuencia de ello se suspendieron todos los vuelos (excepto dos de emergencia); este evento fortuito brindó una oportunidad única de

registrar el nivel sonoro con la estación de monitoreo sin la influencia del ruido producido por el sobrevuelo de aeronaves, el cual facilita información valiosa para evaluar el paisaje sonoro en un escenario nocturno de postpandemia sin ese tipo de ruido.

Dado que dicho acontecimiento ocurrió un domingo por la noche, cuando el ruido de fondo es menor que las noches de días laborables, en la Figura 6 se hace la comparación del nivel sonoro registrado entre la noche del 2 al 3 de junio respecto a las del (también entre un domingo y lunes): 5 al 6 de mayo, y 28 al 29 de abril de 2024; además, porque en esas noches el nivel sonoro equivalente en dBA son iguales.

Entonces, a raíz de ese hecho desafortunado (el corte de luz de la pista del aeropuerto) se puede determinar que el incremento del nivel de ruido fue de 8 dBA, implicando casi siete veces más de energía acústica, esto podría ser atribuido a las emisiones sonoras de las aeronaves; respecto al $L_{A10,N}$ y $L_{A90,N}$ en ambos casos el aumento es menor a 2 dBA.

8.3. Posibilidad de estimación del impacto por ruido de aeronaves

Líneas arriba se aclaró que no es objeto de este monitoreo la estimación según la Norma ISO 20906 el impacto por ruido percibido en tierra del sobrevuelo de aeronaves, porque la finalidad es el análisis del ruido ambiental mediante el L_{AF} considerando ese ruido como parte del paisaje sonoro, ya que si se hubiese optado por utilizar el sensor de ruido con el parámetro L_{AS} , el análisis estaría restringido y limitado al estudio para vigilancia del ruido producido por aeronaves, y lo que le importa

a los autores es conocer el paisaje sonoro por medio de índices de ruido contrastables con otros países.

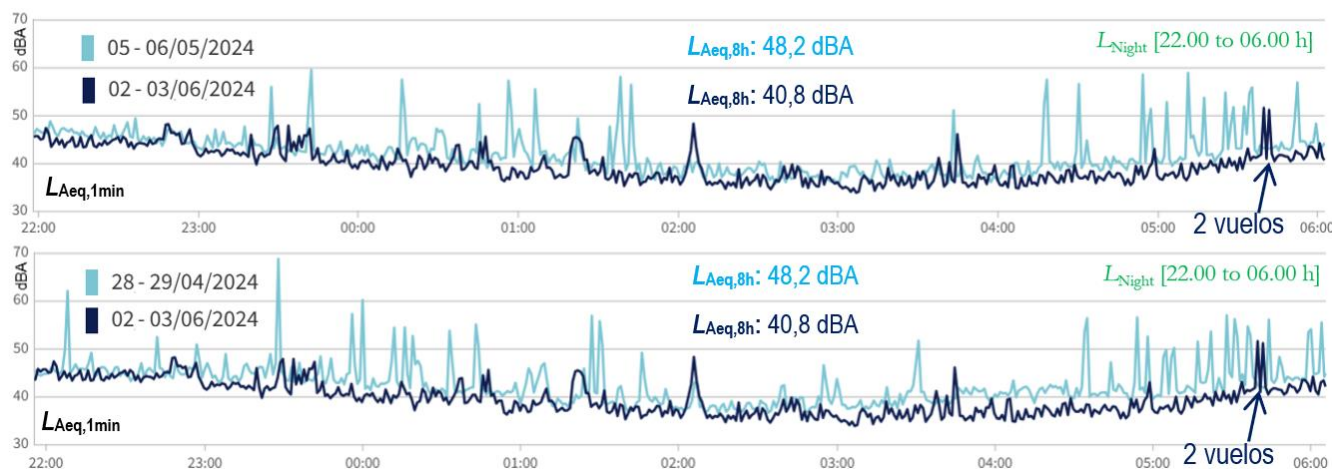


Figura 6: Comparación del nivel sonoro entre dos noches: (curva color azul) sin sobrevuelos y (curva color añil) con sobrevuelos de aeronaves (dB re. 20 μ Pa)

Nota. Imágenes descargadas desde la nube de la Noise Platform®

En la Figura 7 se presentan dos gráficas con la evolución temporal del nivel sonoro del sobrevuelo de una aeronave registrado en dos días, y se puede ver que el L_{AF} supera los 70 dBA dando una idea de que con el parámetro L_{ASmax} se podría estimar el impacto real por ruido de aeronaves en esta zona geográfica.

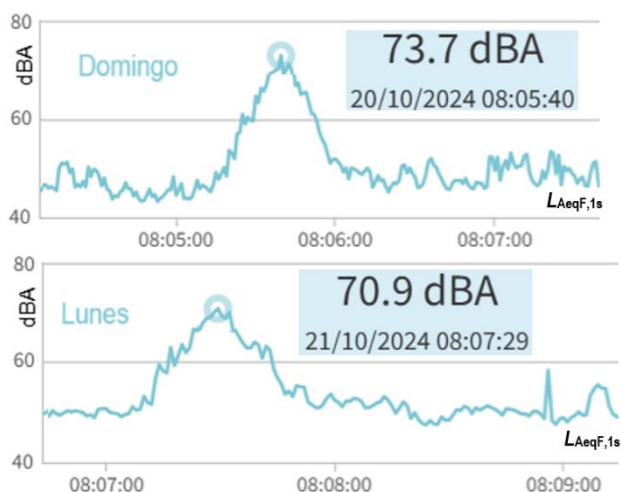


Figura 7: Identificación de sobrevuelos. Escenario pospandémico (dB re. 20 μ Pa)

9. APUNTES DEL PAISAJE SONORO EN VIVIENDAS EN LA ERA POSPANDÉMICA

A posterior del confinamiento muchas personas mantuvieron sus trabajos a distancia por lo que las viviendas se convirtieron en oficinas virtuales, y los ocupantes de edificios multifamiliares se expusieron a nuevas vulnerabilidades; y así como aparecieron nuevos paisajes sonoros urbanos, también surgieron

espacios sonoros especiales en las viviendas que finalizaron después de la apertura total de actividades, pero esa percepción psicoacústica en muchas ocasiones perduran hoy día.

