

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

**FACULTAD
DE INGENIERÍA
UDELAR**

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

ECOS

ISSN 2697-2913

**AÑO 5, VOL. 5, Nº 1
ENERO - JUNIO 2024**



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)	<i>Artículos académicos</i>
Héctor Campello Vicente (UMH, Elche, España)	Actualidad sobre el fenómeno aeroacústico de la interacción entre el viento y elementos constructivos. <i>Pablo Gianoli Kovar, Elizabeth González, José Cataldo</i> -----
Fernando Elizondo-Garza (FIME - Universidad Autónoma de Nuevo León, México)	----- 2
Juan Cruz Giménez de Paz (Argentina)	
Ricardo Hernández Molina (Universidad de Cádiz, España)	1960 año de la primera campaña montevideana de medición de ruido urbano. <i>Walter A. Montano Rodríguez</i> -----
Federico S. Miyara (UNR, Argentina)	----- 13
Ismael Núñez Pereira (UdelaR, Uruguay)	Sonificación: los datos suenan. Sonificación del Arroyo Miguelete. <i>Luis Marisquirena</i> -----
Dinara Xavier da Paixão (UFSC, Brasil)	----- 22
Jorge Patricio Fradique (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal)	Molestia acústica: una aplicación experimental enfocada en factores no acústicos. Avance de la tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. <i>Matías Andrés Olivera Richiero, Alice Elizabeth González Fernández</i> -----
Diego Pablo Ruiz Padillo (Universidad de Granada, España)	----- 31
Nilda Vecchiatti (UBA, Argentina)	
Secretaría General: Carolina Ramírez (UdelaR, Uruguay)	

Actualidad sobre el fenómeno aeroacústico de la interacción entre el viento y elementos constructivos

Update on the aeroacoustic phenomenon of the interaction between wind and construction elements

Atualização sobre o fenômeno aeroacústico da interação entre o vento e os elementos construtivos

Pablo Gianoli Kovar, Elizabeth González, José Cataldo

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Montevideo, Uruguay

pgianoli@fing.edu.uy

Recibido: 06/06/2023

Aceptado: 11/12/2023

Resumen: En el trabajo de tesis Doctoral en Ingeniería Ambiental titulado “Protocolo para análisis de fenómenos Aeroacústicos” se recopilaban casos de fenómenos aeroacústicos generados entre la interacción del viento con elementos estructurales en fachadas de edificios o elementos de estructuras, como, por ejemplo, barandillas en puentes. Se vio que el fenómeno aeroacústico está presente, pero no han sido muchos los autores e investigadores que han desarrollado e incursionado en este tema. En este documento se presentarán algunos de los casos identificados en los últimos años, demostrando que es un fenómeno aeroacústico contemporáneo, el cual se reitera debido a los nuevos diseños y materiales constructivos utilizados por la arquitectura moderna. Además, se presentará una recopilación fotográfica realizada en Uruguay de las últimas construcciones con potencial a desarrollar la ocurrencia de dicho fenómeno.

Palabras clave: Acústica ambiental, ruido en estructuras, aeroacústica

Abstract: In the doctoral thesis in Environmental Engineering entitled "Protocol for the analysis of aeroacoustic phenomena" cases of aeroacoustic phenomena generated between the interaction of wind with structural elements on building facades were collected. It was seen that the aeroacoustic phenomenon is present, but there have not been many authors and researchers who have developed and ventured into this topic. In this document some of the cases identified in recent years will be presented, demonstrating that it is a contemporary aeroacoustic phenomenon, which is reiterated due to the new designs and construction materials used by modern architecture. In addition, a photographic compilation made in Uruguay of the latest constructions with the potential to develop the occurrence of this phenomenon will be presented.

Keywords: Environmental acoustics, noise in structures, aeroacoustics

Resumo: No trabalho de tese de Doutorado em Engenharia Ambiental titulado “Protocolo para análise de fenômenos aeroacústicos” se recolhe casos de fenômenos aeroacústicos gerados entre a interação do vento com elementos estruturais em fachadas de edifícios ou elementos de estruturas, como, por exemplo, grades em puentes. Visto que o fenômeno aeroacústico está presente, mas não foram muitos os autores e pesquisadores que desenvolveram e incursionaram neste tema. Neste documento serão apresentados alguns dos casos identificados nos últimos anos, demonstrando que é um fenômeno aeroacústico contemporâneo, o qual se reitera devido aos novos designs e materiais construtivos utilizados pela arquitetura moderna. Além disso, será apresentada uma compilação fotográfica realizada no Uruguai das últimas construções com potencial para desenvolver a ocorrência do fenômeno.

Palavras chave: Acústica ambiental, ruído em estruturas, aeroacústica.

1. INTRODUCCIÓN

“La relación entre la fachada de un edificio y su estructura sigue siendo una pieza fundamental en la arquitectura.

Comprender la piel de un edificio es como los diseños se abre o cierran, controlando las condiciones ambientales, la luz y la vistas. Ya sean perforados, ranurados o modulares, los Brise-Soleils son volúmenes elegantes que crean nuevas

condiciones espaciales. Esto se puede ver específicamente en Francia, donde los arquitectos están repensando la tradición para dar vida a las nuevas estructuras". Baldwin. E (2021).

Como menciona Baldwin (2021), la fachada de un edificio es una pieza fundamental en la arquitectura, donde los arquitectos pueden colocar su "firma" y su impronta, con diseños que mantienen la idea de la arquitectura antigua, pero con diseños contemporáneos. En la tesis de Maestría titulada "*Estudio Acústico de la interacción entre el viento y las edificaciones*" (Gianoli, 2020), se ha presentado un tema que en los últimos 10 años ha tenido una repercusión a nivel nacional e internacional. En dicha tesis se recopilaban los últimos fenómenos aeroacústicos generados entre la interacción del viento con elementos estructurales en fachadas de edificios o elementos de estructuras, como pueden ser barandillas en puentes. Asimismo, en ese estudio, se vio que el fenómeno aeroacústico está presente, pero no han sido muchos los autores e investigadores que han desarrollado e incursionado en este tema. En algunos casos se ha modelado e identificado correctamente el fenómeno, pero en otros, no se ha llegado a la caracterización correcta y completa y, por lo tanto, las medidas de mitigación no han sido del todo efectivas.

2. TEORÍA DE LA AEROACÚSTICA

El pionero en aeroacústica fue el matemático James Lighthill, el cual incursionó en el tema alrededor de los años cincuenta del pasado siglo. Además de sus contribuciones en la temática, Lighthill realizó otros aportes en el ámbito de la mecánica de fluidos y el estudio matemático de la propagación de ondas. Su teoría del ruido generado aerodinámicamente se basa en un desarrollo matemático y la introducción de una hipótesis física. Las ecuaciones de Navier-Stokes, que gobiernan la dinámica de fluidos viscosos comprensibles, fueron reagrupadas por Lighthill en una ecuación de onda no homogénea, logrando así una conexión entre la mecánica de fluidos y la acústica. Su reagrupación y el resultado obtenido, se denomina comúnmente como "*Analogía de Lighthill*". El objetivo de la analogía aeroacústica de Lighthill es estimar el sonido generado por un campo de flujo fluctuante, empleando para ello una metodología consistente en la separación del problema en dos partes: una primera parte dirigida a la caracterización del campo de flujo

fluctuante a partir de principios de la Mecánica de Fluidos que no guarden relación con la propagación de perturbaciones acústicas en el medio y una segunda parte dirigida a la estimación del sonido generado por dicho campo de flujo.

La analogía aeroacústica consiste en una reformulación de las ecuaciones de la mecánica de los fluidos que permite separar los mecanismos de generación de sonido de los mecanismos de propagación del mismo. La parte del flujo en el que se genera el sonido se denomina región fuente, mientras que la parte del flujo en el que se propaga el sonido y donde se coloca el punto de observación se denomina región de propagación o flujo de referencia.

En la Figura 1 se pueden ver las dos regiones comentadas anteriormente.

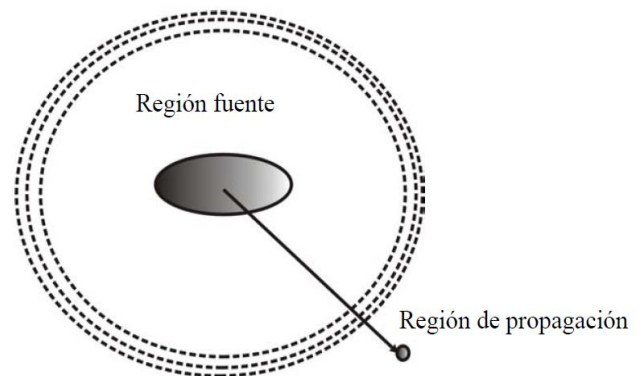


Figura 1. Separación del campo de flujo real. (Extraído de Argüelles Díaz et al, 2004)

Si se realiza un análisis del tensor de Lighthill, T_{ij} , donde T_{ij} es el tensor de tensiones de Lighthill y se define como

$$T_{ij} = \rho v_i v_j + (p' - c_0^2 \rho') \delta_{ij} - \tau_{ij} \quad (\text{Ec.1})$$

$\rho v_i v_j$; Se tiene que éste incorpora tres procesos aeroacústicos básicos que resultan en la generación de sonido. Por una parte la convección con el flujo a través de las fuerzas no lineales descritas por el tensor de tensiones fluctuantes de Reynolds, $\rho v_i v_j$, por otra la disipación gradual del sonido por la viscosidad a través del tensor de tensiones viscosas, τ_{ij} y finalmente, la desviación de un comportamiento isentrópico del sonido a través del término $(p' - c_0^2 \rho')$. Matemáticamente el tensor de Lighthill corresponde a una distribución de cuadrupolos acústicos (Argüelles Díaz et al., 2004).

Argüelles Díaz et al. (2004), cita un ejemplo del ruido generado por un chorro pasando por una boquilla y analizado a partir de la teoría de Lighthill, el cual fue un descubrimiento importante en el área de la

aeroacústica. Cuando el punto de observación del sonido se sitúa en el campo lejano, la escala de longitud local relevante es la longitud de onda acústica. En la Figura 2 se muestran los parámetros relevantes para el flujo de un chorro en una boquilla. Se asume que la producción del sonido está dominada por estructuras turbulentas que se escalan con el diámetro de la boquilla L y cuya velocidad por convección típica se escala como V , de modo que la escala temporal del flujo será del orden de L/V .

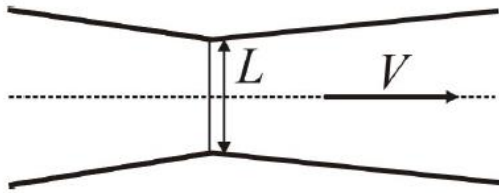


Figura 2. Dimensiones para el ruido de chorro (Tomado de Argüelles Díaz et al. 2004).

Se asume en el análisis, una región fuente compacta, lo que significa que dicha región es pequeña frente con la longitud de onda acústica. De este modo el tensor de tensiones fluctuantes de Reynolds se escala como $\rho_0 V^2$, y el volumen de integración se escala como L^3 , de modo que el orden de magnitud de las fluctuaciones de presión sonora puede obtenerse a partir del escalamiento de la siguiente ecuación (Ec.2):

$$\rho'(\vec{x}, t) = \frac{1}{4\pi c_0^2 |\vec{x}|^3} x_i x_j \frac{\partial^2}{\partial t^2} \int_{-\infty}^{\infty} [\rho_0 v_i v_j] d\vec{y} \quad \text{Ec.2}$$

Dicha ecuación representa las fluctuaciones de densidad acústica percibidas por un observador en el capo lejano, la misma proporciona resultados exactos para la energía total radiada y su distribución direccional, puesto que solo los términos que decrecen como el inverso de la quinta potencia del vector de posición son excluidos. Dicha expresión se obtiene a partir de la ecuación de Lighthill a la cual mediante la aplicación de la técnica de funciones de Green se llega a ese resultado. Aplicando las escalas mencionadas, se obtiene la siguiente expresión (Ec. 3):

$$p' = c_0^2 \rho' \alpha \frac{V^2 \rho_0 L^2}{c_0^2 L^2 |\vec{x}|} = \frac{\rho_0 M^2 V^2 L}{|\vec{x}|} = \frac{\rho_0 M^4 c_0^2 L}{|\vec{x}|} \quad \text{Ec.3}$$

Donde $\bar{M}$ es el número de Mach del flujo. El orden de magnitud de la intensidad sonora, se obtiene en términos de $\overline{p'^2}$:

$$I \propto \left(\frac{\rho_0 L}{4\pi |\vec{x}|} \right)^2 M^8 \quad \text{Ec.4}$$

De forma que finalmente la potencia acústica radiada se escala como:

$$P_{RAD} = \frac{4\pi |\vec{x}|^2 p'^2}{\rho_0 c_0} \propto \rho_0 c_0^3 L^2 M^8 \quad \text{Ec.5}$$

La expresión anterior constituye la Ley de Lighthill de la octava potencia para el sonido radiado por la turbulencia en un flujo a número de Mach bajo. Dicha Ley fue derivada antes de que se tengan datos experimentales para confirmarla, representando un triunfo de la teoría sobre el experimento (Argüelles Díaz et al., 2004). Antes de la derivación de la ley octava potencia, la mayoría de las mediciones de ruido de chorro turbulento indicaban una dependencia del ruido con la cuarta potencia del número de Mach del flujo. Tras el descubrimiento de Lighthill, se reconoció que la cuarta potencia estaba asociada con las fuentes de ruido dentro del propio motor de chorro, en lugar de con la mezcla turbulenta del chorro a la salida del mismo.

Meadows (1997) afirma que, con este descubrimiento, se pone en manifiesto que la turbulencia en el campo libre es un mecanismo ineficiente de generación de ruido, es decir, que a medida que el número de Mach del flujo se aproxima a la unidad, se produce un cambio drástico en las características del sonido emitido, puesto que la región fuente ya no puede considerarse compacta y además es posible la aparición de ondas de choque en el chorro.

En el congreso de Inter-Noise del 2021 llevado a cabo en la ciudad de Washington D.C el autor S. Donkin realizó una ponencia la cual describía la teoría presentada por Lighthill. En dicha ponencia S. Donking menciona que la teoría de Lighthill, estima el sonido radiado por el flujo en interacción con obstáculos, donde se producen fluctuaciones o turbulencia regulares. Dicha teoría, se basa en la ecuación de movimientos de los gases y propone que una distribución de cuadrupolos estáticos generan efectivamente el campo sonoro. La teoría muestra que la intensidad del campo de sonido depende de la intensidad de los cuadrupolos y la frecuencia. Debido a estas relaciones, se encuentra que la intensidad del campo sonoro aumenta en proporción a la octava potencia de la velocidad del flujo.

Como la generación de sonido aerodinámico es de interés en una variedad de campos, Lighthill se toma el tiempo para derivar el modelo y así estimar el campo

de sonido, tanto matemáticamente como examinando el mecanismo físico detrás de la conversión de la cinética del flujo en energía acústica. S. Donkin (2021) afirma que Lighthill considera la ineficiencia con que la energía cinética se convierte en energía acústica y el aumento de la eficiencia del fenómeno se da al aumentar la velocidad del flujo. Este aumento en la eficiencia es particularmente cierto para el sonido emitido en paralelo con el vector de velocidad de flujo, es decir, en sentido del flujo, hacia adelante.

Uno de los accesorios utilizados habitualmente en la actualidad son las placas de vidrio en fachadas, o perfiles planos rectangulares en balcones, tal cual se presentarán más adelante en esta publicación. Como primera aproximación al problema de placas planas D.J. Moreau et. al (2010) analizan el ruido generado en el borde de salida de una placa plana inmersa en un flujo turbulento. Los autores tomaron medidas experimentales en un túnel de viento anecóico obteniendo resultados importantes para este estudio. Se utilizaron cuatro micrófonos, uno montado en el borde de fuga, uno debajo del borde de fuga, uno adyacente al borde de fuga y otro sobre el borde de ataque. Esta estrategia permitió estudiar no solo la intensidad del ruido, sino que también la directividad del mismo. El ruido propio del perfil aerodinámico se produce cuando el flujo inestable interactúa con una superficie del perfil aerodinámico. El ruido del borde de fuga es uno de los muchos tipos de ruido propio del perfil aerodinámico y se considera un mecanismo importante de generación de ruido en muchas aplicaciones (D.J. Moreau et. al 2010).

El ruido del borde de fuga se produce cuando la turbulencia de la capa límite pasa por convección más allá del borde de fuga del perfil aerodinámico. D.J. Moreau et. al son de la corriente de investigadores que creen que se forma una fuente de ruido cuadrupolar generadas por turbulencia de la capa límite y son difractados por el borde de salida y el sonido radiado es de naturaleza dipolar, cuando el perfil aerodinámico es acústicamente compacto, es decir $C \ll \lambda$, donde C es la cuerda aerodinámica y λ es la longitud de onda acústica. Según los autores, para este caso, el borde de salida afilado irradia ruido proporcional a M^6 , donde M es el número de Mach. Para el caso no compacto, donde $C \gg \lambda$, el campo de sonido irradiado no presenta un comportamiento multipolar, con una amplitud proporcional a M^5 . Además del ruido de banda ancha generado por la capa límite turbulenta

con el borde de arrastre, puede generarse un ruido tonal debido al vórtice que se desprende del borde de salida posterior, tal cual lo describen Brooks et al. (1989).

