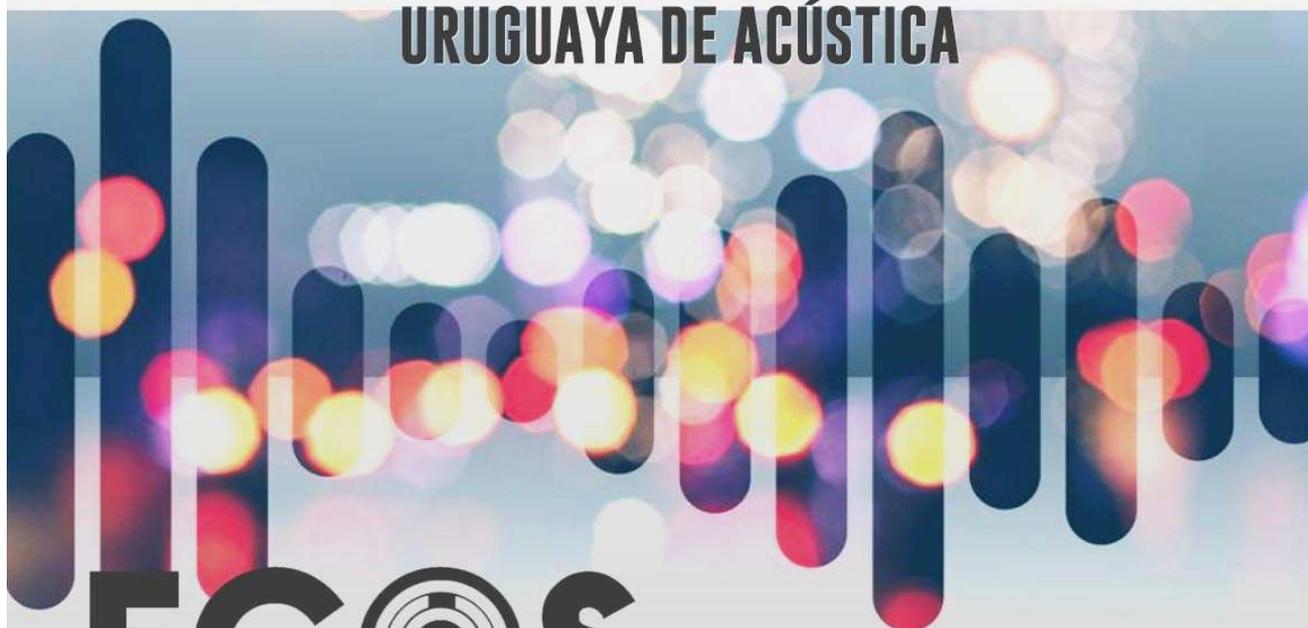


**PUBLICACIÓN SEMESTRAL**

**FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
UDELAR**

**Y LA ASOCIACIÓN  
URUGUAYA DE ACÚSTICA**



**ECOS**

**ISSN 2697-2913**

**AÑO 4, VOL. 4, Nº 1  
ENERO - JUNIO 2023**



**REVISTA DE LA ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA**  
ISSN 2697-2913

**PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA – UdelaR y la  
ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA**

<u>Consejo Editor</u>	<u>Tabla de contenidos</u>
Alice Elizabeth González (UdelaR, Uruguay) Editora Responsable	La Federación Iberoamericana de Acústica tiene nuevo Consejo Directivo. <i>Nilda Vecchiatti</i> ----- 2
Ana Abreu (UdelaR, Uruguay)	Menciones a ordenanzas anti-ruido en los medios montevideanos hasta 1970. <i>Walter A. Montano Rodríguez y M. Noel Martínez-Pascal</i> ----- 3
Julieta Ant3nio (Universidad de Coimbra, Portugal)	Breve biograf3a de Jaime R. Carbonell y sus aportes a la Acústica. <i>Walter A. Montano Rodríguez y M. Noel Martínez-Pascal</i> ----- 15
Gustavo Basso (UNLP, Argentina)	TRABAJOS ESTUDIANTILES.
H3ctor Campello Vicente (UMH, Elche, Espa3a)	Discusi3n filos3fica: La belleza de la m3sica cl3sica. <i>L3a Gonz3lez</i> ----- 24
Fernando Elizondo-Garza (FIME - Universidad Aut3noma de Nuevo Le3n, M3xico)	Segundo Simposio de Acústica y Vibraciones ----- 31
Juan Cruz Gim3nez de Paz (Argentina)	Análisis de sistemas vibratorios: De ecuaciones diferenciales de orden 2 a fraccionario. <i>Jesús Gabino Puente-C3rdova, Fernando Javier Elizondo-Garza, Guadalupe Evaristo Cedillo-Garza</i> ----- 32
Ricardo Hern3ndez Molina (Universidad de C3diz, Espa3a)	El ruido en tiempos del COVID. Las molestias por baja-frecuencias de sistemas HVAC durante el encerramiento y restricci3n vehicular. <i>Walter A. Montano Rodríguez y Elena I. Gushiken Uesu</i> ----- 40
Federico S. Miyara (UNR, Argentina)	Las cicatrices acústicas del territorio. Barreras, filtros y conectores en el paisaje sonoro. <i>Francesc Daumal i Domènech</i> ----- 46
Ismael N3ñez Pereira (UdelaR, Uruguay)	Presencia de sonidos de baja frecuencia e infrasonido producidos por los sistemas de transporte colectivo en el espacio urbano en Monterrey, M3xico. <i>Fernando J. Elizondo-Garza y Walter A. Montano</i> ----- 67
Dinara Xavier da Paix3o (UFMS, Brasil)	Identificaci3n de par3metros de un sistema vibratorio no lineal utilizando algoritmos de IA. <i>Carlos A. Lara Ochoa y C3sar Guerra Torres</i> ----- 75
Jorge Patricio Fradique (Laborat3rio Nacional de Engenharia Civil, Portugal)	
Diego Pablo Ruiz Padillo (Universidad de Granada, Espa3a)	
Nilda Vecchiatti (UBA, Argentina)	
Secretar3a General: Carolina Ram3rez (UdelaR, Uruguay)	

## LA FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DE ACÚSTICA TIENE NUEVO CONSEJO DIRECTIVO



Durante el 12º Congreso de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) y el 29º Encuentro de la Sociedad Brasileña de Acústica (SOBRAC), se realizó la Asamblea General para la elección del Consejo Directivo de la FIA, para el período de 2022 a 2026.

La Federación Iberoamericana de Acústica, creada en 1996, está integrada por asociaciones nacionales que representan a 11 países de habla hispana o portuguesa. El nuevo Consejo Directivo quedó constituido de la siguiente manera:

**Presidente:** Nilda Vechiatti (AdAA - Asociación de Acústicos Argentinos)

**Vicepresidente 1º:** Jorge Moreno Ruiz (SPeA - Sociedad Peruana de Acústica)

**Vicepresidente 2º:** Dinara da Paixao (SOBRAC - Sociedad Brasileña de Acústica)

**Secretario General:** Jaime Ramis (SEA - Sociedad Española de Acústica)

**Tesorera:** Elizabeth González (AUA - Asociación Uruguaya de Acústica)

El nuevo Consejo Directivo tiene previsto trabajar en tres ejes principales, agrupando actividades que puedan ser agregadas en el tiempo. Los tres ejes principales son:

- a) Mejorar la comunicación con la comunidad que forma parte del Gran Área Acústica y sus áreas afines, así como coadyuvar en la difusión de este tema a la población en general.
- b) Fomentar la participación de instituciones nacionales, de países de habla hispana y portuguesa, que aún no forman parte de la FIA.
- c) Fomentar nuevas actividades y consolidar las ya realizadas por las asociaciones miembros de la FIA, propiciando un mayor desarrollo del área acústica en todos los países.

Se está desarrollando un nuevo sitio web para dar a conocer las actividades de la FIA. Mientras no esté disponible, se puede contactar a través de la Presidente Nilda Vechiatti ([nildavec@yahoo.com.ar](mailto:nildavec@yahoo.com.ar)).

# Menciones a ordenanzas anti-ruido en los medios montevideanos hasta 1970

## Mentions of anti-noise ordinances in Montevidean media until 1970

## Menções de ordenanças anti-ruído nos médios de Montevideo até 1970

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

M. Noel Martínez-Pascal<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>UADER Prof. Lengua y literatura. Concepción del Uruguay, ER, Argentina. ORCID 0000-0001-7117-6247

Correo de contacto: [montano\\_walter@yahoo.com.ar](mailto:montano_walter@yahoo.com.ar)

### Resumen.

La digitalización de diarios y revistas permite hallar hechos sociales del pasado que sirven para construir, desde el análisis hermenéutico, un nuevo entendimiento de la historia. En Uruguay se están conformando repositorios digitales con distintas colecciones, por lo que se encuentra disponible suficiente información para esbozar líneas de investigación. En este artículo se intenta dar cimientos al estudio social de la problemática del ruido, desde lo publicado en semanarios que lo aluden como agente de molestia, la mayoría de los cuales hacen referencia a ordenanzas. Las menciones poéticas o de prosa al ruido son numerosas, también las metafóricas hacia actitudes de políticos o alusiones irónicas y humorísticas, que no son termómetro social de análisis científico. En las grandes ciudades del mundo los primeros escritos periodísticos que apuntan contra la molestia del ruido aparecen a posterior de las campañas iniciadas en los EE. UU. en 1926, que para el caso de Montevideo hasta el momento se encontró una queja en la Intendencia de diciembre de 1929, esa queja es el punto de partida del presente artículo, el cual termina en la década de 1960, cuando la cuestión del ruido en la prensa toma un giro técnico, promovido por acústicos uruguayos.

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

### Abstract.

Digitization of newspapers and magazines allows finding social facts of the past that serve to build, from the hermeneutic analysis, a new understanding of history. In Uruguay, digital archives are being created with different collections, so that enough information is available to outline lines of research. This article attempts to lay the foundations for the social study on noise problem, from what is published in weekly newspapers that allude to it as a nuisance agent, most of which refer to ordinances. The poetic or prose mentions to noise are numerous, also the metaphorical ones towards attitudes of politicians or ironic and humorous allusions, which are not a social thermometer of scientific analysis. In the great cities of the world the first journalistic writings that point against the noise nuisance, appear after the campaigns initiated in the US in 1926, that for the case of Montevideo up to the moment one complaint was found in the Intendencia on December 1929, which is the starting point of this article, which ends in 1960 decade, when the matter of noise in the press takes a technical turn, promoted by Uruguayan acousticians.

**Keywords:** Acoustics, History of Science, Philosophy, Noise, Ordinances.

### Resumo.

A digitalização de jornais e revistas torna possível encontrar fatos sociais do passado que servem para construir, a partir de uma análise hermenêutica, uma nova compreensão da história. No Uruguai, estão sendo criados repositórios digitais com diferentes coleções, para que haja informação suficiente para delinear linhas de pesquisa. Este artigo tenta lançar as bases para o estudo social do problema do ruído, baseado no que é publicado em jornais semanais que fazem alusão a ele como um agente de aborrecimento, a maioria dos quais se refere a ordenanças. Há numerosas menções poéticas ou em prosa do ruído, assim como menções metafóricas de atitudes políticas ou alusões irônicas e humorísticas, que não são um termômetro social de análise científica. Nas grandes cidades do mundo, os primeiros escritos jornalísticos que apontam contra o incômodo do ruído aparecem depois das campanhas iniciadas nos EUA em 1926, que no caso de Montevideú até o momento foi encontrada uma reclamação na Intendência de dezembro de 1929, que é o ponto de partida do artigo, que termina nos anos 60, quando a questão do ruído na imprensa toma um rumo técnico, promovido pelos acústicos uruguaios.

**Palavras-chave:** Acústica, História da ciência, Filosofia, Ruido, Ordenanças.

## 1 INTRODUCCIÓN

La idea de la complejidad en la ciencia ingresa al pensamiento filosófico a fines del siglo XX, y aún está presente en círculos académicos reducidos. Provee herramientas epistemológicas interesantes que en sí mismas no son nuevas, pero sí novedosas; Murray Gell-Mann –físico y pensador de la complejidad– introduce en 1994 la idea de que determinados hechos sociales o científicos están escritos en *historias detalladas* (traducción que le dieron en castellano a la frase en inglés *fine-grained histories*) que se encuentran dispersas; sin embargo, pueden agruparse hacia la descripción de una situación o hechos más globales para así escribir una *historia no-detallada* (traducción que le dieron en castellano a la frase en inglés *coarse-grained histories*), es decir, quedará escrito ‘en forma gruesa’ que explicará mejor determinados contextos al suministrarle fundamentos desde distintas fuentes de información (Gell-Mann, 1994), por lo que esa visión filosófica es una herramienta interesante para escribir el resultado de la investigación que aquí se comparte.

Este artículo usa como fuentes documentales las que se encuentran en internet desde el buscador que unifica el repositorio de la Biblioteca Nacional de Uruguay y el de la Universidad de la República en la cual, hasta el día de la fecha, solo se encuentran digitalizadas revistas literarias, semanarios, libros, anales, y unos pocos diarios.

En artículo publicado en esta revista por los autores se puntualiza que las primeras campañas de mediciones de ruido urbano comenzaron en los EE. UU. en 1926 (Montano & Martínez, 2021) –una mayor descripción sobre ellas están en el libro de Emily Thompson (2002)–, estas mediciones tuvieron gran repercusión en la prensa no únicamente de ese país sino en las de todo el mundo, por lo que se podría considerar que a fines de la década de 1920 la problemática del ruido toma mayor presencia en los medios de comunicación, en esta línea, la problemática del Uruguay no es ajena a esa realidad.

Este texto se concentra en Montevideo, porque los autores encontraron que a posterior de la publicación de sus ordenanzas o políticas ‘anti-ruido’, las intendencias del interior del Uruguay las replicaban. Respecto a la información, solamente se utiliza aquellas que relacionan al ruido con molestia

psicológica, se pueden leer muchas menciones poéticas o de prosa al ruido, también las hay metafóricas hacia actitudes de políticos o alusiones irónicas y humorísticas sociales, las cuales no son fuentes de datos para el objeto de este artículo, no obstante esas alusiones, también hacen al contexto de la problemática.

## 2 EL RUIDO MONTEVIDEANO EN LA DÉCADA DE 1920

El periodista y poeta uruguayo Alfredo Mario Ferreiro (1899–1959) publica un libro humorístico y sarcástico en 1927 titulado *El Hombre que se comió un autobús. Poemas con olor a nafta*, que describe la incorporación de un nuevo sujeto al paisaje sonoro montevidiano: El autobús; se debe recordar que el servicio de autobuses privados montevidianos se reguló recién en abril de 1926. Ferreiro narra también que la ciudad de Buenos Aires es «una ciudad abombada por el ruido continuo» (Ferreiro, 1927).

Más curiosa es la reseña que el periodista y crítico Alberto Lasplaces (1887–1950) hace de ese libro, porque refuerza la imagen de molestia que tenía el ruido en ese año: «trenes en marcha, frenos, estaciones (...) y sobre todo, camiones, limousines, fords, voitures y autobuses: ¡ruido, ruido, ruido!» (Lasplaces, 1927), agregando que «De todo esto hay en cien páginas desordenadas y ensordecedoras que están pidiendo a gritos un agente de tráfico que no debe aparecer nunca», esa crítica también da la idea de lo bien informados que estaban acerca de cómo se mencionaban desdeñosamente en la prensa estadounidense al ruido urbano.

Lasplaces asociaba, en su crítica, el ruido al sonido ejecutado por bandas de jazz: «Ferreiro se desliza fácilmente por ese concierto gratis de jazz-band en que los peatones se quiebran en gesticulaciones de Charleston mientras desde allá arriba el amplificador, ronca como la garganta de un gigante dormido» (Lasplaces, 1927).

Volviendo a los ómnibus, el motor y el escape no eran su única fuente de ruido, también lo era su bocina la que se utilizaba para cualquier ocasión (ver Fig. 1), de este modo quedó plasmado en un Acta de 1929 de la Intendencia debido a la denuncia de un vecino. La gente reclamaba por el uso innecesario de la bocina.

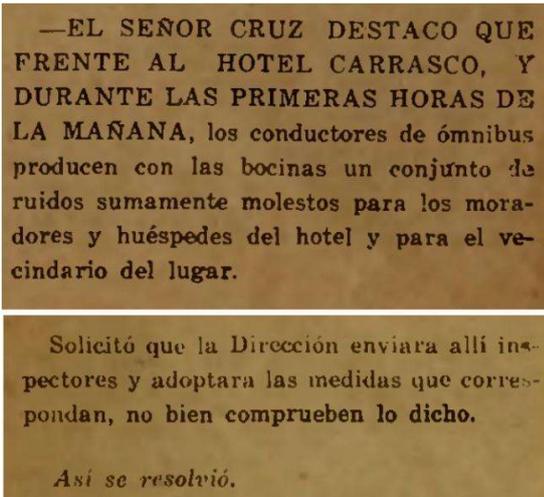


Figura 1: Queja por bocina de autobuses (1929)

No se encuentra en los boletines siguientes qué fue lo que se resolvió; entonces, queda la duda de si esa situación de hace casi 100 años todavía persiste en el barrio de Carrasco.

### 3 LA DÉCADA DEL 30 Y LA PRIMERA ORDENANZA

La década de 1930 fue particularmente ruidosa en todas las ciudades del mundo, ya que a consecuencia de la crisis económica mundial el único entretenimiento más económico al que podían acceder las personas era escuchar música por radio: fuente sonora que se sumaba al resto del ruido urbano.

Hay que resaltar el hecho que en 1930 Montevideo estaba ingresando ‘a la modernidad’. En este periodo un grupo de arquitectos presentó a la Intendencia un «Anteproyecto de Plan Regulador de extensión y regional» (Nómada, n.d.), que después dio lugar a obras de modernización que reconfiguraron a Montevideo. De acuerdo con Carmona & Gómez (2002) el mayor problema urbano fue la masificación del uso del automóvil y del transporte público, que debía atravesar una ciudad desordenada urbanísticamente, con el objetivo de ordenar ‘la ciudad existente’ lo cual motiva el surgimiento de propuestas urbanas prevalentemente de tipo vial, ya que la esencia

de esas propuestas «se centran en superponer a la trama urbana existente un sistema de amplias vías, conectando los espacios más relevantes de la ciudad. Se abandona la cultura europeizada inspirada en el Plan de Haussmann para París» (Carmona & Gómez, 2002).

#### 3.1. El paisaje sonoro montevideano de los 30's

Una mención irónica acerca de la molestia del ruido nocturno aparece en julio de 1933 en el semanario *Mundo Uruguayo*, en un largo artículo con el título «La competencia en los ruidos» (ver su viñeta en la Fig. 2) bajo el seudónimo de ‘Martín Chico’; su autor va contando y describiendo los ruidos que sufre y no le permiten dormir, de los provenientes del tráfico automotor y del tranvía (Chico, 1933-a).



Figura 2: Los ruidos y el insomnio (1933)

Llega a la conclusión que en realidad se puede tratar de una competencia de quién genera más ruido con sus bocinas, y sin muchas esperanzas dice «Yo comprendo que de seguir así las cosas llegará un momento paradójico en que por sentirlo todo acabaremos por no sentir ya nada, pero ¿no sería acaso mejor, ya que no se quiere o no se puede o no se trata de calmarlos (...)?» (Chico, 1933-a).

Así y todo, aquellos no eran los únicos ruidos que mortificaban a Martín Chico, en la misma revista publica otro artículo en octubre «*Mueran los gallos!*», suma el ruido de las radios y arremete contra los sonidos que no permiten ‘el apolillamiento’<sup>1</sup> como el ladrido de los perros y el ‘quirikiki’ de los gallos que «*pueblan las azoteas y patios de esta urbe platense*» que «*cantan, y cantan justa y precisamente a las tres de la madrugada, llamándose y respondiéndose unos a otros*» (Chico, 1933-b).

<sup>1</sup> En Argentina y Uruguay coloquialmente se usa *apolillar* como verbo para identificar el sueño.



Figura 3: Ruido molesto por gallos cantantes (1933)

Se hace mención a una ordenanza que prohíbe la crianza de pollos en la ciudad. Su lamento y desahucio se plasman en un final de desánimo porque las autoridades nada harán frente a los ruidosos gallos, proponiendo una forma irónica de acallarlos porque «de lo contrario convendría ir ensanchando al manicomio» (Chico, 1933-b).

Pero no todo es negativo frente a los nuevos ruidos montevidianos, que se estaban conformando como integrantes del paisaje sonoro de esa época; se encuentra en el semanario *Cine Radio Actualidad*, cuyos artículos tienen cierta particularidad en la forma de escribir que tenían sus colaboradores, debido a que describían las situaciones como si redactas en libretos cinematográficos; en su edición del 29 de enero de 1937 se encuentra una columna que narra todo lo que sucede en la Estación Central de trenes de Montevideo, mientras ve a una joven bajar del tren, el escritor imagina una conversación con ella «Un año, quizá menos, y ya sabrás que en la ciudad que te atrajo como a mariposa de taz, todo es avasallador. Ese tráfico rápido, esos autos que se cruzan, ese ruido infernal, todo, míralo bien, es un reflejo de la ciudad que te aguarda» (Luis, 1937).

### 3.2. Ordenanza ‘anti-ruido’ de 1933

Los medios siempre son un termómetro de lo que sucede en la sociedad, y seguramente lo que ‘Martín Chico’ dolorosamente expresaba, debía estar compartido por otros montevidianos, y tal vez a consecuencia de ello la Junta Departamental de Montevideo el 24 de octubre de 1933 sanciona el Decreto N° 257 «Ordenanza general sobre represión de ruidos molestos en la ciudad» (Intendencia, 1971); al día de la fecha no se ha encontrado su texto digitalizado, por lo que se especula que se trataba de controlar los ruidos usuales que había en Montevideo. Hay siete decretos que modificaron dicha ordenanza entre 1935 y 1939, que tampoco están digitalizados.

### 3.3. La creación de una comisión ‘anti-ruido’

Se encuentra un dato aislado sobre un artículo que escribió en 1939 el arquitecto y urbanista Eugenio Píldes Baroffio (1877–1956) con el título «El problema de los ruidos molestos», que no está digitalizado y no se conoce su contenido (Baroffio, 1939), se puede especular que habría realizado algún tipo de descripción del ruido montevidiano, ya que Baroffio era el Director General del Departamento de Obras de la Intendencia, y estaba en contacto con la realidad al menos de las actividades industriales y de construcción que producían ruido molesto; no se conoce hasta ahora con precisión, pero entre mediados de 1939 y 1940 la Intendencia creó una *Comisión de Represión de Ruidos Molestos*.

### 3.4. Difusión de la prensa porteña en Uruguay

Las relaciones sociales y políticas entre Montevideo y la ciudad de Buenos Aires es histórica, naturalmente, los medios de publicación ‘porteños’ se leían también en Uruguay; entonces, se puede especular que las personas involucradas en los problemas de los ruidos molestos montevidianos estuvieron al tanto de la gran difusión anti-ruido que se realizó en Buenos Aires a partir de 1930, que devino en la realización de un «Congreso contra el ruido en 1932»<sup>2</sup> y a posterior se publicó (después de años de discusión) la Ordenanza N° 5.388 en diciembre de 1933 (Montano, 2016); a lo anterior se tiene que considerar que el eminente

<sup>2</sup> Los autores todavía están investigando sobre ese Congreso; los datos son escasos y no hay mucha información.

médico otorrino uruguayo Pedro Belou, en 1936, dio una conferencia en Buenos Aires titulada «Consideraciones de índole médica sobre el ruido en la ciudad»,<sup>3</sup> por lo que es de esperar que esas situaciones tuvieran un espejo en Montevideo.

#### 4 LA DÉCADA DEL 40. EL RUIDO Y LA ARQUITECTURA

Por lo que se puede leer en un artículo de noviembre de 1940, la mentada *Comisión* era la encargada de recibir las quejas, y es interesante (ver Fig. 4) cómo explican que el ruido de una marmolería en horas del día estaba enmascarado por el resto del ruido urbano (Público, 1940).

EL BIEN PUBLICO. — Martes 19 de Noviembre de 1940

—La Inspección General señala que en la propiedad de la calle Tristán Narvaja N.º 1623 funciona el establecimiento del Sr. Manuel Narancio, aserradero de mármol y mollenda de talco. El ruido que produce esa actividad se confunde con los demás ruidos, en las horas del día, pero en las horas de la noche, en algunos días, las vibraciones pueden constituir molestias, por lo que el caso debe ser apreciado por la Comisión de Represión de Ruidos Molestos, a la que pasan las actuaciones.

Figura 4: La comisión anti-ruido (1940)

El arquitecto y pionero en introducción de la acústica en Uruguay Luis Alberto García Pardo (1910–2006), comenzó a trabajar profesionalmente en 1941 con el arquitecto Juan Antonio Rius (1893–1974), en ocasión de la inauguración de los cines Trocadero y Radio City, la revista de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay de 1942 editó un número especial, en el cual aparece la publicidad de materiales de aislamiento, además de la explicación del diseño acústico de ambos cines (Arquitectura, 1942).

García Pardo enseñaba en una asignatura en la carrera de Arquitectura temas de acústica, incluida la cuestión del aislamiento al ruido, por lo que no es de extrañar que entre los arquitectos estaba dicho tema a la orden del día. En un artículo de 1944 que analiza el estado de un proyecto de Ley sobre la fragmentación de

viviendas, entre distintos aspectos de habitabilidad, resaltan que «*surge previamente la ya estudiada y redactada ley de represión de ruidos molestos dentro de la urbe, paralizada en el Senado*» (Público, 1944-a), dato de vital importancia al indicar que en 1944 hubo un proyecto en discusión en el Parlamento del Uruguay, de legislación anti-ruido.

**Nota:** Tal vez motivados por la repercusión que tuvo en la prensa y las quejas ante la *Comisión* anti-ruido, en septiembre de 1947 se publicó un Decreto en el cual, entre otras cuestiones de habitabilidad, se exigía el control del ruido (Intendencia, 1947).