9.1. Condiciones acústicas deficientes de las edificaciones

Durante el encerramiento las personas al estar obligadas a permanecer en sus viviendas debieron soportar los ruidos propios y ajenos, quedando en evidencia que los aislamientos acústicos entre unidades domiciliarias, y dentro de una misma unidad, eran escasos y defectuosos. Sin importar la hora, la gente para sobrellevar el encerramiento escuchó música, realizó ejercitación física, cambió los hábitos laborales, etc., generando un sinnúmero de disputas, es decir, se modificó la percepción psicoacústica sobre el espacio sonoro en el que habitualmente cohabitaban, teniendo en cuenta que esto se prolongó más allá del fin del encerramiento cuando las personas debieron cumplir con sus trabajos vía virtual desde sus hogares.

9.2. Durante el encerramiento: Escucha de ruidos que antes estaban enmascarados por otros sonidos

Respecto a la escucha y/o percepción de sonidos en el contexto de la COVID, hay un fenómeno de *origen endógeno* –el concerniente a patologías como la de los acúfenos (Clínica, 2024)– y los de *origen exógenos* referidos a la inmisión de ruido en las viviendas proveniente del exterior como el de fuentes electromecánicas de actividades comerciales, ruido del tráfico/urbano, etc., siendo estos los que mayor

cantidad de quejas provocaron en todo el mundo (Ricart, 2022).

En Lima la información por parte de las municipalidades producto de quejas por ruidos durante la pandemia, no están discriminados por la fuente que las promovió, por lo que no se está en condiciones de saber si fueron provocadas por las actividades a consecuencia del encerramiento.

9.3. Percepción sonora en la Era pospandémica

Durante la cuarentena obligatoria, los reclamos por ruido en zonas residenciales (principalmente por la noche) estuvieron dirigidas a instalaciones de HVAC que debían funcionar continuamente (como las cámaras frigoríficas), y en urbanizaciones residenciales colindantes a industrias se dirigieron al ruido producidos por ellas. Los panoramas descriptos motivaron a redireccionar las interrogaciones sobre esos escenarios sonoros: Si es que esas instalaciones ya funcionaban y existían antes del encerramiento ¿Por qué la gente ahora se queja y antes no lo hacían? El ruido que ahora las personas manifiestan escuchar en sus viviendas siempre existieron, es decir, esos sonidos se convirtieron en distinguibles durante el encerramiento porque se desenmascararon, a consecuencia de la disminución del ruido urbano cuyo contenido de tonos en frecuencia (de banda ancha o angosta) se escucharon con mayor definición.

Si bien el escenario sonoro pandémico ya no existe a posterior de la apertura total de las actividades económicas, parecieran que sí quedaron en el inconsciente colectivo de la gente, ya que se advierte desde la práctica profesional acústica en materia de mitigación de ruidos molestos en la postpandemia, que las personas tienen una percepción y actitud diferente respecto a su espacio sonoro, no sólo dentro de sus hogares sino también fuera de ellos: Discriminan o identifican mejor la presencia de un ruido ajeno a sus actividades normales.

10. CONCLUSIONES

En este artículo se compartió un análisis global de los niveles sonoros registrados ininterrumpidamente a lo largo de cuatro años, donde se pudo ver cómo las medidas de restricción de circulación y de toque de queda, impuestas por las autoridades sanitarias para evitar la propagación del SARS-CoV-2, repercutieron en la variación del ruido urbano, pudiéndose registrar niveles sonoros muy bajos nunca antes imaginados; por lo tanto, la pandemia por la COVID-19 brindó una oportunidad de registrar y percibir un paisaje sonoro en las ciudades particular, el cual también benefició a que las personas en todo el mundo, tomen otro tipo de conciencia frente al ruido.

Lo que en algún momento se identificó como la «nueva normalidad» se transformó al nacimiento de escenarios sonoros pospandémicos es decir: la *Era pospandémica*.

Transcurrieron más de tres años de la finalización de los toques de queda por la COVID-19, y ahora las personas que conviven en las grandes ciudades valoran de otra forma los sonidos antropogénicos, al haber tenido niveles sonoros de ruido muy bajos dentro de sus viviendas, entornos laborales y urbanos, pudiéndose afirmar que la pandemia de COVID-19 ofreció una oportunidad única de poner a prueba los paisajes sonoros ciudadanos, rurales y naturales, que permitieron evaluar cómo cambiaron en circunstancias extremas los entornos de vida en interiores y en exteriores.

A diferencia de otras grandes ciudades del mundo, el paisaje sonoro de postpandemia en Lima no puede ser comparado con aquél que existió antes del enclaustramiento, porque el contenido espectral del sonido a junio del 2024 es diferente al que existió antes de marzo del 2020, fundamentalmente a consecuencia de la eliminación de las unidades obsoletas de buses que se usaban para el transporte público de pasajeros, es decir, la implementación de esas intervenciones por parte de las autoridades.

En relación con el monitoreo de ruido que se viene realizando sobre la azotea de un departamento del distrito de Magdalena del Mar, pareciera que desde marzo del 2023 a la fecha se han estabilizado.