Allen et al. (2002), afirman que una característica del ruido del borde de salida es un sonido irradiado a los lados opuestos de la superficie aerodinámica, teniendo una misma magnitud y una diferencia de fase de 180° . Esta afirmación fue fundamental en el estudio realizado por D.J. Moreau et. al (2010). La configuración de micrófonos en este tipo de ensayos tiene su dificultad, por tal motivo Kunze et. al 2004, en ensayos experimentales, proponen colocar dos micrófonos en el campo lejano, en lados opuestos del perfil y a la misma distancia radial desde el borde posterior, lo cual registrará el ruido radiado del borde posterior para que sea igual en magnitud y 180° desfasado. Kunze et al. 2004, utilizaron este conocimiento para aislar el ruido del borde posterior de las fuentes del ruido de fondo en mediciones acústicas para campo lejano. Según los datos experimentales obtenidos por Kunze et. al 2004, mostraron cierta concordancia con las predicciones teóricas del ruido del borde de salida desarrolladas por Howe (1978).

En la tesis de doctorado en aeroacústica, se está trabajando en profundizar lo planteado por los autores mencionados, teniendo como sustento la teoría de aeroacústica de James Lighthill, con el objetivo de caracterizar y comprender a este fenómeno, no solo en placas planas paralelas, sino que también en placas perforadas, las que actualmente son utilizadas en la arquitectura contemporánea. Se tiene como desafío principal, desarrollar un dispositivo que permita replicar el fenómeno aeroacústico, a lo que se le suma, el diseño del posicionamiento de micrófonos, los cuales permitirán registrar dicho fenómeno a ser evaluado y analizado.

Parte de este trabajo de tesis Doctoral fue realizar un relevamiento de los últimos casos de este fenómeno aeroacústico y así, recopilar en qué condiciones se genera dicho fenómeno, además, en paralelo, se realizó un relevamiento fotográfico de las últimas construcciones del país, las cuales son de interés para este estudio, es decir, que son potenciales estructuras donde podría instalarse este fenómeno aeroacústico.

3. ACTUALIZACIÓN DE CASOS INTERNACIONALES

Luego de la presentación de Tesis de Maestría en el año 2020, donde se recopilaban los casos más relevantes, no solo a nivel nacional sino también a nivel internacional, se continuó con la búsqueda y la actualización de eventos que demostraran que el fenómeno aeroacústico efectivamente se encuentra presente debido a la utilización de esta nueva tendencia arquitectónica.

Uno de los casos más relevantes de estos últimos 3 años se produjo en junio del 2020, en la primavera americana. En ese mes se comenzaron con las modificaciones de las barandillas del puente Golden Gate en San Francisco, California. El objetivo de estas modificaciones según lo declarado por Cosulich-Schwartz, ingeniero de mantenimiento y control, era el de aumentar la aerodinámica del puente y así disminuir las cargas ejercidas por el viento sobre la estructura. Para ello se instaló un tipo de barandilla que favorecía no solo en el peso total de la estructura sino también en la aerodinámica, frente a los fuertes vientos que caracterizan la zona (ver Figura 3).



Figura 3. Barandillas del puente Golden Gate en San Francisco, California. (Foto: <https://www.alamy.es/>).

Al finalizar la instalación de las mismas, los usuarios habituales del puente, turistas y residentes de zonas próximas declararon percibir un zumbido intenso proveniente de dicho puente. Cosulich-Schwartz declara en medios de comunicación local que el zumbido proviene directamente de la interacción del viento con las nuevas barandillas instaladas en el puente. Según lo recopilado por medios de comunicación (BBC News), los ingenieros realizaron mediciones en la zona, encontrando que la frecuencia que predominaba en este fenómeno aeroacústico se

generaba en los 440 Hz , un sonido muy similar a la nota musical *La*. Además, los técnicos notaron que, a cuando el viento se posicionaba en dirección Norte o Sur, aparecían tonos más agudos. Este último comportamiento se identificó en uno de los casos estudiados en la Tesis de Maestría “Estudio Acústico de la interacción entre el viento y las edificaciones”, donde se encontraron frecuencias predominantes como 500 Hz y 630 Hz y frecuencias agudas (4 kHz , 5 kHz y 6.3 kHz) para direcciones de viento con cierto ángulo de ataque sobre los parasoles rectangulares vidriados de uno de los edificios en estudio (Gianoli, 2020).

Según lo informado al medio de comunicación BBC News en diciembre de 2021, los técnicos sugirieron colocar unas presillas de goma en cada una de las 12.000 barandillas, reduciendo en un 75 % el ruido generado por este fenómeno. Se estimó, en ese entonces, un costo total de al menos U\$S 450 mil dólares la colocación de estas presillas de goma a lo largo de todo el puente. Hasta el momento no se cuenta con la información de si realmente fue implementada dicha medida de mitigación.

Otro de los casos relevantes que fueron comentados por los medios de comunicación, se generó en un nuevo edificio en la ciudad de Edmonton, capital de la provincia de Alberta en Canadá. Los residentes próximos al cruce 124th Street y 102nd Avenue denunciaron sobre un “zumbido” muy intenso que se generaba en determinados periodos del día y de forma aleatoria. El edificio de 27 pisos presenta unas barandillas paralelas en cada uno de los balcones, tal cual se puede observar en la Figura 4.

En mayo del 2020 los residentes comenzaron a percibir un zumbido muy intenso que provenía del nuevo edificio. Semanas después, de que el evento persistiera, los ingenieros de la empresa HGC Engineering declararon que, efectivamente, el ruido era generado por el viento que fluye a través de las barandillas, en determinadas condiciones de dirección y velocidad de viento. Según lo mencionado, se realizaron ensayos para determinar las causas para posteriormente aplicar una medida de mitigación en cada uno de los balcones (Fuente: CBC News). Se desconoce si efectivamente se solucionó el problema y si se aplicó alguna medida de mitigación en este caso.

En el estado de Nueva York, EEUU se encuentra en continuo crecimiento en lo que respecta a su infraestructura civil. En la ciudad de Brooklyn, se han

construido grandes edificios en los últimos años y el fenómeno aeroacústico ha estado presente, donde los residentes actualmente conviven con dicho fenómeno, ocasionando molestias en los vecindarios próximos a estas grandes construcciones.



Figura 4. Edificio en la ciudad de Edmonton, capital de la provincia de Alberta en Canadá. Fuente CBC News.

Uno de los casos trascendidos a la prensa, es de un edificio lujoso construido en abril del 2021 en dicha ciudad. Los residentes de la zona denunciaron sobre un ruido agudo y molesto que aparecía de forma aleatoria. Tal cual se puede observar en la Figura 5 dicho edificio presenta balcones construidos con perfiles tipo placa de vidrio. Por lo declarado por los técnicos responsables en abril del 2021, se comenzaron a implementar medidas de mitigación provisorias, como colocar redes en balcones y ratificar que efectivamente el sonido se generaba en esos puntos. En la actualidad, el sonido persiste y se han hecho innumerables denuncias de este caso.



Figura 5. Balcones y primeras medidas implementadas. Fuente: WABC-TV, canal 7, NY-EEUU.

Este último edificio no es el único “edificio silbante”, en diferentes zonas de Brooklyn; otro caso conocido y de la actualidad es del vecindario Forte Greene, los residentes han realizado cientos de denuncias a las autoridades, específicamente al Departamento de Protección Ambiental de la Ciudad de Nueva York. Estas denuncias son debidas al silbido constante que se generan en determinadas condiciones ambientales que alcanzan a las zonas residenciales. Estos silbidos aparecen en horas de la madrugada, generando molestia en horarios de descanso.

La nota que realizó PIX 11 el 11 de noviembre del 2022 a los residentes de Forte Greene indica que en los últimos años se han construido nuevos edificios, como es el caso de la nueva Torre de Brooklyn (The Brooklyn Towers) próxima a la zona residencial mencionada. En la Figura 6 se puede observar cómo, en dirección Este, se encuentra el vecindario Fort Greene, caracterizado por ser un vecindario tranquilo y familiar, mientras que al Oeste se pueden observar los edificios de gran porte construidos en los últimos años, entre ellos la Torre de Brooklyn, edificio moderno construido en el 2022 con una altura de un poco más de 300 metros.



Figura 6. Brooklyn, vecindario Fort Greene. Fuente: Google Earth.



Figura 7. Brooklyn Tower y nuevas construcciones.
(Fuente: New York Yimby).

Ese aumento de edificios modernos y lujosos ha traído consigo a este fenómeno aeroacústico, que en algunos casos ha sido difícil identificar efectivamente su origen. Según lo declarado por las autoridades, a comienzo del año 2023 se comenzaron con las inspecciones a las nuevas construcciones, pero según lo mencionado por los residentes, el sonido persiste y en determinados momentos se hace molesto y muy intenso.

4. RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO DE NUEVAS CONSTRUCCIONES EN URUGUAY

Como se presentó en Gianoli (2020), Uruguay no está libre de dicho fenómeno aeroacústico. Se identificaron y abordaron dos casos con elementos constructivos distintos, pero obteniendo como resultado el mismo fenómeno. El objeto de estudio en uno de los edificios fue una serie de chapas perforadas ubicadas en su azotea, donde se identificaron tonos en frecuencias de 4000 Hz y 5000 Hz.

El otro caso fue el de una fachada con parasoles vidriados ubicados de forma aleatoria en toda su fachada principal (Figura 9). Para este segundo objeto de estudio, se identificaron, en diferentes condiciones de velocidad y dirección de viento, tonos en las frecuencias de 500 Hz y 630 Hz, identificando, además, en determinadas condiciones, tonos en frecuencias más altas, como 4000 Hz y 5000 Hz.



Figura 8. Izq. Chapa metálica perforada azotea Caso 1.
Fuente: Gianoli. P (2020).



Figura 9. Parasoles vidriados, Caso 2. Fuente: Gianoli. P (2020).

Durante el estudio del fenómeno aeroacústico, se ha realizado una recopilación fotográfica de las nuevas construcciones, no solo en Montevideo sino también en ciudades del interior del país. Se ha visto que en los últimos años es más evidente el cambio de época en la arquitectura nacional, donde los Arquitectos buscan no solo destacar en confort, sino también buscan darles su impronta a dichos diseños constructivos. Esa “impronta” conlleva a la utilización de elementos constructivos poco tradicionales, ya sean placas metálicas perforadas, perfiles de acrílico o vidrio de diferentes formas y tamaños. Esta nueva tendencia en

la arquitectura crea la necesidad de estudiar el comportamiento de estos elementos en la interacción con el viento. En lo que sigue se presentarán algunas imágenes de construcciones inauguradas recientemente en Uruguay, donde se emplean estos elementos constructivos.

Una de las obras de interés, ubicada en una zona residencial, fue la remodelación de la Sede del Club Nacional de Fútbol, ubicada sobre Avda. 8 de octubre, Montevideo. Las reformas fueron realizadas en el año 2022. Se le agrega a la fachada principal una chapa metálica ondulada con perforaciones, tal cual se puede observar en la Figura 10.

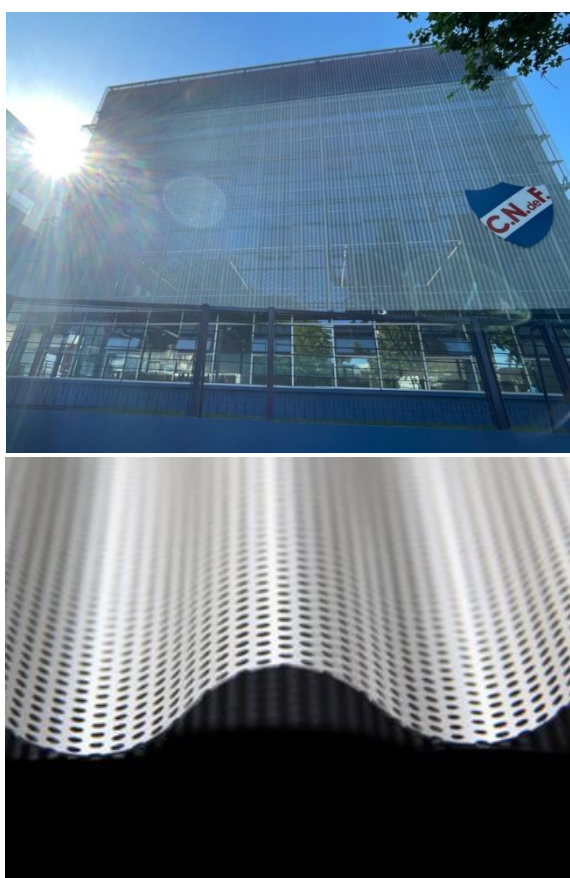


Figura 10. Fachada realizada con placa ondulada perforada. Fuente: elaboración propia, fotos: setiembre 2022.

En la Figura 11 se presenta la ampliación del Hospital Policial, inaugurada en el año 2019. El nuevo edificio central posee una fachada con placas de vidrio colocadas verticalmente y separadas de forma aleatoria. La misma metodología empleada para la fachada en uno de los casos de estudio presentados en Gianoli (2020), donde se hizo presente el fenómeno aeroacústico.

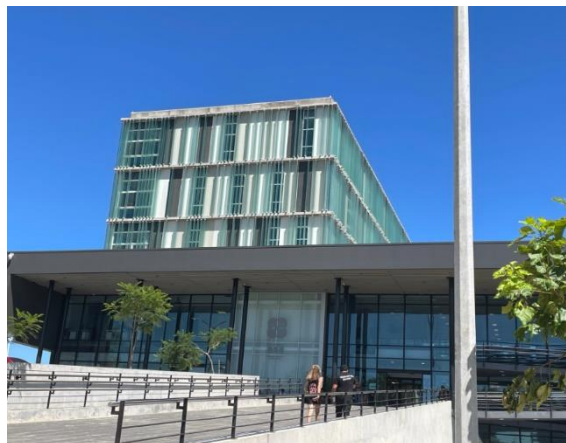


Figura 11. Fachada con placas vidriadas. Fuente: elaboración propia, fotos noviembre 2022.

En febrero del 2019 se finaliza con una obra muy particular en el centro de Montevideo, específicamente en el barrio Palermo. Un edificio de 10 pisos (Figura 12) destinado a viviendas en que los proyectistas buscaron una fusión de arte y candombe en una zona donde este último forma parte de la cultura uruguaya. El edificio es un proyecto totalmente sustentable con paneles solares, aislación térmica y posee un sistema de recolección de agua. Cuenta con persianas móviles en cada una de sus plantas; estas persianas presentan perforaciones de diferentes diámetros y ubicadas de forma aleatoria.

En los últimos años se han renovado la imagen de las Jefaturas de Policía del país. Los diseñadores optaron por la utilización de las chapas onduladas perforadas (modelo softwave 50, marca Hunter Douglas ®), realizando una combinación de colores que le da un aspecto “amigable” a estos nuevos edificios. En la Figura 13 se puede observar la jefatura de Montevideo de la Zona III, donde la colocación de estos paneles se realiza con una estructura metálica adosada a la fachada de la construcción, dejando una cámara de aire de al menos 60 centímetros, instalación que se repite en obras similares.

Una de las últimas obras realizadas en Salto, específicamente el recinto donde se instaló la Sociedad Médico Quirúrgica de Salto, fue inaugurada en el 2019. Para esta obra se empleó una chapa perforada modelo CD 400 (Hunter Douglas ®) la cual es utilizada para revestimiento por el sistema de traba, el cual permite una buena resistencia mecánica y siendo, además, agradable a la vista.



Figura 12. Nuevo edificio sustentable ubicado en el centro de Montevideo. Fuente: elaboración propia.



Figura 13. Fachadas de las nuevas jefaturas policiales del Uruguay. (Fuente: <https://www.luz-arte.com/>).

En la Figura 14 puede observarse una de sus cualidades, durante el día las perforaciones de estas placas distribuyen la luz solar de manera uniforme, pero no permiten ver desde fuera hacia dentro del edificio.



Figura 14. Sociedad Médico Quirúrgico de Salto. (Fuente: <https://www.luz-arte.com/>).

Por último, es importante mencionar estacionamientos privados de construcción rápida los cuales además de utilizar perfilera metálica, utilizan como fachada principal chapas perforadas de diferentes diseños, alcanzando construcciones de más de 20 metros de altura. Este tipo de construcción aparece reiteradamente en la zona céntrica de la capital.

En la Figura 15 se presenta el estacionamiento privado construido en la calle Palmar, con las características mencionadas.

5. CONCLUSIONES

Se ha realizado un relevamiento bibliográfico y fotográfico, no solo de los casos donde efectivamente se da la ocurrencia de este nuevo fenómeno aeroacústico, sino que también se obtuvo un relevamiento de las nuevas construcciones en Uruguay que son potenciales candidatas a la ocurrencia de dicho fenómeno.



Figura 15. Estacionamiento privado ubicado en la calle Palmar esq. Dr. Cassinoni. Montevideo. Fuente: elaboración propia, foto febrero 2023.

Con estos casos se puede observar que es un fenómeno que no solo se da puntualmente y en ocasiones, sino que su ocurrencia se está haciendo habitual, de tal modo que en algunas ciudades los residentes conviven con este fenómeno tan molesto. De aquí la importancia de obtener una caracterización del problema y desarrollar un protocolo de abordaje al mismo, analizando los nuevos materiales constructivos utilizados en la arquitectura contemporánea.

La tesis Doctoral titulada “Protocolo para análisis de fenómenos aeroacústicos” se encuentra en su fase experimental, lo cual permitirá caracterizar los elementos constructivos utilizados en la actualidad y obtener un acercamiento al fenómeno estudiado. Se pretende, además, que dicho protocolo se considere al momento de evaluar el comportamiento del viento en futuros diseños constructivos.

REFERENCIAS

'A giant wheezing kazoo': Golden Gate Bridge starts to 'sing' after design fix.
<https://www.theguardian.com/us-news/2020/jun/06/golden-gate-bridge-san-francisco-sings>

Argüelles Díaz et al. (2004) “Ruido Aerodinámico Tonal Radiado por un ventilador axial en campo

Se cuenta con muestras y diseños proporcionadas por la empresa Luz y Arte, representante de la marca Hunter Douglas®, las cuales serán ensayadas acústicamente en el túnel de viento de la Facultad de Ingeniería de la Udelar. Como se puede observar en la Figura 16, se cuenta, entre otros diseños, con placas perforadas de diferentes características y estructuras conformadas por perfilera metálica.