##### 4.1. Las autoridades no respetan su propia ley

Paradojas de la vida, las autoridades de la Intendencia estuvieron ‘del otro lado del mostrador’ cuando inauguraron el «Club Municipal» en noviembre de 1944; con el título de «Síntoma de incultura» se quejaron de estas autoridades municipales que estuvieron en el festejo porque «*cuyos directores por ser municipales no podían ignorar las disposiciones pertinentes*» (Público, 1944-b) y que «*el vecindario, desde las 10 de la noche hasta las 4 de la mañana, tuvo que aguantar un altoparlante que se oía estrepitosamente hasta Tacuarembó y 18 de julio*» (Público, 1944-b); se debe aclarar que el diario *El Bien Público* era católico, y cerca de esa esquina se encuentra la parroquia Nuestra Señora del Carmen La Mayor (a unos 300 m del Club), por lo que seguramente el sacerdote era el vecino molestado por el ruido.

##### 4.2. El ruido tema de humor e ironía

En 1943 irrumpe el semanario sarcástico *Peloduro*, en el cual aparecen decenas de menciones poéticas, irónicas y metafóricas al ruido; una de sus columnas era de chistes cortos con doble sentido que, en forma de prosa, ironizaban situaciones de la realidad, en la Fig. 4 se comparte una mención directa a la ordenanza anti-ruido (Peloduro, 1947).

##### ● TARARI...!

Lo llevaron preso por contravenir la ordenanza de ruidos molestos. Es que nunca falta un buey corneta.

<sup>3</sup> En breve será publicado un artículo sobre Pedro Belou y dicha Conferencia en la *Revista Médica del Uruguay*.

Figura 4: El ruido en el humor (1947)

Hasta la aparición de los *Shoppings Center*, los paseos del fin de semana se concentraban sobre la Av. 18 de Julio, donde las familias caminaban para ver las vidrieras, pero también circulaban en coches; otra de las columnas habituales de *Peloduro* era «Crónicas de la Ciudad» firmadas por 'El Hachero' (ver Fig. 5). La columna publicada el 17 de diciembre de 1947 con gran humor describe el paisaje sonoro en la Av. 18 de Julio con el título «Escenas de los domingos» (Hachero, 1947).

Por la avenida agarra preferentemente el medio. Despacito, moderado. No le preocupa mayormente la flecha ni los coches que vienen detrás. De pronto saca la mano por la ventanilla y oye en su retaguardia un desesperado aullido de frenos. El, sigue con la mano afuera. Le está enseñando a su mujer que esa es la Iglesia del Cordón. Atrás el ruido de bocinas es ensordecedor. Entonces él asoma la cabeza y mira como diciendo: "¿A qué viene tanto apuro?". Como los otros insisten reclamando paso se ladea un poco para librarle camino a un ómnibus. Los pasajeros agachan la cabeza para mirarlos. El conductor también asoma su cara de huelguista y dice algo. Las expresiones que van desfilando a

Figura 5: Paseo dominguero por la 18

## 5 LA DÉCADA DE 1950 CON EL INTENTO DE UNA ORDENANZA 'MODERNA'

En los medios de comunicación hay muchas referencias a los ruidos molestos en forma indirecta, y tal vez por la presión mediática la Intendencia creó una oficina para recibir las quejas, quizás como parte del trabajo de la *Comisión* anti-ruido.

### 5.1. El ruido molesto del carnaval

En el semanario *Marcha* del 3 de febrero de 1950 se publica la carta de un lector (ver Fig. 6) firmada con el seudónimo 'Neurótico' y bajo el título «Del carnaval como ruido molesto» (Marcha, 1950), deja en claro que a veces el 'ser fumador pasivo' del ruido que otros generan, no siempre es del todo soportado.

### Del Carnaval Como Ruido Molesto

Señor Director:  
Hasta mis últimas noticias, el carnaval es una de las cosas más legítimas que puede experimentar el ser humano. So pretexto de que la gente se divierte, se organizan tales barullos colectivos que el que no quiera divertirse también entra en la danza. Puede prescindir, claro, de ir a bailes, y si no vive en el Centro podrá prescindir del corso, aunque ningún barrio es inmune a esa enfermedad. Pero no podrá prescindir de los tablados, y aunque se niegue a colaborar en las colectas, y sea muy conscientemente un vecino odioso, igual deberá prestar sus oídos a los altoparlantes, que cubren todo sueño en dos cuadras a la redonda. Quien

rio del que abusan; en noches previas a días hábiles, es intolerable que se pasen música y avisos hasta las dos de la mañana. El tercero es más difícil de calcular y de reprimir: la discoteca de los tablados no suele pecar de variedad, y repiten discos con insistencia criminal. Ya hace un año que el suscrito aborrece la famosa Raspa, y aulla cuando la escucha de nuevo; si no se lo impedirán motivos más fuertes, escaparía de esta hermosa y balnearia ciudad durante un largo plazo del corriente mes, porque sabe que la Raspa será repetida con todo sadismo, y que, a mayor abundamiento, el Carnaval encontrará dos o tres melodías más con las cuales practicará el eterno

Figura 6: Carta de un lector a *Marcha* (1950)

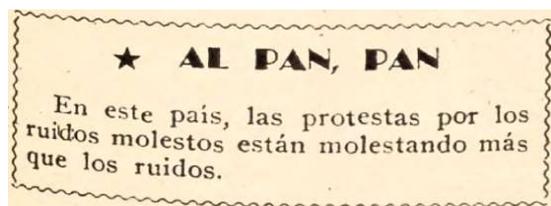
Si bien se encuentran muchas alusiones a la molestia por el ruido que se generaba en los tablados durante los carnavales, siempre se hacía metafóricamente, esa carta es una de las primeras que se encontró aludiendo al carnaval como ruido molesto.

### 5.2. La Comisión anti-ruido de la Intendencia

La ya nombrada *Comisión Especial de Represión y Reducción de Ruidos Molestos* estuvo presidida por el Arq. Eugenio Baroffio e integrada por el Ing. E. Mario Peyrot, el Ing. Alberto Benedetti, y el Edil Valentín Fernández Ruiz y por Alfredo M. Lázaro –funcionario público– que oficiaba de secretario (Público, 1950); lo que se lee sobre dicha *Comisión* es que tenía a cargo evaluar los pedidos de apertura de locales ruidosos (talleres, fábricas, salas de baile, etc.), además de recibir las quejas por ruidos molestos.

Son interesantes las acciones que realizó esa *Comisión* en su carácter de inspección en lugares de trabajo, regulación de los equipos de propaganda pública, y por lo que se lee también tenían el asesoramiento de médicos que aconsejaban en relación con el ruido: «Informar a la Intendencia Municipal sobre las actuaciones promovidas por el Colegio Médico del Uruguay, aconsejando diversas medidas tendientes a eliminar o reducirlos inconvenientes señalados» (Público, 1950).

En los seis artículos que se encontraron en el diario *El Bien Público* de 1950, que mencionan a esa *Comisión*, se comenta que otros medios reprodujeron protestas de la vecindad por problemas de ruido, y parece que el trabajo anti-ruido de la Intendencia fue álgido, tal como lo manifiesta irónicamente la *Peloduro* (1952) (Fig. 7).

Figura 7: Las protestas según la *Peloduro*

Respecto a la *Comisión* anti-ruido, aparentemente fue disuelta en abril de 1955 según una ‘nota fúnebre’ del semanario humorístico *El tero imprudente* (ver Fig. 8), que tal vez se trate de un sarcasmo periodístico con doble sentido, alusivo a algún tipo de inoperancia administrativa de los funcionarios públicos de esa comisión municipal (Tero, 1955).

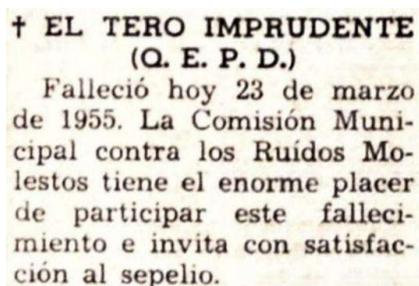


Figura 8: ¿El fin de la Comisión anti-ruido?

A pesar de la ‘defunción’ de dicha *Comisión*, en la Intendencia continuaba funcionando una ventanilla que recibía los pedidos de apertura de locales ruidosos (ver Fig. 9), la cual era vista como un exceso de burocracia según el órgano oficial del Partido Socialista (Sol, 1955).

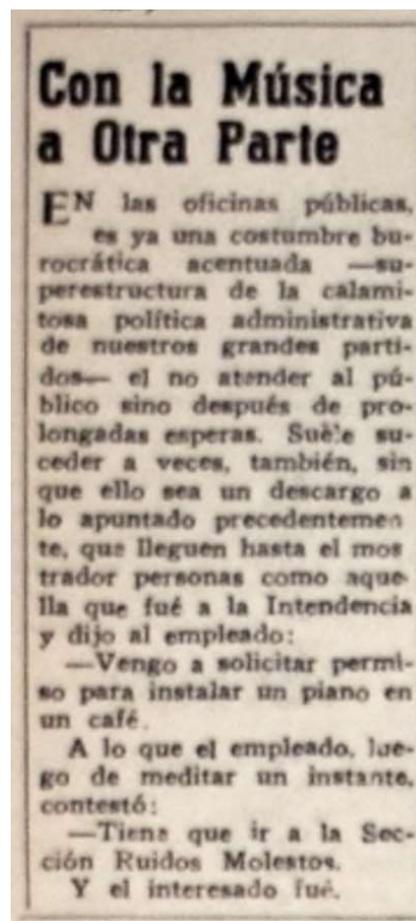


Figura 9: La burocrática sección anti-ruido

### 5.3. 1955 el año de un proyecto de ordenanza

Es de suyo evidente que la ordenanza de 1933 a pesar de sus modificaciones, después de 22 años requería de una actualización porque, seguramente, era obsoleta e inaplicable. El semanario *Mundo Uruguayo* del 14 de julio de 1955 deja ver esa situación (ver Fig. 10), en su columna satírica «La linterna sorda», se refiere metafóricamente a modo de plegaria religiosa a esa ordenanza (Dopey, 1955).

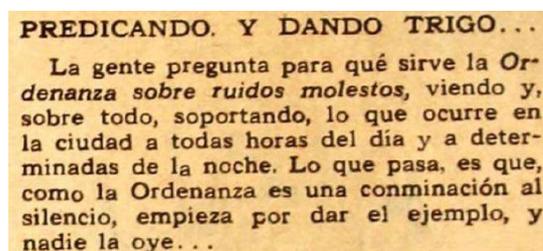


Figura 10: Reclamos por la ordenanza

Para captar la atención de lectores bajo el título de «Para reprimir y reducir ruidos molestos ha sido aprobada una ordenanza», el diario *El Bien Público* transcribe el texto

de la aprobación de un proyecto mas no una ordenanza (Público, 1955, p.3); su lectura es interesante porque se puede tener una idea del paisaje sonoro montevideano y las acciones anti-ruido que reclamaba la población por parte de la Intendencia, sobre todo durante las horas nocturnas y de descanso.

**Con fecha 30 de noviembre el Consejo Departamental, resolvió aprobar el proyecto de Ordenanza sobre Represión y Reducción de Ruidos Molestos, elevado por la Comisión, que tuvo a su cargo el estudio de los informes producidos por las oficinas técnicas del municipio que tienen relación con la Ordenanza mencionada y cuyo texto es el siguiente:**

Figura 11: Proyecto ordenanza anti-ruido, 1955

#### 5.4. Los lamentos y un espejo a Buenos Aires

Ya se comentó líneas arriba el contacto que tenía Uruguay con Argentina a través de la prensa, y es notable cómo en una carta dirigida al director del semanario *Marcha* el 25 de mayo de 1956, se pide que Montevideo siga el camino iniciado por el intendente de Buenos Aires el Arq. Miguel Madero, de prohibir completamente el uso de la bocina (Montano, 2016), diciendo que la idiosincrasia uruguaya no permitiría tal decisión política «Evidentemente, no hay un país tan atrasado en iniciativas», quejándose además del «ruido infernal de los altoparlantes» (Junior, 1956).

Las cartas de lectores que publican los medios de comunicación se seleccionan en función de una línea editorial, en general estas cartas representan lo que siente una parte de la población, particularmente, en una reproducida en *Marcha* el 15 de febrero de 1957 se pueden leer los ‘tormentos’ sufridos por un turista de Buenos Aires (considerados genéricamente como ‘porteños’) durante su estadía en Montevideo; la situación de la que más se quejó fue por el uso indiscriminado de la bocina: «Montevideo es infernal para un porteño», continúa escribiendo que tarde o temprano tendrá que imitar a Buenos Aires, refiriéndose a la campaña contra el uso de la bocina (que ya se comentó líneas arriba), y recomienda que «Bastaría con aplicar el Reglamento»; por supuesto que también se queja del rechinar de los trolley-bus que «hacen parar los nervios de punta. Frente a un restaurante en Malvín, me atracaba la comida en la garganta»; terminando su carta con un verdadero lamento «Montevideo ha dejado de ser una ciudad

Quienes redactaron el proyecto evidentemente estaban en conocimiento de la existencia de las ordenanzas de algunas ciudades de los EE. UU., que para 1955 ya establecían valores límites en decibeles (Montano, 2022); los ediles motevideanos no tenían asesoramiento técnico de acústicos, pero sí la voluntad de tener una ordenanza avanzada, como se lee en el artículo 15 «Para la excepción del Art. 14° fijase un límite de 30 decibeles como máximo valor de intensidad sonora, transmitido al exterior, medido en el lugar donde se percibe la perturbación» [el resaltado es de los autores] (Público, 1955, p.3), lo anterior estaba aludiendo a que la municipalidad podría autorizar actividades de ocio nocturnas que requerían amplificación electroacústica.

de turismo ... dejó Montevideo con verdadero dolor. Atormentado ... acribillado a cornetazos» (Marcha, 1957).

#### 5.5. La campaña electoral de 1958 y el ruido molesto de la propaganda política con altavoces

Parafraseando un viejo adagio que ‘todo es ruido cuando otro es quien lo genera’, esto se cumplió durante la campaña electoral de 1958 por un proyecto de reglamento que presentaron dos ediles (ver Fig.12), para regular el empleo de altavoces en el centro de Montevideo.

El periodista aclara que uno de ellos vive en esa zona, dando a entender que tal vez no quería escuchar el ruido de los otros partidos políticos (Marcha, 1958).

**★ Los jóvenes ediles Alberto Fernández Caiazza y Eduardo Paz Aguirre (batllistas) 15 han presentado un elogiado proyecto sobre reducción y encauzamiento de la propaganda electoral, desde el punto de vista de los ruidos molestos. El texto prohíbe a los vehículos con altavoces actuar en 18 de Julio y las plazas Matriz, Independencia, Libertad y de los Treinta y Tres. El edil Paz Aguirre vive en la plaza Libertad.**

Figura 12: Es ruido cuando otro lo hace

## 6 EL ENFOQUE CIENTÍFICO DEL RUIDO EN LOS 60

### 6.1. Normas anti-ruido vigentes a 1960

A fines de junio de 1960 se publicó en la prensa con el título «Ruidos molestos. Normas vigentes», una recopilación de los cuatro decretos anti-ruido de Montevideo ordenados en siete subtítulos (Marcha, 1960), quedando en evidencia que el proyecto de 1955

no prosperó como ordenanza. Este recordatorio gubernamental tal vez fue lo que dio lugar a que se realice la primera campaña de mediciones de ruido urbano en Montevideo, en este caso utilizando sonómetros normalizados.

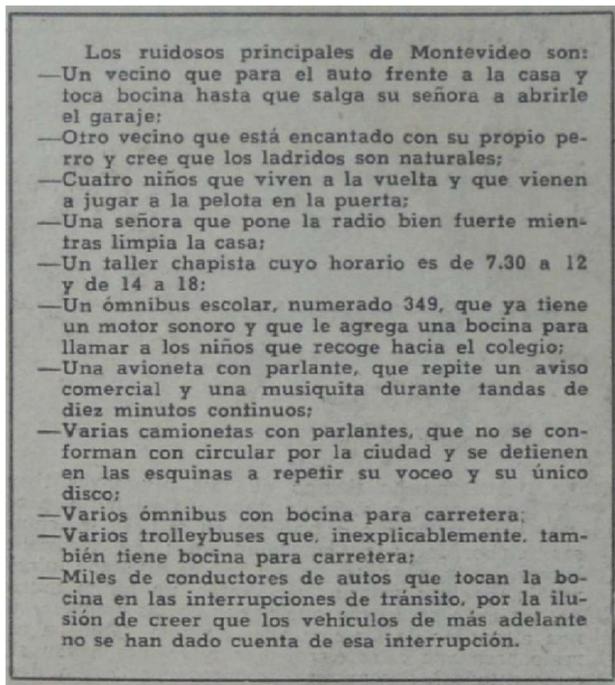


Figura 13: Lista de ruidos molestos (1960)

En una de las tantas respuestas irónicas de la prensa, al recordatorio de las normas anti-ruido, en particular, la que se publicó en el semanario *Reporter* escrita por el periodista y crítico de cine Homero Alsina Thevenet, propone un listado de los ruidos que se deberían regular por ordenanza (ver fig. 13), los agrupa bajo el título de «*El que hace RUIDO es USTED*» (Alsina, 1960, p.11).

Alsina Thevenet hace una crítica mordaz de las autoridades, diciendo que a fuerza multas no se resuelven las cosas, si los permisos de funcionamiento de actividades ruidosas se dan sin discusiones; concluye el artículo razonando acerca de las personas que producen ruido fuera de sus viviendas, y generan molestia a otras personas no asumiendo su responsabilidad, y terminando su observación explicando que «el que hace ruido es usted» (Alsina, 1960, p.50).

## 6.2. 1960 y la primera medición de ruido urbano

El año de 1961 debería considerarse un año paradigmático, porque la cuestión del ruido urbano desde la acústica irrumpe en Uruguay en la escena académica, social y mediática de la mano del Ing. Jaime R. Carbonell (1928–1973) un destacado acústico uruguayo de cuya vida profesional todavía no está adecuadamente difundida;<sup>4</sup> siendo docente de la Facultad de Arquitectura (también era funcionario municipal en el área de Transporte) realizó la primera campaña de mediciones de ruido en Montevideo junto al Ing. Carlos Fontán a finales de 1960 (Carbonell & Fontán, 1961).

Los resultados de esas mediciones se publicaron en la revista de la Facultad de Arquitectura en 1961, bajo el título de «Un capítulo de higiene acústica: Los ruidos urbanos en Montevideo» (ver fig. 14), en el cual, presentan detalladamente el protocolo, las mediciones, el resultado y análisis (Carbonell & Fontán, 1961), se trata de una ampliación de columnas periodísticas que ellos escribieron para un diario.

Al final de su artículo hacen una crítica de la legislación anti-ruido montevideana, básicamente, porque es de orden subjetivo, poniendo en discusión también las ambigüedades del contenido de esos decretos; finalmente, hacen sugerencias del contenido mínimo que debería tener una ordenanza moderna, y que para ello debería ejecutarse un estudio pormenorizado del ruido montevideano para establecer límites para ruido en octavas de frecuencia, poniendo como ejemplo algunas ordenanzas de los EE. UU.; se tiene que dejar en claro que Carbonell a mediados de 1960 había obtenido BS en ingeniería Eléctrica en el MIT con orientación en Electroacústica, por lo que tenía amplios conocimientos en materia de ruido ambiental.

<sup>4</sup> A futuro se publicará en la ECOS su biografía completa.

Mucho se habla y opina en nuestro país del problema del ruido, pero casi sin excepción, sin partir de datos precisos, y con términos y conceptos equivocados. Un ejemplo de lo anterior está constituido por la reiterada mención de "ruidos molestos"; el adjetivo "molestos" representa en primer lugar un pleonasma: todo ruido es molesto desde que, por definición, no se quiere oír. Pero, como ha sido repetidamente probado, además de molestos, los ruidos pueden ser insalubres, ya que pueden muchas veces llegar a tener la capacidad de producir daño temporal o permanente en el organismo físico o mental del individuo a ellos expuestos. Todo ruido es, pues, incómodo, nos molesta, atentando contra nuestro bienestar; paralelamente incidirá desfavorablemente sobre la eficiencia en nuestro trabajo, como ha sido

Figura 14: Fragmento del artículo de Carbonell

### 6.3. El ruido 'se traslada' a los barrios

Hay decenas de cartas a los semanarios *Marcha* y *Mundo Uruguayo* de vecinos que reclaman por los ruidos molestos en los distintos barrios montevideanos, las

## 7 LA PROBLEMÁTICA DEL RUIDO EN LA DIVISIÓN DE HIGIENE DE LA INTENDENCIA DE MONTEVIDEO

Los autores mencionan un dato aislado que se encuentra publicado en el semanario *Marcha* del 9 de diciembre de 1960, un artículo con el título «Un ruido de mil diablos» escrito por el destacado periodista Ignacio Domínguez Riera, quien comenta alrededor de un discurso con motivo de la jubilación de Roberto Espil, quien fue un conocido burócrata de la época (y también personaje del fútbol uruguayo), Roberto Espil dijo que después de 47 años de trabajo en la División de Higiene de la Intendencia «*momentánea o definitivamente esa división había logrado enfrentar con éxito todos los problemas menos el problema del ruido*» (el resaltado es del original) (Domínguez, 1960); lamentablemente no se ha encontrado información en internet que vincule a Espil en esa lucha contra el ruido en Montevideo.

## 8 CONCLUSIONES

Pareciera que Montevideo fue una 'ciudad ruidosa' para sus habitantes, pues no cabe dudas que el ruido del tráfico automotor, el tranviario con el rechinar de

mayores quejas están dirigidas al uso abusivo de las bocinas a cualquier hora del día y por cualquier motivo y a la música de los bailes que se hacían en clubes sociales los fines de semana. Pero también reclamaban por el ruido de los aviones que sobrevolaban la ciudad, de los camiones recolectores de basura, las ferias barriales, talleres que funcionaban en la calle, etc.; en todos los casos, los vecinos pedían mejores acciones por parte de la Intendencia para que apliquen los reglamentos anti-ruido.

Ya se ha hecho mención de las quejas por el ruido de la música durante los carnavales, y tal vez para reducir molestias en una ordenanza sobre los tablados de 1964, en su artículo 7° establecía que se tendrán en cuenta para la ubicación los inconvenientes que puedan surgir de los tablados y «para el ruido, no pudiendo construirse a una distancia mínima de 100 metros de establecimientos públicos hospitalarios o religiosos» (Comisión, 1964).

sus ruedas, y el uso indiscriminado de las bocinas constituyeron las fuentes de ruido urbano que más quejas recibieron, sin dejar de lado las molestias producidas por la amplificación electroacústica de música.

Las motivaciones de las personas que reclaman por un ruido molesto están cargadas de subjetividad y de la situación particular que está viviendo en ese momento, porque si está en una fiesta no se quejará del volumen de la música, pero sí en el momento que desee descansar en su casa y la fiesta es de otro.

Queda 'en deuda' hacer un relevamiento de los reglamentos anti-ruido del resto de las intendencias del Uruguay; los autores encontraron que algunas ordenanzas actuales de distintas ciudades mencionan en sus artículos derogatorios las que existían previas a ella, esos datos pueden ser de ayuda para iniciar una búsqueda.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a Elizabeth González, por compartir copia de la Disposición Municipal de 1947; a Paula Giordano por fotocopiar y enviarnos el artículo de Jaime Carbonell de la biblioteca del IHA de la Fac. de Arquitectura; también a editores y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo.

Se declara que este artículo no tuvo fuentes de financiamiento, y fue escrito en el tiempo libre de sus autores.