Dado que ningún municipio de la ciudad de Lima posee una red de aparatos que hayan monitoreado el nivel sonoro desde antes de la pandemia en forma continua, es entonces que la única referencia fehaciente que se tienen sobre ellos, son los resultados obtenidos por el *sensor de ruido* propiedad de los autores.

Con este monitoreo de ruido de largo plazo, queda una idea más clara acerca del impacto negativo –en el paisaje sonoro– que tiene el sobrevuelo de aeronaves en horas de la noche y madrugada, por lo que queda abierta la posibilidad de evaluar a futuro el impacto por ese ruido, cuando sea inaugurada la segunda pista del Aeropuerto Internacional de Lima, por lo que este estudio iniciado en marzo del 2020 será de gran valor por la cantidad de información registrada.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a editores y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo; también desean agradecer las comunicaciones y consejos de Marçal Serra, de la empresa CESVA.

Responsabilidad

Este artículo es parte del interés particular que tienen los autores en difundir los resultados de esta

investigación, como parte de la *Responsabilidad social de la Empresa* ARQUICUST (compañía propiedad de los autores), investigación que no tuvo fuentes de financiamiento y fue escrito en el tiempo libre de los autores. Se declara que este artículo no tiene conflicto de intereses (siempre se menciona la fuente de los datos).

REFERENCIAS

- AFP (2021) *Perú extiende prohibición de usar autos particulares los domingos por la pandemia*. France 24 América Latina, París.
<https://www.france24.com/es/minuto-a-minuto/20210529-per%C3%BA-extiende-prohibici%C3%B3n-de-usar-autos-particulares-los-domingos-por-la-pandemia>
- CESVA (2024) *TA120 Sensor de monitorización de ruido*. CESVA, Barcelona.
<https://www.cesva.com/es/productos/sensores-terminales/TA120/>
- Clínica (2024) *La pandemia ha aumentado la percepción de zumbidos y ruidos en el oído*. Clínica Barona y Asociados. <https://clinicabarona.com/la-pandemia-ha-aumentado-la-percepcion-de-zumbidos-y-ruidos-en-el-oido/>
- Colectivo (2023) *Aplauso por los trabajadores de la salud*. Wikipedia.
https://es.wikipedia.org/wiki/Aplauso_por_los_trabajadores_de_la_salud
- Fiebig, André; Schulte-Fortkamp, Brigitte (2024) Soundscapes in the Postpandemic – Era. *Acoustics Today* (20)1, pp 19-26.
<https://acousticstoday.org/soundscapes-in-the-postpandemic-era-andre-fiebig-and-brigitte-schulte-fortkamp/>
- FA (2023) *A14-02: Soundscapes of the 'new normal' (post-COVID)*. Forum Acoustics 2023.
<https://dael.euracoustics.org/confs/fa2023/data/index.html>
- Huayre Cochachin, Juan (2020) *Las bandas de música durante la pandemia en Lima*. Instituto de Estudios Políticos Andinos.
<https://www.iepa.org.pe/las-bandas-de-musica-durante-la-pandemia-en-lima-juan-huayre-cochachin/>
- IEC (2013) IEC 61672-1:2013 *Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications*. International Electrotechnical Commission. Geneva.
https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61672-1%7Bed2.0%7Ddb.pdf
- ISO (2009) *ISO 20906:2009 Acoustics – Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports*. International Organization for Standardization, Geneva.
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:20906:ed-1:v1:en>
- ISO 12913-1 (2014) *ISO 12913-1:2014(en) Acoustics — Soundscape — Part 1: Definition and conceptual framework*. International Organization for Standardization, Geneva.
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:12913:-1:ed-1:v1:en>
- Karlin, David (2020) *Música vs. covid-19: la situación en Asia, América y Oceanía*. Blog Bachtrack.
https://bachtrack.com/es_ES/editorial-music-vs-covid-19-state-of-play-asia-america-oceania-november-2020
- Montano, Walter Alfredo; Gushiken Uesu, Elena Isabel (2020) Lima soundscape before confinement and during curfew. Airplane flights suppressions because of Peruvian lockdown. *The Journal of the Acoustical Society of America* V148(4), pp. 1824–1830. Special Collection: COVID-19 Pandemic Acoustic Effects. <https://doi.org/10.1121/10.0002112>
- PCM (2003, 30 octubre) *Decreto Supremo N° 085-2003-PCM- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido*. Presidencia del Consejo de Ministros.
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglament-o-estandares-nacionales-calidad-ambiental-ruido>
- Peruano (2022, 28 de abril) *Protegiendo el aire. Chatarreo: Adiós a las carcochas contaminantes*. El Peruano diario oficial. Editora Perú.
<https://www.elperuano.pe/noticia/149281-chatarreo-adios-a-las-carcochas-contaminantes>
- Peruano (2023, 13 de agosto) *Conozca las combis y cústers que ya no circularán por las avenidas Túpac Amaru, Brasil y La Marina*. El Peruano diario oficial. Editora Perú.
<https://www.elperuano.pe/noticia/220523-conozca-las-combis-y-custers-que-ya-no-circularan-por-las-avenidas-tupac-amaru-brasil-y-la-marina-video>
- Peruano, El (2021) *Amplían estado de emergencia nacional hasta fines de mayo. Lima y 40 provincias pasan a nivel de alerta extremo por covid-19*. Diario oficial El Peruano, 18/04/2021.
<https://elperuano.pe/noticia/119041-lima-y-40-provincias-pasan-a-nivel-de-alerta-extremo-por-covid-19>
- Ricart, Marta (2022) *Más sensibles al ruido tras la COVID*. Diario La Vanguardia, Barcelona.
<https://www.lavanguardia.com/vida/20220427/8224698/ruido-covid-contaminacion.html>

Esparcimiento de ondas en metamateriales acústicos

Wave scattering in acoustic metamaterials

Espalhamento de ondas em metamateriais acústicos

Ana Abreu, ORCID: 0000-0002-3507-1525

Departamento de Estructuras, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

Correo de contacto: aabreu@fing.edu.uy

Resumen.