Se espera en el corto plazo contar con una caracterización completa del fenómeno y un nuevo protocolo de estudio, que pueda ser considerado en la ingeniería civil del país.



Figura 16. Muestras a ensayar. Sup. Perfiles rectangulares paralelos. Inf. Placa perforada.

lejano: Mecanismos de generación y propagación del mismo”.

Baldwin.E (2021) “Dominando el Brise-Soleil en Francia” (<https://www.archdaily.cl/>).

Donkin S. (2021) Overview of M. J. Lighthill's and M. H. A. Newman's 1952 paper on "On Sound Generated Aerodynamically. General Theory."

- Gianoli, P (2020). Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental “Estudio Acústico de la interacción entre el viento y las edificaciones”. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25381/1/Gia19.pdf>
- Howe M.S. (1978) “A review of the theory of trailing edge noise”. Journal and Sound and Vibration, 61(3):437–465, 1978.
- ‘It sounds like a headache’: Mystery sound plagues Brooklyn neighborhood <https://pix11.com/news/local-news/brooklyn/it-sounds-like-a-headache-mystery-sound-plagues-brooklyn-neighborhood/>
- C. Kunze. (2004) “Acoustic and velocity measurements in the flow past an airfoil trailing edge”. Master’s thesis, Aerospace and Mechanical Engineering, University of Notre Dame, Indiana, 2004.
- Luz y Arte <https://www.luz-arte.com/>
- Meadows R. (1997) “A Study of Fundamental Shock Noise Mechanisms”
- “Mysterious ringing sound rattles residents in central Edmonton” <https://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/mysterious-ringing-sound-rattles-residents-central-edmonton-1.5557207>
- Moreau D.J. (2010) “Acoustic analysis of flat plate trailing edge noise”.
- “Neighbors rattled by shrieking noise coming from New York luxury high rise” <https://www.kiro7.com/news/trending/neighbors-rattled-by-shrieking-noise-coming-new-york-luxury-high-rise/3NSXCSGSQ5CY7P4XQPWQTLW2CE/>

AVISO DE RESPONSABILIDAD

Los autores son los únicos responsables del material incluido en este documento.

1960 año de la primera campaña montevideana de medición de ruido urbano

1960 year of Montevideo's first urban noise measurement

1960 ano da primeira campanha montevideana de medição de ruído urbano

Walter A. Montano Rodríguez

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

Correo de contacto: montano_walter@yahoo.com.ar

Recibido: 07/09/2023

Aceptado: 10/11/2023

Resumen

A partir de 1926 se realizan campañas de mediciones de ruido en ciudades Norteamericanas, Europeas y de Australasia, y poco se conoce de las efectuadas en las Iberoamericanas antes de 1960. Hasta que no se lograron sonómetros que permitiesen calibración trazable, las ordenanzas anti-ruido estaban dirigidas a la observancia de buenas conductas. En 1950, Chicago inaugura la Era de la legislación ambiental de ruido como contaminante, legislando los niveles sonoros máximos en niveles de presión sonora, resultado de casi dos años de mediciones en zonas residenciales. En Uruguay poco se sabe de si se realizaron mediciones de ruido urbano en esa época, y desde la prensa se abogaba a que se hicieran mediciones del ruido molesto, y que la Intendencia de Montevideo sancionara una ordenanza acorde a una ciudad capital. En este artículo se presentarán mediciones de ruido urbano que se hicieron en Montevideo en 1960, las primeras de su tipo, una con gran contenido académico y científico y otra realizada por un medio de comunicación; ambas coinciden en el hecho de advertir a las autoridades montevidéanas, que las normas publicadas en noviembre de 1960 su aplicación era impracticable porque no establecía límites de ruido basados en niveles de presión sonora en decibeles.

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

Abstract

From 1926 onwards, noise measurement campaigns were carried out in North American, European and Australasian cities, and little is known about those carried out in Latin American cities before 1960. Until sound level meters allowing traceable calibration were achieved, anti-noise ordinances were aimed at the observance of good behavior. In 1950 Chicago inaugurated the Age of environmental legislation on noise as a pollutant, legislating maximum sound levels in sound pressure levels, the result of almost two years of measurements in residential areas. In Uruguay, little is known about whether urban noise measurements were taken at that time, and the press advocated that annoying noise measurements be taken, and that the Municipality of Montevideo sanction an ordinance in accordance with a capital city. This article will present urban noise measurements made in Montevideo, the first of their kind in 1960, one with great academic and scientific content, and the other carried out by the media; both coincide in warning the Montevideo authorities that the ordinance published in November 1960 was impractical to apply because it did not establish noise limits based on sound pressure levels in decibels.

Keywords: Noise, Acoustics, History of Science, Philosophy of the Technology.

Resumo

Campanhas de medição de ruído foram realizadas nas cidades da América do Norte, Europa e Australásia a partir de 1926, e pouco se sabe sobre as realizadas em cidades da América Latina antes de 1960. Até a obtenção de medidores de nível sonoro que permitissem calibração rastreável, as leis antirruído visavam à observância do bom comportamento, pois era impossível determinar os limites de ruído em termos de decibéis. Em 1950, Chicago inaugurou a Era da legislação ambiental sobre o ruído como poluente, legislando sobre níveis sonoros máximos em níveis de pressão sonora, resultado de quase dois anos de medições em áreas residenciais. No Uruguai, pouco se sabe sobre a realização de medições de ruído urbano naquela época, e a imprensa defendeu a realização de medições de incômodo sonoro e que a Intendência Municipal de Montevideu aprovasse uma lei de acordo com uma capital. Este artigo apresentará as medições de ruído urbano realizadas em Montevideu, as primeiras do gênero em 1960, uma com grande conteúdo acadêmico e científico e a outra realizada por um órgão da comunicação; ambas coincidem no fato de que advertiram as autoridades de Montevideu de que a portaria publicada em novembro de 1960 era impraticável de ser aplicada porque não estabelecia limites de ruído baseados em níveis de pressão sonora em decibéis.

Palabras chave: Ruido, Acústica, Historia da ciencia, Filosofia da Tecnologia

1. INTRODUCCIÓN

Entre 1948 y 1949 en la ciudad de Chicago, EE. UU., se realizó lo que considera es la primera campaña de mediciones de ruido urbano que se hizo en el mundo, con el objeto de determinar límites máximos de ruido molesto mediante niveles de presión sonora fundados en valores de decibeles, con la característica que estaban basados en bandas de una-octava de frecuencia; a posterior algunas ciudades siguieron el modelo iniciado en Chicago, y otras establecieron valores unitarios expresados en decibeles “A” o en sones (Montano, 2022).

Para el caso de los países europeos todavía no se había consensado una metrología común, ya que durante la década de 1950 sus países estaban concentrados en la recuperación social y económica de los estragos producidos por la II Guerra Mundial, y se destacan los siguientes: **(a)** En Alemania se utilizaba la medición en *phons* unidad introducida en 1933 por la Siemens, que era una escala similar a la de decibeles (no era de sonoridad); **(b)** en Inglaterra convivía la medición con equipos norteamericanos y alemanes; **(c)** los franceses propendían a tener una escala de valores lineales. De lo que se puede leer en las conclusiones de los primeros encuentros del *International Congress on Acoustics* (ICA), una preocupación residía en tener un acuerdo mundial de normalización metrológica, y la otra era mejorar las curvas de Harvey Fletcher y Wilden Munson, porque estaban definidas para evaluar la calidad de la telefonía y no se correlacionaban con la audibilidad de las personas en campo libre, ya que fueron obtenidas con los sujetos frente a un pequeño parlante a un metro de sus cabezas (Fletcher & Munson, 1933).

No hay información de que se hayan realizado acciones similares en Iberoamérica antes de 1960, sí se encuentran decenas de pedidos desde el periodismo que instaban a las autoridades a que sancionaran ordenanzas y reglamentos anti-ruido, basados en valores límites con decibeles (copiando lo que se estaba haciendo en los EE. UU.). La misma situación se daba con la prensa uruguaya entre 1958-1960, que abogaban por una actualización de la ordenanza de Montevideo y se contemplara en valores mensurables la molestia por ruido, para lo cual recurrieron a técnicos y especialistas que hagan mediciones de los niveles sonoros callejeros, como herramienta objetiva

que sustente la necesidad de legislación moderna por parte de la Intendencia.

Este artículo da cierre a la investigación publicada en el número anterior de la ECOS (Montano & Martínez, 2022), donde se resume la primer campaña de mediciones de ruido urbano –con fines científicos– que se hicieron en Montevideo en 1960, comenzando con una breve descripción de la instrumentación acústica que se utilizó (para ubicar al lector en la tecnología de aquel año), continua con la presentación de mediciones encargadas por el semanario *Marcha* (de Uruguay), para terminar con un análisis de las mediciones que realizaron los ingenieros Jaime Carbonell y Carlos Fontán, que fueron publicadas en la *Revista* de la Facultad de Arquitectura de la UdelaR, bajo el título de «Un capítulo de higiene acústica; los ruidos urbanos en Montevideo» (Carbonell & Fontán, 1961), en respuesta a las normas vigentes anti-ruido de la Intendencia de Montevideo.

2. INSTRUMENTACIÓN ACÚSTICA EN 1960

La metrología para sonómetros estaba ‘más avanzada’ en los EE. UU. que en Europa, y en 1960 la instrumentación acústica internacionalmente cumplía con los requisitos de la *American Standard Association* (órgano anterior a la *American National Standards Institute-ANSI*).

La legislación de los EE. UU. para medición de ruido o cualquier tipo de sonido, exigían lo siguiente: **(a)** sonómetros que cumplieren la Norma Z24.3–1944, con curvas de ponderación (ver Fig. 1) en frecuencia “A” y “B” que eran una simplificación de las curvas de audibilidad de Fletcher & Munson (1933), e incluían una escala denominada “C” SIN ponderación (era de respuesta plana en frecuencia); **(b)** analizadores que satisficieran la Norma Z24.10–1953, cuyas bandas de una-octava se definían por intervalos de frecuencias (no por una central).

Se debe recordar que en 1960 los sonómetros portátiles no tenían la capacidad de acumular el nivel equivalente (se tenía que mirar el movimiento de la aguja en el visor), y en el caso que se necesitase el L_{eq} , a la salida del audio del aparato debía acoplarse un grabador de cinta, para tener el sonido de la señal captada por el micrófono y a posterior, en el laboratorio, reproducir la cinta para calcular el nivel sonoro continuo equivalente de la medición.

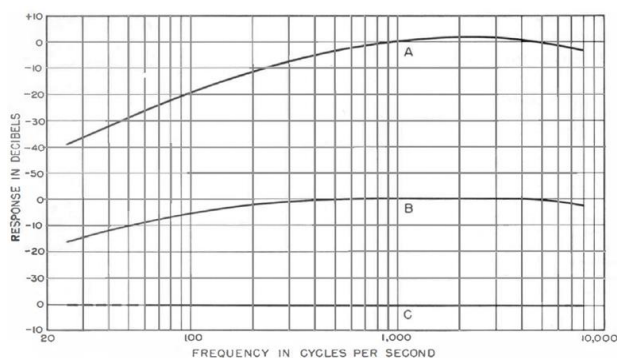


Figura 1: Curvas de ponderación en frecuencia Norma Z24.3-1944 (Beranek, 1953, p. 373)

Los analizadores de espectro multicanal de fracciones de octava en tiempo real en 1960, eran aparatos voluminosos y costosos, por lo que su adquisición estaba restringida a que lo utilicen empresas o laboratorios de investigación; la práctica usual en ese año para este tipo de mediciones en campo era la de grabar en cinta de audio el sonido captado por un sonómetro, y a posterior se debía reproducir la grabación tantas veces como bandas de fracciones de octava se quisieran analizar.

3. MEDICIONES DE RUIDO URBANO PREVIAS A 1960

En el artículo *Un capítulo de higiene acústica...*, Jaime Carbonell comenta que «Los únicos y escasos datos numéricos de los ruidos montevideanos, que se tenían hasta entonces, habían sido tomados con anterioridad precisamente por el que escribe, utilizando entonces instrumental de la Facultad de Arquitectura» (Carbonell & Fontán, 1961, p. 76).

A excepción de ese comentario, no se han encontrado datos concretos acerca de esas mediciones, pero en otras publicaciones de la Facultad de Arquitectura se hallan pistas de que podrían haberse realizado académicamente o como trabajo profesional de algunos docentes, por lo que se lee en dos artículos que mencionan a Carbonell:

- Tratamiento acústico del edificio *sanatorio Casa de Galicia* en Av. Millán¹ (CEDA, 1958, p. 20).

¹ Ubicado aprox. a 10 km del centro de Montevideo en el barrio Prado, una zona residencial de casas bajas.

- Del Taller Altamirano² (ver Fig. 2), el cual integraba en 1958 como asesor técnico (Revista, 1960, p. 59).

INTEGRACION DEL TALLER ALTAMIRANO EN EL AÑO 1958.	
Profesor Director del Taller:	Arqto. Alfredo Altamirano.
Asistentes:	Arqtos. Héctor Iglesias Chávez, Justino Serralta, Nelson Bayardo (en uso de licencia) y Sres. Danilo López y Conrado Petit Rucker (suplente).
Estudiantes auxiliares:	Sres. Aldo Di Lorenzo, Carlos Millot y Walter Rodríguez Díaz.
Asesores Técnicos:	Construcción: Arqtos.: Raúl Alonso, Jorge Bisogno y Felipe Zamora.
	Estabilidad: Ing. Angel Del Castillo.
	Sanitarias: Ing. Romualdo Trucillo.
	Acondicionamiento Térmico: Ing. L. Daguerre de Oliveras.
	Acondicionamiento Luminico y Eléctrico: Elmar Panuncio.
	Acondicionamiento Acústico: Ing. Jaime Carbonell.

Figura 2: Carbonell en el Taller Altamirano

Hasta el momento no se ha encontrado información relativa al destacado arquitecto y acústico Luis García Pardo (1910–2006), de que se haya ocupado de mediciones de ruido urbano antes de 1960.

4. NORMAS VIGENTES DE «RUIDO MOLESTO» EN 1960

En un artículo anterior de esta revista, se comentó que la Intendencia de Montevideo en 1955 presentó un proyecto para discutir una ordenanza anti-ruido que no prosperó (Montano & Martínez, 2022), y que en noviembre de 1960 presionada de la vecindad y la prensa, bajo el título de «Ruidos molestos. Normas vigentes» publicó una recapitulación de las ordenanzas vigentes en materia de ruido molesto, que a modo de preámbulo indica:

Queda prohibido dentro de los límites de la ciudad, zonas urbanas y centros poblados del Departamento, producir, causar, estimular o provocar ruidos molestos superfluos o extraordinarios. sean ellos originados por acciones u omisiones directas o indirectas, voluntarias o casuales, del hombre, o por la de animales o elementos de que aquél dispone o de que se sirve, cuando por razón de la hora y del lugar o por el grado de intensidad perturben el reposo o la tranquilidad de la población, y asimismo. cuando se determinen perjuicios morales o materiales. (Marcha, 1960, p. 7)

Se aprecia que las ordenanzas a 1960, continuaban con el criterio de buena conducta con juicios arbitrarios y subjetivos, provocando a personas que abogaban por

² Alfredo Enrique Altamirano Clara (1916–1979) fue un destacado arquitecto uruguayo, dirigió un «Taller de arquitectura» que es más conocido como el *Taller Altamirano*, que funcionó entre 1945–1960.

legislación moderna reaccionaran desde los medios de comunicación.

5. MEDICIONES DE CX14 RADIO *EL ESPECTADOR* PARA EL SEMANARIO *MARCHA*

En una columna del multifacético Ignacio Domínguez Riera (1910–1989), publicada en el semanario *Marcha* el 9 de diciembre de 1960 bajo el título de «Un ruido de mil diablos» (Domínguez, 1960, p. 7), inicia una diatriba sin mencionar la legislación anti-ruido vigente; Domínguez además de periodista y escritor, estuvo vinculado a la transmisión y grabación del sonido (radio, cine, etc.), por lo que estaba familiarizado con la tecnología e instrumentación acústica.

A manera de justificar su diatriba contra el ruido montevideano, comenta que con la ayuda de la radio CX14, el técnico Lalanne (responsable del móvil) hizo mediciones en algunos cruces montevideanos que «fueron hechas en las horas más benignas: un sábado de tarde». Sobre el instrumental utilizado para esas mediciones de ruido no da esclarecimiento, sólo explica (ver Fig. 3) una escala arbitraria y subjetiva que aplicaron para dar entendimiento a lo que el técnico registró.

Damos en seguida el resultado pero antes, para que se tenga un elemento de relación diremos que una conversación normal, escuchada a un metro de distancia, equivale en nuestra Tabla, a 10.

Ahora veamos: 8 de Octubre y Avda. Centenario: Nivel común: 30, Máximo: 60. 18 de Julio y Ejido: Nivel común: 35, Máximo: 60. 18 de Julio y Andes: Nivel común: 40, Máximo 60.

En este último cruce se registró un klaxon de trolley bus que llevó el máximo a 80. (Además, en la cinta magnética figura un grito de "Animal", de intensidad 40, presumiblemente un diagnóstico de un conductor sobre otro).

Se midió asimismo la bocina de un trolley bus: 85.

Al intentarse la medida del mismo sonido en una calle estrecha, la calle Buenos Aires, resultó inmedible porque pasó los 100.

Figura 3: Mediciones de ruido de la CX14 (1960)

Queda en claro que no utilizaron un medidor del nivel sonoro para esas mediciones, y por lo que se lee se

especula que registraron los sonidos de la calle con un grabador portátil de cinta, al que le conectaron el micrófono (tal vez los destinados a reportajes en exteriores), y luego ‘analizaron’ el sonido en su taller/gabinete.