## REFERENCIAS

- Alsina Thevenet, H. (1960) El que hace RUIDO es USTED. Otra interpretación sobre un problema municipal que siempre está vigente. *Reporter Vol 1*(3), 28/12/1960. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/4397>
- Arquitectura (1942) Estudios acústicos de los cines Trocadero y Radio City. *Revista Arquitectura* N° 207, SAU, dic. 1942. <https://sisbibliotecas.ort.edu.uy/bib/63990>
- Baroffio, E. (1939) *El problema de los ruidos molestos*; en El Diario 06/05/1939. Archivo Baroffio en CEDODAL.
- Carbonell, J. R.; Fontán, C. (1961) Un capítulo de higiene acústica; los ruidos urbanos en Montevideo. *Revista* N° 3, septiembre de 1961. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Montevideo. <http://www.revista.edu.uy/numero-3/>
- Carmona, L.; Gómez, M. J. (2002) Montevideo. proceso planificador y crecimientos. *Instituto de Historia de la Arquitectura* - Facultad de Arquitectura - UdelaR. [http://www.fadu.edu.uy/iha/files/2013/06/Carmona-G%C3%B3mez\\_Proceso-Planificador\\_1.pdf](http://www.fadu.edu.uy/iha/files/2013/06/Carmona-G%C3%B3mez_Proceso-Planificador_1.pdf)
- Chico, M. (1933-a) La competencia en los ruidos. Del Momento. *Mundo Uruguayo*, año XV (758) 20/07/1933. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/45956>
- Chico, M. (1933-b) Que mueran los gallos! Del Momento. *Mundo Uruguayo*, año XV (770) 12/10/1933. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/55407>
- Comisión (1964) Ordenanza sobre tablados carnavalescos. *Comisión Municipal de Fiestas*. Libro de Actas 24 A/77. Acta No. 42, 18/08/1964. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/47808>
- Domínguez Riera, I. (1960) Haz mal y no mires a cual. Un ruido de 1000 diablos. *Marcha*, año XXII (1038), 09/12/1960. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/2376>
- Dopey (1955) Predicando y dando trigo. La linterna sorda. *Mundo Uruguayo* N° 1890, 14/07/1955. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/46173>
- Ferreiro, A. M. (1927) *El Hombre que se comió un autobús. Poemas con olor a nafta*. Imprenta Peña Hnos, Montevideo. [https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/37774/1/El\\_hombre\\_que\\_se\\_comio\\_un\\_autobus\\_ferreiro.pdf](https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/37774/1/El_hombre_que_se_comio_un_autobus_ferreiro.pdf)
- Gell-Mann, Murray (1994) *The quark and the jaguar: Adventures in the simple and the complex*. St. Martins Press-3PL. <https://archive.org/details/quarkjaguar00gell>
- Hachero, El (1947) Escenas de los domingos. Crónicas de la ciudad. *Peloduro* N° 86 - 17-dic-1947. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/11779>
- Intendencia (1947) Decreto de la Junta Departamental de Montevideo N° 5.644 de septiembre de 1947.
- Intendencia (1971) Acuerdos de ingeniería y obras. Reglamentaciones para la instalación de centrales de hormigón, y/o de preparación de otros materiales por parte de empresas contratistas, con el Municipio. [http://imnube.montevideo.gub.uy/share/s/2MaHfiAjSDubIMbusde\\_mA](http://imnube.montevideo.gub.uy/share/s/2MaHfiAjSDubIMbusde_mA)
- Junior, G. E. (1956) Ruidos molestos y Cía. *Marcha*, Año XVII (814), 03/02/1950. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/2625>
- Lasplacas, A. (1927) El Hombre que se comió un autobús o sea: Alfredo Mario Ferreiro. *La cruz del sur*, Año III (17). Ed. La Cruz del Sur. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/37306>
- Luis, J. (1937) Estación Central. *Cine Radio Actualidad*. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/49541>
- Marcha (1950) Del carnaval como ruido molesto. *Marcha*, Año XI (514), 03/02/1950. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/1283>
- Marcha (1957) Adiós Montevideo. Carta de Lectores. *Marcha*, Año XVIII (851), 15/02/1957. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/2584>
- Marcha (1958) Los Movimientos en el Tablero. *Marcha*, Año XIX (915), 13/06/1958. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/2513/1/35c9650a1ebdde303824d440e1293cc7.pdf>
- Marcha (1960-a) Ruidos molestos. Normas vigentes. *Marcha*, Año XXII (1036). <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/2379>

- 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://noiseneewsinternational.net/public-concern-and-measurements-of-noise-in-the-city/>
- Nómada (n.d.) Montevideo, Blog Nómada guía de viaje offline. <https://nomada.uy/guide/view/cities/617>
- Peloduro (1947) LLAMELE HACHE. Por El Que Apretó El Tomate En La Kermesse. *Peloduro N° 85* - 03-dic-1947. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/11947>
- Peloduro (1952) Al pan, pan. *Almanaque Peloduro 1952*, p.93. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/12014>
- Público, E. B. (1940) Carta lectores. *El Bien Público. Año LXII* (19249), 19/11/1940. <http://bibliotecadigital.bibna.gub.uy:8080/jspui/handle/123456789/35294>
- Público, E. B. (1944-a) Proyecto a completar. Fragmentación de las casas de departamentos. *El Bien Público Año LXVI* (20427), 18/08/1944. <http://bibliotecadigital.bibna.gub.uy:8080/jspui/handle/123456789/36219>
- Público, E. B. (1944-b) Síntoma de incultura. *El Bien Público Año LXVII* (20496), 07/11/1944. <http://bibliotecadigital.bibna.gub.uy:8080/jspui/bitstream/123456789/36288/1/20496-1944-11-07.pdf>
- Público, E. B. (1950) La represión de ruidos molestos. *El Bien Público*, 25/05/1950. <http://bibliotecadigital.bibna.gub.uy:8080/jspui/handle/123456789/38236>
- Sol, El (1955) Con la música a otra parte. *El Sol Año XIV* (656) p.6. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/45793>
- Tero (1955) Notas fúnebres. *El Tero Imprudente N° 10*, 23/03/1955. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/11713>
- Público, E. B. (1955) Para reprimir y reducir ruidos molestos ha sido aprobada una ordenanza. *El Bien Público, Año LXXVIII* (23620) p.3, 02/12/1955. <http://bibliotecadigital.bibna.gub.uy:8080/jspui/handle/123456789/40260>
- Thompson, E. (2002) *The soundscape of modernity. Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 190 0 1933*. The MIT Press. Cambridge, Mass.

# Breve biografía de Jaime R. Carbonell y sus aportes a la Acústica

## Jaime R. Carbonell's brief biography and his contributions to Acoustics

## Breve biografia de Jaime R. Carbonell e suas contribuições para a Acústica

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

M. Noel Martínez-Pascal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ARQUICUST Laboratorio de acústica «Joseph Sauveur». Gualeguaychú, ER, Argentina

<sup>2</sup>UADER Prof. Lengua y literatura. Concepción del Uruguay, ER, Argentina

Correo de contacto: [acustica@inpacta.org](mailto:acustica@inpacta.org)

### Resumen.

A menudo se menciona al Uruguay como un país pequeño, pero con gran cantidad de personalidades que se destacan mundialmente desde la literatura o la música. En ese sentido, desde este artículo, se intenta recuperar la vida de Jaime R. Carbonell, un ingeniero que se dedicó profesionalmente a la acústica. Este tuvo sus comienzos en Uruguay hacia 1960 para radicarse más tarde en los EE. UU., donde trabajó para la Bolt-Beranek-Newman con proyectos para la NASA, desarrollando la primera interfaz humana para la red ARPA (antecedora de la Internet). En Uruguay se conoce muy poco de sus actividades en la acústica es entonces que partir de datos dispersos en medios de comunicación que se tratará de construir una línea temporal con los aportes de Carbonell a esta disciplina, ya que fue (entre otras cosas) uno de los primeros que realizó mediciones de ruido urbano en Montevideo y divulgó la problemática del ruido a través de la prensa. El artículo termina con propuestas de actividades para dar a conocer el trabajo de Carbonell en la acústica.

**Palabras clave:** Acústica, Historia de la ciencia, Sociología del ruido.

### Abstract.

Uruguay is often mentioned as a small country but with a large number of personalities who stand out worldwide from literature or music, and this article tries to recover the life of Jaime R. Carbonell, an engineer who devoted himself professionally to acoustics, starting in Uruguay around 1960 to settle later in the USA, where he worked for Bolt-Beranek-Newman with projects for NASA, and also developed the first human interface for the ARPA network (predecessor of the Internet). In Uruguay, very little is known about his activities in acoustics. We will try to make a timeline with Carbonell's contributions to this discipline, since he was (among other things) one of the first to make urban noise measurements in Montevideo and to communicate the noise problem on the media. The article ends with proposals for activities to raise awareness of Carbonell's work in acoustics.

**Keywords:** Acoustics, History of Science, Sociology of noise

### Resumo.

O Uruguai é frequentemente mencionado como um país pequeno mas com um grande número de personalidades que se destacam mundialmente da literatura ou da música, e este artigo tenta recuperar a vida de Jaime R. Carbonell, um engenheiro que se dedicou profissionalmente à acústica, começando no Uruguai por volta de 1960 para se estabelecer mais tarde nos EUA, onde trabalhou para a Bolt-Beranek-Newman com projetos para a NASA, e também desenvolveu a primeira interface humana para a rede ARPA (predecessora da Internet). No Uruguai, muito pouco se sabe sobre suas atividades em acústica, por isso tentaremos construir uma linha do tempo das contribuições de Carbonell a esta disciplina a partir de dados dispersos na mídia, já que ele foi (entre outras coisas) um dos primeiros a realizar medições de ruído urbano em Montevideu e a divulgar o problema do ruído na imprensa.

**Palavras-chave:** Acústica, História da ciência, Sociologia do ruído. O artigo termina com propostas de atividades para aumentar a conscientização do trabalho da Carbonell em acústica.

**PACS:** 01.65.+g, 43.90.+v

## 1. INTRODUCCIÓN

La trascendencia en Uruguay y en la región de la vida y aportes a la acústica de Luis García Pardo (1910-2006) y de Conrado Silva de Marco (1940-2014) son muy conocidos gracias a la gran cantidad de discípulos y obras que los sobrevivieron, pero las contribuciones que hizo Jaime R. Carbonell (1928-1973) no están todavía adecuadamente difundidas, tal vez, a causa de su prematura muerte a los 44 años en EE. UU.

En este artículo se intenta recuperar la vida científica y académica de Jaime R. Carbonell que, si bien es más conocida en el campo de las ciencias de la computación, no lo es en la comunidad de la acústica quizás también sea porque los últimos años de su vida estuvieron dedicados a trabajar e investigar en esas otras áreas disciplinares.

Para escribir este artículo, los autores, se basaron en los escasos datos de sus vínculos con la acústica (lamentablemente no pudieron contactarse con su familia): los que se encuentran libres en Internet, libros y revistas editados en la década del 60 por el Grupo de Acústicos Latinoamericanos (GALA), archivos documentales, fotos de archivo del Centro de Investigación de Acústica y Luminotecnia (CIAL) de Córdoba-Argentina, y el testimonio de una persona que lo conoció en vida cuando Carbonell realizaba una instalación electroacústica para el Teatro Solís. Por último, se propondrán acciones para difundir el trabajo de Carbonell en la acústica desde la Asociación Uruguaya de Acústica (AUA).

## 2. DATOS BIOGRÁFICOS Y ACADÉMICOS EN URUGUAY

Dada la participación emblemática que tuvo Carbonell en el ámbito de la “Systems, Man, and Cybernetics Society” grupo del “Institute of Electrical and Electronics Engineers” (IEEE) es en sus publicaciones donde se encuentra información sobre su vida, de ellas extraemos algunas citas.

Jaime R. Carbonell nació el 1° de octubre de 1928 en Montevideo y se recibió de Ingeniero Civil en 1953 en la UdelaR. Desde 1950 a 1963 fue profesor de Matemáticas en el Instituto Alfredo Vásquez Acevedo; de 1955 a 1956 fue ingeniero de la Administración Municipal de Transporte de Montevideo; de 1958 a

1963 profesor asociado de Acústica en la Universidad del Uruguay (Chen, 1972).

Carbonell trabajó para la empresa Ingeniería Acústica Sociedad Anónima (INGAC SA) como ingeniero jefe de 1956 a 1959, y como consultor de 1960 a 1963 (Chen, 1972).

Se encuentra un artículo periodístico publicado el viernes 2 de diciembre de 1955 en el diario *El Bien Público* la cual comenta que a Carbonell le otorgaron la beca «Artigas» por su alta escolaridad (ver Fig. 1), gracias a la cual recorrió varios países europeos tomando cursos de perfeccionamiento, siendo también becado por el gobierno de Francia para realizar estudios por seis meses en su especialidad en los Institutos de Chatou, Grenoble y Toulouse (Público, 1955); también estuvo en Holanda en un congreso sobre hidráulica, pudiendo ser esta su especialización profesional cuando trabajó para la Intendencia de Montevideo.

De lo que se lee en todas las referencias a su vida, Carbonell fue una persona brillante, ya que en 1953 al egresar como ingeniero obtuvo la «Medalla de Oro» (Chen, 1972).

### Regresa de Europa el ingeniero J. Carbonell

Regresa a Montevideo el lunes, a bordo del "Giulio Cesare", el Ingeniero Civil Jaime R. Carbonell Federici, que en uso de la Beca Artigas que le concediera por su alta escolaridad la Universidad de la República, recorrió los países europeos en los que asistió a distintos cursos de perfeccionamiento.

Figura 1: Viaje de Carbonell (1955)

## 3. DATOS ACADÉMICOS EN EE. UU.

Carbonell en 1960 obtiene su BS en ingeniería Eléctrica en el MIT, y según un artículo de su autoría publicado en *El Diario* en noviembre de 1960, el editor indica que «acaba de realizar un curso de perfeccionamiento en el MIT sobre problemas de acústica» (Carbonell, 1960-a), teniendo aquí la evidencia de sus estudios formales en la acústica.

En 1963 ingresó a trabajar en la empresa Bolt-Beranek-Newman (BBN) hasta su prematuro fallecimiento en 1972. Además de dedicarse a la acústica, Carbonell desarrolló su carrera en el ámbito

de la inteligencia artificial logrando su PhD en ciencias de la computación también en el MIT, su tesis «*se centró en los diálogos de iniciativa mixta hombre-computadora con preguntas y respuestas generadas por ambos lados en cómodos subconjuntos de inglés*» (Chen, 1972).

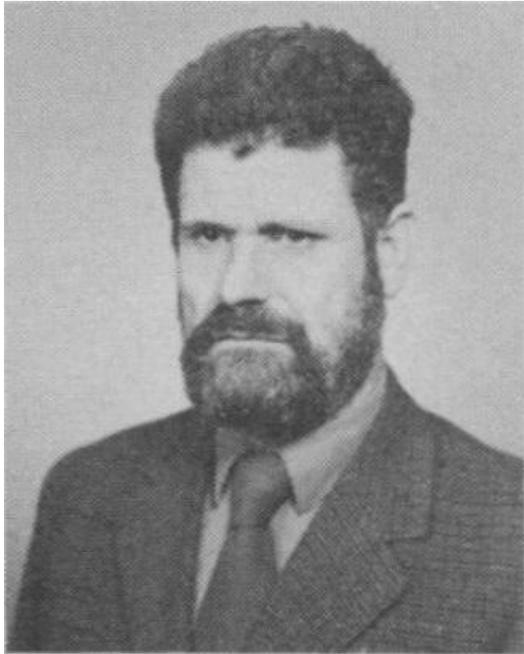


Figura 2: Foto de Jaime Carbonell (Chen, 1972)

Durante su vida le otorgaron diferentes galardones y becas, destacándose la de la Fundación Hertz del MIT entre 1966 a 1970, y el premio “Franklin V. Taylor” a la mejor presentación en la Convención de sistemas hombre-máquina del IEEE en 1970 (Chen, 1972).

Se encuentran en Internet decenas de referencias a sus publicaciones e investigaciones en ese tema, las cuales no serán aquí tratadas, pero sí se menciona el vínculo que Carbonell hizo entre la acústica y la inteligencia artificial.

Carbonell fue uno de los creadores de una de las primeras interfaces de comunicación humana con las computadoras (Chen, 1972), la cual fue utilizada en la red ARPA (red antecesora de la Internet e inventada por la BBN), para la cual los conocimientos en acústica de Carbonell fueron decisivos (Walden & Nickerson, 2011).

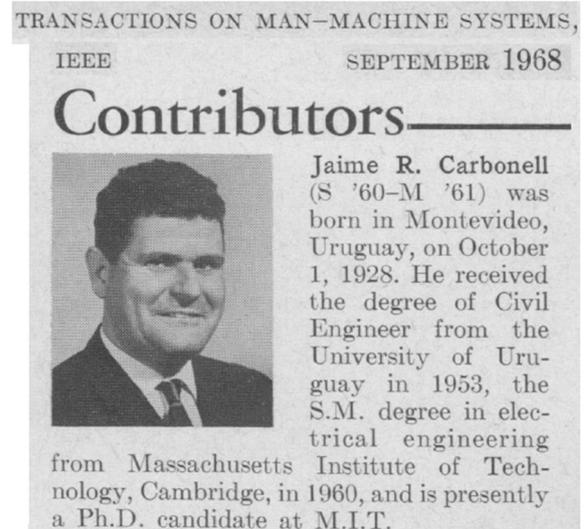


Figura 8: Revista de la IEEE, 1968

#### 4. MEDICIONES DE RUIDO URBANO EN 1960 EN MONTEVIDEO Y SU DIFUSIÓN PERIODÍSTICA

En 1960 Jaime Carbonell publicó dos artículos en *El Diario*: «*Enfoque actual de la lucha contra el ruido*» del 24 de noviembre (ver su encabezado en Fig. 3); y «*La Ingeniería Acústica lucha contra el ruido*» del 3 de diciembre; en este último hace un breve comentario de una campaña de mediciones que hizo en calles de Montevideo, en interior de domicilios, fábricas, etc.; pero básicamente se concentra en explicar los problemas a la salud derivados de la exposición al ruido (Carbonell, 1960-b).

Carbonell realizó el estudio de ruido urbano en Montevideo junto al Ing. Carlos Fontán (ver Fig. 7), de quien hasta el momento sólo se ha encontrado que fue un radioaficionado con la matrícula CX5CN<sup>5</sup> (Radio, 1955).

En 1961 Carbonell publica en la *Revista* de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, un artículo titulado «*Un capítulo de higiene acústica: Los ruidos urbanos en Montevideo*», en el cual presenta detalladamente el protocolo, las mediciones, el resultado y análisis (Carbonell & Zuccoli, 1961-c), que es una ampliación de lo que escribió en *El Diario*.

<sup>5</sup> Los autores escribieron al *Radio Club Uruguayo*, la respuesta obtenida fue que ellos no guardan archivos de esa época, no tienen datos sobre Carlos A. Fontán.



Figura 3. Artículo publicado el 24 de noviembre de 1960 en *El Diario*

Impresiona para la fecha que hicieron este estudio (diciembre de 1960), ya que el instrumental que utilizaron no debería haber sido nada económico comprarlos; el sonómetro que utilizaron para su campaña de mediciones fue el modelo “Transistor, Sound Level Meter Type N° 1400E” de la marca Dawe de origen británico, y el ‘analizador de frecuencias’ consistía en un banco de filtros pasivos marca/modelo “Allison Labs 2-BR Passive Inductor Filter” fabricado en EE. UU. (ver Fig. 4). Entonces, para realizar las mediciones tenían que hacer un bucle entre ambos instrumentos: La salida de audio del micrófono se conectaba a la entrada del banco de filtros, y su salida se reingresaba al medidor de nivel sonoro o a un grabador de cinta (ver Fig. 5).



Figura 4: Mediciones de ruido urbano en la esquina de Bvd. Artigas y Bvd. España, 1960

A lo largo de doce hojas, Carbonell (entre otras cuestiones) comenta los resultados de las mediciones dando explicaciones, comparando y analizando cada una de las situaciones que hallaron. Respecto a la ubicación de los puntos externos donde realizaron las mediciones, éstos fueron: Hnos. Ruiz y Gaetán, en el Prado; fondo domiciliario en zona Cordón (entre 18

de Julio y Colonia); Bvd. Artigas y Bvd. España; Av. Agraciada y San Martín; Paraguay y Av. 18 de Julio.

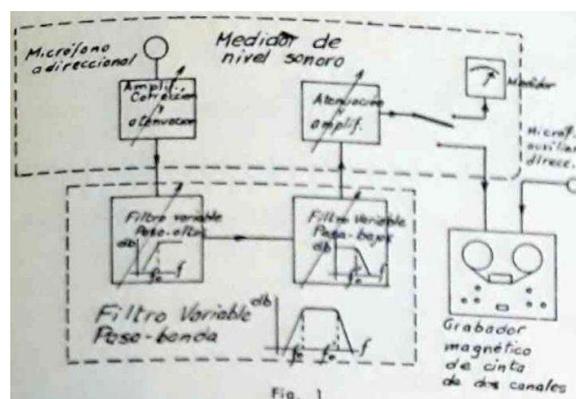


Figura 5: Diagrama de conexión de instrumentos

Sobre las mediciones que hicieron en otras localizaciones, éstas fueron en: Fábricas, talleres y obras (6), pregones y propaganda (5), aviación (2), ferrocarril (2), tránsito liviano (11), tránsito pesado (8), bocinas y similares (6) (Carbonell & Zuccoli, 1961-b). La conclusión de esta nota consiste en que se demandaba una urgente acción de las autoridades mediante unas «Bases para una eficaz lucha contra los ruidos urbanos» agregando un importante argumento: «Pese al importante antecedente que las ordenanzas y estudios de otros países configuran, no debe cometerse el simplista y funesto error de copiar a ciegas lo que otros hacen» (Carbonell & Zuccoli, 1961-b). Dada la gran cantidad de datos e información que contiene ese artículo sobre los niveles de ruido urbano de Montevideo, que brevemente se comentan en el artículo publicado anteriormente en esta revista (Montano & Martínez, 2021), se puede anticipar que a futuro se escribirá sobre esta campaña de mediciones y otras acciones acerca del ruido urbano en Montevideo en 1960.

**Intercambio epistolar con el semanario Marcha.**  
El 16 de noviembre de 1960 en la sección Carta de los

Lectores con el título de «*Un ruido de 1000 diablos*», en respuesta a otra carta (bajo el mismo título) que publicó este semanario una semana antes. Carbonell da respuesta y argumentación científica sobre comentarios sin fundamentos que había realizado un lector (sin tener conocimientos técnicos) acerca de los niveles de ruido y del ruido en Montevideo. Resalta de su lectura el enojo que le produjo a Carbonell leer esa carta (Carbonell, 1960-c), los autores suponen que fue a consecuencia que el semanario *Marcha* era un medio periodístico muy riguroso con sus notas.

## 5. INSTALACIONES ELECTROACÚSTICAS Y DISEÑO ACÚSTICO DE SALAS DE CINE

En 2018 en la conmemoración de la Semana del Sonido en Montevideo, durante la presentación de Montano sobre la historia de la Acústica en Uruguay donde habló de la vida de Jaime Carbonell, Ernesto Musetti (uno de los concurrentes) se acercó para compartir un testimonio, el cual se trataba de que él en su juventud conoció a Carbonell porque su padre era el dueño de la empresa «Edward Radio» (comercio pionero fundado en 1934 en el rubro del audio), que proveía equipamiento electroacústico profesional. Musetti muy emocionado, porque la presentación de Montano sobre Carbonell evocó el recuerdo de su padre, contó que «Edward Radio» proveía de equipamiento para sonorización a Carbonell (no precisó las fechas).

De la participación de Carbonell en trabajos de salas y auditorios, hasta el día de la fecha no se encuentran datos en Internet, lo único que hay documentado está en un libro que trata sobre los cines de Montevideo, indicando que Carbonell participó en 1962 en la sala del «Cine Universitario», sin especificar en qué área (Saratsola, 2005).

## 6. ARTÍCULOS PUBLICADOS EN EL JOURNAL DE LA ASA

Se encuentran diez artículos publicados por Jaime Carbonell en el Journal de la Acoustical Society of America (ASA), de los cuales uno está dedicado a la acústica arquitectónica sobre el tiempo de reverberación en salas (ver encabezado en Fig. 6): «*Una variación relativa máxima del tiempo de reverberación de*

*acuerdo con el tamaño de la audiencia debe establecerse como condición de diseño para una sala junto con el valor del tiempo de reverberación en sí (por ejemplo, 1,3 segundos a 500 cps, 10%). Es interesante y muy útil calcular cuantitativamente cómo un cambio en el tipo de asientos, el volumen de la sala o el número de asientos afectaría la variación relativa en el tiempo de reverberación según el número de asientos ocupados. El presente trabajo da, en forma de ecuaciones y gráficos, una forma sencilla de hacerlos*» (Carbonell & Zuccoli, 1961-a).

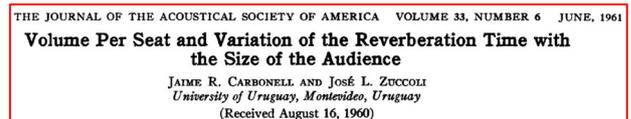


Figura 6: Encabezado. Artículo en el JASA, 1961

Es un gran trabajo con desarrollos matemáticos que llaman la atención, básicamente, porque fue realizado en 1960 demostrando los amplios conocimientos que tenía en esta materia, y propone dos ábacos que resumen todos sus cálculos; de lo que se lee todo fue un trabajo teórico, no comunica que sus ecuaciones hayan sido correlacionadas con mediciones reales (Carbonell & Zuccoli, 1961-a).

Ese artículo lo escribió en conjunto con el Ing. José L. Zuccoli, de quien solamente se encontró que entre 1974-1976 fue director del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la FING–UdelaR (Instituto, 2006).

Los trabajos que publicó en el JASA como co-autor entre 1961 y 1968, se tratan de investigaciones que hizo trabajando en BBN para el ejército de los EE.UU., la NASA, MIT son los siguientes (desde la página de la ASA se accede solamente a los títulos):

- Airblasts Generated by Underwater Explosions.
- Airblasts from Underwater Explosions at Various Depths.
- Physical Model for Airblast Generation by Underwater Explosions.
- Speaker Identification by a Matching-from-Sample Technique.
- Technique for the Representation of Speech Power-Spectrum Envelopes.
- Dual-Phase Damping Material.
- Mechanism of Vibratory-Energy Dissipation at Joints in Thin Metal Structures.
- Airblasts from Shallow Underwater Explosions.
- Dissipation Associated with Gas-Pumping in Joint Structures.

## 7. PARTICIPACIÓN EN LAS PRIMERAS JORNADAS LATINOAMERICANAS DE ACÚSTICA EN 1965

En el 2016 Montano publicó el libro «Historia de la acústica en Argentina, un reportaje», en el cual comenta la formación del Grupo de Acústicos Latinoamericanos (GALA), y la realización de una Jornada internacional de acústica que tuvo lugar en la ciudad de Córdoba, Argentina, en 1965 (Montano, 2016). Cuando se escribió ese libro, no se conocía la

actividad profesional de Jaime Carbonell en esta disciplina, y fue que en 2018 cruzando datos durante la pesquisa para dar inicio a escribir la historia de la acústica en Uruguay, se encontró con la presencia de Carbonell en dicha jornada que, gracias a una foto suya de 1968 publicada en EE.UU., se lo pudo identificar en las fotografías que todavía existen en el archivo del Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (CIAL), y se lo ve de pie al centro de una foto durante las Jornadas de Córdoba en la entrada del CIAL (ver Fig. 7).



Figura 7. En la puerta del CIAL. Córdoba, 1965 (Carbonell está al centro parado)

Estas Jornadas de 1965 fomentaron y posibilitaron la oportunidad de crear el GALA, una asociación que reunió a profesionales vinculados a la acústica de toda Iberoamérica, del cual Carbonell fue miembro participando desde los EE. UU. (ver Fig. 8).