Este trabajo presenta una solución numérica vía método de elementos de contorno de un problema antiplano elastodinámico o acústico. El método permite analizar el esparramiento de ondas elásticas a través de un material isotrópico que contiene cavidades o inclusiones que modifican sus propiedades efectivas. Se interpreta a tales materiales como metamateriales. Los ejemplos numéricos presentados confirman la idea que es posible la fabricación de metamateriales que puedan reducir o amplificar la amplitud de las ondas. Esto se logra posicionando adecuadamente las cavidades o inclusiones, así como escogiendo adecuadamente sus propiedades materiales.

Palabras clave: Esparramiento de ondas; acústica armónica temporal; elastodinámica antiplana; metamateriales acústicos

Abstract.

This work presents a numerical solution via boundary element method for a elastodynamic antiplane or acoustic problem. The method allows analyzing the scattering of elastic waves through an isotropic material presenting cavities or inclusions that affect its effective properties. Such materials are interpreted as being metamaterials. The numerical examples presented confirm the idea that it is possible to fabricate metamaterials that can reduce or amplify the amplitude of waves. This is achieved locating adequately the cavities or inclusions, as well as choosing adequately its material properties.

Keywords: Wave scattering; time-harmonic acoustics; antiplane elastodynamics; acoustic metamaterials

Resumo.

Este trabalho apresenta uma solução numérica via método de elementos de contorno de um problema antiplano elastodinâmico e acústico. O método permite a análise do espalhamento de ondas elásticas em um material isotrópico contendo cavidades ou inclusões que modificam suas propriedades efetivas. Esses materiais são interpretados como metamateriais. Os exemplos numéricos apresentados confirmam a ideia de que é possível fabricar metamateriais que podem reduzir ou amplificar a amplitude das ondas. Isso é obtido com o posicionamento adequado das cavidades ou inclusões, além de escolher adequadamente suas propriedades materiais.

Palavras-chave: Espalhamento de ondas; acústica de tempo-harmônico; elastodinâmica antiplana, metamateriais acústicos

1. INTRODUCCIÓN

El esparcimiento de ondas en medios físicos es sumamente relevante en diversos problemas de la física y de la ingeniería. Por ejemplo, la reducción de ruido ha sido siempre una gran preocupación en la industria, donde el daño auditivo y el estrés mental que genera son temas críticos [1,2,3].

Otros ejemplos son el diagnóstico por ultrasonido en medicina [4], el control activo y pasivo del ruido y vibraciones en arquitectura [5]. Existen muchos problemas prácticos de la ingeniería estructural, como son la determinación de propiedades dinámicas de materiales compuestos, la concentración de tensiones, los ensayos no destructivos de materiales, la interacción fluido estructura y suelo estructura, que pueden ser analizados en el contexto de la propagación y el esparcimiento de ondas en medios sólidos y fluidos [6,7].

Para abordar el problema de la atenuación del ruido es común la utilización de diferentes tipos de materiales como son, por ejemplo, los materiales porosos. Sin embargo, los materiales porosos estándares usados para estos fines presentan un rendimiento acústico muy deficiente a bajas frecuencias, y su absorción acústica alcanza un límite cuando el espesor del material es igual a la profundidad de penetración acústica [8]. El concepto de doble porosidad [9] y la forma de cuña muestran que es posible mejorar la absorción acústica elementos constituidos por materiales porosos [10]. También se han propuesto diseños de materiales porosos conteniendo macrovacíos o perforados con agujeros de radios gradualmente variables y periódicos [8]. Este nuevo material diseñado puede mejorar la absorción acústica en una amplia banda de frecuencias en comparación con los materiales porosos convencionales.

Varios esquemas numéricos se han desarrollado durante las últimas décadas para resolver problemas de propagación de ondas. Las formulaciones que usan el Método de Elementos de Contorno (BEM, Boundary Element Method) han demostrado ser muy útiles en el análisis de problemas de acústica armónica temporal y de elastodinámica [11-16]. El BEM es un método numérico que se clasifica dentro de los métodos de ecuaciones integrales [17,18,19], que en este tipo de problemas es generalmente mucho más eficiente que los métodos de discretización de dominio como el método de elementos finitos [20]. La eficiencia del BEM se debe, fundamentalmente, a que solo se discretiza el contorno del problema estudiado. El beneficio numérico viene dado por la reducción importante del número de variables del problema discreto, permitiendo así una reducción importante del costo computacional [21].

En este trabajo se usa el BEM para estudiar numéricamente el problema del esparcimiento de ondas elásticas producido por inclusiones en un sólido bidimensional. Se sigue una metodología de análisis que es aplicable en varias áreas, debido a la similitud de la formulación matemática a resolver, por ejemplo: ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, sísmicas, sónicas en cristales, entre otras. En base a la referencia [8] se generan ejemplos para estudiar la influencia de la geometría y las propiedades de los materiales de una distribución de cavidades o inclusiones en la respuesta de un campo de ondas incidente. Los diseños analizados en este trabajo confirman la posibilidad de fabricación de metamateriales acústicos que, personalizados a voluntad, pueden reducir o amplificar la amplitud de las ondas acústicas mediante una adecuada distribución de las cavidades o inclusiones, así como la manipulación de las propiedades materiales de las mismas.