El sonómetro no es un instrumento de uso regular en la radiofonía pero sí lo es un voltímetro o un multímetro, aquellos que tienen incorporada una escala logarítmica para medir decibeles eléctricos, el cual seguramente fue el aparato que utilizaron, conectando a la salida de audio del grabador dicho aparato, pero al no tener una fuente de referencia sonora (un calibrador) era imposible referir la tensión en unidades de decibeles eléctricos a decibeles acústicos, de ahí que su ‘tabla de medida’ se inicie en 10 unidades «correspondiente a una conversación normal a un metro de distancia», que extrapolaron la señal grabada del ruido urbano.

Aquí no se pone en discusión el método que utilizó el personal de CX14, por el contrario se quiere dar reconocimiento al esfuerzo hecho por Lalanne y Rivera (su jefe), que con métodos limitados intentaron dar un apoyo técnico a las personas que abogaban por una legislación anti-ruido moderna, basada en niveles de presión sonora.

6. PRIMERA CAMPAÑA DE MEDICIONES CIENTÍFICAS DE RUIDO URBANO

Hasta el día de la fecha sólo se tiene información que Jaime Carbonell (indistintamente junto a Carlos Fontán o con José Zucoli) es el único que realizó mediciones de ruido en Montevideo antes de 1961, y comunicó sus resultados en (al menos) un diario y una revista, por lo que en esta Sección se presenta lo que en esas él escribió acerca del resultado de los niveles de ruido que registró en distintos puntos, y bajo varios escenarios de comportamiento.

6.1. Artículos en *El Diario* a fines de 1960

Jaime Carbonell a poco de su regreso a Uruguay de completar su maestría (con mención en electroacústica) del MIT, publicó dos artículos en *El Diario* dando cuenta de la peligrosidad de los ruidos de la calle (Carbonell, 1960–a) (Carbonell, 1960–b);³ en el segundo, sin mencionar el resumen de las normas anti-

³ Estos artículos no están en Internet, el autor consiguió fotografías de ellos, enviados por una archivera.

ruido de la Intendencia, comenta que estaba realizando una campaña de medición de ruidos en muchos puntos de Montevideo, comunicando los niveles sonoros en valores lineales (dB) que registró tanto en exteriores como en ambientes interiores, porque los efectos del ruido en la salud no pueden ser considerados como algo subjetivo: «Es necesario terminar de una vez por todas en nuestro país con semejante tipo de vaguedades cuando nos referimos a los ruidos, problema del cual nuestras autoridades deben reconocer la urgente gravedad». Llama la atención de que no haya comunicado los niveles de ruido en dBA que era [y es] lo usual; ya se regresará a esto más adelante.

Ambos artículos son extensos y explica la importancia que tiene la Ingeniería acústica en la solución de los problemas del ruido urbano, con criterios intelectuales muy modernos para 1960:

se deberá proponer las medidas de CONTROL DE RUIDO correspondientes (actuando sobre la fuente, la transmisión y/o receptor), que serán las más convenientes, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Recién entonces habremos alcanzado el grado de higiene y confort acústicos que reclama nuestra población. (Carbonell, 1960–b)

6.2. Artículo en la *Revista de Arquitectura*, 1961

Utilizando instrumental de su empresa INGAC SA, Carbonell y Fontán (1961, p. 76) realizaron la medición de ruido urbano: «ante la falta de iniciativa, motivada en parte por carencia del instrumental y personal necesario, por parte de los organismos públicos relacionados con el problema»; aclara que ocasionalmente grabaron en cinta de audio el ruido urbano para un posterior análisis en el laboratorio, entonces debieron anotar los valores del nivel sonoro registrado, en cada uno de los puntos de medición.

En la fotografía (tomada en la intersección de las avenidas Bulevar España y Bulevar Artigas) de la Fig. 4, se pueden ver los instrumentos que utilizaron para sus mediciones en las calles de Montevideo: **(a)** Sonómetro “Transistor, Sound Level Meter Type N° 1400E” Dawe, de origen británico; **(b)** banco de filtros pasivos “2-BR Passive Inductor Filter” Allison Labs, de los EE. UU.



Figura 4: Medición frente a la Fac. de Arquitectura, diciembre de 1960 (coloreada por el autor)

El sonómetro que utilizaron⁴ tiene la posibilidad de insertarle un aparato externo para procesar la señal, y de esta manera el nivel sonoro captado por el micrófono (previamente calibrado), se podía conocer el nivel de presión sonora resultante en la escala del visor con el movimiento de la aguja.

Puesto que los resultados de sus mediciones los informan en intervalos de octavas (ver Fig. 5), en cada punto de medición tuvieron que ajustar los controles de selección individual de las frecuencias de corte pasa-bajo y pasa-alto, seleccionar el nivel sonoro correcto con una llave selectora y después tomar nota del nivel sonoro acusado por la aguja y cambiar nuevamente las frecuencias de corte ¡ocho veces por cada punto! Un trabajo realmente loable.

Los niveles de presión sonora en su artículo están expresados en dB, comentando que están medidos con la escala “C”, y no se debe olvidar que en 1960 la curva “C” era de respuesta plana (ver Fig. 1).

Nota. La ponderación en frecuencia a la curva “C” fue incorporada en 1961 como ‘tentativa’ por la IEC, y aceptada internacionalmente en 1966.

Resultados de las mediciones.

En su artículo comparten una gráfica que presenta el resultado de tres de sus mediciones, que están en valores globales expresados en dB (no en dBA) en bandas de una-octava (ver Fig. 5), las que no estaban definidas a partir de una frecuencia central sino de un

⁴ El modelo 1400E fue publicitado como ‘el primer sonómetro enteramente transistorizado’; se puede ver una foto en (Dawe, 1960)

intervalo, tal como se establecía en la Norma Z24.10–1953.

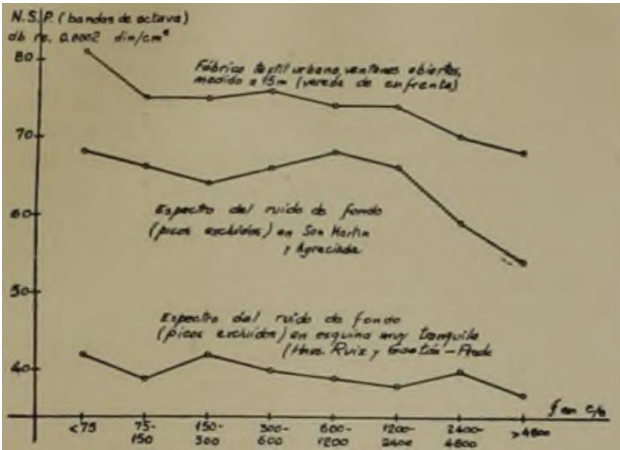


Figura 5: Análisis en intervalos de una-octava de ruidos medidos en Montevideo (1960)

Al extrapolar los valores graficados en la Fig. 5, se obtienen los niveles sonoros (como definidos en la Z24.10–1953), que están reproducidos en la Tabla 1 sólo las dos mediciones de ruido de tráfico; ellos las identifican como de ‘ruido de fondo’ porque fueron registrados sin pasada de vehículos (o con escaso aforo, tal como dicen en su artículo).

Tabla 1. Ruido de fondo. Extrapolación de valores de la Fig. 5 (dB re. 20 µPa)

Banda de frecuencia una-octava	San Martín y Agraciada	Típica esquina tranquila Hnos. Ruiz y Gaetán - Prado
< 75 Hz	68	42
75-150 Hz	66,9	39
150-300 Hz	64	42,5
300-600 Hz	67,9	40
600-1200 Hz	68,5	39
1200-2400 Hz	67	37,5
2400-4800 Hz	59	40
> 4800 Hz	53	36,9
<i>L_{eq}</i>	72	50

Dado que con esos valores no se puede ‘reconstruir’ el nivel sonoro *L_{Aeq}* directamente con referencia metrológica del año 2023, se tienen que convertir esos valores de intervalo de banda a valores de bandas de una-octava con frecuencia central.

Aplicando la ecuación *Interpolation of new band level from old band levels*, del Anexo A de la Norma S1.11-1966 (ASA, 1971), se convirtieron los valores registrados con la Norma Z24.10–1953 de la Tabla 1 a valores

según la Norma IEC 61672-1:2013, que en la Tabla 2 se presentan los niveles sonoros obtenidos.

Tabla 2. Valores en intervalo de banda convertidos a valores en frecuencia central (dB re. 20 µPa)

Frecuencia central una-octava	San Martín y Agraciada	Típica esquina tranquila Hnos. Ruiz y Gaetán - Prado
63 Hz	68,3	42,7
125 Hz	67,6	39,8
250 Hz	64,9	43,1
500 Hz	68	40,2
1000 Hz	68,9	39,4
2000 Hz	68,9	38,1
4000 Hz	60,4	40,7
<i>L_zeq</i>	76,6	50,5
<i>L_Aeq</i> *	73,6	46,5
<i>L_Ceq</i> *	76,0	49,7

* Calculados de acuerdo con la IEC 61672–1:2013

De la Tabla 2 se observa que:

- En la esquina de San Martín y Agraciada en 1960 se registró 73,6 dBA, seguramente a causa de que en ese año los buses eran muy ruidosos con motores de 8 cilindros en línea expuestos al exterior (ver Fig. 6), y esas avenidas eran empedradas.



Figura 6: Bus típico en Montevideo en 1960 (fotografía de Internet)

- En la esquina de las calles Hermanos Ruiz y Gaetán en 1960 se registró 46,5 dBA, tal vez se pueda medir el mismo nivel de ruido en 2023, porque esa zona continúa siendo residencial de casas bajas y poca densidad.

Para conocer el nivel sonoro del resto de escenarios que registraron, los mismos se encuentran en la página 78 en la *Revista* (Carbonell & Fontán, 1961),

recordando que están en dB globales por lo que no es posible convertirlos a valores en dBA.

Limitaciones de sus resultados.

Ellos mismos advierten que sus mediciones no pretenden ni pueden ser completas, y respecto a las fuentes fijas de ruidos (fábricas, talleres, obras en construcción, altoparlantes de anuncios y propaganda, etc.) comentan que es necesario un estudio más completo y que «es necesario continuar esta campaña de mediciones durante mucho tiempo para poder considerarlos como definitivos» (Carbonell & Fontán, 1961, p. 77); también explican que los niveles sonoros varían en el tiempo dependiendo de la hora, o del día de la semana, o las estaciones del año y hasta con las variaciones climáticas diarias.

Interpretación y extrapolación de resultados.

En una gran sección analizan y explican en detalle los resultados que obtuvieron, de las mediciones de ruido urbano, en interiores de viviendas, en ámbitos laborales, de aeronaves, etc., con breves definiciones teóricas y algunas fórmulas; ellos lo comentan muy bien, por lo que se deja a los lectores que deseen ampliar ese trabajo, pueden leerlo directamente de su artículo (Carbonell & Fontán, 1961).

Niveles de ruido medidos vs. normas vigentes. En la sección que titulan «Bases para una eficaz lucha contra los ruidos urbanos; los notorios defectos de las reglamentaciones vigentes», emprenden una afrenta contra las autoridades de la Intendencia de Montevideo, criticando duramente la falta de personal capacitado en temas de ruido urbano, y de la ausencia de una legislación objetiva. Sus observaciones están focalizadas en las normas vigentes (Marcha, 1960, p. 7), diciendo que las políticas anti-ruido deben ir acompañadas de una campaña de mitigación, y obligar al uso de silenciadores en vehículos y motonetas, y que las industrias deberían tener mejores medidas de ingeniería acústica de prevención de las emisiones de ruido molesto, imitando acciones que se realizaban en otros países pero con reparos.

Entre las medidas políticas a implementar desde la Intendencia de Montevideo, aconsejaron que se hagan estudios previos de ruido antes de la instalación de fábricas, para evitar la futura molestia por ruido y vibraciones (lo mismo recomiendan para los demás contaminantes atmosféricos).

Respecto a la legislación en materia de ruido molesto, sugieren que sea por la imposición de límites máximos expresados en dB lineales por bandas en una-octava de frecuencia (tal como se hacía en determinadas ciudades de los EE. UU.), pero con una gran advertencia sobre los riesgos de si se copiasen directamente valores de niveles de ruido de otras ciudades (ver Fig. 7).

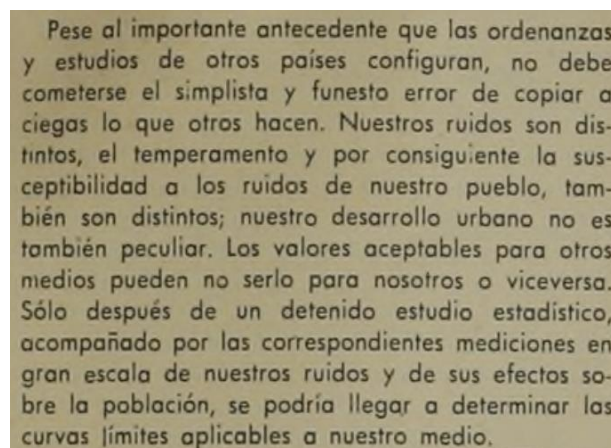


Figura 7: Riesgos de copiar legislación de otras ciudades (Carbonell & Fontán, 1961, p. 82)

7. LA INGENIERÍA ACÚSTICA Y EL RUIDO DE LA CALLE

Tanto en los artículos en *El Diario* como en el de la *Revista*, Jaime Carbonell en sus conclusiones de la campaña de ruido de las calles montevideanas, pone énfasis en la necesidad de difundir las actividades de la disciplina de la ingeniería acústica, ya que se deben implementar medidas de mitigación planificadas desde las autoridades, que para llevarlas a cabo se debe tener una mirada científica; entonces, por esta razón es que el autor de este artículo se permite discurrir que Carbonell comunica los resultados en dB lineales o en bandas de una-octava de frecuencia, porque al representar el nivel de presión sonora real es más directo su entendimiento al ruido que se debe disminuir.

Hay que recordar que en diciembre de 1960 Carbonell hacía pocos meses que había culminado su maestría en el MIT por lo que estaba ‘con la mente fresca’ de conocimientos de la acústica con visión científica y hasta abstracta; entonces, es de suponer que por esa razón él no informa los niveles sonoros en dBA, y es llamativo que ni siquiera menciona su utilización en ninguna parte de su artículo, a pesar de que habla de la pérdida auditiva en trabajadores.

8. IMPORTANCIA HISTÓRICA DE LAS MEDICIONES DE RUIDO URBANO DE CARBONELL Y FONTÁN EN 1960

Respecto a campañas de mediciones de ruido urbano en otros países de Iberoamérica, por el momento hay información de dos ciudades: **(a)** En Córdoba, Argentina, en 1961–1962 (Montano, 2016); **(b)** en Madrid, España, en 1962–1963 para la confección de un mapa de ruido (Montano, 2023).

Es de suyo evidente que esta campaña de mediciones de ruido en las calles de Montevideo durante diciembre de 1960 (diez años después de las que se hicieron en Chicago) ubica a Uruguay entre los primeros países de Iberoamérica en efectuar ese tipo de actividad acústica.

Otro hecho a destacar es que la propuesta de Carbonell y Fontán respecto a una ordenanza que estableciera los límites máximos de ruido para Montevideo, debía estar sustentada en valores expresados en dB lineales por bandas de una-octava de frecuencia; para el caso de Córdoba, recomendaron valores globales en dB(A) y dB(B) [incluido en ordenanza de 1965], y Madrid en globales en dBA [incluidos en ordenanza de 1969].

9. CONCLUSIONES

Este artículo presentó nuevas piezas del gran ‘rompecabezas’ que significa construir diacrónicamente la historia de la lucha contra el ruido en Montevideo hasta 1970, algunas de ellas ya se expusieron en artículos anteriores (de esta misma revista) y ahora fueron mejor ubicados espacialmente; aplicando este ‘método de armado’ de la historia, no es posible conocer el tamaño del tablero final de este rompecabezas, porque cada dato histórico aislado que se va encontrando en Internet es en realidad ‘la punta de un nuevo ovillo’, y hasta que no estén al acceso del público la digitalización completa de los medios de comunicación de aquellos años, la práctica de arqueología documentaria en archivos físicos es prácticamente imposible.

Este artículo intenta dar tributo y reconocimiento a aquellas personas que en 1960, creían en la necesidad de comunicar los niveles de ruido seriamente, y que para ello era necesario tomar una actitud objetiva y científica, algunas con limitaciones de instrumental y otras como Jaime Carbonell, Carlos Fontán y Jorge

Zucoli, la elevaron a una categoría científica; los tres eran docentes de la UdelaR, y de la documentación que existe sobre el trabajo de ellos todo está vinculado a la Facultad de Arquitectura de la UdelaR.

La realización de esa campaña de mediciones de ruido en Montevideo estaba ‘perdida’ y no eran conocidas por los acústicos de hoy día; recién en 2018 el autor pudo conseguir fotografías de la *Revista* con el artículo de Carbonell, y emprendió la tarea de divulgar ese trabajo.

Queda pendiente (una vez más) el desafío de realizar ‘arqueología archivística’ entre los documentos de la Fac. de Arquitectura de la UdelaR, a fin de corroborar si existe información burocrática que dé cuenta de las mediciones que hizo Carbonell y sus colegas, o la posibilidad de hallar más datos de su trabajo.

Hasta el momento no se encuentran documentos en Internet de que esa campaña de mediciones de ruido en las calles de Montevideo de diciembre de 1960, haya tenido repercusión entre las autoridades de la Intendencia de Montevideo.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer a Paula Giordano por fotocopiar y enviar el artículo de Jaime Carbonell de la biblioteca del IHA de la Facultad de Arquitectura de la UdelaR; agradecer a personal del archivo del Ministerio de Economía de Uruguay, por el envío de las fotos tomadas con un celular de los ejemplares de *El Diario*; también a editores y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo.