### NOMINA DE ASOCIADOS AL G.A.L.A.

#### MIEMBROS

CARBONELL, Jaime —Ingeniero— LT: Bolt, Beranek and Newman; DE: 50 Moulton Street Cambridge, Mass., EE. UU. A.

Figura 8: Integrante del GALA, 1965

Carbonell, en esas jornadas, presentó un artículo con los resultados parciales de un trabajo que estaba realizando para la fuerza aérea de los EE. UU., titulada «Amortiguamiento en juntas de estructuras metálicas, con especial referencia a su origen», el cual da una

perspectiva del nivel de abstracción científica en el cual Carbonell estaba investigando dentro de la acústica, cuya Introducción dice «Al establecer los niveles con los cuales una estructura responde a excitación acústica o mecánica de banda ancha, tal como la del ruido de cobetes, uno de los elementos fundamentales lo constituye la capacidad de esa estructura para disipar la energía vibratoria» (Carbonell & Ungar, 1965).

## 8. CARBONELL Y EL DESARROLLO DEL SCHOLAR

Decenas de artículos en Internet y libros ubican a Jaime R. Carbonell como el primer científico que desarrolló un sistema de aprendizaje asistido por computadora. En 1970 Carbonell publicó lo que se

considera el primer artículo sobre dicho tema «Una aproximación de la Inteligencia Artificial a la instrucción asistida por computadora» (Carbonell, 1970), y es el mojón que marca el inicio de esta disciplina en las ciencias de la computación (ver encabezado en Fig. 9).

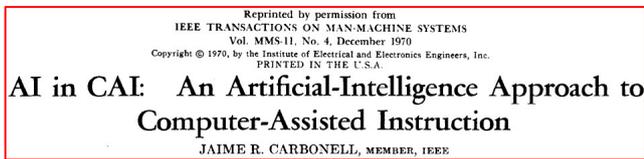


Figura 9: Encabezado. Artículo de la IEEE, 1970

Para su tesis doctoral en el MIT desarrolló el famoso sistema de computación interactivo llamado SCHOLAR, del cual él mismo comenta que «es capaz de revisar el conocimiento de un estudiante en un contexto dado (por ejemplo, geografía de América del Sur) manteniendo un diálogo de iniciativa mixta con él en un subconjunto bastante cómodo de inglés»; las rutinas las escribió en el lenguaje LISP (Carbonell, 1970), que era el más utilizado en aquellos años para escribir programas de inteligencia artificial. Un lector neófito podría cuestionarse por qué se comenta en una sección específica este trabajo de Carbonell, esto es porque se requiere de muchos conocimientos sobre la comunicación acústica para escribir algorítmicamente su computabilidad, ya que la semiótica del sonido de las palabras para implementar algoritmos que procesen secuencias matemáticas basadas en lenguaje natural es una rama de la acústica. Esto no es una suposición de los autores, ya que el historiador de la BBN destaca lo siguiente: «Para el sistema de sintaxis y semántica, Jaime Carbonell, un acústico de BBN en proceso de convertirse en científico cognitivo [...] La interacción fue en un estilo conversacional, predominantemente en el idioma de destino» (Walden & Nickerson, 2011). También se debe mencionar que desde 1964 Carbonell estuvo trabajando con sistemas acústicos de identificación de la voz (Carbonell, Grignetti, Stevens, 1964).

Agregamos que el sistema SCHOLAR fue el primero que se experimentó con educación a distancia, utilizando la red ARPA (Carbonell & Collins, 1974), la antecesora de Internet (Wikipedia, 2021).

Como dato adicional los autores no pueden dejar de mencionar el hecho que todos los ejemplos que da Carbonell sobre el uso del sistema SCHOLAR son sobre la ubicación y datos geográficos tanto de Uruguay como de Argentina, con las ciudades de

Montevideo y Buenos Aires, y también otras regiones de Sudamérica (Carbonell, 1970).

## 9. CARBONELL ¿ASISTIÓ A MÚSICOS ELECTROACÚSTICOS?

Se encuentra un único dato aislado, en una hoja de vida del compositor uruguayo y músico contemporáneo Coriún Aharonián (1940-2017), quien comenta que tuvo de profesores a «los ingenieros Jaime Carbonell y Fernando von Reichenbach» (7notas, n.d.); lamentablemente no se está en condiciones de hacer cruce de información con otras fuentes para dar veracidad a este dato.

## 10. CONCLUSIONES

Carbonell falleció de problemas cardíacos en EE. UU., con apenas 44 años, el 2 de febrero de 1973, y hoy en día su trabajo científico dentro de la acústica no es apropiadamente conocido, por lo que este artículo intenta resumirlo en un solo documento (que no es concluyente), a forma de ‘rompecabezas’ colocando en un lugar un montón de datos aislados.

Al igual que en cualquier investigación ésta deja muchos «cabos sueltos», algunos de ellos es conocer la vida de los colaboradores de Carbonell, porque es muy difícil de determinarlas dada la falta de información digitalizada, porque se tendrían que consultar archivos físicos y legajos internos de la UdelaR, por ejemplo, en qué asignaturas e investigaciones participaron, durante su vida académica los ingenieros Zuccoli y Fontán.

Rescatar los fundamentos y ver si es que existen fotos cuando se le otorgó la «Medalla de Oro» en la Fac. de Ingeniería en 1953 es otro hecho a investigar.

También se podría indagar en los archivos de la Fac. de Ingeniería y en la de Arquitectura si es que existe información burocrática sobre la campaña de mediciones de ruido urbano, ya que Carbonell menciona que fueron parte de un trabajo con la UdelaR en 1960 y en qué cátedras fue docente, también indagar de si hay datos sobre mediciones anteriores, puesto que menciona: «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 Arquitecturas» (Carbonell, 1961-b). Entonces, a los autores de este artículo les surge una última pregunta

¿Habría sido Carbonell la primera persona que midió el ruido urbano en Montevideo con instrumental acústico? Parafraseando un dicho popular rioplatense de origen italiano: ‘Chi lo sa’.

Los autores creen que es importante dar a conocer el trabajo de Carbonell en la acústica, para lo cual se proponen una serie de actividades.

### Sugerencia uno

Tal como se ha presentado en este artículo, la vida y el trabajo de Carbonell en la acústica son totalmente desconocidos, al menos para la mayoría de la gente, y es por esto por lo que, a continuación, los autores presentan algunas sugerencias a la AUA para divulgar el trabajo de Carbonell:

**Revista de la Fac. de Arquitectura:** Efectuar diligencias ante la Facultad de Arquitectura de la UdelaR, para que se pueda disponer la versión digital del artículo de Carbonell y Zuccoli de mediciones de ruido urbano que hicieron en 1960, es decir, que dicho trabajo esté accesible desde su sitio web así se podrá dar a conocer ese gran logro técnico-social-científico de dicha campaña de mediciones, que situará a Montevideo entre las primeras ciudades del mundo que realizaron mediciones de ruido urbano en bandas de octavas.

**Blog en sitio de la AUA:** Sería importante que en el sitio web de la AUA, se cree un enlace dedicado a dar a conocer la biografía de Carbonell con sus trabajos en la acústica (al estilo de un “Wiki”).

Se ha encontrado un artículo aislado de Carbonell, también publicado en la *Revista* de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo titulado «Relaciones topográficas entre planta y diagrama funcional», el cual habría que consultarlo para ver si trata temas de acústica (Carbonell, 1966).

### Sugerencia dos

Es relevante dar a conocer a las nuevas generaciones las mediciones que Carbonell y Fontán hicieron en 1960, las que también podrían correlacionarse con mediciones que se ejecuten en el año 2022. Podría ser un proyecto interesante de divulgación que involucre a la AUA con la UdelaR y la Intendencia de Montevideo. Quizá pensar en una recreación con la participación de medios de comunicación, escuelas, etc., a través de una

jornada durante las actividades de la próxima *Semana del Sonido*. El desafío queda planteado.

### Sugerencia tres

Que, por su trayectoria, acciones individuales o colectivas, académicas, etc., a personas y/o instituciones que hayan realizado aportes en alguna de las áreas de la acústica o actividades que sean dignas de ser reconocidas, profesionales y/o estudiantes destacados, la AUA podría otorgarles una Distinción con el nombre «Jaime R. Carbonell», para así de esta manera continuar con la memoria de éste importante científico que nació en Uruguay.

Ampliando las sugerencias que los autores proponen para difundir la vida de Carbonell sería interesante que desde el sitio web de la AUA se inicie un proyecto de comunicar cómo ha ido evolucionando la acústica en Uruguay, que incluya no solamente la biografía de los connacionales más emblemáticos en esta disciplina (Jorge Hakas, García Pardo, Conrado Silva, etc.), sino también recursos históricos como el desarrollo de teatros, cine sonoro, medicina, música, etc. Un proyecto similar está implementando la Asociación de Acústica de EE. UU. (por la ASA).

Los autores declaran que este artículo no tuvo fuentes de financiamiento externo, y fue escrito en el tiempo libre de los autores; se declara, también, que no hay conflictos de interés.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a Paula Giordano, por fotocopiar y enviarnos el artículo de Jaime Carbonell de la biblioteca del IHA de la Fac. de Arquitectura sin el cual no hubiera podido ser escrito este artículo (por la gran cantidad de información que ese contiene); a Ernesto Musetti por su testimonio; al archivo del Ministerio de Economía de Uruguay por enviarnos las fotos tomadas con un celular de los ejemplares de *El Diario*; a Arturo R. Maristany por compartir fotos de 1965 del archivo del CIAL; y también a las editoras y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo.

### REFERENCIAS

7 notas (n.d.) Coriun Aharonián. *Blog 7 notas*. Montevideo, Uruguay

- <http://sietenotas.com/7notas/Interpretes/Interprete?i=E2AF0D06-3A22-4F3C-9F4A-F799248505BC>
- Chen, K. (1972) Jaime R. Carbonell. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, July 1972. EEUU  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?number=4309124>
- Carbonell, J.G. (1960-a) Enfoque actual de la lucha contra el ruido. *El Diario*. 24 de noviembre de 1960 [se consultó la fotografía enviada de este ejemplar a los autores desde el archivo del Min. de Economía].
- Carbonell, J.G. (1960-b) La Ingeniería Acústica lucha contra el ruido. *El Diario*. 3 de diciembre de 1960 [se consultó la fotografía enviada de este ejemplar a los autores desde el archivo del Min. de Economía].
- Carbonell, J.G. (1960-c) Un ruido de 1000 diablos. *Marcha. Semanario*. Año XXII N° 1039. Montevideo, Uruguay. [Se descarga directamente de Internet. No posee enlace]
- Carbonell, J.R.; Zuccoli, J.L. (1961-a) Volume Per Seat and Variation of the Reverberation Time with the Size of the Audience. *The Journal of the Acoustical Society of America* 33, 757. NYC, EEUU.  
<https://doi.org/10.1121/1.1908789>
- Carbonell, J.R. (1961-b) Un capítulo de higiene acústica; los ruidos urbanos en Montevideo. *Revista* N° 3, septiembre de 1961. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo-UDELAR. Montevideo, Uruguay.  
<http://www.revista.edu.uy/numero-3/>
- Carbonell, J.G.; Grignetti, M.; Stevens, K. (1964) Speaker Authentication Techniques. *BBN Report 1211. Semi-Annual Report*, June to December 1964.
- Carbonell, J.R.; Ungar, E.E. (1965) Amortiguamiento en juntas de estructuras metálicas, con especial referencia a su origen. *Memorias de las Primeras Jornadas Latinoamericanas de Acústica*. Ed. UNC. Córdoba, Argentina.
- Carbonell, J.R. (1966) Relaciones topográficas entre planta y diagrama funcional. *Revista de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*. Número 7 Diciembre de 1966.
- Carbonell, J.R. (1970) AI in CAI: An Artificial-Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction. *IEEE Transactions on man-machine systems* Vol. MMS-11, No. 4. EEUU.  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4081977>
- Carbonell, J.R.; Collins, A.M. (1974) Natural semantics in artificial intelligence. *The Association for Computational Linguistics. IJCAI-73*, pp. 344–351  
<https://aclanthology.org/IJ74-1003/>
- Instituto (2006) Primeros 100 años de “Electro”: Los Laboratorios de Electrotécnica, el Instituto de Electrotécnica y el Instituto de Ingeniería Eléctrica. Celebrando los 70 años del Instituto. *Instituto de Ingeniería Eléctrica*. Facultad de Ingeniería. Universidad de la República. Uruguay.  
<https://www.fing.edu.uy/biblioteca/bibliografias/200694.pdf>
- 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». *Revista ECOS Año 2 N° 1 Enero–Junio 2021*. Montevideo, Uruguay.  
<https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/ecos/article/view/265/268>
- Público, El Bien (1955) Regresa de Europa el ingeniero J. Carbonell. *Diario El Bien Público*, del viernes 2 de diciembre de 1955. [Se descarga directamente de Internet. No posee enlace]
- Saratsola, O. (2005) Función completa, por favor: Un siglo de cine en Montevideo. *Ediciones Trilce*. Montevideo, Uruguay.
- Radio (1955) CX5CN Carlos A. Fontan Fuster, Siria 5820, Montevideo. *Fall 1955 Radio Amateur Callbook*. EEUU.  
[https://archive.org/details/Fall\\_1955\\_Radio\\_Amateur\\_Callbook](https://archive.org/details/Fall_1955_Radio_Amateur_Callbook)
- Walden, D.; Nickerson, R. (2011) A culture of innovation insider accounts of computing and life at BBN. *Waterside Publishing East Sandwich, MA*. EEUU.  
<https://www.walden-family.com/waterside/bbn-print2.pdf>
- Wikipedia (2021) ARPANET. *Blog Wikipedia*.  
<https://es.wikipedia.org/wiki/ARPANET>

## Sección de Trabajos Estudiantiles

En la sección de Trabajos Estudiantiles, hoy se presenta un breve ensayo sobre la belleza de la música clásica, realizado en el marco del curso de Filosofía de 2º año de Bachillerato Orientación Artístico del Liceo N°1 “Cora Vigliola de Renaud” de la ciudad de Rocha (Uruguay).

### Discusión filosófica: La belleza de la música clásica

### Philosophical discussion: The beauty of classical music

### Discussão filosófica: A beleza da música clássica

Lía González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de 2º año de Bachillerato Artístico, Liceo N°1 “Cora Vigliola de Renaud”, Rocha, URUGUAY  
Correo de contacto: [liacesarinagonzalez@gmail.com](mailto:liacesarinagonzalez@gmail.com)

#### 1. INTRODUCCIÓN

Estas son las preguntas disparadoras que motivan esta ‘discusión filosófica’. Pero en el desarrollo y en especial en la búsqueda de material al respecto, fueron surgiendo otras interrogantes que están en el cuerpo del trabajo.

- *¿La música clásica es bella?*
- *Por ser bella ¿Tiene que gustarle a todos?*
- *El valor de una obra de arte ¿depende de la autoridad del artista que la haya compuesto?*

Para comenzar, seleccioné dos frases del material que he estado estudiando en la materia, que me sorprendieron bastante y que están más abajo.

La primera me sorprendió porque en todos los cursos de Historia, en Secundaria, he escuchado y me han enseñado que somos el ‘*Homo Sapiens*’, un animal racional que ocupa el lugar más evolucionado en la escala zoológica. No he escuchado que se considere al *Homo Sapiens Sapiens* como un ser emocional.

Rousseau dice que no se comenzó por razonar sino por sentir. En la evolución humana la emoción precede a la cognición y el canto y la danza se dieron antes que el lenguaje hablado.

belleza subsumida a una representación prototípica y se asienta en la sublimidad.

<sup>6</sup> Según el Diccionario de la Real Academia Española: **bello, lla** (Del lat. *bellus* 'bonito'). 1. adj. Que, por la perfección de sus formas, complace a la vista o al oído y, por ext., al espíritu. || 2. adj. Bueno, excelente.

<sup>7</sup> Según el Diccionario de la Real Academia Española:

La segunda frase, me sorprende pero menos, porque Stravinski lo dijo en tono provocador. Pero de todos modos, hasta para él pienso que la música significaba algo.

*“Para Stravinski la música en sí no significa nada.”*

(De *La música interior* de Claudio Naranjo:  
Ediciones: La Llave. 2015: Barcelona)

En primer lugar, parece oportuno aproximarse al concepto de belleza.

#### 2. CONCEPTO DE BELLEZA SEGÚN KANT

En ‘*La crítica del juicio*’ para la historia del arte, Kant desarrolla las dos categorías que marcan una gran división. La categoría de *lo bello*<sup>6</sup> predomina en el paradigma clásico; la representación como forma determinada rige en la composición de la obra. La categoría de *lo sublime*<sup>7</sup> quiebra con el límite impuesto por la forma, y deja que fluyan los sentimientos más profundos del ser humano.

Kandinsky es el primero en sobrepasar la forma para adentrarse en la abstracción como un medio más puro de expresión, y plasmar en el soporte material el “elemento interior”. Su obra se aleja de la categoría de Kant afirma que hay objetos bellos solamente para uno mismo, la belleza no es propiedad de las cosas.

**sublime** (Del lat. *sublimis*). 1. adj. Excelso, eminente, de elevación extraordinaria. U. m. en sent. fig. apl. a cosas morales o intelectuales. || 2. adj. Dicho de una persona: Que cultiva algún arte o técnica con grandeza admirable. Orador, escritor, pintor sublime. || 3. adj. Ret. Dicho del estilo: Dotado de extremada nobleza, elegancia y gravedad.

Un color aislado como el verde, o un sonido como el de un violín son declarados bellos por la mayoría de las personas, aunque ambos son sólo la materia de la representación, y entonces no son más que ‘agradables’. Lo agradable hace referencia a la cualidad, y es por eso que no puede ser algo universal.

Desde este punto de vista, un color o un sonido instrumental *en sí mismos* no son bellos.

Kant hace referencia a la forma, a lo puro, algo totalmente abstracto y universal; nadie pondría en duda la belleza del color y del sonido de los instrumentos musicales en general. Pero, sin embargo, ni uno ni otro significa nada por sí mismos, no representan ningún objeto bajo un concepto determinado.

La universalidad que no descansa en conceptos es estética, porque encierra solamente lo subjetivo. Para definir esto, Kant emplea la expresión "sentido común" (*sensus communis*). Hay una universalidad subjetiva en el juicio del gusto, y por eso no es posible decir que cada uno tiene su gusto particular ya que significaría que no hay gusto alguno.

La finalidad objetiva es o externa, es decir ‘la utilidad’; o interna, es decir, ‘la perfección’ del objeto. El juicio estético no guarda relación alguna con la utilidad. La finalidad objetiva interna se acerca más a lo bello por ser la perfección. Sin embargo, para representarse una finalidad objetiva en una cosa, el concepto debe precederlo porque determina lo que esa cosa deba ser, la perfección cualitativa del objeto. Pero el juicio de gusto es completamente independiente del concepto de perfección, de lo contrario, éste sería un juicio a definiciones clásicas como unidad en la variedad, proporción, armonía. Para Hogarth existe una ‘línea de belleza’ y una ‘línea de gracia’, lo que quiere decir que las condiciones de la belleza residen en el objeto. (Eco, p.275)

Pero en el siglo XVIII comienzan a imponerse algunos términos como “genio”, “gusto”, “imaginación”, “sentimiento”, que dan a entender una nueva concepción de lo bello.

Por un lado “genio”, “imaginación”, remite al don de quien inventa o produce la cosa bella, mientras que la idea de “gusto” remite a quien aprecia la obra. Pero todos estos términos ya no tienen que ver con el objeto, sino con las cualidades, capacidades o disposiciones del sujeto, ya sea del que produce como del que aprecia o juzga lo bello. *Lo bello* se define como la forma en que se comprende o analiza la conciencia

lógico y no estético, pues su fundamento se transformaría en *el concepto* y no en *el sentimiento del sujeto*.

### 3. ¿TODOS PUEDEN PERCIBIR LA BELLEZA?

La respuesta de David Hume es la siguiente:

*“Una causa evidente por la que muchos no experimentan el sentimiento correcto de la belleza es la falta de esa delicadeza de la imaginación que es necesaria para poder ser sensibles a las emociones más sutiles. Todo el mundo pretende poseer esta delicadeza, todo el mundo habla de ella y querría regular a partir de ella todo tipo de gusto o sentimiento”.* (Eco, p.276)

En el pensamiento de Hume, subyace la idea del receptor y de la recepción, pero, sobre todo, que la belleza está en la cosa en sí. La belleza no puede recepcionarse por todos de la misma manera, sino que depende de una multiplicidad de factores condicionantes. Algunos de ellos, en un criterio personal, son el contexto cultural del receptor, el contacto previo con otras obras de arte, la capacidad de apreciar detalles, entender implícitos, de ‘leer entre líneas’ lo que una obra de arte propone. El receptor, para apreciar la belleza, debe tener consciencia estética.

### 4. ¿DÓNDE ESTÁ LA BELLEZA?

En la concepción neoclásica, como en otras épocas, la belleza se considera una cualidad del objeto que nosotros percibimos como bello. De ahí se llega

de quien produce un juicio acerca del gusto. Entonces la discusión sobre lo bello abandona la búsqueda de las reglas para producirlo o reconocerlo y se centra en la consideración de los efectos que produce.

Hume, en ‘*La Norma del Gusto*’, intenta conciliar la subjetividad del juicio del gusto. El filósofo dice que, si bien es cierto que belleza y fealdad no son cualidades de los objetos, sino que pertenecen al sentimiento interno o externo, hay que admitir que ciertas cualidades de los objetos están adaptadas por naturaleza para suscitar esos sentimientos específicos. En el pensamiento de los griegos ya estaban estos conceptos. En el siglo I, Pseudo-Longino considera que lo sublime no conduce a los que escuchan a la persuasión sino a la exaltación, porque la exaltación prevalece sobre lo que convence o lo que busca. Casi por naturaleza nuestra alma se eleva ante lo que es

verdaderamente sublime y, presa de una orgullosa exaltación, se llena de una alegría soberbia como si ella misma hubiera producido lo que ha escuchado. Aristóteles en la obra *Poética* explica cómo, a pesar de que la tragedia representa hechos terribles y despierta en el espectador piedad y terror, el acento no está puesto en ellos sino en la catarsis, es decir, en la purificación a través de la cual el espectador se libera de las pasiones que por sí mismas no procuran ningún placer.

## 5. ¿LO BELLO ES SUBLIME?

En el siglo XVII, el universo del placer estético se divide en dos regiones: la de lo bello y la de lo sublime. El siglo XVIII desarrolla, en cambio, un gusto por lo exótico, lo interesante, lo curioso, lo diferente, lo sorprendente.

Kant en *La crítica del juicio* (1790) define con más precisión diferencias y afinidades entre lo bello y lo sublime. Para Kant, las características de lo bello son placer sin interés, finalidad sin objetivo, universalidad sin concepto y regularidad sin ley. Esto quiere decir que se disfruta de la cosa bella sin desear tenerla, su único objetivo es su propia subsistencia y se disfruta de ella como si encarnase una regla.

La experiencia de lo sublime es diferente. Kant distingue entre lo sublime *matemático* y lo sublime *dinámico*. Son ejemplos: la visión del cielo estrellado para lo matemático y la visión de una tempestad para lo dinámico.

## 6. ENTONCES, ¿LA NATURALEZA ES BELLA Y NO POR ESO ES ARTE?

*En el siglo XVIII la visión de lo sublime refiere a una sensación que se experimenta frente a la naturaleza y no frente al arte. Ya para el romántico, el problema era como se puede representar artísticamente la impresión de lo sublime que se experimenta ante los espectáculos de la naturaleza. Por eso los artistas lo intentan en todas las manifestaciones artísticas.*

(Tomado de *Historia de la belleza*: Umberto Eco: Editorial De Bolsillo: 2004)

Un ejemplo en Beethoven es la Sonata *Claro de Luna*, que en realidad es la Sonata para piano N° 14 en do sostenido menor «*Quasi una fantasia*», Op. 27, n.º 2 (este ejemplo no es de Eco, es de nosotros). Fue escrita en 1801 y publicada en 1802. No hay un testimonio

directo sobre las razones específicas del título, *‘Sonata Quasi una fantasia’*. Para algunos, puede ser significativo que la disposición de la presente obra no siga el modelo tradicional de un movimiento de sonata en el período clásico que seguía el patrón: rápido - lento - rápido. Sin embargo, desde un punto de vista muy personal, pienso que el nombre *‘Quasi una fantasia’* obedece a un estado de ánimo del compositor que no encaja con la estructura esperada para una sonata; Mozart y otros compositores ya habían escrito *‘fantasías’*, y en ellas los músicos *‘se salen de las normas’*. Esta obra de Beethoven, en particular, conserva la forma sonata, pero rompe con los parámetros convencionales en la época y asoma la subjetividad del compositor ya desde el primer movimiento, de aire *‘adagio sostenuto’*.

Este ejemplo es del Romanticismo; en el Clasicismo, lo correcto es bello. ¿Era posible salirse de las normas?

## 7. EN EL CLASICISMO, LO CORRECTO ES BELLO. ¿Y SALIRSE DE LAS NORMAS?

En el sentido de lo correcto e incorrecto se señala que la risa no abunda en la música, pero un ejemplo insólito de humor estrictamente musical está en una pieza de Mozart de 1787, que escribió *“Una broma musical”*. Mozart rompe con las normas estéticas propias de su época, y en consecuencia su broma resulta un tramo *‘mal visto’* en una composición, resulta algo feo.