2. METAMATERIAL ACÚSTICO

La investigación en metamateriales ha crecido rápidamente en los últimos diez años motivada por sus numerosas aplicaciones. A pesar de no existir consenso en su definición, la palabra metamaterial se utiliza habitualmente para designar aquellos materiales que son diseñados para tener propiedades diferentes a las de los materiales convencionales. En otras palabras, los metamateriales son nuevos tipos de materiales específicamente diseñados y fabricados para realizar tareas que no se pueden lograr con materiales naturales. Suelen estar formados por pequeños componentes diseñados y dispuestos en una configuración ordenada que es determinada específicamente para la función prevista. Por esta razón, las propiedades de un metamaterial son logradas diseñando la estructura física geométrica, y no mediante modificaciones de su composición química. En problemas de ondas, por ejemplo, los metamateriales se obtienen diseñando microestructuras que resuenan a frecuencias específicas (sean ondas acústicas, mecánicas, electromagnéticas, sísmicas, o vibraciones mecánicas, entre otras). Si hablamos en términos específicos de fenómenos acústicos, entonces esas microestructuras son formadas por componentes que se repiten y que son habitualmente menores o mucho menores que la longitud de las ondas acústicas que se propagan en el medio. De esta manera, los metamateriales acústicos pueden ser usados por ejemplo para atenuar el sonido en ciertos rangos de frecuencias [22].

En este trabajo se estudia un metamaterial logrado colocando en una cierta matriz incrustaciones de otro material formando un patrón periódico, como

presentado en [8]. En el caso habitual la microestructura consiste en un patrón periódico de inclusiones en el material base, en este trabajo se sustituyen esas inclusiones por un material de propiedades diferentes, lo cual enriquece las posibilidades de diseño, puesto que las propiedades del material insertado también pueden ser escogidas.

3. PROBLEMA DIRECTO DE ESPARCIMIENTO DE ONDAS

Suponemos que existe un campo incidente de ondas acústicas emitidas desde una fuente lejana hacia una inclusión más o menos penetrable, denominado esparcidor (*scatterer*). Cuando las ondas interactúan con la inclusión, se generan ondas que componen un campo emergente de ondas esparcidas (*scattered waves*). A este proceso se le denomina esparcimiento (*scattering*). Se denomina problema directo (*forward problem*) al problema de determinar el campo de ondas esparcidas conociendo la geometría, la propiedad de la inclusión y la fuente de ondas incidentes. Se denomina problema inverso (*inverse problem*) al problema de obtener información sobre la inclusión (sea su forma, sus propiedades, u otra característica) o sobre la fuente a partir de medidas del campo de ondas esparcidas [23,24]. En la Figura 1 se observa una representación del problema bidimensional de esparcimiento de ondas elásticas debido a una inclusión Ω incrustada en una matriz infinita.

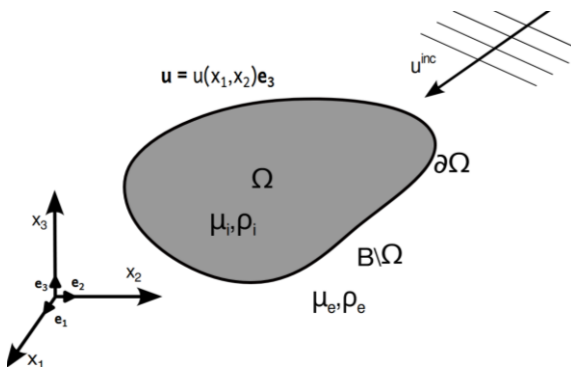


Figura 1: Problema 2D de esparcimiento de ondas elásticas por una inclusión.

Se consideran los desplazamientos u^{inc} de una onda incidente que se desplaza en el plano (x_1, x_2) a través de un medio con propiedades mecánicas μ_e y ρ_e (propiedades del medio exterior), en el que se encuentra una inclusión Ω de contorno $\partial\Omega$ con propiedades mecánicas μ_i y ρ_i (propiedades del medio interior). En la figura anterior, $\mathbf{u}$ representa al vector desplazamiento transversal en el dominio de la frecuencia, el cual es dado por $\mathbf{u} = u(x_1, x_2)\mathbf{e}_3$ (se asume que la onda es polarizada en la dirección x_3) y

corresponde a los desplazamientos totales, es decir, la suma de la onda incidente y la esparcida que se genera al chocar la onda incidente en Ω . Las propiedades μ y ρ se refieren al módulo elástico de cizallamiento y la densidad de masa, respectivamente. Las correspondientes velocidades de fase c de las ondas son $c_e^2 = \mu_e / \rho_e$ y $c_i^2 = \mu_i / \rho_i$. Si la frecuencia angular de la onda incidente es ω , entonces los números de onda son $k_e^2 = \omega^2 \rho_e / \mu_e$ y $k_i^2 = \omega^2 \rho_i / \mu_i$, siendo las longitudes de onda $\lambda_e = 2\pi / k_e$ y $\lambda_i = 2\pi / k_i$ en cada medio. Tanto el material del interior del dominio Ω como del exterior se consideran uniformes e isotrópicos.

Los desplazamientos u satisfacen la ecuación siguiente:

$$\nabla \cdot (\mu \nabla u) + \rho \omega^2 u + f^{inc} = 0, \quad (1)$$

así como la condición de radiación de Sommerfeld en todas las direcciones:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r^{1/2} [\partial_r (u - u^{inc}) - i k_e (u - u^{inc})] = 0. \quad (2)$$

El término f^{inc} de la ecuación (1) es la fuente de la onda incidente. La onda incidente u^{inc} (solución del problema en el medio homogéneo) es el desplazamiento conocido, que satisface la ecuación de campo:

$$\nabla \cdot (\mu_e \nabla u^{inc}) + \rho_e \omega^2 u^{inc} + f^{inc} = 0. \quad (3)$$

Se asume que u^{inc} es conocida, mientras que las ecuaciones (1) y (2) deben ser resueltas utilizando un método numérico como el BEM [24]. Para ciertas propiedades materiales este problema está bien planteado y admite una solución única [25].