CONFLICTOS DE INTERESES

Se declara que este artículo no tiene conflicto de intereses (siempre se menciona la fuente de los datos), tampoco tuvo fuentes de financiamiento y fue escrito en el tiempo libre del autor.

REFERENCIAS

- ASA (1971) S1.11-1966 *American Standard Specification for Octave, half-octave, and third-octave band filter sets*. American Standards Association.
- Beranek, L. L. (1954) *Acoustics*. The Acoustical Society of America.
https://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_t

- [echnology/physics/Waves_and_Thermodynamics/Acoustics%20-%20L.%20Beranek.pdf](https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/2379)
- Carbonell, J. R. (1960–a) *Enfoque actual de la lucha contra el ruido*. El Diario. 24 de noviembre de 1960
- Carbonell, J. R. (1960–b) *La Ingeniería Acústica lucha contra el ruido*. El Diario. 3 de diciembre de 1960.
- Carbonell, J. R.; Fontán, C. (1961) *Un capítulo de higiene acústica; los ruidos urbanos en Montevideo*. Revista N° 3, pp. 74–85. Fac. de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Udelar. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/72547>
- CEDA (1958) *Casa de Galicia sanatorio*. Revista del Centro Estudiantes de Arquitectura N° 28. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/71863>
- Dawe (1960) *Sound Level Meter 1400*. Equipment Dawe Instruments Ltd. <https://www.vintage-radio.net/forum/attachment.php?attachmentid=40164&d=1283683008>
- Domínguez Riera, I. (1960) *Haz mal y no mires a cuál. Un ruido de 1000 diablos*. Semanario Marcha, año XXII(1038), 09/12/1960. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/2376>
- Fletcher, H.; Munson, W. A. (1933) *Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation*. The Journal of the Acoustical Society of America (5)82 – 1933 <https://doi.org/10.1121/1.1915637>
- Marcha (1960) *Ruidos molestos. Normas vigentes*. semanario Marcha. 25 de noviembre de 1960, p. 7
- Montano, W. A. (2016) *La acústica en Argentina, un reportaje: La historia de la acústica en Argentina a través de sus pioneros y protagonistas, desde 1834 hasta la fundación de la Asociación de Acústicos Argentinos en 1976*. Ed. AdAA. Argentina.
- Montano, W. A.; Martínez-Pascal, M. N. (2021) *Los primeros grupos anti-ruido con sus campañas por la lucha de un «Día sin ruido»*. ECOS Vol. 2 Núm. 1 (2). <https://doi.org/10.36044/EC.V2.N1.2>
- Montano, W. (2022) *Public concern and measurements of noise in the city*. Noise News International magazine. <http://noisenewsinternational.net/public-concern-and-measurements-of-noise-in-the-city/>
- Montano, W., A.; Martínez, M.N. (2022) *Menciones a ordenanzas anti-ruido en los medios montevideanos hasta 1970*. Revista ECOS – V.4 (1) Asociación Uruguaya de Acústica. <https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/ecos/article/view/845>
- Montano, W.A. (2023) *Desde los Bandos del silencio hasta la primera Ordenanza contra el ruido de Madrid*. Revista de Acústica de la SEA. Vol.54. Núm. 1-2, primer y segundo trimestre 2023
- Revista (1960) *Labor de los talleres en la facultad. Taller Altamirano 1958*. Precisiones sobre un taller de arquitectura. Revista N° 2, mayo 1960. Fac. de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Montevideo. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/72546>

Sonificación: los datos suenan. Sonificación del Arroyo Miguelete

Sonification: data sounds. Sonification of Arroyo Miguelete Sonificação: sons de dados. Sonificação da Ribeira Miguelete

Luis Marisquirena

Investigador independiente, luismarisquirena@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2596-0521>

Recibido: 31/10/2023 Aceptado: 06/12/2023

Resumen

Vivimos en un mundo plagado de datos de todo tipo. Registramos información en volúmenes impresionantes por su número. Vivimos en el mundo del bigdata. El registro en muchas ocasiones se transforma en listas de datos con diferentes formatos como texto, planillas electrónicas y bases de datos entre otras. El proceso que representa esos datos de forma que puedan transmitirse como señales acústicas se denomina sonificación. Las estrategias para sonificar una serie de datos son variadas. Nosotros desarrollaremos una estrategia que nos permitió sonificar el arroyo Miguelete, uno de los más importantes dentro del departamento de Montevideo. Este trabajo desarrolla esa estrategia.

Palabras clave: sonificación, datos, Arroyo Miguelete

Abstract

We live in a world plagued by data of all kinds. We record information in volumes that are impressive in number. We live in the world of big data. The registry is often transformed into lists of data with different formats such as text, electronic spreadsheets and databases, among others. The process that represents that data so that it can be transmitted as acoustic signals is called sonification. The strategies for sonifying a series of data are varied. We will develop a strategy that allowed us to sonify the Miguelete stream, one of the most important in the department of Montevideo. This paper develops that strategy.

Keywords: sonification, data, Arroyo Miguelete

Resumo

Vivemos em um mundo atormentado por dados de todos os tipos. Registramos informações em volumes que são impressionantes em número. Vivemos no mundo do big data. O cadastro muitas vezes é transformado em listas de dados com diferentes formatos, como texto, planilhas eletrônicas e bancos de dados, entre outros. O processo que representa esses dados para que possam ser transmitidos como sinais acústicos é chamado de sonificação. As estratégias para sonificar uma série de dados são variadas. Vamos desenvolver uma estratégia que nos permitiu sonificar o córrego Miguelete, um dos mais importantes do departamento de Montevideu. Este artigo desenvolve essa estratégia.

Palavras-chave: sonificação, dados, ribeira Miguelete

1. ¿QUÉ ES LA SONIFICACIÓN?

Vivimos en un mundo plagado de datos de todo tipo. Registramos información en volúmenes impresionantes por su número. Vivimos en el mundo del bigdata. El registro en muchas ocasiones se transforma en listas de datos con diferentes formatos como texto, planillas electrónicas y bases de datos, entre otras.

El proceso que representa esos datos de forma que puedan transmitirse como señales acústicas se denomina Sonificación.

La definición dada por Kramer dice “...La Sonificación es la transformación de las relaciones de datos en relaciones percibidas como una señal acústica con el fin de facilitar la comunicación o la interpretación...”

Es una técnica que, para nuestro enfoque, está entre lo científico y lo artístico sonoro.

Los datos surgen de fuentes diversas vinculadas a parámetros variados.

Las técnicas de Sonificación pueden ser diversas también, pero deben cumplir algunos requisitos básicos si están solo centradas en el ámbito científico:

- La representación sonora está vinculada a las relaciones y/o los datos que se manejan.
- Hay un algoritmo definido para la transformación de datos en señal sonora.
- Se puede replicar, es decir que si los datos de entrada son iguales la señal sonora reproducida debe ser la misma.
- Puede utilizarse el mismo algoritmo con datos diferentes o repitiendo los mismos datos obteniendo señales sonoras correspondientes con cada caso.

Las estrategias para sonificar una serie de datos son variadas. Si damos un enfoque artístico, las estrategias pueden ser infinitas.

Nosotros desarrollaremos en este trabajo la estrategia que nos permitió sonificar el arroyo Miguelete, uno de los más importantes dentro del departamento de Montevideo (Uruguay).

2. SONIFICACIÓN DEL ARROYO MIGUELETE

2.1 Descripción general del Arroyo Miguelete

El arroyo Miguelete es uno de los arroyos más importantes del departamento de Montevideo.

Se ubica en la parte central del departamento teniendo sus nacientes al norte del mismo.

Su cuenca abarca 970 Há, de las cuales 54 % son en área rural. En ella viven aproximadamente 320000 personas. El caudal máximo histórico registrado es de 280 m³/s. La longitud del cauce es de 21.5 km desagando en la Bahía de Montevideo.

2.2 Sonificación

La sonificación es el procedimiento por el cual una serie de datos se expresan acústicamente.

Es muy conocido por todo el contador Geiger utilizado para medir radioactividad. Este contador es una aplicación de la sonificación en la cual los datos de lectura de los sensores de la radioactividad se transforman para que sean escuchados. El sonido emitido está vinculado directamente con los niveles de radioactividad, donde el silencio es la no presencia y un aumento de la frecuencia es equivalente a un aumento del nivel de radioactividad.

Los procesos de Sonificación pueden ser variados. Nosotros para este caso hemos utilizado un algoritmo que transforma datos del Arroyo Miguelete en valores de frecuencia dentro del rango audible entre 20 Hz y 20000 Hz.

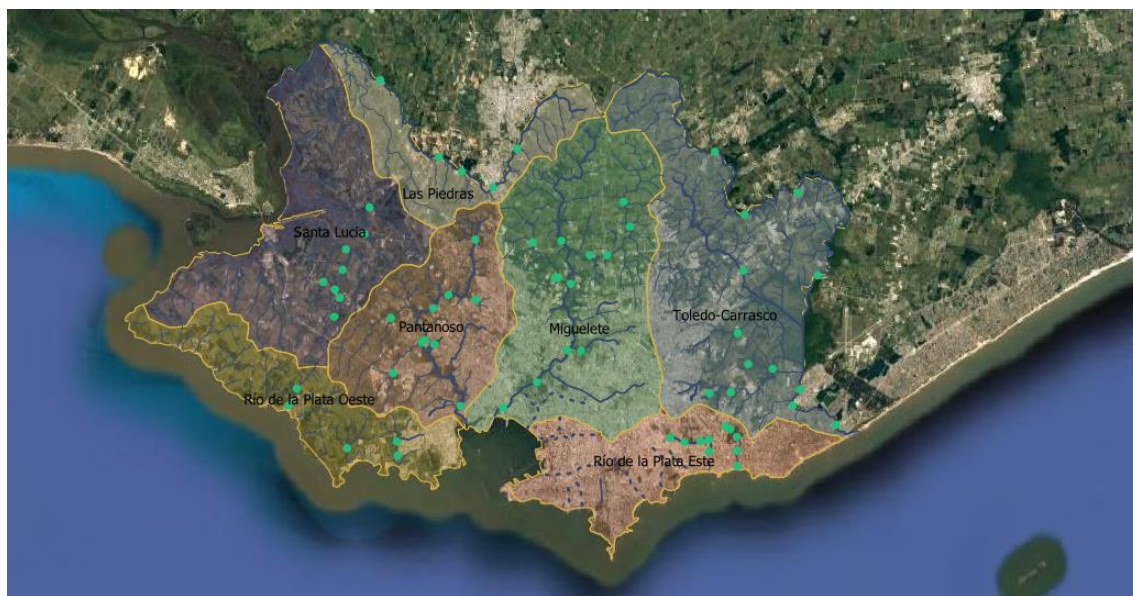


Figura 1. Foto tomada de la página WEB de la Intendencia de Montevideo ([Cursos de agua | Datos abiertos ambientales \(montevideo.gub.uy\)](https://montevideo.gub.uy/cursos-de-agua))



Figura 2. Parque lineal Arroyo Miguelete



Figura 3. Arroyo Miguelete

2.3 Desarrollo de la sonificación del acorde de base

El acorde de base pretende identificar al Arroyo Miguelete y compararlo con otros arroyos de Montevideo o de cualquier otro lugar.

Los elementos que tomamos como identificatorios del arroyo Miguelete fueron:

- La longitud de su cauce en km
- El área de su cuenca en Há
- La población dentro de la cuenca en miles de habitantes
- El caudal máximo histórico en m³/s

Con esos 4 elementos construimos valores de frecuencia de cada uno y los asociamos a nota en un teclado de piano. Por ello habrá un rango de valores por cada nota del piano que se asocian a una tecla del instrumento.

Esos cuatro valores de frecuencia constituyen un acorde de base que identifica ese curso de agua.

2.4 Sonificación de datos

Optamos en nuestro caso en trabajar con datos ambientales del arroyo Miguelete.

Los datos utilizados corresponden al índice ISCA elaborado por la Intendencia de Montevideo. El índice varía entre 0 y 100 según la tabla 1:

Tabla 1

actividad características	ISCA	Propiedades del agua
Abastecimiento	86-100	Agua de montaña
Balneario	76-85	Aguas claras
Pesca	61-75	Aguas medias
Náutica	46-60	Aguas brutas
Riego	31-45	Aguas deterioradas
Riego forestal	16-30	Agua residual diluida
Condición peligrosa	0-15	Agua residual

Más detalles del índice ISCA se encuentran en [Índice de calidad de agua | Intendencia de Montevideo](#).

Para nuestro caso tomamos los valores del INDICE anualizados para 5 estaciones de muestreo y en un periodo de 15 años.

Los valores de ese índice se toman en 5 estaciones a lo largo del arroyo Miguelete y con muestras mensuales. El periodo utilizado en la Sonificación es de 15 años. Finalmente se trabaja con todos los valores de las 5 estaciones anualizados.

Así, considerando los valores del índice ISCA se utiliza un algoritmo que los transforma a valores de frecuencia dentro del rango abarcado por un piano de 88 teclas, es decir entre 27.5 Hz y 4186 Hz (ver Tabla 2).

Para la adquisición de datos debimos recurrir al mecanismo de solicitud de información pública como nos solicitaron desde el Servicio de la IM que tiene competencia en la toma de datos en terreno. Así, recibimos datos con formato .csv

Se elaboró la siguiente tabla anualizada de valores ISCA (ver Tabla 3).

Con los datos recibidos aplicamos el algoritmo y obtuvimos así valores de frecuencia en el rango entre 27.5 y 4186 Hz con los cuales armamos la melodía de Sonificación.

El algoritmo para transformar esos valores ISCA en valores de frecuencias dentro del intervalo elegido es:

$$f_{ISCA} = Valor\ ISCA * \frac{(4186.01 - 27.5)}{100} + 27.5$$

Para nuestro caso, eso daría la siguiente tabla (ver Tabla 4).

Tabla 2. Conversión a frecuencias para cada valor ISCA. Elaboración propia a partir de [Frecuencias de afinación del piano - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA	Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA
1	la ₁	A0	27,5	0	23	sol ₁	G2	98,0	2
2	la ₁ si _{b1}	A#0/Bb0	29,1	0	24	sol ₁ la _{b1}	G#2/Ab2	103,8	2
3	si ₁	B0	30,9	0	25	la ₁	A2	110,0	2
4	do ₀	C1	32,7	0	26	la ₁ si _{b1}	A#2/Bb2	116,5	2
5	do ₀ re _{b0}	C#1/Db1	34,6	0	27	si ₁	B2	123,5	2
6	re ₀	D1	36,7	0	28	do ₂	C3	130,8	2
7	re ₀ mi _{b0}	D#1/Eb1	38,9	0	29	do ₂ re _{b2}	C#3/Db3	138,6	3
8	mi ₀	E1	41,2	0	30	re ₂	D3	146,8	3
9	fa ₀	F1	43,7	0	31	re ₂ mi _{b2}	D#3/Eb3	155,6	3
10	fa ₀ sol _{b0}	F#1/Gb1	46,2	0	32	mi ₂	E3	164,8	3
11	sol ₀	G1	49,0	1	33	fa ₂	F3	174,6	3
12	sol ₀ la _{b0}	G#1/Ab1	51,9	1	34	fa ₂ sol _{b2}	F#3/Gb3	185,0	4
13	la ₀	A1	55,0	1	35	sol ₂	G3	196,0	4
14	la ₀ si _{b0}	A#1/Bb1	58,3	1	36	sol ₂ la _{b2}	G#3/Ab3	207,7	4
15	si ₀	B1	61,7	1	37	la ₂	A3	220,0	5
16	do ₁	C2	65,4	1	38	la ₂ si _{b2}	A#3/Bb3	233,1	5
17	do ₁ re _{b1}	C#2/Db2	69,3	1	39	si ₂	B3	246,9	5
18	re ₁	D2	73,4	1	40	do ₃	C4 (do central)	261,6	6
19	re ₁ mi _{b1}	D#2/Eb2	77,8	1	41	do ₃ re _{b3}	C#4/Db4	277,2	6
20	mi ₁	E2	82,4	1	42	re ₃	D4	293,7	7
21	fa ₁	F2	87,3	1	43	re ₃ mi _{b3}	D#4/Eb4	311,1	7
22	fa ₁ sol _{b1}	F#2/Gb2	92,5	2	44	mi ₃	E4	329,6	7

Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA	Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA
45	fa ₃	F4	349,2	8	67	re ₅ mi _{b5}	D#6/Eb6	1.244,5	29-30
46	fa ₃ sol _{b3}	F#4/Gb4	370,0	8	68	mi ₅	E6	1.318,5	31
47	sol ₃	G4	392,0	9	69	fa ₅	F6	1.396,9	32-33
48	sol ₃ la _{b3}	G#4/Ab4	415,3	9	70	fa ₅ sol _{b5}	F#6/Gb6	1.480,0	34-35
49	la ₃	A4 (la 440)	440,0	10	71	sol ₅	G6	1.568,0	36-37
50	la ₃ si _{b3}	A#4/Bb4	466,2	11	72	sol ₅ la _{b5}	G#6/Ab6	1.661,2	38-40
51	si ₃	B4	493,9	11	73	la ₅	A6	1.760,0	41-42
52	do ₄	C5	523,3	12	74	la ₅ si _{b5}	A#6/Bb6	1.864,7	43-45
53	do ₄ re _{b4}	C#5/Db5	554,4	13	75	si ₅	B6	1.975,5	46-47
54	re ₄	D5	587,3	13	76	do ₆	C7	2.093,0	48-50
55	re ₄ mi _{b4}	D#5/Eb5	622,3	14	77	do ₆ re _{b6}	C#7/Db7	2.217,5	51-53
56	mi ₄	E5	659,3	15	78	re ₆	D7	2.349,3	54-56
57	fa ₄	F5	698,5	16	79	re ₆ mi _{b6}	D#7/Eb7	2.489,0	57-60
58	fa ₄ sol _{b4}	F#5/Gb5	740,0	17	80	mi ₆	E7	2.637,0	61-63
59	sol ₄	G5	784,0	18	81	fa ₆	F7	2.793,8	64-67
60	sol ₄ la _{b4}	G#5/Ab5	830,6	19	82	fa ₆ sol _{b6}	F#7/Gb7	2.960,0	68-74
61	la ₄	A5	880,0	20-21	83	sol ₆	G7	3.136,0	75
62	la ₄ si _{b4}	A#5/Bb5	932,3	22	84	sol ₆ la _{b6}	G#7/Ab7	3.322,4	76-79
63	si ₄	B5	987,8	23	85	la ₆	A7	3.520,0	80-85
64	do ₅	C6	1.046,5	24-25	86	la ₆ si _{b6}	A#7/Bb7	3.729,3	86-89
65	do ₅ re _{b5}	C#6/Db6	1.108,7	26	87	si ₆	B7	3.951,1	90-99
66	re ₅	D6	1.174,7	27-28	88	do ₇	C8	4.186,0	100

Tabla 3. Valores de índice ISCA (Elaboración propia a partir de datos de la Intendencia de Montevideo)

ARROYO MIGUELETE					
FECHA	INDICE ISCA				
	ESTACION DE TOMA				
	M1	M2	M5	M6	M8
2005	69	64	59	59	55
2006	66	62	64	63	51
2007	69	61	61	61	55
2008	60	58	59	61	45
2009	56	50	56	54	45
2010	59	57	59	61	56
2011	55	60	59	58	50
2012	50	57	52	46	50
2013	60	61	55	55	55
2014	66	61	58	59	55
2015	52	52	54	57	54
2016	59	58	55	58	54
2017	63	60	60	61	51
2018	58	56	66	65	56
2019	54	59	61	67	55
2020	50	57	60	63	33

Tabla 4. Conversión a frecuencias en Hz a partir de valores ISCA anualizados.