*Para captar bromas de Mozart hay que estar familiarizado con la práctica compositiva de la época clásica. Entonces las infracciones que comete Mozart se rebelan contra las normas bien establecidas, aunque la obra tiene tono bufonesco. Una de las bromas más notorias está al final, cuando los seis instrumentos cesan de golpe en 5 notas diferentes y provocan un estrépito horroroso. Esa estrépitosa cadencia está en el K.522 de Mozart en una pieza compuesta para trompas en fa, violín 1, violín 2, viola y contrabajo.*

*Lo chistoso no es la discordancia en sí, los compositores modernos nos han acostumbrado a cosas mucho más horribonas. Este final de Mozart se enmarca en un contexto tonal porque lo absurdo está en un concepto fuertemente arraigado de lo que está “bien”. Lo que determina la tonalidad de la pieza no es qué notas pueden usarse, sino las probabilidades diversas que tienen las notas que se usan.*

(Tomado de *El instinto musical* de Philip Ball). Editorial Turner 2010, España. Página 119)

## 8. LA INSPIRACIÓN

Resulta interesante preguntarse por *la inspiración* en los clásicos. Es muy llamativo el caso de tantos compositores que ‘sueñan’ o se figuran toda una composición, o lo que podría ser su tema, incluso todos los instrumentos que participarían. Mozart es un caso muy excepcional. Soñaba con la obra completa y solamente tenía el trabajo de transcribirla en los días sucesivos. Para no olvidarla, la silbaba y de esa manera fijaba las notas. Hay que tener en cuenta que los sueños se olvidan fácilmente.

Kandinsky señala que el artista en su inspiración más genuina se siente impulsado a crear una síntesis poética de la realidad que le toca vivir, mediante el lenguaje de la metáfora, la alegoría o el símbolo, Esa inspiración, si tiene suficiente carga afectiva, se experimenta como una agitación interna, y ese estado particular de la consciencia puede invadir la vigilia, los sueños o los ensueños.

## 9. ¿PARA QUIÉN ES MÁS BELLA LA MÚSICA, PARA EL QUE ESCUCHA O PARA EL QUE EJECUTA? ¿CÓMO SE PERCIBE LA BELLEZA?

*Ante una obra musical, es posible conmoverse o estremecerse. Si ello ocurre se considera a la obra como fuente de placer y belleza. La reacción de la música es realmente intensa y coincidente con las manifestaciones ante artes plásticas, teatro, cine, incluso miedo o peligro. Responden a una onda de activación simpático-adrenérgica (taquicardia, aumento de la presión, del número de respiraciones, tensión muscular).*

(Tomado de *El Cerebro y la Música* de Osvaldo Fustinoni: Editorial El Ateneo: 2017: Página 177).

En música, de la misma manera que en artes plásticas, el observador va a buscar belleza, va a buscar emoción. La música que ‘no dice nada’ no transmite emoción. Los mediadores de la emoción son el hipotálamo, la corteza insular, la amígdala, el locus coeruleus y el núcleo accumbens. Pero la pregunta es si es mayor la emoción del oyente al escuchar que la del intérprete al ejecutar.

El director de orquesta H. Herbert von Karajan, mientras dirigía la obertura ‘*Leonora III*’ de Beethoven, experimentó mayor emoción (medida como taquicardia) que él mismo, que era piloto aéreo, durante maniobras de aterrizaje y de despegues

abruptos. Cuando él mismo escuchó la grabación de Leonora, la emoción que experimentó fue menor que cuando dirigió.

## 10. COPIAR UN CLÁSICO NO ERA PLAGIO

Muchos compositores ‘copiaron’ tramos enteros y completos de obras consagradas o de obras de autores consagrados para incorporarlos a las suyas. No se consideraba ‘plagio’, más bien todo lo contrario. Suponía la maestría del ‘copiador’ que era capaz de incorporar tramos de obras famosas en las suyas.

Se dice que Juan Sebastián Bach admiraba la inventiva para comenzar temas que tenía su colega Antonio Vivaldi, y los consideraba como ideas para los comienzos de sus obras.

Varios tramos de la Sinfonía N° 40 de Mozart fueron tomados por Beethoven, para incrustarlos en una obra suya. La “*Sinfonía N° 40 en sol menor*” KV 550 es la sinfonía más popular de Mozart. Fue compuesta el 25 de julio de 1788 para flauta, dos oboes, dos clarinetes, dos fagots, dos cornos ingleses y cuerda.

El primer movimiento, *allegro molto*, presenta directamente el primer tema, ágil y ligero, uno de los más conocidos de Mozart y quizás el más recordado de todos los temas de sus sinfonías. En contraste con el primero, el segundo tema es más triste. Siguiendo la forma sonata, contiene un desarrollo de gran expresividad, y termina con la reexposición de los temas.

Continúa con un *andante*, también en forma sonata, que en su desarrollo aumenta la atmósfera dramática. El *menuetto*, que se separa ya de la música de danza, contiene el clásico *trío* para vientos, de estilo vienés.

Termina con un *allegro assai* también en forma sonata. El primer tema es muy característico, explotando el contraste dinámico entre *piano* y *forte*, con alternancia entre *solí* y *tutti*. El segundo tema contrastante no logra detener el ímpetu de la música. El desarrollo empieza con una visible deformación del tema principal. Siguen las cuerdas con un episodio en forma de fuga, que va incrementando la tensión hasta llegar a la reexposición. Mozart influyó en Beethoven, eso es un hecho indiscutible. Para dar un ejemplo, el papel jugado por la Sinfonía 40 de Mozart en la composición de la *Quinta Sinfonía* de Beethoven puede ser documentada por los cuadernos de dibujo de Beethoven, donde copió una secuencia de la obra de Mozart que adaptó en su propia sinfonía.

También se cree que algunas obras de Beethoven tienen modelos directos en comparación con las obras de Mozart. Por ejemplo, el *Concierto en do menor para piano* K 491 de Mozart, fue modelo para el *Concierto 3* de Beethoven en la misma tonalidad, el *Quinteto de viento con piano*, KV 452, es comparable con el *Quinteto de viento con piano*, op. 16, y el *Cuarteto de cuerda N.º 18*, KV 464, con el *Cuarteto de cuerda en la mayor*, op. 18 N.º 5. Beethoven también escribió la Cadenza 58 del primer y tercer movimiento del *Concierto para piano 20* de Mozart, así como cuatro variaciones sobre temas de Mozart:

- "*Se vuol ballare*" de '*Las bodas de Fígaro*' para piano y violín, Woo 40 (1792-1793).
- "*La ci darem la mano*" de '*Don Giovanni*' para dos oboes y corno inglés, Woo 28 (? 1795).
- "*Ein Mädchen oder Weibchen*" de '*La flauta mágica*' para piano y violonchelo, op. 66 (? 1795).
- "*Bei Männern welche Liebe fühlen*" de la misma ópera, para piano y violonchelo, Woo 46 (1801).

Estos hechos no eran descarados, sino todo lo contrario: se consideraban una práctica de maestría. Por otra parte, era la posibilidad de aprehender un compositor consagrado y hacerlo propio. Desde este lugar, es pensable que el motivo era seguir un autor famoso y consagrado, por lo que su música también lo era. Sin embargo, Beethoven quiso tomar clases con Mozart, aunque por diferentes motivos no se pudo concretar; uno de ellos fue la muerte prematura de Mozart.

Copiar, o intervenir en la obra de un compositor es siempre fuente de aprendizaje, porque supone entender el proceso y recorrido que lo llevó a su creación artística, así como los ejes que se trazó y, en consecuencia, los que descartó.

A su vez, la respuesta a la tercera de las interrogantes planteadas al comienzo de este trabajo, que en gran medida está implícita en este desarrollo, resulta: para ser famosa una pieza musical no tiene por qué serlo su compositor, sino que los que la hacen famosa son los oídos de los que escuchan, o los intérpretes que las retoman una y mil veces

## 11. ¿PUEDE SER QUE EN LA ACTUALIDAD LA MÚSICA NO EXPRESE NADA?

*Para los primitivos, en los albores de las civilizaciones, para la Edad Media, para el Renacimiento, el Barroco, Clásicos*

*y Románticos era evidente que la música era un medio expresivo que funciona de manera comparable al lenguaje.*

*Sin embargo, entre los modernos, parecería que la música no significa nada. Con intención provocadora lo dijo Stravinski y desde entonces se ha venido repitiendo.*

(De *La música interior* de Claudio Naranjo: Ediciones: La Llave. 2015: Barcelona)

## 12. CONCLUSIONES

En primer término, me parece oportuno señalar que he encontrado respuesta a aquello que tanto me ha llamado la atención y que desde mi punto de vista me han enseñado de manera muy parcializada, al poner en un lugar sobrevalorado el hecho de que el ser humano sea un animal racional; también es, y en primer lugar, un ser emocional. Kant, en este sentido, señala que, desde los albores de la humanidad, el hombre prehistórico hizo arte; los fines eran míticos y de rituales. Pero, en esas instancias el arte lo trascendía, movilizaba las emociones y en consecuencia, la espiritualidad del ser humano. En la creación artística el hombre ha buscado un significado más profundo, que muchas veces, lo han apartado de los parámetros estéticos de su propio contexto social y cultural, y esas obras en particular se siguen buscando y recreando, y por supuesto son las más ejecutadas dentro de la música académica.

Para Kant el arte es subjetivo y depende de una persona, de un sujeto; por lo tanto, lo bello depende de un juicio estético que lo determina exclusivamente: el sujeto y su subjetividad. Por otra parte, si bien hay aspectos epocales, de sentimiento colectivo, que responden también a una comunidad, a un sentir colectivo, el artista en ocasiones los trasciende y conecta con una subjetividad por encima de una coyuntura histórico-cultural. Es la imperiosa inspiración o talento que llevan a que la creación del artista lo trascienda a él mismo y como tal.

Actualmente, en un mundo de lo inmediato, de la liquidez como propone Bauman, un mundo sin tiempo para una reflexión ni para un momento de escape del trabajo cuyo patrón y obrero es uno mismo, sin posibilidades de sortear el 'multitasking' según propone Biung Chun Han que ha definido el fenómeno como el 'yes, we can', el arte se perfila como una vía de escape.

A la afirmación que se desprende de que somos individuos situados, la belleza de la música depende de

los parámetros estéticos de la época de su compositor o del ámbito y objetivo con que se crea o compone, Kant sale al cruce desde el concepto que muchas veces el genio creador rompe con esos parámetros y moviliza esferas emocionales más profundas que trascienden un contexto histórico y sus parámetros estéticos.

La belleza de la música depende de los parámetros estéticos de la época de su compositor o del ámbito y objetivo con que se crea o compone.

El imaginario colectivo llama 'clásica' a la música académica, es decir, aquella que para ejecutarla o componerla, requiere del conocimiento de ciertas normas y códigos específicos musicales.

La música clásica no es bella por ser clásica, aunque Kant señala que en el clasicismo es donde se dio con más fuerza el paradigma de lo clásico como bello.

Es Kant el que propone, además del juicio lógico, el juicio estético y desplaza el foco de la belleza del objeto hacia el receptor.

La belleza de la música clásica está en lo que percibe el oyente, intervalos y armonías que son agradables al oído humano, sin que se sienta displacer al escucharla. La música clásica sigue siendo escuchada en todo el mundo y recreada por diferentes compositores y estudiosos de la música; se la incorpora a composiciones actuales, contemporáneas, vanguardistas. Cuando se proponen rupturas, esas rupturas remiten a la música clásica, y el oído percibe esas rupturas.

La belleza no está en la música en sí sino en el oído del que la escucha. El que escucha y el que ejecuta experimentan emociones y sensaciones fisiológicas similares, pero son más fuertes las del que ejecuta.

Sin embargo, la música de Mozart, por ejemplo, fue copiada por Beethoven en varias de sus composiciones, porque precisamente, cumplía con los cánones de belleza más preciados. La música de Mozart y de Beethoven también, son agradables al oído, porque los compositores, aunque el primero es clásico y el segundo romántico, trabajan con intervalos armónicos que generan sensación de paz y tranquilidad. Las armonizaciones son consonantes.

Para encontrarse con el pensamiento y los sentimientos de un compositor como Mozart, es necesario escuchar alguna de sus fantasías, en esas obras, está el nervio y el pensamiento del hombre por fuera de las 'etiquetas' formales de la época.

No es necesario que una obra sea de un autor reconocido para ser bella ni exitosa; lo que es necesario es que tenga una buena recepción.

En la actualidad la música de Supervielle dialoga con la de Beethoven, y por ende toca con lo clásico. Sirve de ejemplo la Suite para piano y pulso velado. En 'Sabelo', se aprecia gran similitud con algunos pasajes del *Claro de Luna* de Beethoven. Tampoco es sorprendente que, incluso, se pueden reconocer tramos de sonatas de Mozart en la música de Los Olimareños, por ejemplo, pero también en el Pericón Nacional.

Sorprendente es que Mozart trascendió su época. Movié esos hilos de la emoción que lo hicieron salir de su tiempo y de los parámetros estéticos de su época. Pero, para encontrarse con el pensamiento y los sentimientos de un compositor como Mozart, es necesario escuchar alguna de sus fantasías.

La belleza de la música clásica no reside en que es bella porque es clásica, ni porque el Clasicismo remite a compositores como Mozart, sino en que moviliza una sensibilidad adormecida por la coyuntura global e insensible de la actualidad, en la que predomina lo práctico y las composiciones simplistas que consideran al oído de los receptores como piedras insensibles, incapaces de una audición rica en matices, en intervalos perfectos, en melodías equilibradas y sobre todo más que muy ricas, estructural y temáticamente.

Lo que tiene la música clásica es una forma y estructura depurada de adornos; pretendía la perfección armónica y melódica. Esa perfección está buscada en la selección de la tonalidad mayor para composiciones positivas y brillantes y la tonalidad menor para aquellas más íntimas o tristes; en la combinación de intervalos mayores y menores, justos, aumentados y disminuidos; en el uso de diferentes escalas que se han heredado incluso de los modos griegos. La música del siglo XVIII es agradable al oído y genera sensación de bienestar. Cuando alguno de sus parámetros se quiebra, se está frente a otra manifestación artística y a otra subjetividad.

Sin embargo, los musicólogos actuales siguen recomendando la música académica y muy especialmente la de los clásicos. Mozart es el compositor más estudiado en este sentido, y la música de Mozart para 'oídos pequeños' es la tendencia de la psicología cognitiva de punta.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a la profesora de Filosofía Gisella Gonnet por permitirme incursionar en algunos de los por qué de la belleza de la música clásica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ball, Philip, *El instinto musical*, Editorial Turner 2010, España
- Eco, Umberto, *Historia de la belleza*, editorial De bolsillo: 2004
- Fustinoni, Osvaldo, *El cerebro y la música*, editorial El ateneo: 2017.
- Naranjo, Claudio, *La música interior*, EDICIONES: La Llave. 2015, Barcelona
- <https://www.pressenza.com/es/2010/11/el-artex-el-artista-y-la-inspiracion/>
- [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-00632009000200012#:~:text=Pero%2C%20dice%20Kant%2C%20la%20belleza,y%20son%20as%20C3%AD%2C%20bellezas%20adherentes](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-00632009000200012#:~:text=Pero%2C%20dice%20Kant%2C%20la%20belleza,y%20son%20as%20C3%AD%2C%20bellezas%20adherentes)

Trabajos in extenso presentados en el

2º SIMPOSIO DE ACÚSTICA Y VIBRACIONES

Monterrey, México



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

30 de noviembre y 1 de diciembre de 2022

*Esta sección del Volumen 4 N° 1 de la Revista ECOS está enteramente dedicada a la publicación de los artículos presentados en el 2º Simposio de Acústica y Vibraciones realizado en Monterrey, México.*

*Todos los trabajos se publican tal como han sido recibidos de los evaluadores del evento.*

*Revista ECOS agradece la confianza recibida por parte de los Organizadores del Simposio y queda abierta a realizar la publicación de los artículos de otros eventos futuros vinculados al quehacer de la Acústica Nacional, Regional e Internacional.*

*El Equipo Editorial*

# Análisis de sistemas vibratorios: De ecuaciones diferenciales de orden 2 a fraccionario

**Analysis of vibratory systems: From differential equations of order 2 to fractional**

**Análise de sistemas vibratórios: De equações diferenciais de ordem 2 a fracionárias**

Jesús Gabino Puente-Córdova<sup>1</sup>, Fernando Javier Elizondo-Garza<sup>1</sup>, Guadalupe Evaristo Cedillo-Garza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Vibraciones Mecánicas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás, N. L. México

[jesus.puentecr@uanl.edu.mx](mailto:jesus.puentecr@uanl.edu.mx), ORCID:0000-0002-1095-8752,

[fjelizon@gmail.com](mailto:fjelizon@gmail.com), ORCID:0000-0002-5000-3969,

[guadalupe.cedillogr@uanl.edu.mx](mailto:guadalupe.cedillogr@uanl.edu.mx)

## RESUMEN

El diseño vibratorio se desarrolló, en una primera época, buscando que fuera lo más simple posible, seleccionándose para la implementación práctica un sistema de elementos que tuvieran un comportamiento lineal en base a materiales clásicos o restringiendo sus condiciones de operación con el mismo fin. Esto permitió predicciones razonables que resultaron apropiadas para los procesos de formación de ingenieros. Este esquema llevaba a una ecuación diferencial de orden dos cuya solución es una función senoide, la cual es enseñada desde la educación media superior, y que resulta fácilmente aceptada para representar el comportamiento de los sistemas vibratorios simples. El advenimiento de la computación y desarrollos matemáticos han permitido considerar para diseño los sistemas vibratorios no lineales, y entre los enfoques para su análisis, en los últimos años se ha explorado el considerar la representación de sistemas vibratorios mediante ecuaciones diferenciales de orden fraccionario. En esta ponencia se compara el análisis de ecuaciones diferenciales de orden dos con las de orden fraccionario, en específico para el caso de amortiguamiento no lineal, usando la derivada fraccionaria de Caputo, cuya solución, para este trabajo se desarrolla por medio de la función de Mittag-Leffler.

**PALABRAS CLAVE:** Vibraciones mecánicas, ecuaciones diferenciales, orden fraccionario, Caputo, Mittag-Leffler.

## ABSTRACT

The vibratory design was develop initially seeking to be as simple as possible, selecting, for the practical implementation of a system, elements that had a linear behavior, based on classic materials or restricting their operating conditions for the same purpose. This allowed reasonable predictions that were appropriate for engineering training processes. This scheme led to a differential equation of order two whose solution is a sinusoid function, which is taught since high school, and which is easily accepted to represent the behavior of simple vibratory systems. The advent of computing and mathematical developments has made it possible to consider nonlinear vibratory systems for design, and, among the many approaches for their analysis, in recent years the representation of vibratory systems by fractional order differential equations has been explored. In this paper, the analysis of differential equations of order two is compared with those of fractional order, specifically for the case of nonlinear damping, using the fractional derivative of Caputo, whose solution, for this paper, was approached by means of the Mittag-Leffler function.

**KEYWORDS:** Mechanical vibrations, differential equations, fractional order, Caputo, Mittag-Leffler.

## RESUMO

O projeto vibratório foi desenvolvido, a princípio, buscando torná-lo o mais simples possível, selecionando para implementação prática um sistema de elementos que tivessem um comportamento linear baseado em materiais clássicos ou restringindo suas condições de operação para o mesmo fim. Isso permitiu previsões razoáveis que eram apropriadas para processos de treinamento de engenharia. Este esquema levou a uma equação diferencial de ordem dois cuja solução é uma função senoidal, ensinada desde o ensino médio e facilmente aceita para representar o comportamento de sistemas vibratórios simples. O advento da computação e desenvolvimentos matemáticos permitiram que sistemas vibratórios não lineares fossem considerados para projeto, e entre as abordagens para sua análise, nos últimos anos tem sido explorada a consideração da representação de sistemas vibratórios através de equações diferenciais de ordem fracionária. Neste trabalho, a análise das equações diferenciais de ordem dois é

comparada com as de ordem fracionária, especificamente para o caso de amortecimento não linear, utilizando a derivada fracionada de Caputo, cuja solução para este trabalho é desenvolvida por meio da função de Mittag-Leffler.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vibrações mecânicas, equações diferenciais, ordem fracionária, Caputo, Mittag-Leffler.

## 1. INTRODUCCIÓN

Al consolidarse el área de la ingeniería de vibraciones mecánicas, la cual estudia el movimiento oscilatorio de los sistemas mecánicos, se realizó un gran trabajo de sistematización en el diseño de los mismos, y de la ingeniería en general, consistente en, por un lado, la normalización de la producción de los materiales y elementos de diseño y por otro, el desarrollo de un enfoque lineal mediante elementos matemáticos con comportamiento lineal que permitieran la predicción, buscando las expresiones lo más simples posibles, para que más personas pudieran involucrarse en el progreso tecnológico del diseño de maquinaria y dispositivos mecánicos en general. Para asegurar una vida larga de las máquinas y menos frecuencia y requerimientos de mantenimiento, en una primera época el diseño se basaba mayormente en elementos metálicos utilizados en la región proporcional o lineal.

A partir del desarrollo de los polímeros y plásticos, y otros materiales sintéticos, estos han ido mejorando cada vez más en cuanto a sus características y durabilidad de tal manera que la proporción plástico/metal ha ido aumentando. En el área de vibraciones este cambio ha inducido el uso cada vez mayor de polímeros en los soportes o suspensiones de máquinas y equipos y estos resultan en que la elasticidad y el amortiguamiento que se encontraban resueltos en elementos separados de la máquina (resortes y amortiguadores) ahora se encuentran en un mismo espacio o material, lo cual ocurre también en los metales, pero ahora con valores significativamente grandes de amortiguamiento, lo que evita tener que usar un amortiguador como elemento independiente. Lo anteriormente planteado lleva a elementos no lineales, los cuales se siguieron usando bajo el supuesto lineal, restringiendo el rango de uso y aceptando error en algunos casos. El desarrollo de paquetes de cómputo para diseño vibratorio ha empezado a generar modelos no lineales, así como nuevos parámetros para determinar la elasticidad y el amortiguamiento, los cuales aún están en progreso y no son de uso generalizado, pero se espera que, con la ayuda de la computación y el desarrollo de nuevo algoritmos, permitan tener un rango mayor de

predicción del comportamiento vibratorio. Esto con la finalidad de obtener nuevos diseños de máquinas de mayor precisión en cuanto a su movimiento vibratorio. Bajo este contexto, es en el ámbito de los amortiguadores, dado sus diferentes tipos y comportamientos no lineales, donde se vislumbra de mayor utilidad la aproximación fraccionaria en el planteamiento de las ecuaciones diferenciales que representan su comportamiento vibratorio. En esta ponencia se aborda el uso de operadores diferenciales de orden fraccionario para una mejor descripción del comportamiento oscilatorio de sistemas mecánicos (Escalante-Martínez et al., 2016, 2020; Gómez-Aguilar et al., 2012, 2015; Gómez-Aguilar et al., 2012; Martínez Jiménez et al., 2021).

## 2. CÁLCULO FRACCIONARIO

El cálculo fraccionario, también conocido como método de derivación e integración de orden arbitrario, es una herramienta matemática muy importante para el análisis de diversos fenómenos en áreas de la ciencia y la ingeniería. El génesis del cálculo fraccionario se da en 1695, cuando L' Hopital le envió una carta a Leibniz preguntándole por lo que pasaría al tener una derivada de orden  $1/2$ , a lo que le contestó: “una paradoja de la cual algún día se extraerán cosas interesantes” (Sánchez-Muñoz, 2011).

Posteriormente ilustres matemáticos como Fourier, Liouville, Abel, Weyl, Riemann, entre otros, comenzaron a realizar aportaciones en el intento de establecer una definición para una derivada fraccionaria. Actualmente, dos definiciones de derivada fraccionaria son las más utilizadas, la derivada fraccionaria de Riemann-Liouville (ecuación 1), y la derivada fraccionaria de Caputo (ecuación 2).

$${}^{RL}D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \frac{d^n}{dt^n} \int_a^t \frac{f(\xi)}{(t-\xi)^{\alpha+1-n}} d\xi \quad (1)$$

$${}_a^C D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_a^t \frac{f^n(\xi)}{(t-\xi)^{\alpha+1-n}} d\xi \quad (2)$$

donde  $\alpha$  es el orden fraccionario que toma valores  $n - 1 < \alpha \leq n$ ,  $t$  es el tiempo,  $\xi$  es una variable de integración,  $\Gamma(\cdot)$  es la función gamma y  $f^n$  es la derivada de orden  $n$  de  $f(t)$ .

Al resolver ecuaciones diferenciales de orden fraccionario, la definición de Riemann-Liouville presenta la desventaja de no corresponder tradicionalmente con las condiciones iniciales en sistemas físicos, mientras que la definición de Caputo si lo hace. Otras definiciones empleadas en ciencias e ingeniería son: Grünwald-Letnikov, Caputo-Fabrizio, Atangana-Baleanu, Weyl, y la derivada conformable de Khalil (Ozores, 2014; Puente-Córdova et al., 2020; Sánchez-Muñoz, 2011). Sin embargo, las definiciones de las derivadas fraccionarias están limitadas por su interpretación física y geométrica, ya que, al ser definidas mediante una integral, se consideran no locales. Esto significa que la integral contiene información parcial o total sobre la historia de la función, lo cual le permite ser una herramienta ideal para modelar fenómenos con “memoria”.

Desde el punto de vista ingenieril, la interpretación geométrica de una derivada tradicional o de orden entero se asocia con la pendiente de la recta tangente, mientras que su interpretación física puede asociarse con una tasa de cambio. Respecto a una integral de orden entero, su interpretación geométrica se relaciona con el área bajo la curva, y su interpretación física puede asociarse con una acumulación. Sin embargo, hoy en día no está claro cómo debe interpretarse física y geoméricamente a una derivada fraccionaria. En la literatura se reportan trabajos que tratan de dar una respuesta a esta problemática, por ejemplo (Podlubny, 2001).