4. FORMULACIÓN DEL BEM

El método Galerkin BEM [24] consiste en hallar $u_i = u|_{\partial\Omega}$ y $\phi_e = \partial_n(u - u^{inc})|_{\partial\Omega}$, tal que:

$$\langle (W_i + W_e)u_i + (M_i + M_e)\phi_e, v \rangle = \langle W_e u^{inc} - (M_i - \frac{1}{2}I)\phi^{inc}, v \rangle; \forall v \in H^{1/2}(\partial\Omega), \quad (4)$$

$$\langle (K_i + K_e)u_i - (V_i + V_e)\phi_e, \varphi \rangle = \langle (K_e - \frac{1}{2}I)u^{inc} + V_i\phi^{inc}, \varphi \rangle; \forall \varphi \in H^{1/2}(\partial\Omega), \quad (5)$$

donde $\langle g, v \rangle = \int_{\partial\Omega} g \bar{v} ds$ y los operadores del contorno son dados por:

$$V_a \phi(x) = \int_{\partial\Omega} G_a(x, y) \phi(y) ds, \quad (6)$$

$$K_a u(x) = \int_{\partial\Omega} \mu_a \partial_{n_y} G_a(x, y) u(y) ds, \quad (7)$$

$$M_a \phi(x) = \int_{\partial\Omega} \mu_a \partial_{n_x} G_a(x, y) \phi(y) ds, \quad (8)$$

$$W_a u(x) = - \int_{\partial\Omega} \mu_a^2 \partial_{n_x} \partial_{n_y} G_a(x, y) u(y) ds. \quad (9)$$

En estas expresiones el subíndice “a” corresponde a “i” o “e” según se trabaje con el medio interior o el exterior, respectivamente. La función G_a es la solución fundamental dada por:

$$G_a(x, y) = \frac{i}{4\mu_a} H_0^{(1)}(k_a |x - y|), \quad (10)$$

donde $H_0^{(1)}$ es la función de Hankel de primer tipo y orden cero. Discretizando el contorno $\partial\Omega$ se obtiene la solución numérica de esparsamiento en términos del desplazamiento u_i y la derivada normal ϕ_e .

5. EJEMPLOS NUMÉRICOS

En esta sección se presentan siete ejemplos numéricos de esparsamiento de ondas en metamateriales acústicos. Se considera el problema simple bidimensional de una inclusión circular Ω de radio r centrada en el origen del sistema de coordenadas con propiedades materiales constantes μ_i y ρ_i . El medio circundante posee propiedades μ_e y ρ_e . Se consideró una onda plana incidente de amplitud u_0 igual a la unidad.

En todos los ejemplos la inclusión fue discretizada en 512 elementos de contorno lineales. Los resultados se presentan sobre un medio exterior circundante de dimensiones 6 cm x 6 cm. Para todos los ejemplos se presentan resultados en un punto A de coordenadas (0, 2.44) localizado en el medio exterior a la inclusión circular. Se estudió el efecto producido al mudar el tamaño de las inclusiones, su cantidad y distribución, así como sus propiedades.

5.1 Estructura 1

En este caso la estructura es formada por una inclusión con radio de dimensiones comparables con la longitud de onda del medio exterior tal que $2r=\lambda_e$. El medio exterior tiene las propiedades: $c_e=1706.6$ m/s, $\rho_e=1240.0$ kg/m³ y $\mu_e=3.6115$ GPa. Para el medio interior las propiedades son: $c_i=2c_e$, $\rho_i=2\rho_e$ y $\mu_i=8\mu_e$. En la Figura 2 se observa el resultado obtenido para el campo de la onda debido a una sola inclusión. Se obtuvo el valor $|u|/u_0=0.266$ en el punto A.

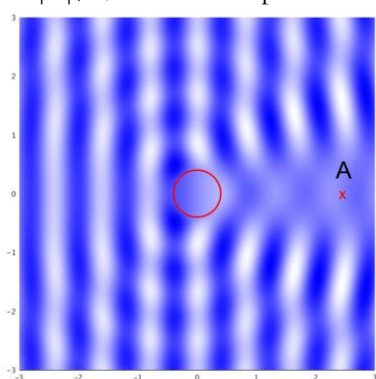


Figura 2: Problema de una inclusión de radio $2r=\lambda_e$.

En esta figura se observa claramente la sombra acústica provocada por la inclusión cuando posee dimensiones comparables con la longitud de la onda.

5.2 Estructura 2

En este caso la estructura es formada por 9 inclusiones con radio de dimensiones $2r=\lambda_e$. Las propiedades del

medio exterior e interior a las inclusiones se mantienen. En la Figura 3 se observa el resultado obtenido para el campo de la onda debido a las 9 inclusiones. Se obtuvo el valor $|u|/u_0=0.652$ en el punto A.

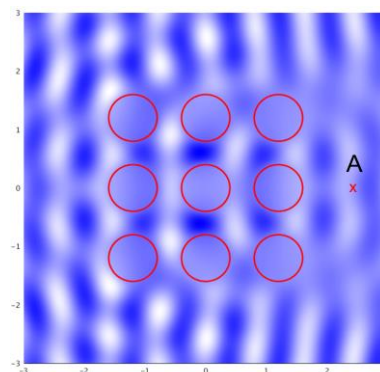


Figura 3: Problema de 9 inclusiones de radio $2r=\lambda_e$.

En la figura anterior también se observa de forma clara la sombra acústica provocada, la cual se distribuye en un área mayor. Sin embargo, la amplitud medida en el mismo punto A del ejemplo 1 es mayor. Podemos decir entonces que esta configuración de inclusiones es ineficaz si lo que se busca es reducir la amplitud de la onda en el punto A.