ARROYO MIGUELETE					
FECHA	Frecuencia en HZ correspondiente a cada valor de INDICE ISCA				
	ESTACION DE TOMA				
	M1	M2	M5	M6	M8
2005	2.897	2.689	2.481	2.481	2.315
2006	2.772	2.606	2.689	2.647	2.148
2007	2.897	2.564	2.564	2.564	2.315
2008	2.523	2.439	2.481	2.564	1.899
2009	2.356	2.107	2.356	2.273	1.899
2010	2.481	2.398	2.481	2.564	2.356
2011	2.315	2.523	2.481	2.439	2.107
2012	2.107	2.398	2.190	1.940	2.107
2013	2.523	2.564	2.315	2.315	2.315
2014	2.772	2.564	2.439	2.481	2.315
2015	2.190	2.190	2.273	2.398	2.273
2016	2.481	2.439	2.315	2.439	2.273
2017	2.647	2.523	2.523	2.564	2.148
2018	2.439	2.356	2.772	2.731	2.356
2019	2.273	2.481	2.564	2.814	2.315
2020	2.107	2.398	2.523	2.647	1.400

En el acorde de base se utilizan los parámetros indicados y el procedimiento para la conversión a frecuencias en Hz se hace para que sea posible mantener la misma en todos los cursos de agua sin apartarse del rango de frecuencias elegido:

- Longitud en km del curso de agua: se multiplica por 10
- Área de la cuenca en km²: se multiplica por 3
- Población de la cuenca en miles de habitantes: se toma el mismo número.
- Caudal máximo conocido en m³/s: se toma el mismo número

Tabla 6. Tabla de frecuencias obtenida a partir de los valores ISCA y utilizada para la melodía en la partitura

Así se obtuvo el siguiente acorde de base (ver Tabla 5).

Tabla 5. Valores del acorde de base, 4 notas

Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz). Obtenida del algoritmo	Frecuencia (Hz). ADOPTADA
45,0	fa3	F4	345,0	349,2
42,0	re3	D4	300,0	293,7
41,0	do#3/re#3	C#4/D#4	280,0	277,2
37,0	la2	A3	220,0	220,0

Este procedimiento es replicable y permitiría diferenciar diferentes cursos de agua y diferentes estados de la calidad de agua a través de la escucha de esos datos.

Algunos de los otros cursos de agua en el departamento de Montevideo son: Arroyo Pantanoso, Arroyo Las Piedras, Arroyo Carrasco, Arroyo Manga, Arroyo Toledo que serán tratados con el mismo algoritmo utilizado en el Arroyo Miguelete.

Hasta aquí los valores obtenidos por los procedimientos de Sonificación se obtienen directamente de los datos. Podríamos ejecutar la composición musical con estos valores obtenidos.

A continuación, procederemos a un tratamiento artístico en la Sonificación de los datos.

3. TRATAMIENTO ARTISTICO DE LA SONIFICACION

El desarrollo anterior puede verse como un tratamiento directo entre datos y sonidos vinculados por un algoritmo.

A los efectos de crear una composición musical procedemos a utilizar un algoritmo diferente en el tratamiento de la melodía de base ya con fines artísticos.

Para ello usamos un algoritmo diferente limitando, para la melodía, las frecuencias obtenidas a un rango entre 200 Hz y 3500 Hz y manteniendo el mismo acorde de base.

Así se obtiene para la composición de la melodía de base la siguiente tabla 6:

ARROYO MIGUELETE					
FECHA	Frecuencia en HZ correspondiente a cada valor de INDICE ISCA				
	ESTACION DE TOMA				
	M1	M2	M5	M6	M8
2005	3.500	3.042	2.583	2.583	2.217
2006	3.225	2.858	3.042	2.950	1.850
2007	3.500	2.767	2.767	2.767	2.217
2008	2.675	2.492	2.583	2.767	1.300
2009	2.308	1.758	2.308	2.125	1.300
2010	2.583	2.400	2.583	2.767	2.308
2011	2.217	2.675	2.583	2.492	1.758
2012	1.758	2.400	1.942	1.392	1.758
2013	2.675	2.767	2.217	2.217	2.217
2014	3.225	2.767	2.492	2.583	2.217
2015	1.942	1.942	2.125	2.400	2.125
2016	2.583	2.492	2.217	2.492	2.125
2017	2.950	2.675	2.675	2.767	1.850
2018	2.492	2.308	3.225	3.133	2.308
2019	2.125	2.583	2.767	3.317	2.217
2020	1.758	2.400	2.675	2.950	200

El acorde de base ejecutado con la mano izquierda se mantuvo como el obtenido originalmente.
Las frecuencias de la melodía se toman en correspondencia con las del rango de teclas del piano.

La obra incluye los valores de la melodía de base en la que se incorporan desagregadas las notas del acorde de base en un juego entre las dos manos.

Así, para la partitura de piano se tiene la Figura 5.

NOTACION ANGLOSAJONA							
G#7/Ab7	G#7/Ab7	G7	G7	G#7/Ab7	G#7/Ab7	E7	E7
A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3
C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4
F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4
D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4
NOTACION CLASICA							
La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3
Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4
Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4
Re4	Re4	Re4	Re4	Re4	Re4	Re4	Re4
Sol#7	Sol#7	Sol7	Sol7	Sol#7	Sol#7	Mi7	Mi7

Figura 4. Elección de las notas para la composición en piano

Arroyo Miguelete

Primavera 2021

Luis Marisquirena

Sonificación del índice ISCA anualizado para 5 estaciones de muestreo

Figura 5. Arroyo Miguelete. Partitura para piano

Continuando con el tratamiento artístico de esta composición a partir de la Sonificación de datos del arroyo Miguelete, agregamos a esa composición de base una instrumentación fundada en los mismos conceptos, pero ya con intervenciones y timbres expresados artísticamente sin atarse a la secuencia de datos en sí.

Los audios correspondientes a la melodía de base y a la posterior orquestación las pueden encontrar en www.luismarisquirena.com

4. LA SONIFICACION DESDE EL PUNTO DE VISTA INCLUSIVO

Si bien todo el desarrollo anterior se realiza para terminar con una composición artística, no podemos

perder de vista que esa sonificación y la melodía de base permiten identificar las condiciones ambientales comparándolas en el mismo curso a lo largo del tiempo y entre diferentes estaciones de muestreo para un mismo período o comparar estos resultados con los obtenidos para otros cursos de agua.

El procedimiento original permitiría diferenciarlos acústicamente y que alguien solo escuchando interprete los múltiples datos disponibles. Para que sea replicable a otros periodos y a diferentes cursos de agua, debe mantenerse en todos los casos el mismo algoritmo de conversión.

Pensemos en alguien con capacidad limitada de visión o sin ella que pueda diferenciar solo escuchando o alguien que además no pueda oír, y si pueda reconocer diversas situaciones ambientales con vibraciones correspondientes a las frecuencias de la melodía.

ANEXO: AUDIOS DE LAS COMPOSICIONES

Arroyo Miguelete: Desarrollo de la melodía de base. Se puede escuchar en www.luismarisquirena.com

Arroyo Miguelete: Orquestación. Se puede escuchar en www.luismarisquirena.com

BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

Hermann, Thomass; Hunt, Andy; Neuhoff, John. *The Sonification Handbook*. European Sciences Foundation - ISBN 978-3-8325-2819-5

Chion, Michel. *El sonido. Música, cine, literatura...* - Ed Paidós - ISBN: 84-493-0703-1

Kramer, Gregory & Walker, Bruce & Bonebright, Terri & Cook, Perry & Flowers, John & Miner, Nadine & Neuhoff, John & Bargar, Robin & Barrass, Stephen & Berger, Jonathan & Evreinov, Grigori & Fitch, W. & Grohn, M. & Handel, S. & Kaper, Hans & Levkowitz, H. & Lodha, S. & Shinn-Cunningham, Barbara & Simoni, Mary & Tpei, Sever. (1999). *The sonification report: Status of the field and research agenda*. Report prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display.

Molestia acústica: una aplicación experimental enfocada en factores no acústicos. Avance de la tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

Noise annoyance: an experimental application focused on non-acoustic factors. Progress of the thesis of the Master's Degree in Environmental Engineering

Incômodo acústico: uma aplicação experimental focada em fatores não acústicos. Avanço da dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental

Matías Andrés Olivera Richero; Alice Elizabeth González Fernández

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Correo de contacto: maolirich@gmail.com

Recibido: 24/11/2023

Aceptado: 20/12/2023

Resumen

Este artículo presenta los detalles relacionados con la concepción, el diseño, y la implementación de un experimento de escuchas en laboratorio, con el objetivo de estudiar la influencia de una serie de factores no acústicos sobre la molestia percibida por un grupo de voluntarios, la cual fue evaluada mediante una encuesta a base de cuestionarios. Se trata de la primera experiencia de este tipo en el país, y forma parte del trabajo de tesis de la Maestría en Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) de Uruguay, aún en elaboración.

Palabras clave: molestia acústica, factores no acústicos, experimento de escuchas.

Abstract

This article presents the details related to the conception, the design, and the implementation of a laboratory listening test, with the aim of studying the influence of a series of non-acoustic factors on the annoyance perceived by a group of volunteers, which was evaluated through a survey based on questionnaires. This is the first experience of this type in the country, and it is part of the thesis work of the Master's Degree in Environmental Engineering, from the Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) of Uruguay, still in progress.

Keywords: noise annoyance, non-acoustic factors, listening test.

Resumo

Este artigo apresenta os detalhes relacionados à concepção, desenho e implementação de uma experiência de escuta em laboratório, com o objetivo de estudar a influência de um certo número de fatores não acústicos na percepção do incômodo de um grupo de voluntários, que foi avaliada por meio de uma pesquisa baseada em questionários. Esta é a primeira experiência deste tipo no país e faz parte do trabalho de tese do Mestrado em Engenharia Ambiental, da Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) do Uruguai, ainda em andamento.

Palavras chave: incômodo sonoro, fatores não acústicos, experiência de escuta.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de todo el abanico de factores que influyen sobre la molestia acústica (también denominada “molestia inducida por ruido”) que percibe un

individuo al escuchar un ruido, este trabajo tiene su foco en un grupo de factores no acústicos y “personales”, es decir, intrínsecos a la persona (receptor). El principal motivo de esta elección, es la imposibilidad de valorar o predecir completamente el

grado de molestia percibido por una persona (o personas), utilizando solamente parámetros acústicos (físicos) que caractericen al sonido (o sonidos). Por ello, a la hora de evaluar molestia acústica, se deben tomar en cuenta no solo variables del propio sonido, sino de las personas, la situación y del entorno en el cual se encuentran (Fenech et al., 2021). Esto hace necesario tener una mirada más holística a la hora de estudiar el tema, poniendo a la percepción humana como el foco principal.

Dentro de los factores no acústicos que están relacionados con la molestia acústica, Ouis (2001) destaca la edad, el género, la sensibilidad al ruido, el lugar de residencia, el trabajo, entre otros. Sin embargo, muchas veces los experimentos sobre molestia acústica no consideran a los factores no acústicos, ya que se enfocan en los resultados promedios de grandes poblaciones (Paunovic et al., 2008). Los sonidos con contenido semántico (por ejemplo, la música o la palabra), son capaces de provocar mayor molestia en una persona que otros sonidos con espectros y niveles de presión similares (Miyara, 1999). Por otra parte, el estado psicológico de la persona (deprimido, irritado, feliz, etc.) ha sido catalogado como un factor importante relacionado con la percepción del ruido (Liu et al., 2022). También los resultados de algunos trabajos (Preis et al., 2008), sugieren que, para ciertas fuentes sonoras, la identificación de las mismas puede tener influencia sobre el grado de molestia.

Se seleccionaron así, los siguientes factores no acústicos como foco del estudio, como forma de aportar otro grano de arena tanto a las certezas como a las incertidumbres que se tienen actualmente en relación a la influencia de los mismos sobre la molestia percibida.

Tabla 1. Factores objetivo seleccionados para el estudio.

Factores principales	Otros factores
Contenido semántico del sonido	Edad
Identificación de la fuente	Género
Sensibilidad al ruido	Condición física (autoevaluada)
Grado de exposición al ruido	Estado de ánimo
	Horas de trabajo semanales

Una de las estrategias más utilizadas a nivel mundial para poder estudiar e interpretar los factores no

acústicos y su influencia sobre la molestia percibida, son las encuestas basadas en cuestionarios (ej., Paunovic et al., 2008; Nguyen et al., 2020; Mitchell et al., 2022; Qu et al., 2023). Es así que, mediante las respuestas de las personas y controlando ciertas variables de los sonidos y del entorno, es posible profundizar en este tipo de factores realizando experimentos tanto a nivel de campo como en laboratorio.

Es importante diferenciar entre una encuesta que se contesta inmediatamente después de haber escuchado determinado sonido (ya sea en sitio específico o en laboratorio, como será el caso del presente trabajo), y una encuesta que se contesta en base a los recuerdos (más alejados en el tiempo) que se tiene sobre la experiencia acústica en determinado lugar. Tener esto claro permite acotar en cierta forma variables que pueden ser muy complejas de valorar, como las que entran en juego cuando una persona tiene que hacer el ejercicio de recordar y promediar algo que sucedió durante varios meses o años.

2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Al tener en cuenta que los factores en estudio son específicos y relacionados con las propias personas, resulta razonable pensar en desarrollar una encuesta (tipo cuestionario) para poder recabar esta información. Por otra parte, es necesario seleccionar una serie de sonidos para ser evaluados por las personas que contesten la encuesta. En este sentido, resulta de particular interés de los autores, incluir entre estos sonidos algunos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs), ya que existen varios casos donde han sido motivo de denuncias por ruidos molestos. Esto último, implicó pensar en un experimento en laboratorio, y no en sitio específico, para poder viabilizar el trabajo y llegar a un mayor número de participantes.

Por lo tanto, se definió llevar a cabo un experimento a nivel de laboratorio, donde un grupo de voluntarios escuchara una serie de audios previamente seleccionados, para luego contestar un cuestionario (anónimo) mediante el cual se recabaría la información personal y relacionada con el grado de molestia percibido al escuchar cada grabación.

2.1. Sobre los voluntarios

La primera pregunta que surge respecto al grupo de voluntarios es ¿qué cantidad de personas será necesaria para lograr resultados representativos? En este sentido, en el trabajo de Zhang et al. (2022), se concluye que, para experimentos de escuchas en laboratorio enfocados en evaluar molestia acústica, sería suficiente con una muestra de al menos 30 individuos para lograr un alto grado de correlación entre los resultados promedio para dicha muestra y los de una muestra bastante mayor (de más de 100 individuos). Por lo tanto, se apuntó a superar los 30 participantes.

Respecto a la distribución en géneros, se buscó lograr una relación balanceada, para evitar posibles sesgos en esta variable, y poder tener muestras parciales

(hombres y mujeres) lo suficientemente grandes como para comparar los resultados en busca de similitudes y diferencias.

En cuanto al rango etario, se definió que los voluntarios fueran mayores de edad (> 18 años), y se buscó minimizar la participación de personas mayores a 60 años, para reducir la posibilidad de captar personas con menor capacidad auditiva debido al envejecimiento natural, logrando así que la muestra tenga capacidades auditivas lo más homogéneas posibles (Mitchell et al., 2022). A partir de audiogramas promedio realizados a hombres y mujeres, se ha visto que para frecuencias superiores a los 2.000 Hz, existen pérdidas auditivas significativas (Wang y Puel, 2020).