El desarrollo de modelos matemáticos en ciencias e ingeniería es una actividad fundamental, ya que permiten estudiar de manera objetiva el comportamiento de diversos sistemas. La representación de diversos fenómenos o comportamientos se lleva a cabo mediante la obtención de ecuaciones diferenciales de orden entero. Sin embargo, hay reportes en la literatura que ponen en evidencia la pobre descripción de los datos experimentales de este tipo de ecuaciones. Para resolver dicha problemática, se opta por utilizar operadores fraccionarios, es decir, emplear el método de derivación e integración de orden arbitrario (Puente-Córdova et al., 2018; Reyes-Melo et al., 2004, 2005). Para cumplir dicho objetivo, es importante tomar en cuenta la función gamma y la función Mittag-

Leffler, las cuales se describen brevemente a continuación.

-*Función Gamma.* Una definición de la función gamma  $\Gamma(x)$  es la proporcionada empleando el límite de Euler, evaluada para  $x > 0$ :

$$\Gamma(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[ \frac{N! \cdot N^x}{x \cdot (x + 1) \cdot (x + 2) \cdots (x + N)} \right] \quad (3)$$

También se define mediante una integral de la siguiente forma, la cual es más utilizada en la literatura:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt, \quad x > 0, t > 0 \quad (4)$$

Esta función matemática generaliza al factorial, debido a que permite calcular números fraccionarios positivos, negativos e inclusive complejos. Respecto a los números enteros negativos, el resultado de evaluar la función gamma tiende al infinito. Esto se puede apreciar de mejor manera en la figura 1.

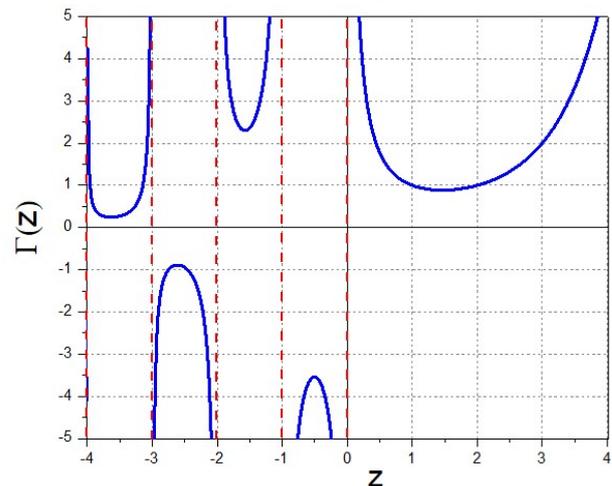


Figura 1. Función gamma.

-*Función Mittag-Leffler.* En la solución de ecuaciones diferenciales de orden entero con coeficientes constantes, es común encontrar a la función exponencial  $e^{-x}$ . Respecto a la solución de ecuaciones diferenciales de orden fraccionario, aparece la opción de la función trascendental Mittag-Leffler M-L (Ertik et al., 2015; Gómez Aguilar et al., 2012). Su introducción en 1903-1905 se debe al matemático sueco Magnus Gösta Mittag-Leffler, y desde dicha época hasta aproximadamente 1990, los matemáticos, físicos e ingenieros rara vez consideraron utilizar esta función. La ecuación 5 corresponde a la definición de la función M-L de un parámetro  $\beta$ , y  $z$  forma parte del conjunto de los números complejos.

$$M_\beta(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\Gamma(\beta n + 1)}, \quad \beta \in \mathfrak{R}(z), z \in \mathbb{C} \quad (5)$$

Es importante mencionar que una gran cantidad de sistemas físicos experimentan fenómenos de relajación que pueden ser interpretados a través de una ley de potencia del tipo  $-t^\beta$ , donde  $t$  es el tiempo y  $\beta$  un exponente. Entonces, si se evalúa dicha ley de potencia con ayuda de la función de M-L, se obtiene lo siguiente:

$$M_\beta(-t^\beta) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{t^{\beta n}}{\Gamma(\beta n + 1)} \quad (6)$$

Con el objetivo de apreciar el potencial de la función M-L, la ecuación 6 se resolvió para diferentes valores de  $\beta$ , empleando un algoritmo en Matlab desarrollado por Roberto Garrappa (Garrappa, 2018). En la figura 2, se observa para  $0 < \beta \leq 1$ , un comportamiento que se asemeja a datos experimentales de pruebas mecánicas de relajación de esfuerzos en materiales viscoelásticos, o bien, a curvas de polarización o corrientes transitorias en materiales poliméricos sometidos a campos eléctricos (Puente-Córdova et al., 2020; Puente Córdova et al., 2012). Cuando el parámetro  $\beta$  es igual a 1, se obtiene la respuesta clásica de la función exponencial,  $M_1(-t^1) = e^{-t}$ .

En la figura 3, se puede observar cuando  $1 < \beta \leq 2$ , un comportamiento que corresponde a oscilaciones subamortiguadas, típicas de sistemas vibratorios del tipo masa-resorte-amortiguador. Cuando el parámetro  $\beta$  es igual a 2, se obtiene la respuesta tradicional de la función coseno,  $M_2(-t^2) = \cos(t)$ . Igor Podlubny y colaboradores han propuesto emplear a la función M-

L como función de ajuste a una gran diversidad de datos experimentales, dadas las propiedades presentadas en (Podlubny et al., 2012).

### 3. MODELADO DEL SISTEMA MKC

En el campo de las vibraciones mecánicas, el diseño requiere el desarrollo de modelos matemáticos que sean capaces de describir la naturaleza oscilatoria de las máquinas y estructuras. Para ello, bajo el enfoque de sistemas de parámetros concentrados, se requieren tres elementos fundamentales: masa, elasticidad y amortiguamiento. Se asume que estos elementos son lineales, y que el amortiguamiento es viscoso. Entonces, es posible construir un arreglo denominado oscilador armónico simple o sistema MKC, de 1 grado de libertad (GDL), cuya ecuación diferencial (ecuación 7) es de segundo orden, lineal y homogénea, para el caso de vibración libre.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (7)$$

Donde  $m$  es la masa,  $k$  es la elasticidad y  $c$  el amortiguamiento viscoso. La ecuación diferencial está escrita siguiendo la notación de Newton para derivadas tradicionales, teniendo que  $x$  es el desplazamiento vibratorio del sistema,  $\dot{x} = dx/dt$  es la velocidad y  $\ddot{x} = d^2x/dt^2$  es la aceleración. Para propósitos de este trabajo, se reescribe la ecuación 7 utilizando el operador diferencial de orden entero, por lo tanto,  $D_t^2 x = \ddot{x}$  y  $D_t^1 x = \dot{x}$ .

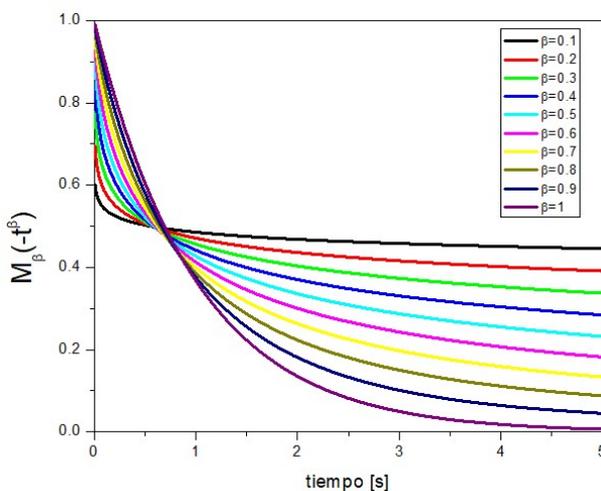


Figura 2. Función M-L evaluada para  $-t^\beta$ , donde  $0 < \beta \leq 1$

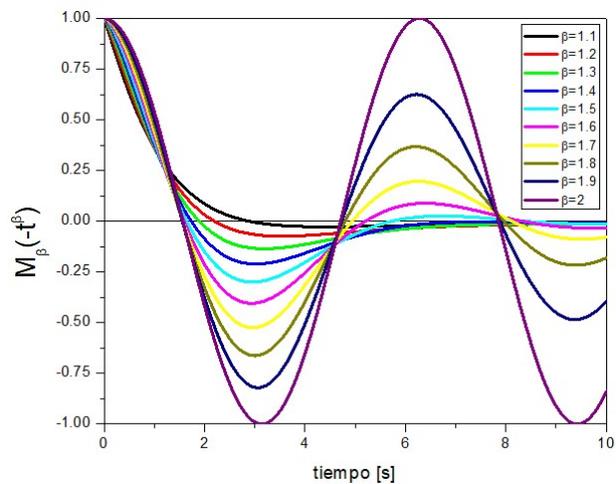


Figura 3. Función M-L evaluada para  $-t^\beta$ , donde  $1 < \beta \leq 2$

$$mD_t^2x + cD_t^1x + kx = 0 \tag{8}$$

Cuya solución general está dada por

$$x(t) = A \cdot \exp(s_1t) + B \cdot \exp(s_2t) \tag{9}$$

Donde  $s_1$  y  $s_2$  son las raíces de la ecuación característica  $ms^2 + cs + k = 0$ , las cuales se calculan de la siguiente forma:

$$s_{1,2} = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4km}}{2m} \tag{10}$$

$$= -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$$

Es importante mencionar que el sistema MKC de 1 GDL se caracteriza por presentar una frecuencia natural calculada como  $\omega_n^2 = k/m$ , la cual denota el ritmo de la vibración cuando se le da solo energía inicial y se le deja vibrar libremente. Dado la resta dentro de la raíz, la solución de la ecuación diferencial presenta tres tipos de respuestas vibratorias. Solo una de ellas es de naturaleza oscilatoria, denominada respuesta subamortiguada, mientras que las otras dos presentan una caída exponencial (casos crítico y sobreamortiguado). Dicha solución de la respuesta subamortiguada se representa con la ecuación 11:

$$x(t) = x_0 \cdot \exp\left(-\frac{c}{2m}t\right) \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2}}t\right) \tag{11}$$

En esta respuesta se observa el producto de dos funciones, la exponencial y coseno, lo cual denota físicamente una respuesta oscilatoria cuya amplitud disminuye de manera exponencial. Cuando el sistema mecánico sale de su posición de equilibrio, tiende a regresar a su posición inicial, manifestándose un fenómeno de oscilación-relajación. En la figura 4 se presenta lo discutido.

La forma de la curva teórica calculada a partir de la ecuación 11, funciona como una aproximación razonable a los datos experimentales obtenidos de ciertos sistemas vibratorios, pero para otros no. Para aminorar la diferencia teórico-experimental, una opción es el utilizar ecuaciones diferenciales de orden fraccionario. En la literatura, se propone sustituir las derivadas de orden entero en las ecuaciones diferenciales, por operadores de orden fraccionario (Gómez-Aguilar et al., 2012, 2015; Gómez Aguilar et al., 2012). Aunque matemáticamente dicha estrategia es simple y correcta, desde el punto de vista dimensional no lo es. Un análisis dimensional de un

operador diferencial de orden entero y otro fraccionario demuestra que las unidades son diferentes, ver ecuación 12.

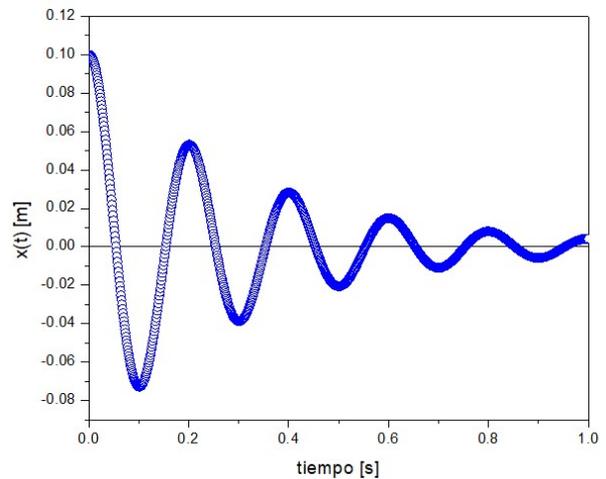


Figura 4. Solución de la ecuación diferencial de orden 2 del sistema MKC para el caso subamortiguado.

$$\frac{d^1}{dt^1} \sim \frac{1}{\tau} , \quad \frac{d^\alpha}{dt^\alpha} \sim \frac{1}{\tau^\alpha} , \quad 0 < \alpha \leq 1 \tag{12}$$

Donde  $\alpha$  es el orden fraccionario y  $\tau$  es un parámetro que tiene unidades de tiempo (tiempo respuesta), cuya función principal es normalizar las unidades para que el sistema sea congruente. Por lo tanto, se puede establecer la siguiente ecuación:

$$\frac{d^1}{dt^1} = \frac{1}{\tau} = \frac{\tau^\alpha}{\tau} = \tau^{\alpha-1} \tag{13}$$

$$\frac{d^\alpha}{dt^\alpha} = \frac{1}{\tau^\alpha}$$

Tomando en cuenta la ecuación 12, se establece una expresión matemática que puede ser utilizada para remplazar una derivada de primer orden por una derivada de orden fraccionario  $\alpha$ :

$$D_t^1 \rightarrow \frac{1}{\tau^{1-\alpha}} D_t^\alpha, \quad 0 < \alpha \leq 1 \tag{14}$$

Si la aceleración se define a través del operador  $D_t^2x$ , entonces es posible obtener la siguiente expresión:

$$D_t^2 \rightarrow \frac{1}{\tau^{2(1-\alpha)}} D_t^{2\alpha}, \quad 0 < \alpha \leq 1 \tag{15}$$

Sustituyendo los operadores 14 y 15 en la ecuación 8, y considerando que dichos operadores se definen bajo el enfoque de la derivada fraccionaria de Caputo, ecuación 2, se obtiene la siguiente ecuación diferencial fraccionaria para el sistema MKC:

$$\frac{m}{\tau^{2(1-\alpha)}} D_t^{2\alpha}x + \frac{c}{\tau^{1-\alpha}} D_t^\alpha x + kx = 0, \tag{16}$$

$$0 < \alpha \leq 1$$

La solución analítica de la ecuación diferencial fraccionaria se obtiene utilizando la transformada de Laplace, y para condiciones iniciales  $x(t = 0) = x_0$ , y  $\dot{x}(t = 0) = 0$  es:

$$x(t) = x_0 \cdot M_\alpha \left[ -\frac{c}{2m} \tau^{1-\alpha} t^\alpha \right] \cdot M_{2\alpha} \left[ -\left( \frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2} \right) \tau^{2(1-\alpha)} t^{2\alpha} \right] \quad (17)$$

donde  $x_0$  es la amplitud de vibración,  $M_*(z)$  es la función de Mittag-Leffler M-L, definida por la ecuación 5.

Un aspecto por resaltar es la generalización que proporciona el utilizar la función M-L, por ejemplo, el término  $M_\alpha$  es una generalización de una función exponencial, mientras que el término  $M_{2\alpha}$  lo es para una función coseno. Esto en conjunto representa una respuesta clásica subamortiguada, ver ecuación 11, pero con la particularidad de incluir efectos no lineales en el amortiguamiento del sistema. A diferencia de lo reportado en la literatura (Ertik et al., 2015; Escalante-

Martínez et al., 2020), donde utilizan el tiempo de Planck, en este trabajo se utiliza el tiempo respuesta  $\tau$ , también conocido como tiempo de relajación, el cual tiene sentido al trabajar con sistemas mecánicos en los que se tenga almacenamiento y disipación parcial de energía.

Para comparar la respuesta vibratoria de las soluciones clásica y fraccionaria, se evaluó numéricamente la ecuación 17, asumiendo parámetros típicos de una máquina industrial, con  $m=2,000$  kg,  $k=70,000$  N/m,  $c=7,100$  N-s/m, y  $x_0=0.1$  m. Se considera tomar valores del orden fraccionario  $0.5 < \alpha \leq 1$ , y cuando  $\alpha = 1$ , se recupera la respuesta clásica de la solución de la ecuación diferencial de orden dos, ecuación 11. A medida que disminuye el orden fraccionario, se observa que los máximos y mínimos se recorren a tiempos más prolongados, dando lugar a un comportamiento no lineal, distinto a lo observado en la teoría clásica.

Para visualizar la solución de la ecuación 17, figura 5, a continuación, se muestra un ejemplo de las líneas de código empleadas en Matlab, tomando de partida el algoritmo desarrollado por Garrappa (Garrappa, 2018) para evaluar la función Mittag-Leffler: **4**.

```
>> t=0:0.1:10;
>> a=0.9;
>> b=1.8;
>> tao=0.1;
>> x=(0.1).*ml((-1.775).*(tao.^(1-a)).*(t.^a),a).*ml((-31.85).*(tao.^(2.*(1-a))).*(t.^(2.*a)),b);
>> plot(t,x)
```

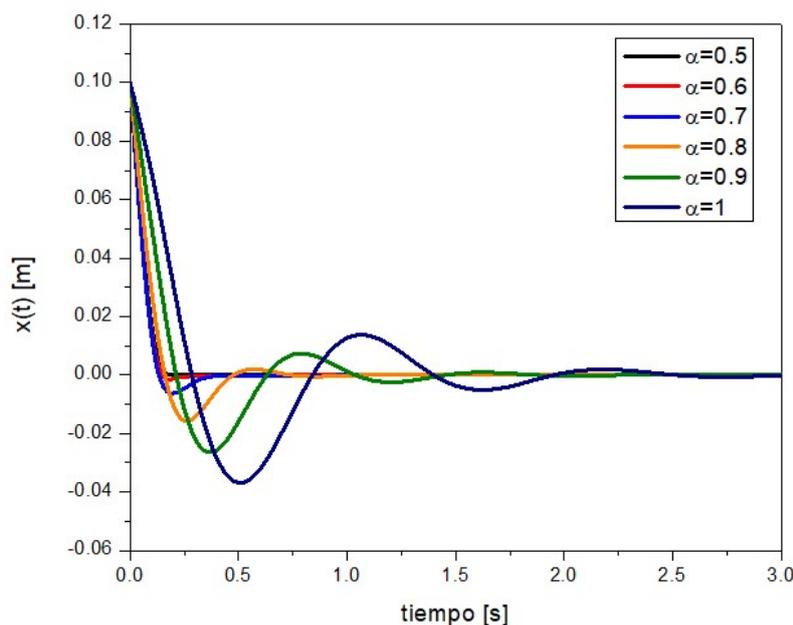


Figura 5. Solución de la ecuación diferencial de orden fraccionario del sistema MKC.

#### 4. COMENTARIOS FINALES

El cálculo fraccionario es una herramienta matemática que permite abordar de manera más precisa diversos fenómenos físicos no lineales. El desarrollo de nuevos materiales se aleja de un comportamiento lineal, pues busca llenar el nicho del diseño altamente especializado con requerimientos mayores de precisión.

Actualmente se exploran diferentes tipos de aproximaciones fraccionarias para diferentes tipos de amortiguamiento. Con la aproximación propuesta en este trabajo, usando una estructura similar a la clásica, se pueden ampliar las capacidades de análisis a fenómenos no lineales. El orden fraccionario se puede asociar con los mecanismos de disipación/almacenamiento de energía en sistemas vibratorios no lineales.

El advenimiento de computadoras y algoritmos más potentes ha abierto enfoques desde teóricos hasta por ajuste para la solución de sistemas con ecuaciones diferenciales de orden fraccionario. Es importante cuidar la consistencia de las unidades para que el sistema sea razonablemente compatible con las normativas internacionales (SI).

#### REFERENCIAS

- Ertik, H., Çalik, A. E., Şirin, H., Şen, M., & Öder, B. (2015). Investigation of electrical RC circuit within the framework of fractional calculus. *Revista Mexicana de Física*, 61(1), 58–63.
- Escalante-Martínez, J. E., Gómez-Aguilar, J. F., Calderón-Ramón, C., Morales-Mendoza, L. J., Cruz-Orduña, I., & Laguna-Camacho, J. R. (2016). Experimental evaluation of viscous damping coefficient in the fractional underdamped oscillator. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(4), 1–12. <https://doi.org/10.1177/1687814016643068>
- Escalante-Martínez, J. E., Morales-Mendoza, L. J., Cruz-Orduña, M. I., Rodríguez-Achach, M., Behera, D., Laguna-Camacho, J. R., López-Calderón, H. D., & López-Cruz, V. M. (2020). Fractional differential equation modeling of viscoelastic fluid in mass-spring-magnetorheological damper mechanical system. *European Physical Journal Plus*, 135(10), 1–14. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00802-0>
- Garrappa, R. (2018). Numerical solution of fractional differential equations: A survey and a software tutorial. *Mathematics*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/math6020016>
- Gómez-Aguilar, J. F., Rosales-García, J. J., Bernal-Alvarado, J. J., Cordova, T., & Guzmán-Cabrera, R. (2012). Fractional Mechanical Oscillators. *Revista Mexicana de Física*, 58, 348–352.
- Gómez-Aguilar, J. F., Yépez-Martínez, H., Calderón-Ramón, C., Cruz-Orduña, I., Escobar-Jiménez, R. F., & Olivares-Peregrino, V. H. (2015). Modeling of a mass-spring-damper system by fractional derivatives with and without a singular kernel. *Entropy*, 17(9), 6289–6303. <https://doi.org/10.3390/e17096289>
- Gómez Aguilar, J. F., Rosales García, J., Bernal Alvarado, J., & Guía, M. (2012). Mathematical modelling of the mass-spring-damper system - A fractional calculus approach. *Acta Universitaria*, 22(5), 5–11. <https://doi.org/10.15174/au.2012.328>
- Martínez Jiménez, L., Cruz-Duarte, J. M., Escalante-Martínez, J. E., & Rosales-García, J. J. (2021). Analytical and experimental study for mechanical vibrations of a two-coupled spring masses system via Caputo-based derivatives. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, November 2020, 1–19. <https://doi.org/10.1002/mma.7421>
- Ozores, A. L. (2014). Investigación Cálculo Fraccionario y dinámica newtoniana Fractional Calculus and newtonian dynamics. *Revista de Investigación MAIC*, IV(1), 77–106.
- Podlubny, I. (2001). *Geometric and Physical Interpretation of Fractional Integration and Fractional Differentiation*. 1–18. <http://arxiv.org/abs/math/0110241>
- Podlubny, I., Petráš, I., & Škovránek, T. (2012). Fitting of experimental data using Mittag-Leffler function. *Proceedings of the 2012 13th International Carpathian Control Conference, ICC 2012*, 578–581. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2012.6228711>
- Puente-Córdova, J. G., Reyes-Melo, M. E., Palacios-Pineda, L. M., Martínez-Perales, I. A., Martínez-Romero, O., & Elías-Zúñiga, A. (2018). Fabrication and characterization of isotropic and anisotropic magnetorheological elastomers, based on silicone rubber and carbonyl iron microparticles. *Polymers*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/polym10121343>
- Puente-Córdova, Jesús Gabino, Rentería-Baltierrez, F. Y., & Reyes-Melo, M. E. (2020). La derivada

- conformable y sus aplicaciones en ingeniería. *Ingenierías*, 23(88), 20–31. <https://doi.org/10.29105/ingenierias23.88-3>
- Puente Córdova, J., Reyes Melo, M., López Walle, B., & González González, V. (2012). Materiales poliméricos dieléctricos. *Ingenierías*, 15(57), 29–37.
- Reyes-Melo, E., Martínez-Vega, J., Guerrero-Salazar, C., & Ortiz-Mendez, U. (2005). Application of fractional calculus to the modeling of dielectric relaxation phenomena in polymeric materials. *Journal of Applied Polymer Science*. <https://doi.org/10.1002/app.22057>
- Reyes-Melo, E., Martínez-Vega, J., Guerrero-Salazar, C., & Ortiz-Méndez, U. (2004). On the modeling of the dynamic-elastic modulus for polymer materials under isochronal conditions. *Journal of Applied Polymer Science*. <https://doi.org/10.1002/app.20898>
- Sánchez-Muñoz, J. M. (2011). Génesis y desarrollo del Cálculo Fraccional. *Pensamiento Matemático*.

# El ruido en tiempos del COVID. Las molestias por baja-frecuencias de sistemas HVAC durante el encerramiento y restricción vehicular

## Noise in COVID times. Annoyance due to low-frequency HVAC systems during confinement and vehicle restriction

## Ruído em tempos de COVID. Moléstias devido baixa frequência dos sistemas HVAC durante o confinamento e restrição de veículos

Walter A. Montano Rodríguez<sup>1</sup>, ORCID 0000-0002-0059-5257

Elena I. Gushiken Uesu<sup>2</sup>, ORCID 0000-0002-2827-5052

<sup>1</sup>ARQUICUST Laboratorio de acústica. Gualeguaychú, ER, Argentina.

<sup>2</sup>INPAVAC Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú. Lima.

Correo de contacto: [montano\\_walter@yahoo.com.ar](mailto:montano_walter@yahoo.com.ar); [acustica@inpacta.org](mailto:acustica@inpacta.org)

### Resumen

A consecuencia de la pandemia por la COVID-19 el paisaje sonoro en todas las ciudades del mundo sufrió un gran cambio, el cual durante el tiempo en el que las personas obligatoriamente tuvieron que cumplir un encerramiento estricto, primero, y más laxo a medida que se controlaba la transmisión del virus. Los niveles de ruido urbano se redujeron a valores nunca imaginados, por lo que las personas tuvieron oportunidad de tener una percepción auditiva y psicoacústica particular de su entorno sonoro. El caso que aquí se analiza es el de la emisión de ruido en baja-frecuencias de instalaciones de HVAC en una azotea, que impactaban sobre torres con departamentos que se encuentran a más de 150 m de distancia; los reclamos se iniciaron antes de la pandemia, pero a raíz del encerramiento obligatorio y la disminución del ruido urbano, el impacto por ese tipo de ruido se hizo más notable, produciendo mayor cantidad de quejas de la vecindad porque la percepción psicoacústica era que 'el ruido es más fuerte'. Se realizó un monitoreo de ruido cuando las autoridades permitieron la movilidad de personas en abril del 2021, para desarrollar un proyecto de ingeniería y arquitectura acústica a fin de mitigar la propagación de esas ondas, y otro a posterior de concluidas las obras de implementación. En esta ponencia se analizarán esos tres escenarios, con el resultado de las mediciones de los sonidos en baja-frecuencias, que se obtuvieron en sendos monitoreos de larga duración.