5.3 Estructura 3

En este caso la estructura es formada por 13 inclusiones en total: 9 inclusiones con radio de dimensiones $2r=\lambda_e$ y otras 4 inclusiones con la mitad de ese radio. Las propiedades del medio exterior e interior a las inclusiones se mantienen. En la Figura 4 se observa el resultado obtenido para el campo de la onda debido a las 13 inclusiones. Se obtuvo el valor $|u|/u_0=0.395$ en el punto A.

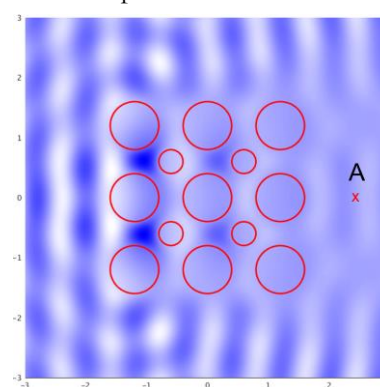


Figura 4: Problema de 13 inclusiones de radios diferentes. Radio mayor $2r=\lambda_e$.

En la figura anterior también se observa que la sombra acústica está más distribuida y más atenuada en relación al ejemplo anterior. Es posible observar cómo la amplitud de los desplazamientos es importante en

las proximidades de las inclusiones de radio menor. En este ejemplo, la amplitud de los desplazamientos en el punto A presentó una disminución importante con respecto al ejemplo anterior.

5.4 Estructura 4

En este caso la estructura es formada por una inclusión con radio la mitad que el radio de los ejemplos previos, o sea, $r=\lambda_e$. Se trabaja con los mismos valores de propiedades del medio exterior e interior. En la Figura 5 se observa el resultado obtenido para el campo de ondas debido a la inclusión.

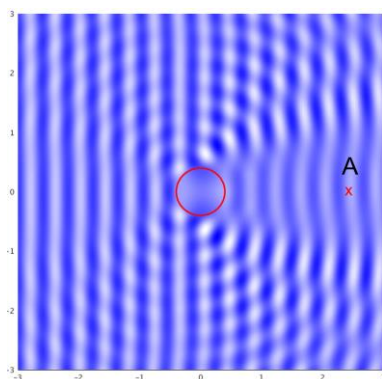


Figura 5: Problema de una inclusión de radio $r=\lambda_e$.

Se obtuvo un valor absoluto de desplazamiento $|u|/u_0=0.664$ en el punto A. Sin embargo, esta amplitud resultó ser mayor que la amplitud atenuada en el ejemplo 1.

5.5 Estructura 5

En este caso la estructura es formada por 9 inclusiones con radio de dimensiones $r=\lambda_e$. Las propiedades del medio exterior e interior a las inclusiones se mantienen. En la Figura 6 se observa el resultado obtenido para el campo de la onda debido a las 9 inclusiones.

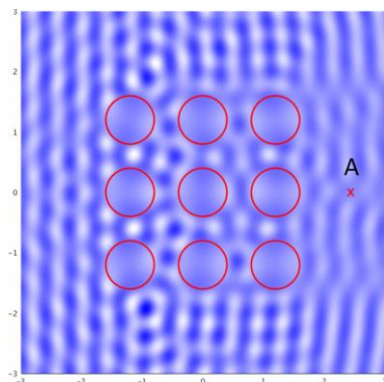


Figura 6: Problema de 9 inclusiones de radio $r=\lambda_e$.

Se obtuvo un valor $|u|/u_0=0.189$ en el punto A. La sombra acústica es extendida en un área mayor que el área del ejemplo 4. La amplitud medida para los

desplazamientos en el mismo punto A es sensiblemente menor que la misma configuración del ejemplo 2.

5.6 Estructura 6

En este caso la estructura es formada por 13 inclusiones en total: 9 inclusiones con radio de dimensiones $r=\lambda_e$ y otras 4 inclusiones con la mitad de ese radio. Las propiedades del medio exterior e interior a las inclusiones se mantienen. En la Figura 7 se observa el resultado obtenido para el campo de la onda debido a las 13 inclusiones.

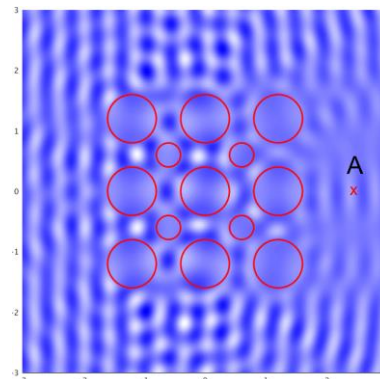


Figura 7: Problema de 13 inclusiones de radios diferentes. Radio mayor $r=\lambda_e$.

Se obtuvo un valor $|u|/u_0=0.686$ en el punto A. En la figura anterior se observa la sombra acústica provocada que se comporta similar al ejemplo 5 anterior. En esta situación de este ejemplo 6 las inclusiones de radios menores parecen no aportar mucho para la atenuación de los desplazamientos en A como ocurrió de forma efectiva en el ejemplo 3. Este resultado indica que, para atenuar la amplitud acústica en este tipo de superficie diseñada, no solo existe un compromiso entre las dimensiones de las inclusiones, sino que también es importante la posición y distribución que ocupan.

5.7 Estructura 7

En este caso la estructura es formada por 13 inclusiones en total: 9 inclusiones con radio de dimensiones $2r=\lambda_e$ y otras 4 inclusiones con la mitad de este último radio. Las propiedades del medio exterior se mantienen, mientras que las del interior son: $c_i=c_e/2$, $\rho_i=\rho_e/2$ y $\mu_i=\mu_e/8$, o sea, en esta situación el medio exterior posee mayor rigidez y densidad. En la Figura 8 se observa el resultado obtenido para el campo de la onda debido a las 13 inclusiones.