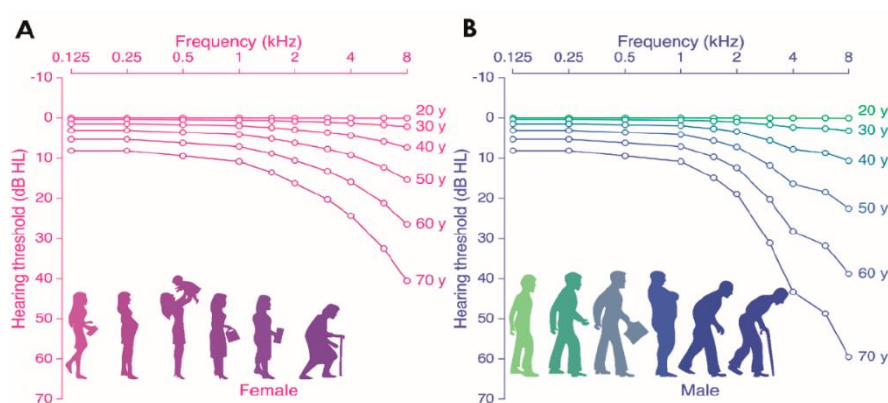


Figura 1. Audiogramas promedio para hombres y mujeres de Estados Unidos a diferentes edades (Wang y Puel, 2020).

Independientemente de esto último, se decidió incluir en el cuestionario una serie de preguntas para detectar posibles dificultades auditivas en los voluntarios, ya que esto podría condicionar sus respuestas y por tanto, incorporar ciertos sesgos a los resultados.

En la siguiente tabla (Tabla 2) se resumen algunos datos relativos a la muestra:

Si bien a priori cualquier persona mayor de edad podría participar del experimento, las propias características del experimento (como la locación y la duración que serán descritas más adelante), así como el número objetivo de voluntarios y el tiempo disponible para llevar a cabo el estudio, hicieron necesario optar por construir una muestra por conveniencia. De esta manera, se logró superar el número objetivo de voluntarios, y poder completar el experimento en dos sesiones.

Tabla 2. Características objetivo y real de la muestra.

Característica	Objetivo	Muestra final
Número total de voluntarios	> 30	49 (40 en la primera sesión + 9 en la segunda sesión)
Distribución por género	Cercano a 50 % H y 50 % M	44.9 % H - 55.1% M
Espectro etario	Entre 18 y 60 años	Entre 22 y 64 años

También cabe destacar que, en el armado de la muestra, se buscó convocar a participantes que tuvieran la menor cantidad posible de información respecto a los detalles del experimento, para evitar condicionar sus respuestas.

2.2 Sobre el entorno

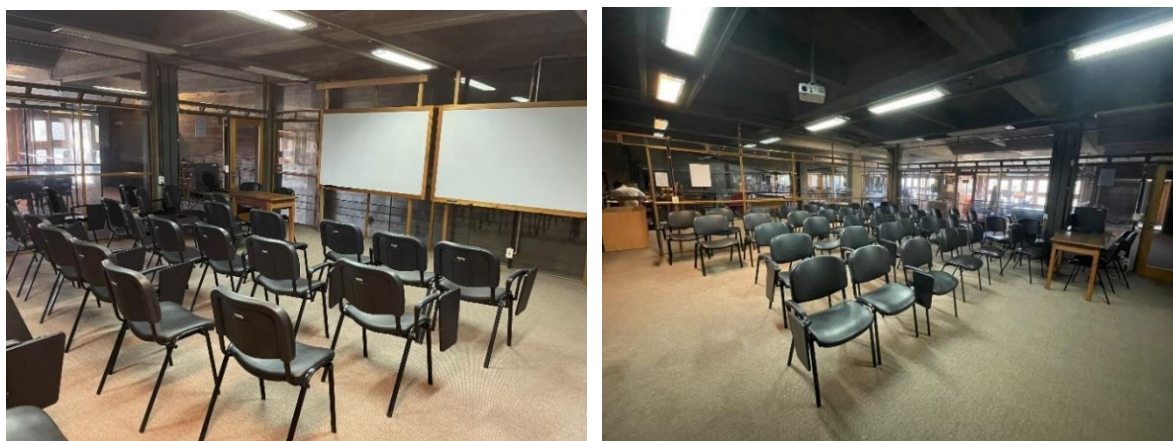
Como se verá más adelante, varios de los audios utilizados podrían ser catalogados como “cotidianos”, por lo cual, se podría pensar que un entorno lógico para efectuar el experimento sería el propio hogar de cada participante. Sin embargo, esta estrategia resulta completamente inviable si se pretende lograr el número objetivo de voluntarios y realizar la actividad en un corto plazo. Por este motivo, se optó por realizar el experimento en un lugar lo más confortable posible para los voluntarios, y que a su vez permita realizar la experiencia con varias personas simultáneamente. Se seleccionaron así

dos ubicaciones dentro del predio de la Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) para llevar a cabo las sesiones del experimento:

- La sala de actos “Ing. Eladio Dieste” del Edificio Polifuncional “José Luis Massera”, donde se llevó a cabo la primera sesión del experimento el día 21/10/2023 (ver Figuras 2 y 3)
- El salón de posgrado del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), donde se llevó a cabo la segunda sesión del experimento el día 31/10/2023 (ver Figuras 4 y 5).



Figuras 2 y 3. Sala de Actos “Ing. Eladio Dieste” (Gradas y escenario donde se desarrolló la Sesión 1) (Fuente: fotos propias).



Figuras 4 y 5. Salón de posgrado del IMFIA (Facultad de Ingeniería, UdelAR). Donde se desarrolló la Sesión 2. (Fuente: Dra. Ing. Carolina Ramírez).

En ambas sesiones se realizaron mediciones con sonómetro para conocer de forma aproximada el nivel de “ruido de fondo” en los salones durante los experimentos. En la Sesión 1 del 21/10/2023 en la sala de actos, el nivel de presión sonora dentro del recinto durante el desarrollo del experimento varió entre 35 y

45 dBA, mientras que para la Sesión 2 del 31/10/2023 en el salón de posgrado varió entre 40 y 50 dBA.

En la bibliografía consultada, existen ejemplos de experimentos de laboratorio de similares características donde los audios son reproducidos por altoparlantes (Phan et al., 2008; LeGriffon et al., 2023;

Schäffer et al., 2023), así como también otros donde los sonidos son reproducidos mediante auriculares (Atamer y Altinsoy, 2021; Zhang et al., 2022). Ambas

estrategias tienen sus ventajas y desventajas, algunas de las cuales son mencionadas a continuación (ver Tabla 3).

Tabla 3. Ventajas y desventajas entre altoparlantes y auriculares.

Altoparlantes	Auriculares
Habitualmente la exposición a las diferentes fuentes de sonido/ruido es sin auriculares, por lo cual, los altoparlantes resultan menos influyentes sobre la forma en la que los sonidos son percibidos en la realidad.	Los auriculares alteran la señal que termina siendo percibida por la persona, debido fundamentalmente al propio acoplamiento entre el auricular y el oído. Por lo tanto, se genera una diferencia respecto a si el sonido fuera percibido si auriculares.
Para conocer efectivamente qué señal percibe el receptor, necesariamente se debe considerar la posición relativa de cada persona dentro del recinto, y las características acústicas de dicha sala.	Si se apunta a realizar el experimento con más de una persona en simultáneo, los auriculares simplifican el procedimiento, ya que no será necesario tomar en cuenta la posición de la persona ni las características de la sala para controlar la señal que recibe el receptor.

En base a lo anterior, dado que se priorizó poder llevar a cabo el experimento con varios voluntarios en simultáneo, se optó por la alternativa de los auriculares. Aquí el factor limitante fue contar con una disponibilidad suficiente de auriculares nuevos, con idénticas características, y buenas prestaciones. En este sentido, fue posible conseguir un total de 10 auriculares, por lo cual se dividió la muestra en grupos de hasta 10 participantes. Los auriculares utilizados fueron marca Behringer modelo BH470⁵.

Por otra parte, para poder lograr que los audios puedan ser reproducidos simultáneamente a través de los 10 auriculares, fue necesario utilizar un sistema de amplificación con diversas salidas para auriculares, y que tuviera la posibilidad de regular cada uno de los volúmenes de forma independiente (calibración inicial). Para esto se usó una combinación de la potencia Behringer HA8000, con otra potencia Behringer HA400 en serie. La señal de ingreso a estos equipos provino de una consola (mixer) Behringer MX400, cuyas entradas fueron la señal origen desde la laptop con los sonidos seleccionados, y la señal de un micrófono, utilizado para poder guiar fácilmente a los participantes durante el experimento, sin la necesidad

de que se quiten los auriculares. En la Figura 6, se muestra un esquema del sistema de equipos implementado

2.3 Sobre los audios

La elección de los sonidos en este tipo de experimentos, es quizás una de las etapas críticas del proceso, por la influencia que podría tener sobre los resultados. Asimismo, para lograr llevar adelante la experiencia en un tiempo razonable, no es posible incluir un número demasiado grande de audios. Esto responde no solamente a la duración neta de cada grabación, sino al hecho de que cada audio será reproducido 2 veces (no de manera consecutiva, ni en el mismo orden), como forma de garantizar resultados individuales válidos (Atamer y Altinsoy, 2021) y divisar posibles cambios globales producto de una segunda escucha.

Se buscó entonces, tener un espectro amplio de fuentes sonoras habituales de los entornos urbanos, incluyendo variados contenidos semánticos, y como se mencionó anteriormente, incluyendo también sonidos de particular interés para los autores (sonidos provenientes de las PTARs).

⁵ Especificaciones técnicas:

<https://www.behringer.com/product.html?modelCode=P0E3Q>.

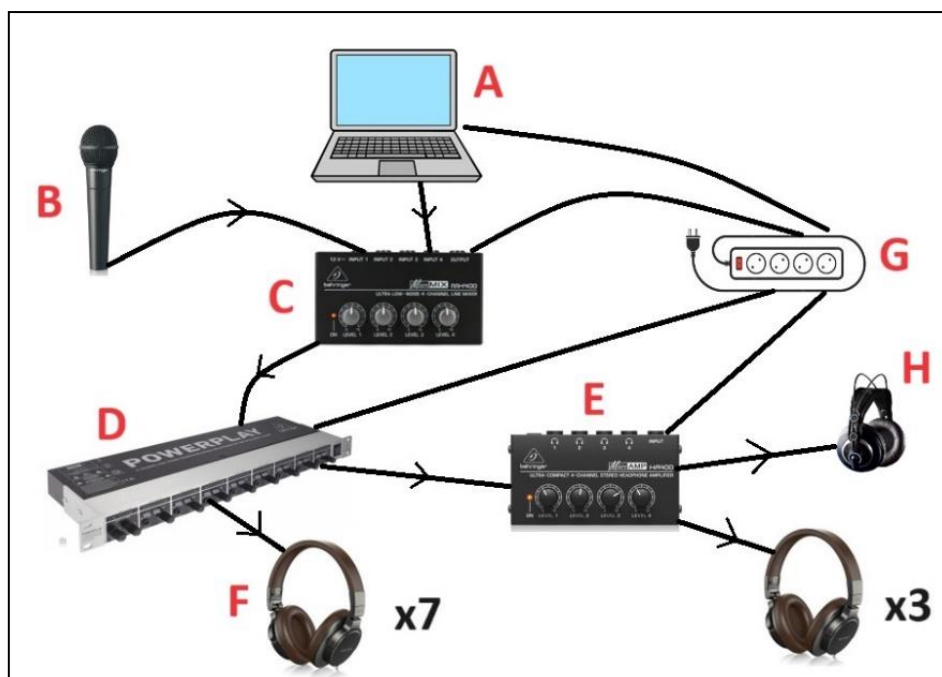


Figura 6. Esquema de equipos utilizado en el experimento.

Tabla 4. Referencias Figura 6.

Referencia	Características
A	Laptop Dell Inspiron 3501 (Intel Core i5-1035G1)
B	Micrófono
C	Mixer Behringer MX400
D	Potencia Behringer HA8000
E	Potencia Behringer HA400
F	Auriculares Behringer BH470
G	Alargue
H	Auriculares para monitoreo del experimento

En la Tabla 5 se presenta un resumen de los sonidos utilizados, algunas de sus características, y cómo fueron obtenidos.

En base a experimentos similares vistos en la bibliografía de referencia (Schäffer et al., 2023; Mitchell et al., 2022), se definió que la duración promedio de los audios se encuentre entre 15 y 30 segundos. Esto responde a su vez a limitar la duración total del experimento, y evitar generar una fatiga e impaciencia innecesaria en los participantes (Schäffer et al., 2016). Además, se previó un tiempo de aproximadamente 2 minutos luego de reproducir cada audio para que los voluntarios contestaran las preguntas asociadas a dicho audio.

Teniendo en cuenta que el foco principal del experimento son los factores no acústicos y su

influencia sobre la molestia acústica, se decidió realizar una calibración previa del volumen para cada participante, de manera de asegurar que los niveles sonoros en cada par de auriculares no lleguen a umbrales nocivos, y además trabajar con un rango confortable para los voluntarios. Para dicha calibración, se siguió parte del método implementado en un experimento muy reciente con objetivos similares, llevado a cabo por investigadores con experiencia en la materia (Mitchell et al., 2022). Esta calibración consistió en: mientras se reproducía una grabación con ruido blanco (previamente emparejado a un nivel de amplitud de -11.91 dBFS⁶, correspondiente al audio de mayor amplitud que sería utilizado), se le pidió a cada participante por separado que se colocara los auriculares y, a medida que se iba

⁶ Decibels a escala completa (“decibels full scale”), utilizados para definir niveles de amplitud en sistemas digitales de audio.

incrementando el volumen, que diera una señal de “alto” cuando se llegara a su máximo nivel de sonoridad confortable. Este nivel fue definido individualmente para cada participante, y no fue modificado a lo largo de todo el experimento. De esta forma, si bien no se conoce exactamente el nivel de

presión sonora absoluto que percibe cada participante, sí se logra que la sonoridad relativa entre los audios sea fiel a la real, y se espera que la influencia del nivel sonoro sobre el grado de molestia percibido no sea relevante.

Tabla 5. Características de audios utilizados

	Descripción	Fuente de la grabación	Duración (s)	RMS Total (dBFS)
Sonido 1	Soplante a 50 Hz, sin la cubierta, grabado a 6 m de distancia	Grabación propia en PTAR de OSE	15	-12,48
Sonido 2	Soplante a 50 Hz, con la cubierta, grabado a 6 m de distancia	Grabación propia en PTAR de OSE	15	-14,94
Sonido 3	Camión diésel de 2 toneladas	https://sound-effects.bbcrowd.co.uk/search	21	-16,06
Sonido 4	Palabra hablada en español	Audios del Gobierno de Mendoza, Argentina (https://soundcloud.com/gobiernodemendoza)	26	-20,49
Sonido 5	Palabra hablada en español en reverso	Se utilizó el software Adobe Audition 23.6.0.61 para la edición del Sonido 4	26	-20,49
Sonido 6	Aerogenerador grabado a 20 m de distancia	Grabador MixPre-3 y micrófono Sennheiser ME66. Autor: Joseph Sardin (https://bigsoundbank.com/sound-1321-wind-turbine-3.html)	21	-11,91
Sonido 7	Tormenta (lluvia y truenos)	Grabada con micrófono Audio Technica AT8035. Fuente: https://freesound.org/people/test_sound/sounds/464259/	19	-20,04
Sonido 8	Sonidos indistinguibles (fiesta/conversación/música)	Grabado con grabador Tascam DR-05 V2. Fuente: https://freesound.org/people/soundhunterjulie/sounds/395314/	15	-13,69
Sonido 9	Palabra hablada con soplante de fondo (audio 4 + audio 1)	Se utilizó el software Adobe Audition 23.6.0.61 para la superposición de los sonidos 1 y 4	26	-12,11
Sonido 10	Camión con tormenta de fondo (audio 3 + audio 7)	Se utilizó el software Adobe Audition 23.6.0.61 para la superposición de los sonidos 3 y 7	19	-14,55

Nota: dBFS = Decibels a escala completa (“decibels full scale”), utilizados para definir niveles de amplitud en sistemas digitales de audio.

En resumen, la secuencia del experimento para cada grupo de participantes fue la siguiente:

- Recibimiento de los participantes y descripción previa del experimento.
- Calibración de volumen de cada participante.
- Primera secuencia de reproducción/evaluación de sonidos (Etapas 1), la cual consistió en:
 - Reproducción del audio N°1 (en orden predefinido).
 - Se contestan las preguntas asociadas a la evaluación del audio N°1.
 - Reproducción del audio N°2 (en orden predefinido).
 - Se contestan las preguntas asociadas a la evaluación del audio N°2.
 - Así sucesivamente hasta el audio N°10.
- Descanso sin auriculares, mientras se responden las preguntas de índole personal (Etapas 2).

- Segunda secuencia de reproducción/evaluación de sonidos (Etapa 3), la cual consistió en:
 - Reproducción del audio N°11 (repetición de audio de primera etapa en diferente orden).
 - Se contestan las preguntas asociadas a la evaluación del audio N°11.
 - Reproducción del audio N°12 (repetición de audio de primera etapa en diferente orden).
 - Se contestan las preguntas asociadas a la evaluación del audio N°12.
 - Así sucesivamente hasta el audio N°20.
- Minutos finales para contestar las últimas preguntas. Fin del experimento.

Nótese que los audios N°1,..., N°10 son los mismos que los audios N°11,..., N°20, pero la correspondencia no será N°1=N°11, sino que se definió un orden diferente para evitar que los participantes anticiparan los audios que van a escuchar (ver Tabla 6).

Además de las estimaciones anteriores, se debió prever un tiempo suficiente entre la finalización de un experimento y la llegada del siguiente grupo de participantes, de forma de poder dar un comienzo correcto a cada experimento. Esto generó que para los

primeros 5 grupos de voluntarios fuera necesario destinar una jornada completa de 9 horas. A su vez, debido a que durante dicha jornada se llegó a 40 de los 50 posibles participantes, se decidió convocar un último grupo de participantes para una segunda jornada, y así llegar a un número total mayor (49).