**Palabras clave:** Acústica, baja-frecuencias, molestia, ruido, ordenanzas

### Abstract

Because of the COVID-19 pandemic, the soundscape in all the cities of the world underwent a great change, which during the time in which people were obliged to comply with a strict lockdown, first, and laxer as the transmission of the virus was controlled. Urban noise levels were reduced to values never imagined, so that people had the opportunity to have a particular auditory and psychoacoustic perception of their sound environment. The case analyzed here is that of low-frequency noise emission from HVAC installations on a rooftop, which impacted on towers with apartments more than 150 m away; complaints were initiated before the pandemic, but as a result of the lockdown and the urban noise reduction, the impact of this kind of noise became more noticeable, producing more complaints from the neighborhood because the psychoacoustic perception was that 'the noise is louder.' A sound monitoring was carried out when the authorities allowed the mobility of people in April 2021, to develop an engineering and acoustic architecture project to mitigate the propagation of these waves, and another one after the implementation works were concluded. In this presentation, these three scenarios will be analyzed, with the result of the low-frequency sound measurements obtained in two long-term monitoring

**Keywords:** Acoustics, low-frequency, Annoyance, Noise, Ordinances.

### Resumo

Como resultado da pandemia COVID-19, a paisagem sonora nas cidades ao redor do mundo passou por uma grande mudança, primeiro durante o tempo em que as pessoas eram forçadas a cumprir o confinamento rigoroso, e depois de forma mais laxista, pois a transmissão do vírus era controlada. Os níveis de ruído urbano foram reduzidos a valores nunca imaginados, de modo que as pessoas tiveram a oportunidade de ter uma percepção auditiva e psicoacústica particular de seu ambiente sonoro. O caso analisado aqui é o da emissão de ruído de baixa-frequência das instalações HVAC em um telhado, que impactou em torres planas a mais de 150 m de distância; as reclamações começaram antes da pandemia, mas após o fechamento obrigatório e a redução do ruído urbano, o impacto de tal ruído se tornou mais perceptível, levando a mais reclamações da vizinhança porque a percepção psicoacústica era de que 'o ruído é mais alto'. O monitoramento do ruído foi realizado quando as autoridades permitiram a mobilidade das pessoas, para desenvolver um projeto de engenharia acústica e arquitetura para mitigar a propagação dessas ondas, e outro após a conclusão dos trabalhos de implementação. Neste documento, estes três cenários serão analisados, com o resultado das medições sonoras de baixa-frequência obtidas a partir do monitoramento de longo prazo.

**Palavras-chave:** Acústica, baixa-frequência, ruído, moléstia, Ordenanças.

## 1. INTRODUCCIÓN

Esta ponencia sintetiza un estudio acústico y un trabajo de mediciones sonoras que se viene realizando desde hace más de 10 años en un mismo sitio. En 2012 a raíz del reclamo de un grupo de vecinos por la inmisión de ruido con alta energía en las baja-frecuencias, las autoridades municipales hicieron una inspección que, al estar limitada a la aplicación de una Ordenanza que no establece un protocolo de mediciones sonoras, los niveles de ruido estaban ‘por encima’ del límite máximo permitido, siendo esto erróneo porque se calificaba la totalidad del nivel sonoro registrado, y no se hizo ningún tipo de estimación para determinar el nivel de inmisión sonora de las instalaciones de HVAC que presuntamente producían molestia en la vecindad, que se encuentran a 150 m de distancia sobre la azotea de un edificio, que se propagaba libremente porque entremedio de la emisión y recepción existía una inmensa playa de estacionamiento (ver Fig. 1).

El problema de las quejas se agravó a raíz del cambio del uso de suelo, cuando en el lugar en que se encontraba dicho estacionamiento, se construyeron siete (7) torres multifamiliares con 23 pisos, por lo que la problemática se multiplicó por decenas.

Este documento es una ampliación de la ponencia que se hizo durante el 2°. Simposio sobre Acústica y Vibraciones - Monterrey 2022 (2-SA&V-Mty2022), en la cual se amplía su contenido.

## 2. ACÚSTICA FORENSE

Uno de los grandes inconvenientes que existe cuando se aplica tácitamente un ordenanza que penaliza el ruido molesto, porque en general no proponen un método y análisis de las mediciones, y porque las realizan funcionarios públicos sin formación básica en acústica.

La Acústica forense es común verla en cuestiones de identificación de voces, y es una actividad olvidada en estudios de ruido ambiental; es importante generar una cadena de custodia y generar la mayor cantidad posible de evidencias, además del registro del nivel de presión sonora: Grabación de audio y/o filmación de la situación, con la salida AC del sonómetro; etc. Para el estudio acústico realizado, se utilizaron los conceptos básicos de la ciencia forense aplicados a la acústica ambiental (ver Fig. 2), porque la autoridad municipal quiso aplicar multas coercitivas y hasta cierre temporal

de la actividad por ruido molesto al vecindario, y se requería de evidencias que demostraran lo contrario.

## 3. MEDICIONES EN EL AÑO 2012

En diciembre del 2012 se hicieron mediciones en el frente de dos viviendas unifamiliares, cuyos habitantes se quejaban del ruido proveniente de un sistema HVAC que está a 150 m de distancia sobre una azotea a 12 m de altura; puesto que las ordenanzas distritales de los municipios de Perú replican el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que establece los niveles sonoros de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ruido, es decir, niveles sonoros a cumplir en exteriores y no en interiores de edificaciones.

Ante la falta de una legislación correcta, las mediciones se realizaron en el frente de las viviendas y evaluarlas con el descriptor LAeq,T (dBA). Los funcionarios municipales al no tener preparación en acústica calificaban directamente el nivel sonoro registrado con los valores de los ECA's, por lo que erróneamente consideraban el *sonido total* como si fuese el *sonido específico*.

## 4. MEDICIONES EN EL AÑO 2016

Tal como se puede ver en la Fig. 1, el uso del cambio de suelo condujo a que decenas de personas expresen molestia, ya que las torres están mucho más cerca de las fuentes emisoras de ruido. Se repitieron las mediciones en el frente de las mismas viviendas que en el año 2012 porque los vecinos expresaban que el ruido ‘había aumentado’, registrándose un incremento de 4 dBA del nivel sonoro, básicamente por el aumento de energía acústica a consecuencia de las reflexiones múltiples sobre las torres (ver Fig. 3).

A raíz que un grupo de vecinos presentaron un reclamo oficial ante las autoridades, el estudio acústico tuvo dos objetivos: **(a)** legal, informar el resultado de las mediciones acorde a Ordenanzas; **(b)** técnico, determinar la inmisión de ruido analizando el espectro en frecuencias. Para reducir la incertidumbre sobre la determinación del sonido específico, en simultáneo con las mediciones en el frente de viviendas, se practicó

En la Fig. 2 se presentan fotografías que muestran el instrumental utilizado, además de los sonómetros / analizadores se grabó la señal de audio, y en la Fig. 3 se puede ver el análisis en frecuencias del sonido

específico registrado en la vereda (identificado como “diurno” y “nocturno”), en las cuales se puede ver que hay coincidencia de tonos en algunas frecuencias.



Figura 1: Ubicación del sitio con las viviendas impactadas por ruido de baja-frecuencias



Figura 2: Evidencias de acciones para asegurar la trazabilidad del estudio

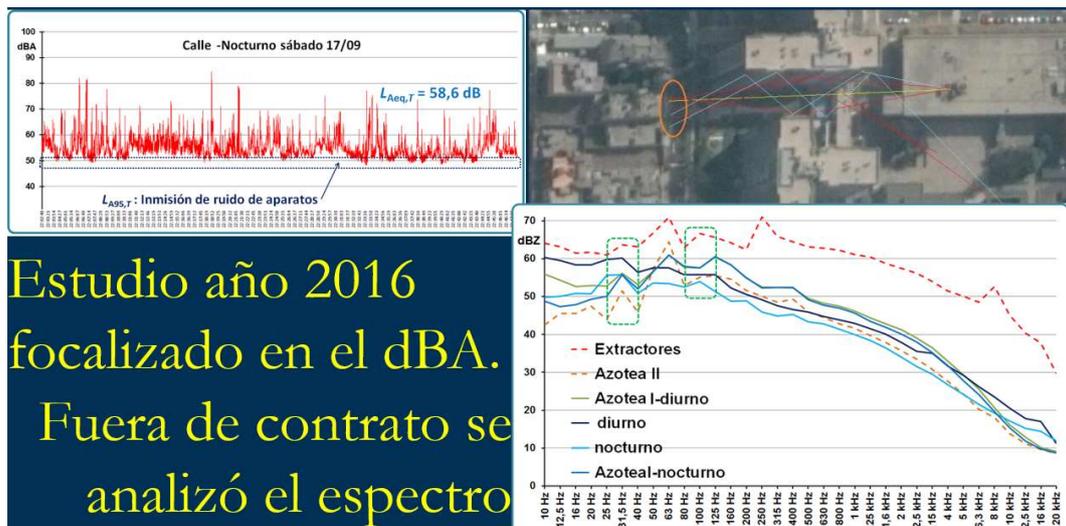


Figura 3: Análisis de la situación. Registro del *sonido total* y estudio del *sonido específico*

### 5. LA CUARENTENA OBLIGATORIA POR LA COVID. MODIFICACIÓN DEL PAISAJE SONORO

A fines de marzo del 2020 en Perú (al igual que en todas las ciudades del mundo) se impuso la cuarentena y encerramiento obligatorio, y como consecuencia de ello las personas estuvieron las 24 horas del día expuestos al ruido que se propagaba desde la azotea técnica donde se encontraban los equipos de HVAC, que tomaron relevancia al haberse reducido el nivel de ruido ambiental a valores nunca imaginados, esto provocó un sinnúmero de reclamos de toda la vecindad porque les interrumpía el sueño.

El nivel de ruido emitido por esos equipos durante la cuarentena fue más alto, porque refrigeraban las salas de bancos de computadoras, y como la gente encerrada en sus viviendas usaban la Internet a cualquier hora, el nivel de ruido nocturno se incrementó notablemente.

Se tuvo que esperar a que se redujeran las restricciones de circulación vehicular y permitir trabajo presencial, para realizar un nuevo estudio de mediciones de ruido ambiental en exteriores.

### 6. MONITOREO DE ABRIL DE 2021 DURANTE LA PANDEMIA CON RESTRICCIÓN VEHICULAR

Durante una semana completa se realizaron mediciones de emisión e inmisión sonora de los equipos de HVAC en abril de 2021 (ver Fig. 4), destacando que el tráfico vehicular era mínimo y la pasada de buses fue esporádica.

Se practicaron mediciones de larga duración en distintos puntos sobre el perímetro de la propiedad, ya que no estaba permitida la presencia de personas en la calle en vereda de la vecindad, para reducir el contacto entre personas y evitar la propagación del virus.

El análisis se concentró en determinar la presencia de tonos en las baja-frecuencias, ya que los ‘zumbidos’ es el sonido al cual las personas mayor quejas expresaban. En la Fig. 5 se presenta la evolución temporal del nivel sonoro del  $L_{Aeq,T}$  y el registrado en 31,5 Hz y en 25 Hz, para demostrar el impacto de distintos grupos de equipos.



Figura 4: Imágenes del estudio realizado durante la pandemia



Figura 5: Análisis del nivel sonoro en baja-frecuencias del espectro

### 7. COLOCACIÓN DE SILENCIADORES Y BARRERAS ACÚSTICAS

En la Fig. 6 se puede ver la reducción del nivel sonoro por la instalación de silenciadores específicos para mitigar las emisiones sonoras en las baja-frecuencias. En la Fig. 7 se puede ver la comparación del nivel sonoro registrado en el límite de la azotea, a 80 m de distancia de donde se encuentran instalados los equipos de HVAC, donde se pueden.

### 8. CONCLUSIONES

Entre el 29-30 de abril 2021 se realizó un monitoreo de 24 horas, antes de las obras de mitigación, destacando que la medición se realizó durante la pandemia por la COVID con poco desplazamiento de vehículos y personas. El monitoreo del 29-30 de octubre 2022 realizado con las obras de mitigación en los HVAC al 75%, destacando que la medición tiene influencia del ruido urbano y del tráfico automotor porque ya existe la libre

circulación de vehículos y personas, donde se observa que el nivel sonoro diurno está promediando los 55 dBA.

La reducción del nivel sonoro (respecto a 2021)  $L_{Aeq,T}$  es de -3 dBA considerando que en 2022 el ruido de la pasada de vehículos es mayor que en 2021, por lo que en términos reales la reducción debe ser mayor a -3 dBA.

El cambio del paisaje sonoro durante el encerramiento cambió la percepción psicoacústica de las personas. Este fue uno de los tantos casos similares que se tuvieron que resolver.

La mayor queja expresada por las personas fue por ‘el zumbido’ (las baja-frecuencias). Este fenómeno tuvo preponderancia al eliminarse el sonido de banda ancha producido por el ruido urbano y el del tráfico.

Los autores quieren agradecer a Fernando Elizondo por la invitación y a la organización del 2º. Simposio sobre Acústica y Vibraciones, Monterrey, de la FIME-UANL; también a editores de la revista ECOS por la publicación de esta ponencia.



Figura 6: Análisis de las mediciones después de colocar silenciadores

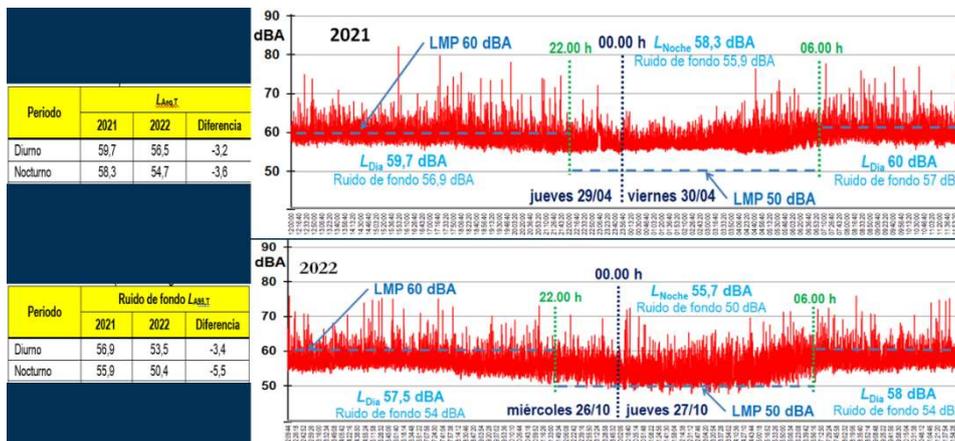


Figura 7: Monitoreos, comparación durante/después confinamiento

Se declara que esta ponencia no tuvo fuentes de financiamiento, y fue escrito en el tiempo libre de sus autores.

## REFERENCIAS

Decreto Supremo N° 085-2003-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-estandares-nacionales-calidad-ambiental-ruido>

# Las cicatrices acústicas del territorio. Barreras, filtros y conectores en el paisaje sonoro

## The acoustic scars of the territory. Barriers, filters and connectors in the soundscapes

## As cicatrizes acústicas do território. Barreiras, filtros e conectores nas paisagens sonoras

Francesc Daumal i Domènech, [francesc.daumal@upc.edu](mailto:francesc.daumal@upc.edu), ORCID: 0000-0003-0819-9256

Dr. Arq. Catedrático Emérito UPC (BarcelonaTech), Consultor Acústico

**Pacs. 43.50**

### Resumen

La transformación que ha realizado el ser humano en el territorio, ha sucedido por motivos urbanísticos, creación de suelo agrícola, razones higienistas, generación de infraestructuras de transportes o de energías, etc. Pero nunca había sido motivado por la supresión de los ruidos que genera el propio ser humano en dichas acciones. Se pretende concienciar a políticos y técnicos responsables, de que todos los ruidos deben eliminarse en la propia fuente, ya que en caso contrario generamos unas cicatrices que dejan su huella en el territorio. A veces, esas acciones de apantallados son solo sutiles, pero las hay desmesuradas, e incluso algunas se encargan a prestigiosos equipos de diseño para hacerlas más atractivas. También es cierto que en ciertos casos aparecen filtros que pueden suavizar esta situación, e incluso podemos llegar a encontrar conectores para aquellos sonidos que consideremos como positivos.

**Palabras clave:** Paisaje sonoro. Cicatrices acústicas. Barreras acústicas. Filtros acústicos. Conectores acústicos.

### Abstract

The transformation that the human being has carried out in the territory has happened for urban reasons, creation of agricultural land, hygienist reasons, generation of transport or energy infrastructures, etc. But he had never been motivated by the suppression of the noises that the human being himself generates in said actions. It is intended to make responsible politicians and technicians aware that all noise must be eliminated at the source, since otherwise we generate scars that leave their mark on the territory. Sometimes these shielding actions are only subtle, but there are excessive ones, and some are even commissioned to prestigious design teams to make them more attractive. It is also true that in certain cases filters appear that can soften this situation, and we can even find connectors for those sounds that we consider positive.

### Resumo

A transformação que o ser humano tem realizado no território aconteceu por motivos urbanos, criação de terrenos agrícolas, motivos higienistas, geração de infraestruturas de transporte ou energia, etc. Mas nunca havia sido motivado pela supressão dos ruidos que o próprio ser humano gera nessas ações. Pretende-se sensibilizar os responsáveis políticos e técnicos que todo o ruído deve ser eliminado na fonte, sob pena de gerarmos cicatrizes que deixam a sua marca no território. Às vezes, essas ações de blindagem são apenas sutis, mas existem excessivas, e algumas até são encomendadas a equipes de design de prestígio para torná-las mais atraentes. Também é verdade que em certos casos aparecem filtros que podem amenizar essa situação, e até podemos encontrar conectores para aqueles sons que consideramos positivos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este escrito se basa en mi intervención en el Segundo Simposio sobre Acústica y Vibraciones, realizado on line en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León (FIME-UANL), (2-SA&V-Mty2022), al que fui invitado por

mi amigo Fernando Elizondo, y posteriormente me invitaron para presentarlo en esta revista ECOS.

Por ello, y dada la premura de tiempo para ambas presentaciones, la estructura de este artículo ha querido mantener la del ppt que presenté el pasado 30 de noviembre en el Simposio, readaptando las figuras y obviamente modificando los escritos, pero sin pretender un mayor alcance.

## 2. LAS BARRERAS ACÚSTICAS

En primer lugar, debe indicarse que las leyes las permiten e incluso impulsan.

Este es el caso de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (España), que establece que: para la preceptiva declaración de impacto ambiental habrá de especificar en estos supuestos las medidas más eficaces de protección contra la contaminación acústica que puedan adoptarse con criterios de racionalidad económica. En la Figura 1 podemos ver la transformación de la antigua ciudad amurallada para protección de ataques de ejércitos enemigos, y la actual para la defensa del ataque de los ruidos de las grandes infraestructuras de transporte.

Para ello, el ser humano y la industria ha ideado diferentes defensas o pantallas acústicas, que, como

veremos más adelante, en muchas ocasiones configuran verdaderas cicatrices en el territorio.

Las hay variables (desmontables o no, pero siempre transportables), como las de la figura 2, que solo precisan unas bases antivuelco que a su vez sostienen los diversos módulos de las pantallas.

Pero lo normal es que sean fijas, con una cimentación y estructura capaz de soportar las inclemencias meteorológicas, y a veces formando verdaderos muros de contención. Los hay de todos los materiales, siendo los más comunes los de metal y hormigón, aunque también existen las de madera.

Respecto la visión, predominan las opacas, a menudo acompañadas de vegetación para suavizar su fuerte impacto visual, pero también se instalan las transparentes, como las de la figura 3, (o semitransparentes, debido al efecto atrapa pájaros que tienen las transparentes para las aves).

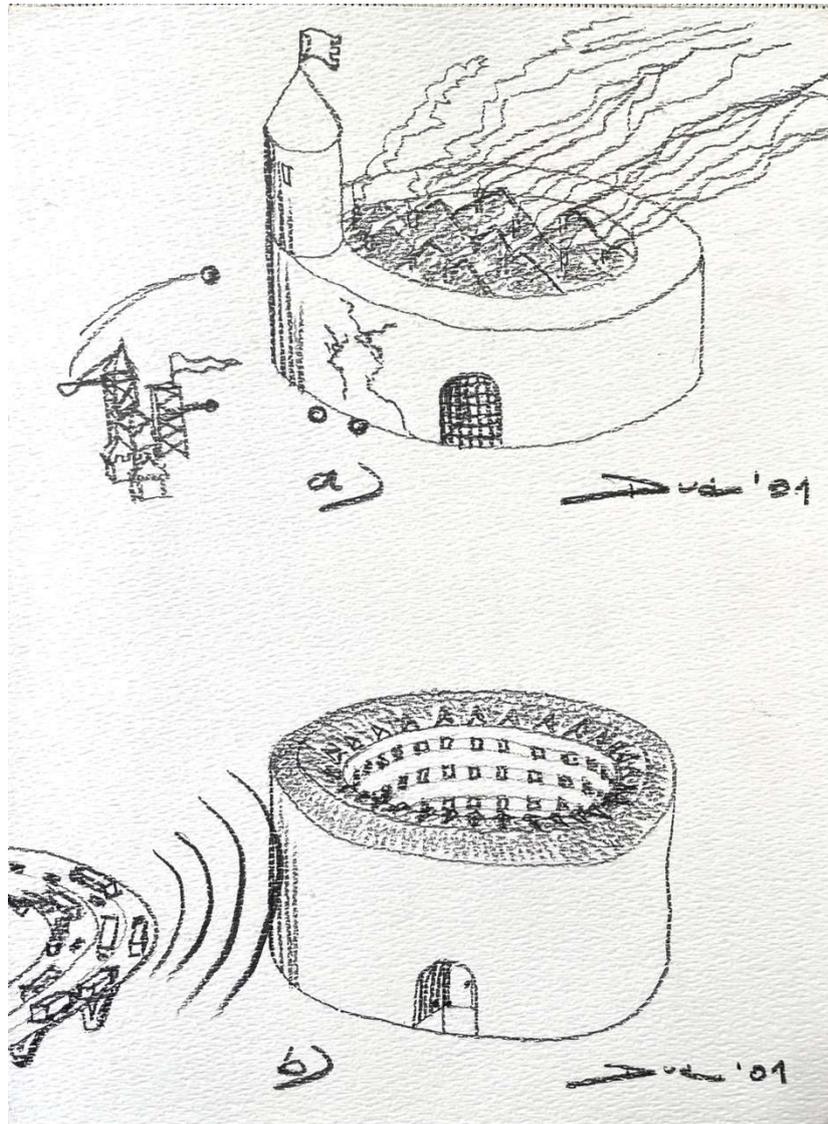


Figura 1. Antes las murallas servían para defenderse de los ataques de ejércitos enemigos. Ahora lo son para la defensa contra el ruido. Dibujo: Daumal, F. (Duc 2001)



Figura 2. Pantallas provisionales y desmontables. Fuente: prospecto en Internet



Figura 3 Fotografía de las Pantallas transparentes de Gavà, Barcelona. Fuente: Daumal, F.

Y respecto la escala, las tenemos desde las más grandes de casi 7 metros, a las más domésticas, para nuestras separaciones con los vecinos en nuestras casas unifamiliares. (Figura 4).

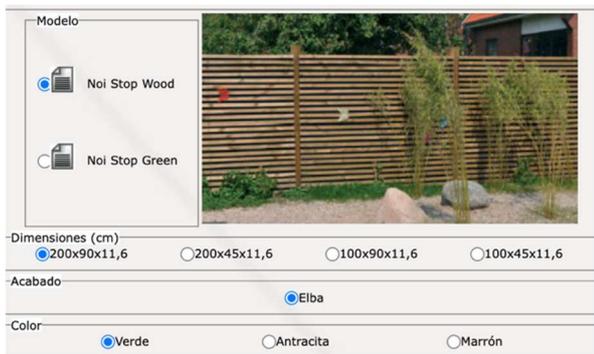


Figura 4. Prospecto de pantalla acústica entre viviendas. Fuente: Rockwood

Lo más común hoy en día, es irse a un programa generador de precios en la construcción, y encontrar las típicas pantallas moduladas de dos a cuatro metros de altura y separación de tres a cinco metros, colocadas entre pilastras en H cimentadas en pequeñas zapatas

de hormigón. Ahí se encuentran las soluciones generalistas tanto en metálicas con caras absorbentes, como en hormigón con rugosidades difusoras. (Figura 5).

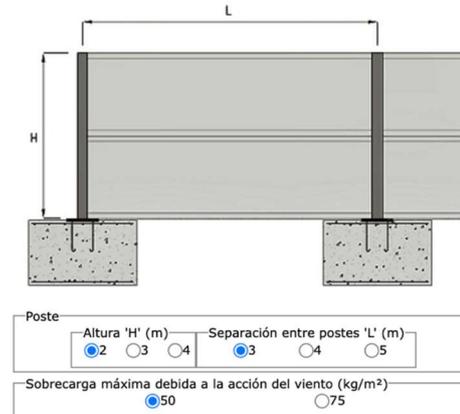


Figura 5. Pantalla modulada de hormigón. Fuente: Cype, generador de precios

Como decían nuestros vecinos franceses cuando les informaban que iban a colocar unas pantallas para separar sus viviendas del ruido de las carreteras próximas; *“¿Y quién pagará el jardinero, el agua y el abono necesarios para esconderlas de la visión?”*

Porque este es otro de los problemas: el **fuerte impacto visual** que genera la pantalla. Por ello se precisa maquillarla con pinturas artísticas, o bien ajardinarla con hiedras u otras especies vegetales.

Pero todos caemos en la tentación de utilizar las pantallas, y lo más sencillo es buscarse las existentes en el mercado.