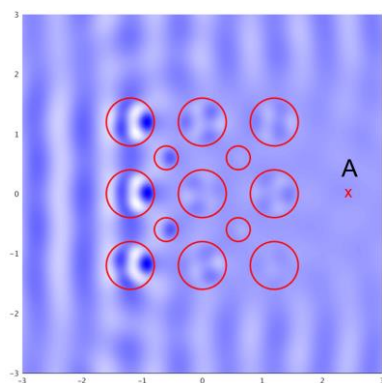


Figura 8: Problema de 13 inclusiones de radios diferentes y propiedades invertidas. Radio mayor $2r=\lambda_c$.

Para este ejemplo se obtuvo en el punto A un valor $|u|/u_0=0.210$. En la figura anterior se observa una sombra acústica bastante uniforme y atenuada. En esta situación se observa cómo la amplitud de los desplazamientos es mayor en el interior de las primeras inclusiones de mayor radio. Luego las amplitudes decrecen progresivamente hasta que en el punto A se observa una disminución importante.

6. CONCLUSIONES

Fue utilizado un método Galerkin BEM para la solución numérica del problema de esparcimiento de ondas bidimensional en un medio sólido homogéneo conteniendo inclusiones de material diferente. Se demostró la influencia de la longitud de la onda cuando es comparable con la dimensión característica de la inclusión y la influencia de las propiedades de los diferentes materiales.

La interpretación de los resultados fue realizada en términos de la amplitud del desplazamiento de la onda después de atravesar las inclusiones diseñadas.

En estudios futuros se calcularán variables acústicas relevantes como, por ejemplo, impedancia acústica, presión sonora, pérdida de transmisión acústica (STL, Sound Transmission Loss), coeficiente de absorción acústica, etcétera. También se estudiará la periodicidad y forma óptima de las cavidades/inclusiones para así obtener metamateriales acústicos más eficientes.

REFERENCIAS

[1] Cobo, P.; Cuesta, M. (2018). El ruido. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España.
 [2] Attenborough, K.; Tokarev, V.I.; Zaporozhets, O. (2011). Aircraft noise, assessment, prediction and control. Spon Press.
 [3] Siano, D. (2012). Noise control, reduction and cancellation solutions in engineering. Intech.
 [4] Schmidt, G.; Greiner, L.; Nuernberg, D. (2014).

Differential diagnosis in ultrasound imaging. Thieme.
 [5] Maekawa, Z.; Rindel, J.H.; Lord, P. (2011). Environmental and architectural acoustics. Spon Press.
 [6] Bungey, J.H.; Millard, S.G. (1995). Testing of concrete in structures. Spon Press.
 [7] Graff, K.F. (1991). Wave motion in elastic solids. Dover Publications.
 [8] Laly, Z.; Panneton, R.; Atalla, N.; Ghinet, S.; Mechefske, C.; Verdière, K. (2024). Improvement of sound absorption of porous materials through periodic holes of sinusoidal decreasing profile. Proceedings of Meetings on Acoustics; 54:022001.
 [9] Oluy, X.; Boutin, C. (2003). Acoustic wave propagation in double porosity media. The Journal of the Acoustical Society of America; 114(1):73–89.
 [10] Bonfiglio, P.; Pompoli, F. (2013). Numerical methodologies for optimizing and predicting the low frequency behavior of anechoic chamber. The Journal of the Acoustical Society of America; 134:285–291.
 [11] Kobayashi, S. (2000). Wave analysis and boundary element method. Kyoto University Press, (in Japanese).
 [12] Mansur, W.J.; Brebbia, C.A. (1983). Transient elastodynamics using a time-stepping technique. In: Boundary Elements. Springer-Verlag.
 [13] Kane, J.H. (1994). Boundary element analysis in engineering continuum mechanics. Prentice Hall.
 [14] Brebbia, C.A.; Telles, J.C.F.; Wrobel, L.C. (1984). Boundary element techniques. Theory and applications in engineering. Springer-Verlag.
 [16] Hirose, S. (1991). Boundary integral equation method for transient analysis of 3-D cavities and inclusions. Engineering Analysis with Boundary Elements; 8(3):146–53.
 [17] Abreu, A. (2016). Método de elementos de contorno. Apuntes de curso. Universidad de la República. Uruguay.
 [18] Muskhelishvili, N.I. (1958). Singular integral equations. Springer.
 [19] Mykhas'kiv, V.V. (2005). Transient response of a plane rigid inclusion to an incident wave in an elastic solid. Wave Motion; 41:133–44.
 [20] Canelas, A. (2020). Método de elementos finitos. Apuntes de curso. Universidad de la República. Uruguay.
 [21] Wu, T.W. (2000). Boundary element acoustics. WIT Press.
 [22] Kumar, S.; Lee, H.P. (2019). The present and future role of acoustic metamaterials for

- architectural and urban noise mitigations. *Acoustics*; 1:590–607.
- [23] Colton, D.; Monk, P. (1992). The numerical solution of an inverse scattering problem for acoustic waves. *IMA Journal of Applied Mathematics*; 49(2):163–184.
- [24] Canelas, A.; Abreu, A.I.; Roche, J.R. (2023). Detection of scatterers using an XFEM-BEM level set solver based on the topological derivative. *Inverse Problems*; 40(1):015007.
- [25] Rapún, M.L.; Sayas, F.J. (2008). Mixed boundary integral methods for Helmholtz transmission problems. *Journal of Applied Mathematics and Computing*; 214:238–258.