Tabla 6. Orden de reproducción de sonidos

Orden para reproducción en Etapa 1		
AUDIO No.1	Sonido 3	Camión
AUDIO No.2	Sonido 9	Palabra hablada + soplante
AUDIO No.3	Sonido 8	Sonidos indistinguibles
AUDIO No.4	Sonido 5	Palabra hablada en reverso
AUDIO No.5	Sonido 2	Soplante con cubierta
AUDIO No.6	Sonido 7	Tormenta
AUDIO No.7	Sonido 4	Palabra hablada
AUDIO No.8	Sonido 10	Camión + tormenta
AUDIO No.9	Sonido 6	Aerogenerador
AUDIO No.10	Sonido 1	Soplante sin cubierta
Orden para reproducción en Etapa 3		
AUDIO No.11	Sonido 4	Palabra hablada
AUDIO No.12	Sonido 3	Camión
AUDIO No.13	Sonido 9	Palabra hablada + soplante
AUDIO No.14	Sonido 6	Aerogenerador
AUDIO No.15	Sonido 1	Soplante sin cubierta
AUDIO No.16	Sonido 5	Palabra hablada en reverso
AUDIO No.17	Sonido 7	Tormenta
AUDIO No.18	Sonido 2	Soplante con cubierta
AUDIO No.19	Sonido 8	Sonidos indistinguibles
AUDIO No.20	Sonido 10	Camión + tormenta

Tabla 7. Estimación duración etapas del experimento.

Tiempo para recibimiento e instrucciones sobre el experimento	5 min
Duración promedio de audios	19,8 s
Tiempo para responder preguntas luego de escuchar cada audio	120 s
Número de audios por cada etapa de escuchas	10
Tiempo total por etapa de escuchas (incluyendo respuestas a cuestionario)	23,3 min
Tiempo de descanso entre etapas de escuchas de un mismo grupo de voluntarios	5 min
Número de etapas de escuchas de un mismo grupo de voluntarios	2
Tiempo para responder preguntas finales	3 min
Duración total del experimento para cada grupo de voluntarios	59,6 min
Cantidad de grupos de voluntarios	6
Duración neta total del experimento	5,96 horas
*En este descanso se responderá el cuestionario de preguntas personales	

2.4 Sobre el cuestionario

Lo primero que se les aclaró a todos los voluntarios antes de comenzar con el experimento, fue que el cuestionario sería completamente anónimo, de forma de proteger sus datos y promover que la información proporcionada sea lo más sincera posible.

Como se mencionó anteriormente, el cuestionario fue elaborado con el objetivo de recabar la información necesaria para poder efectuar un análisis posterior con

el enfoque en los factores objetivo. Por lo tanto, se decidió dividir el cuestionario en tres partes (o etapas) para simplificar el procesamiento de datos. La primera estaría asociada a las preguntas sobre los audios de la primera tanda de reproducción (Primera Etapa), más una pregunta inicial sobre el estado de ánimo.

Los 16 estados de ánimos incluidos en la pregunta 0, fueron seleccionados como representativos de un total de 100 que se incluyen en la tabla de emociones

original (llamada animómetro o medidor emocional), la cual forma parte del programa RULER, desarrollado por el Yale Center for Emotional Intelligence⁷.

A su vez, las preguntas a contestar luego de los audios, están relacionadas con tener un indicio sobre el contenido semántico del audio, la identificación de la fuente, la connotación, y el grado de molestia que le produjo a la persona. En particular, las últimas dos preguntas, son versiones casi textuales de las preguntas que se proponen en la norma ISO/TS 15666:2021 (Acústica - Evaluación de la molestia acústica mediante encuestas sociales y socio acústicas), para la conducción de encuestas donde se busque evaluar la molestia acústica. Solamente se realizó un pequeño (y necesario) cambio en la redacción, de manera de no condicionar las respuestas. En las preguntas originales de la norma siempre se menciona la palabra “ruido” previo a nombrar la fuente de sonido, sin embargo, para el presente estudio se optó por sustituir la palabra “ruido” por “audio”, y no identificar a la fuente por obvias razones. Se entiende que de esta manera se evita generar una tendencia hacia valores de molestia mayores, por considerar de antemano que se trata de un ruido.

En la tercera etapa del cuestionario se encuentran las preguntas sobre los audios de la segunda tanda de reproducción, las cuales coinciden con las mostradas en la Figura 7.

En la segunda etapa del cuestionario, están las preguntas de carácter personal, y se dividió en tres bloques (descritos a continuación).

Segunda Etapa: preguntas personales

- Bloque N°1: datos personales generales (innominados)

Se busca solamente recabar datos generales (género, edad, ocupación principal, lugar de residencia), y otros relacionados con el grado habitual de exposición al ruido.

- Bloque N°2: condición auditiva

Consta de preguntas de rutina para descartar o detectar posibles patologías auditivas que puedan influir en la capacidad de audición de cada persona,

y por tanto condicionar las respuestas relacionadas con la molestia.

- Bloque N°3: sensibilidad al ruido

Se trata de 5 preguntas que apuntan a evaluar el grado de sensibilidad al ruido de la persona. Estas preguntas provienen del cuestionario desarrollado originalmente por Weinstein (1978) para evaluar la sensibilidad al ruido, y la consistencia frente dicho cuestionario original (de 21 preguntas en total) fue probada por Benfield et al. (2014).

Por último, se incluyeron tres consignas finales, con el objetivo de recabar información de posibles influencias del entorno sobre las respuestas, conocer el estado de ánimo de los participantes al finalizar el experimento, y un espacio libre para comentarios (Figura 8).

3 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO Y PRIMEROS COMENTARIOS

Se destaca que ambas sesiones experimentales se desarrollaron con total normalidad, y sin inconvenientes relevantes. Asimismo, cabe mencionar la muy buena disposición de los participantes, y que no ocurrieron problemas con el equipamiento técnico utilizado, ni con el entorno en general.

Como posibles mejoras de cara a futuras experiencias de este tipo, se sugiere:

- Prever al menos 40 minutos entre la finalización de un grupo de voluntarios y el comienzo del siguiente (en caso de trabajar con más de un grupo), como forma de evitar la posibilidad de un solapamiento.
- Si bien no se produjo ningún solape entre los grupos, en algún caso sí quedó algo reducido el tiempo previsto entre la finalización de un experimento y el comienzo del siguiente.
- Eliminar la escala numérica de las preguntas sobre la sensibilidad al ruido, dejando solamente los casilleros vacíos para que la persona seleccione la casilla más cercana a si se está totalmente de acuerdo o totalmente en desacuerdo con la afirmación. De esta forma se evitaría generar cierta confusión con la escala numérica y su cambio de

⁷ <https://medicine.yale.edu/childstudy/services/community-and-schools-programs/center-for-emotional-intelligence/training/ruler/>

orden en la última afirmación, y no se modificaría la esencia ni los resultados de la encuesta, ya que la numeración es solo a los efectos que luego el analista haga la suma del puntaje (Figura 9).

- En la pregunta relacionada con el grado de exposición habitual al ruido de la persona, se podría modificar la redacción, haciendo énfasis en que necesariamente se debe seleccionar una opción en cada una de las secciones (a, b y c). Esto responde a que en 5 cuestionarios, los participantes solamente contestaron en una sola de estas

secciones, asociadas al tiempo “dentro de su hogar”, “en su lugar de trabajo”, o “en lugares de ocio” (Figura 10).

- Se podría estudiar la viabilidad de que los cuestionarios sean contestados directamente de forma digital (vía PC o tablet, por ejemplo) durante el experimento, lo cual reduciría sustancialmente el tiempo de procesamiento de datos a posteriori, particularmente en lo que respecta a las respuestas que incluyen palabras o frases escritas.

PRIMERA ETAPA

0 - Tómese un momento para identificar y seleccionar en la siguiente tabla el estado de ánimo que mejor la/o representa en este momento:

Ansioso	Estresado	Tenso	Molesto
Sorprendido	Animado	Alegre	Motivado
Malhumorado	Exhausto	Decaído	Cansado
Calmado	Relajado	Distendido	Tranquilo

Colóquese los auriculares, y ajústelos de manera que los sienta cómodos. Note que el auricular marcado con la cinta blanca es el correspondiente al oído derecho.

AUDIO N° 1

- 1- Escriba la primera palabra que le viene a la mente luego de escuchar el audio: _____
- 2- ¿Con qué cree identificar o relacionar el audio?: _____
- 3- Escriba tres (3) palabras con las que podría asociar el audio:
_____ | _____ | _____
- 4- ¿Qué connotación tiene el audio para usted? Positiva | Neutra | Negativa
- 5- Indique usted en qué cuantía le molesta o perturba el audio:
Absolutamente nada | Ligeramente | Medianamente | Mucho | Extremadamente.
- 6- A continuación, se da una escala de opinión de cero a diez para que usted pueda expresar en qué cuantía le molesta o perturba el audio que acaba de escuchar. Por ejemplo, si usted está nada molesto por el audio debería escoger el cero (0), y si usted está extremadamente molesto debería escoger el diez (10).
Indique qué número, del cero al diez, expresa mejor la cuantía en que usted está molesto o perturbado por el audio:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Figura 7. Preguntas Etapa 1 (solo se muestran las correspondientes al Audio N°1, ya que el resto son idénticas).

PREGUNTAS FINALES

1. **¿Hubo algo del entorno en el cual se realizó el experimento que la/lo desconcentró al momento de escuchar los audios y/o contestar las preguntas? SI / NO.**
 - a. Si contestó SI en la pregunta anterior, indique qué fue:

2. **Tómese un momento para identificar y seleccionar en la siguiente tabla el estado de ánimo que mejor la/o representa en este momento:**

Ansioso	Estresado	Tenso	Molesto
Sorprendido	Animado	Alegre	Motivado
Malhumorado	Exhausto	Decaído	Cansado
Calmado	Relajado	Distendido	Tranquilo

3. **Espacio libre para escribir cualquier comentario final que guste hacer:**

Figura 8. Preguntas finales del cuestionario.

19- Seleccione el número correspondiente a qué tan de acuerdo o en desacuerdo está con cada una de las 5 afirmaciones siguientes. No le preste atención al cambio de orden en la escala numérica.

Soy sensible al ruido							
Totalmente de acuerdo	6	5	4	3	2	1	Totalmente en desacuerdo

Me resulta difícil relajarme en un lugar ruidoso							
Totalmente de acuerdo	6	5	4	3	2	1	Totalmente en desacuerdo

Me enoja con la gente que hace ruidos que me impiden dormir o realizar un trabajo							
Totalmente de acuerdo	6	5	4	3	2	1	Totalmente en desacuerdo

Me molesto cuando mis vecinos son ruidosos							
Totalmente de acuerdo	6	5	4	3	2	1	Totalmente en desacuerdo

Me acostumbro a la mayoría de los ruidos sin mayor dificultad							
Totalmente de acuerdo	1	2	3	4	5	6	Totalmente en desacuerdo

Figura 9. Preguntas para evaluar la sensibilidad al ruido (Weinstein reducido).

8- Durante una semana habitual, usted diría que pasa buena parte del tiempo (seleccione todas las opciones que entienda que aplican):

a. Dentro de su hogar, en un ambiente:
Nada ruidoso | poco ruidoso | algo ruidoso | muy ruidoso

b. En su lugar de trabajo, en un ambiente:
Nada ruidoso | poco ruidoso | algo ruidoso | muy ruidoso

c. En lugares de ocio, en ambientes:
Nada ruidosos | poco ruidosos | algo ruidosos | muy ruidosos

Figura 10. Preguntas para evaluar la sensibilidad al ruido (Weinstein reducido)

4 PASOS A SEGUIR Y COMENTARIOS FINALES

Habiendo completado satisfactoriamente el experimento diseñado, se prevé comenzar con la etapa de análisis de resultados, buscando relacionar los factores objeto del trabajo (contenido semántico, identificación de la fuente, sensibilidad al ruido, etc.) con el grado de molestia percibido. Para esto, se utilizarán diversas herramientas de análisis estadístico multivariado, como lo son el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis de grupos (clustering).

A pesar de no conocer aún los resultados del experimento, se destaca el aprendizaje generado por el solo hecho de diseñar y llevar a cabo la experiencia. Esto sin dudas contribuirá a mejorar los futuros experimentos de similares características que puedan concretarse en el país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen profundamente a la Facultad de Ingeniería (UdelaR) por el préstamo de los salones donde se desarrollaron las sesiones experimentales, al Ing. Luis Marisquirena y al Sr. Sebastián Tripaldi por el préstamo de los equipos de audio y sonido, a todo el equipo de trabajo del Departamento de Ingeniería Ambiental (DIA) de la Facultad de Ingeniería (UdelaR) por los aportes y el apoyo constante, y a cada uno de los voluntarios que participaron del experimento.

El trabajo final de tesis ha sido beneficiado con la beca POS_NAC_2022_1_173649 del “Programa a Becas de Posgrados Nacionales – sublínea Áreas Estratégicas

2022”, de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII).

REFERENCIAS

- Atamer, Serkan; Altinsoy M. Ercan (2021). Sound quality of dishwashers: Annoyance perception. *Applied Acoustics* 180 (2021) 108099. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108099>
- Benfield, Jacob A.; Nurse, Gretchen A.; Jakubowski, Robert; Gibson, Adam W.; Taff, B. Derrick; Newman, Peter; Bell, Paul A. (2014). Testing Noise in the Field: A Brief Measure of Individual Noise Sensitivity. *Environment and Behavior* 2014, Vol. 46(3) 353–372. DOI: 10.1177/0013916512454430
- Fenech, Benjamin; Lavia, Lisa; Rodgers, Georgia; Notley, Hilary (2021). Development of a new ISO Technical Specification on non-acoustic factors to improve the interpretation of socio-acoustic surveys. The 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 14-17 June 2021.
- International Standard Organization. ISO/TS 15666:2021. Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. Segunda Edición. Suiza: ISO/TS; 2021.
- LeGriffon, Ingrid; Lebouc, Eloïse; Tardieu, Julien; Boulet, Isabelle; Lavandier, Catherine; Richard, Isabelle; Magnen, Cynthia (2023). Impact of non-acoustical factors in laboratory listening tests on aircraft noise. ICSV29, Jul 2023, Prague, Czech Republic. hal-04163546.

- Liu, Fangfang; Jiang, Shan; Kang, Jian; Wu, Yue; Yang, Da; Meng, Qi; Wang, Chaowei (2022). On the definition of noise. *Humanities and social sciences communications*, (2022) 9:406. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01431-x>
- Mitchell, Andrew; Erfanian, Mercede; Soelistyo, Christopher; Oberman, Tin; Kang, Jian; Aldridge, Robert; Xue, Jing-Hao; Aletta, Francesco (2022). Effects of Soundscape Complexity on Urban Noise Annoyance Ratings: A Large-Scale Online Listening Experiment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, 19, 14872. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214872>
- Miyara, Federico (1999). Control de ruido. Libro electrónico, edición propia. Rosario, Argentina.
- Nguyen, Thu Lan; Trieu, Bach Lien; Hiraguri, Yasuhiro; Morinaga, Makoto; Morihara, Takashi; Yano, Takashi (2020). Effects of Changes in Acoustic and Non-Acoustic Factors on Public Health and Reactions: Follow-Up Surveys in the Vicinity of the Hanoi Noi Bai International Airport. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, 17, 2597; doi:10.3390/ijerph17072597
- Ouis, D. (2001). Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology* (2001) 21, 101-120. doi:10.1006/jevp.2000.0187
- Paunovic, Katarina; Jakovljevic, Branko; Belojevic, Goran (2008). The importance of non-acoustical factors on noise annoyance of urban residents. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT.
- Phan, Hai Anh Thi; Nishimura, Tsuyoshi; Phan, Hai Yen Thi; Yano, Takashi; Sato, Tetsumi; Hashimoto, Yoritaka (2008). Annoyance from road traffic noise with horn sounds: A cross-cultural experiment between Vietnamese and Japanese. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT.
- Preis, Anna; Hafke, Honorata; Kaczmarek, Tomasz (2008). Influence of sound source recognition on annoyance judgment. *Noise Control Engineering Journal* 56 (4), July-Aug 2008.
- Qu, Fei; Li, Zhuoming; Zhang, Tongtong; Huang, Wenjun (2023). Soundscape and subjective factors affecting residents' evaluation of aircraft noise in the communities under flight routes. *Frontiers in Psychology* 14:1197820. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1197820
- Schäffer, Beat; Schlittmeier, Sabine J.; Pieren, Reto; Heutschi, Kurt; Brink, Mark; Graf, Ralf; Hellbrück, Jürgen (2016). Short-term annoyance reactions to stationary and time-varying wind turbine and road traffic noise: A laboratory study. *Journal of the Acoustical Society of America* 139, 2949 (2016); doi:10.1121/1.4949566
- Schäffer, Beat; Pieren, Reto; Brink, Mark; Schlittmeier, Sabine J. (2023). Development and application of a semantic differential for perception-based optimization of wind turbine and other broadband sounds. *Applied Acoustics* 211 (2023) 109493. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109493>
- Wang, Jing; Puel, Jean-Luc (2020). Presbycusis: An Update on Cochlear Mechanisms and Therapies. *Journal of Clinical Medicine* 2020, 9, 218; doi:10.3390/jcm9010218.
- Weinstein, Neil D. (1978). Individual Differences in Reactions to Noise: A Longitudinal Study in a College Dormitory. *Journal of Applied Psychology* 1978, Vol. 63, No. 4, 458-466.
- Zhang, Jun; Chen, Kean; Li, Hao; Chen, Xingshu; Dong, Ningjuan (2022). The effects of rating scales and individual characteristics on perceived annoyance in laboratory listening tests. *Applied Acoustics* 202 (2023) 109137. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109137>