En el año 2016 me encargaron analizar el ruido de unos cambios de vía en la línea de los ferrocarriles de cercanías de Barcelona “Rodalies R1 y R4”, a su paso por delante de un nuevo edificio de viviendas construido en L’Hospitalet de Llobregat (Barcelona). Finalmente, vistos los altos niveles de inmisión que generaban en horas nocturnas al interior del edificio, especialmente debido a dos cambios de aguja dispuestos en las proximidades del edificio, se nos encargó el proyecto de una pantalla acústica, que realicé en colaboración con el arquitecto Ramon Pla Soler. Era una acción del Consistorio, y por ello solo podíamos intervenir en los terrenos de su propiedad. Eso nos alejaba de las vías del tren. Por suerte disponíamos de unos pequeños montículos sobre los que colocar la pantalla. En total, quiebro incluido, eran más de sesenta metros de largo por seis de alto, con unos módulos de tres metros formados por panel

sándwich ACH de chapa de metal perforado, lana de roca de alta densidad y chapa ciega, fabricados por Saint Gobain. En las figuras 6 a 9 podemos ver la planta, secciones y renders. Su poder absorbente es

bastante alto (A4), > 13 dB, y su aislamiento bueno (B3), > 31 dB.

Finalmente no se realizó. Supongo que por acuerdo del Ajuntament de L'H con ADIF. Al parecer se van a soterrar las vías en un futuro.

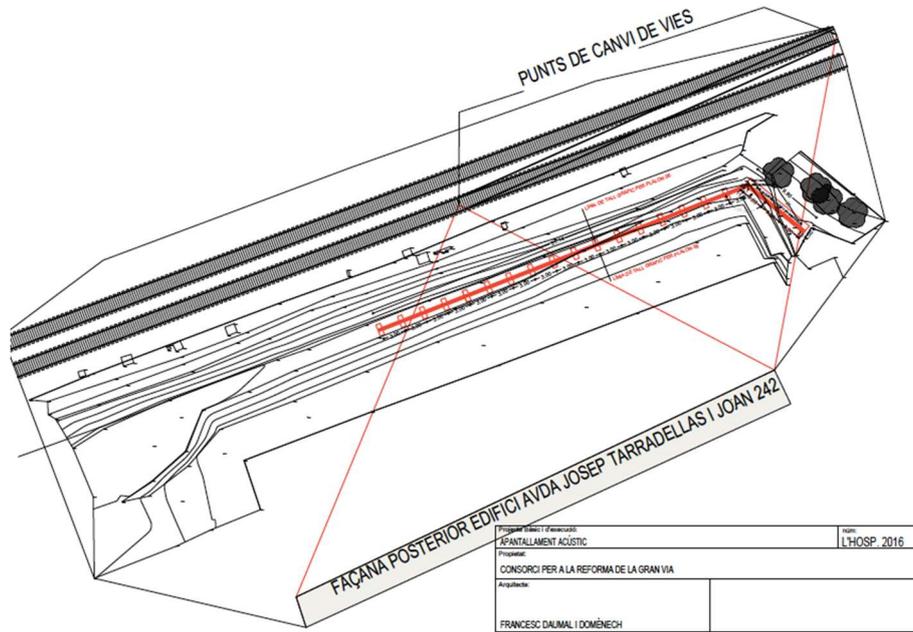


Figura 6. Planta de la actuación proyectada. Fuente: Pla, R.

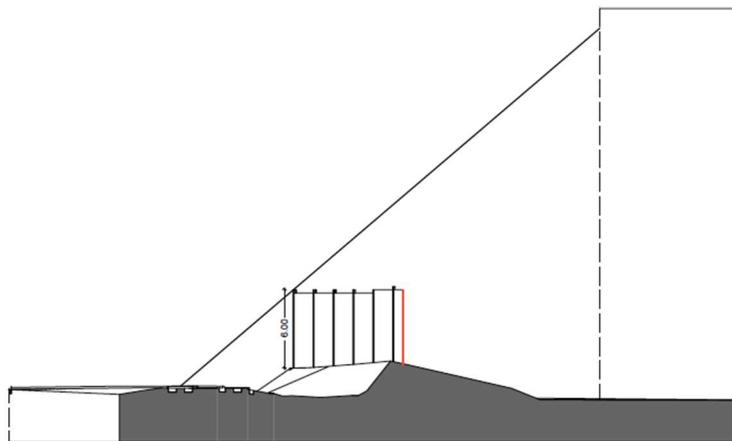
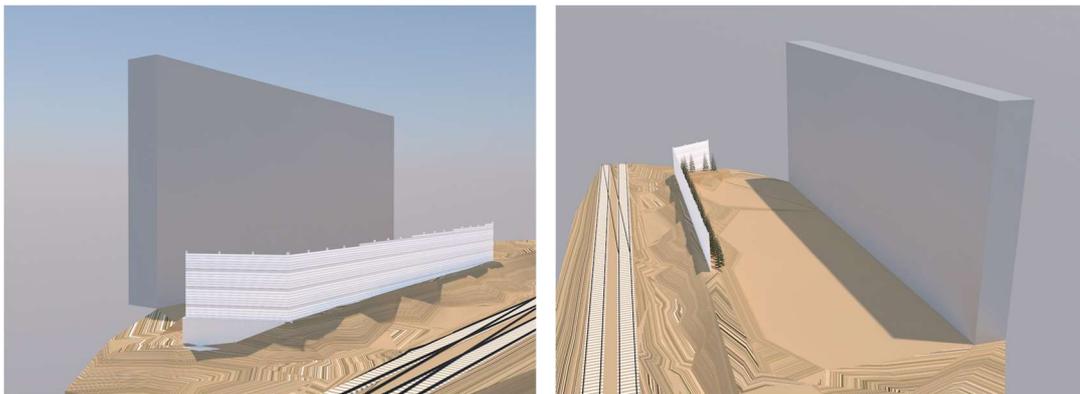


Figura 7. Secciones de la pantalla con el edificio. Fuente: Pla, R.



Figuras 8 y 9. Renders de la pantalla y el edificio. Fuente: Pla, R.

Realmente ahora, considerando las consecuencias visuales que tendría este proyecto, pienso que para satisfacer las exigencias acústicas de unos pocos, muchos de los habitantes del edificio hubieran pagado con la visión de esta alta pared a escasos metros de sus viviendas, y que por más vegetación que colocáramos no dejaba de ser un muro limitador de su paisaje lejano y del horizonte que tenían anteriormente.

Por desgracia, muchas de las barreras acústicas son utilizadas por los grafiteros para expresar su presencia en el lugar. Como observamos en la figura 10, en vez de llenarse de arte, la mayoría solamente sirven de soporte para su firma o eslogan.



Figura 10. Pantalla existente en los accesos a las Rondas de Barcelona. Fotografía: Daumal, F.

Como podemos observar, si con la pantalla para que no nos oigan cuando circulamos, también evitamos que nos vean, lo mismo sucede en sentido contrario, y entonces los conductores están castigados a circular sin ninguna referencia del paisaje exterior, como si fueran verdaderos animales de carga. Por eso se han buscado soluciones menos drásticas, como las pantallas transparentes. Pero estas tienen el problema de los pájaros, que no las detectan y chocan contra ellas.

Con el equipo del arquitecto Alfons Soldevila Barbosa, participamos en el año 1997 en un concurso restringido para diseñar las pantallas acústicas que el gobierno Frances estaba obligado a instalar en toda nueva ruta que pudiera afectar a las edificaciones preexistentes. Éramos el único grupo no local, de un total de diez. Aunque no ganamos, creo que los resultados fueron muy provechosos, porque la actuación se realizó también con la arquitecta paisajista

Rosa Barba, buscando la transparencia de los metacrilatos de la pantalla (figura 11), y obviamente estudiando la forma de realizar la absorción por resonadores a fin de no reflejar el ruido que apantallábamos, hacia las viviendas situadas al otro lado del vial. Con ello obteníamos cierta opacidad para que los pájaros no chocaran contra ella.

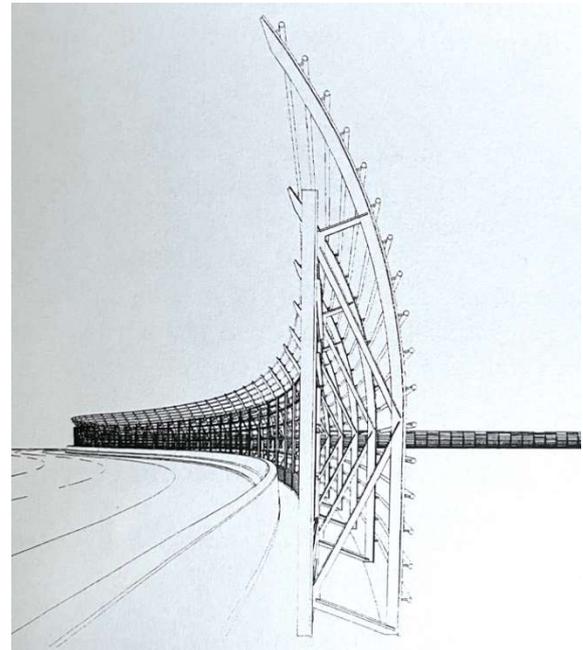


Figura 11. Pantalla acústica del equipo del arq. Alfons Soldevila. Fuente: Soldevila, A.

Luego tenemos las pantallas interiores, como la de la figura 12, para nuestros instrumentos musicales más potentes como la batería.



Figura 12. Pantalla o caja aislante para batería acústica. Fuente: Tik Tok

Y también en nuestras casas nos apantallamos de nuestros vecinos en las separaciones entre ambas, como en esta mampara de la figura 13, colocada en el porche entre dos casas pareadas.



Figura 13. Cerramiento con mampara acristalada de los porches entre dos casas pareadas. Fotografía: Daumal, F.

Finalmente, llegamos a la escala más pequeña, como la de protección de los micrófonos para mejorar su directividad y que no capten nada procedente de los laterales, representada en la figura 14.

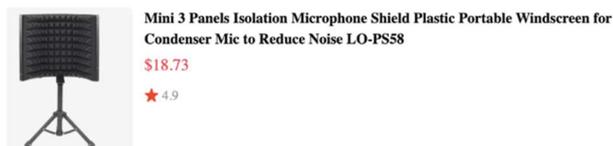


Figura 14. Prospecto de Mini pantalla para micrófono.  
Fuente: Internet

Y de esta forma hemos llegado a utilizar pantallas antitodo, como hoy tras el Covid-19, en que muchos establecimientos, oficinas gubernamentales, y entidades bancarias, han colocado sus pantallas transparentes para atendernos. El problema es que si existen muchas conversaciones simultáneas o el local no dispone de suficiente absorción sonora, es casi imposible entender lo que uno y otro quiere comunicar a ambos lados de esas pantallas, como en este ejemplo de farmacia de la figura 15.

Recuerdo que antes, en las entidades gubernamentales y bancarias, existían unas ventanillas con cristales separadores. Pero esos cristales tenían un área con perforaciones para que el sonido pasara y se pudiera mantener cierta conversación. Las del Covid-19, pocas veces nos permiten esta comunicación.

Es curioso que estos cristales fueron sustituidos por un sistema de atención a los usuarios más acorde con los conceptos modernos de comodidad, atendiendo mediante sillas y mesas. El Covid-19 ha obligado muchos establecimientos de atención al público a replantearse nuevamente la separación y la barrera.

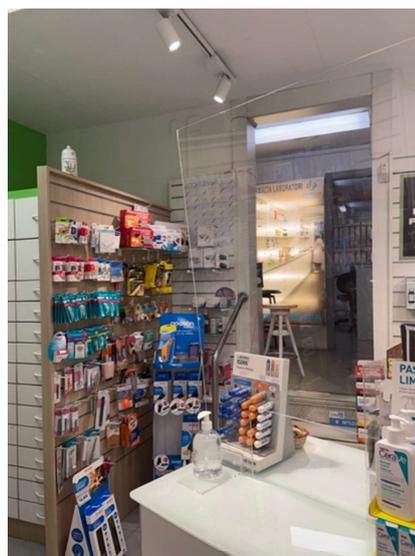


Figura 15. Pantalla transparente anti-Covid en una farmacia de Barcelona. Fuente: Daumal, F.

Como siempre, cuando necesitamos apantallarnos de algo, es porque no hemos sabido resolver bien el tema en la fase de planificación y anteproyecto.

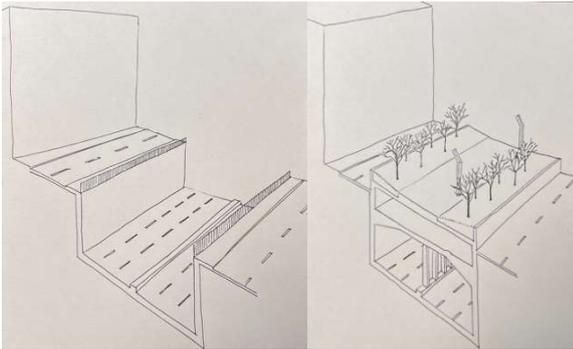
### 3. LAS CICATRICES ACÚSTICAS

La ronda del Mig ('Medio'), originalmente conocida como Primer Cinturón de Ronda, es una vía rápida, en forma de autovía urbana en muchos tramos, que atraviesa la ciudad de Barcelona discurriendo por sus distritos más periféricos y rodeando el centro de la ciudad. Fue planificada en el año 1907 durante el Plan de Enlaces, y es obra del urbanista francés León Jaussely.

En cierta forma se asemeja al sistema parisino de circunvalaciones.

Al igual que las rondas Litoral y de Dalt que componen el anillo exterior llamado "Segundo Cinturón", ésta tiene consideración de vía rápida en muchos de sus tramos aunque con la velocidad máxima limitada hasta 60 km/h bajo túneles y ajustándose al límite urbano de 50 km/h en el resto de tramos cuando discurre a nivel de superficie de la calle. Tiene un recorrido de casi 14 Km. cruzándose con las vías horizontales y diagonales más importantes de Barcelona. Actualmente la Ronda del Mig discurre en parte al aire libre y en parte soterrada, debido a la contaminación acústica que produce.

En 1994 los vecinos del tramo sur, hartos de la lllaga que supone el ruido, plantean su cubrición debido no solo a los ruidos que genera sino también por la herida que supone su paso en zanja abierta. Figuras 16 y 17.



Figuras 16 y 17. Antes y después de la primera cobertura de la ronda del Mig de Barcelona. Dibujos: Daumal, F.

Gracias a la propuesta de subvencionar las obras con la generación de una planta intermedia utilizable para estacionamiento (SABA), se consiguió la cubrición generando un paseo, aunque algo peraltado, para los peatones.

La caótica situación que se produjo en los edificios cercanos, obligados a colocar acristalamientos cerrando balcones con carpinterías improvisadas y escasamente concertadas por las comunidades, generó una imagen de descontrol que preocupó estéticamente tanto a los vecinos como al propio Ayuntamiento. Figura 18.

Una acción de cubrición, llevaba a otra reclamación de los vecinos para el tramo siguiente, como es el caso del Proyecto de Cubrición del tramo entre Travesera Les Corts a Mejía Lequerica, proyectado el 1992, y con final de obras del 1997, que cubre una superficie de 22.615 m<sup>2</sup>, realizado por los arquitectos Joan Corominas, Ramón Cardona, Jordi Carulla.



Figura 18. Un edificio de la ronda del Mig esquina Travesera de les Corts. Fotografía: Daumal, F.

Se estimaba un tránsito de 70.000 vehículos/día en el tronco central rehundido, y en unos 10.500 en los laterales.

Por ello, se realizaron cubriciones en muchos sectores, empezando por este de 1994 hasta la actualidad, pero con la preocupación causada por el accidente del túnel de San Gotardo en Suiza en 2001, se replantearon estas cubriciones hasta elaborar la reglamentación que estableciese unos protocolos eficientes en lo relativo a ventilación, seguridad y salidas de emergencia, sistemas de extinción, etc. Esto ha supuesto que la Ronda del Mig (figura 19), y como veremos más adelante la Ronda de Dalt, dispongan de diferentes tramos solucionados con métodos acústicamente dispares.



Figura 19. Esquema de las diversas y variadas actuaciones realizadas en la ronda del Mig. Fuente: Ajuntament de Barcelona

Para el último tramo cubierto (figura 20), se realizó un informe para la prevención de incendios, con especial atención a los sistemas de seguridad y ventilación, así como CETU 12/1997 y la IOS 98 Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre y la “*Instrucció tècnica de túnels viaris urbans de la ciutat de Barcelona del 2016*”.



Figura 20. Tramo cubierto con paseo central. Fotografía: Daumal, F.

#### 4. LAS CICATRICES ACÚSTICAS DE DISEÑO

Pero lo verdaderamente preocupante son las cicatrices acústicas de diseño.

Me refiero a aquellas barreras que se han generado en el momento de máxima preocupación por el ruido, cuando no era suficiente con reundir la calzada, ni colocar un asfalto fonoabsorbente.

Me refiero a este momento en que los dirigentes de la ciudad encargan a unos estudios de gran prestigio en el diseño arquitectónico, que realicen una actuación de proyecto conjunto con también prestigiosos acústicos, y lo presentan para la realización de los Juegos Olímpicos de Barcelona del año 1992.

Este es el caso del proyecto “*Pantallas Acústicas para la Gran Vía de las Cortes Catalanas en Barcelona*”, Figuras 21 a 25, cuyos autores son EMBT (Enric Miralles – Benedetta Tagliabue), realizado para el Ayuntamiento de Barcelona, según la ficha siguiente:

**Tipología:** Módulo de pantalla acústica absorbente de hormigón reforzado con fibra de vidrio (GRC), con láminas de lana de roca fonoabsorbente y bastidor metálico lateral.

**Construcción:** 2006.

**Longitud pantalla:** 3.700 m, Colocación a ambos lados.

**Anchura del módulo:** 2,5 m,

**Número de módulos:** 1.479.

**Estudio de Ingeniería MC2**, del grupo TYPESA, Madrid.



Figura 21. Pantalla de presentación del estudio EMBT. Fuente: web del estudio Miralles – Tagliabue

##### GRAN VIA ACOUSTIC PANELS

The objective of this project is to diminish the unwanted noise from the passing cars towards the houses located in Gran Via.

A long row of acoustic screens prevents the noises of the fast traffic way (lower level) to reach the upper level (destined to slow traffic and pedestrians) and the buildings.

The screens consist of a resistant outer skin that surrounds an acoustic insulation core. Their shape is such that reflects the noise.

The inner material also helps with its absorbing qualities. All the set conform a body of 2.5 meters by 7.5 meters in length.

The widths vary between 10 and 50 centimeters.

Figura 22. Contenidos de la web del estudio Miralles- Tagliabue respecto las pantallas de la Gran Vía de Barcelona. Fuente: web del estudio Miralles – Tagliabue



Figuras 23 a 25. Tres imágenes de la pantalla de diseño de Enric Miralles en la Gran Vía de Barcelona. Fuente: web del estudio Miralles – Tagliabue

Pero el soterramiento actual de la gran vía a su paso por la Plaza de las Glorias Catalanas, obliga a la semaforización de esta Gran Vía (Figuras 26 y 27), lo

que a veces es generador de colas de los vehículos y entonces las emisiones sonoras son provocadas por sus bocinas.



Figuras 26 y 27. Semaforización de la Gran Vía antes de la Plaza de las Glories Catalanes. Fotografías: Daumal, F.

A mí en particular, me encanta el diseño de estas pantallas. Encuentro un gran acierto plantearlas como unos inmensos labios que se vuelcan hacia el vacío de la gran U que forma la Gran Vía en su recorrido rehundido, y la presencia de los rectángulos de vidrio de colores la personaliza en los diferentes tramos. Figura 28.

Pero creo que está equivocado utilizarlas como medio para reducir el impacto sonoro a las edificaciones vecinas por miedo a los efectos del fuego en los túneles. No se ha querido hacer la cubrición como se ha realizado en la Ronda del Mig, a su paso por la calle Brasil, Quizás porque todos recordamos los hechos de Suiza del año 2001, cuando un accidente entre dos camiones dentro de un túnel acabó, por la acción del fuego, con muchas vidas.

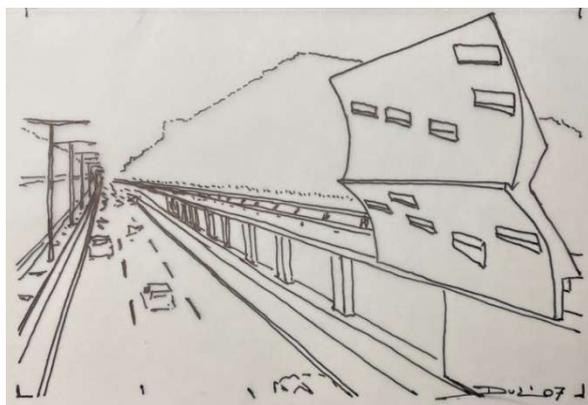


Figura 28. Esquema del modelo de la pantalla en su emplazamiento. Dibujo: Daumal, F. (Duc 2007)

## 5. LA VIVIENDA NURSERIE

En la denominada Venecia Argentina “Tigre”, situada en el delta de la desembocadura del río Paraná, existe una vivienda que parece un neonato, por ser tratada en una macro incubadora (figura 29). Claro que esto no es nada comparado con la idea que tuvo de Buckminster Fuller de cubrir toda la isla de Manhattan de Nueva York con su cúpula geodésica.



Figura 29. La vivienda “nurserie” en la colonia Tigre, sorprende a todos los turistas. Fotografía: Daumal, F

## 6. PENSAR DE OTRA FORMA LAS BARRERAS

Debemos pensar de otra forma.

Incluso las pantallas pueden servirnos para crear arte sonoro, colocando elementos pantalla diseñados con la forma de la derecha de la figura 30 para reflejar el sonido de nuestro vehículo y escuchar como rayo reflejado el ritmo del swing de la parte izquierda de la figura.

Algo similar nos proponía Athanasius Kircher en su *Musurgia Universalis – Phonurgia Nova*, aunque en su caso era con la reflexión de unos planos reflejantes, estratégicamente estudiados para producir ecos respecto a un orador. Figura 31.

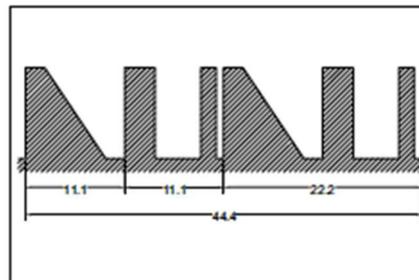
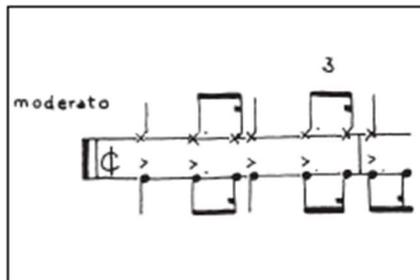


Figura 30. El ritmo de swing para partitura de batería y su diseño como pantallas reflectoras

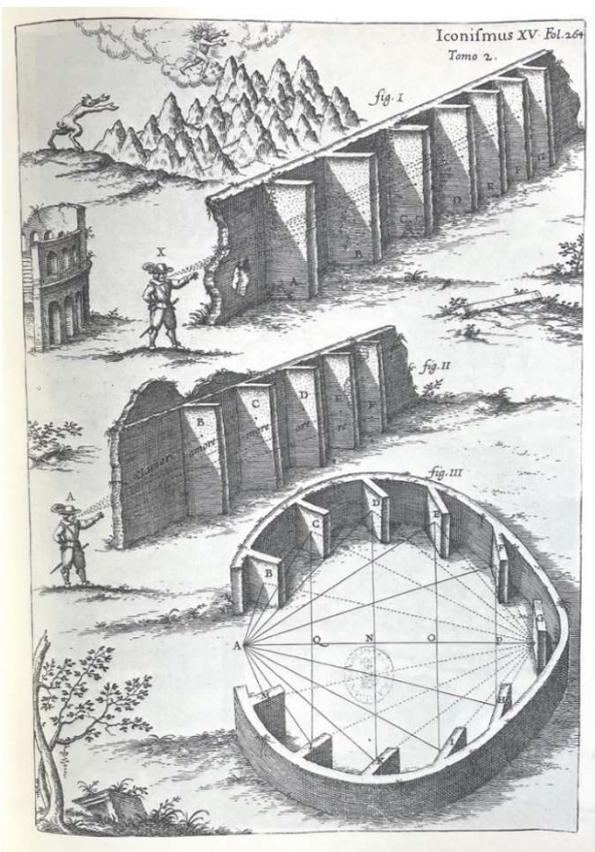


Figura 31. Reflexiones para ecos estudiadas por Kircher. Fuente: *Phonurgia Nova*

A veces los muros nos preservan y dan intimidad. La Fundación Cartier para el Arte Contemporáneo, construida en 1984 en París (figura 32) es un edificio acristalado que sirve para sustentar una gran pantalla también acristalada, que forma la verdadera fachada a la calle. Como vemos, Jean Nouvel recurre a menudo a las pantallas, como también lo hace en el Parc Central de Poblenou, construido en el año 2008 en Barcelona. En este caso, los muros del parque son ciegos con vegetación abundante, lo que le permite crear espacios sonoros solamente afectados por el ruido de fondo (figura 33).

Algo parecido realizó, aunque a nivel de vivienda particular, Luís Barragan en su casa taller de la Ciudad de México (figura 34), creando una cubierta transitable con impresionante efecto claustral.

En 1989 termina la remodelación y ampliación del Palau de la Música Catalana, Barcelona, donde gracias al derribo de la iglesia de San Francesc, anexa al Palau, los arquitectos Oscar Tusquets e Ignacio Paricio, pueden dar a conocer la fachada escondida del lateral, proporcionándola de una gran pantalla acristalada a efectos de la necesaria protección del auditorio al ruido del exterior. Figuras 35 y 36.



Figura 32. Fundación Cartier para el Arte Contemporáneo, arq. Jean Nouvel. Fotografía: Daumal, F.



Figura 33. Parc Central de Poblenou, de Jean Nouvel. La barrera crea espacio silencioso e íntimo. Fotografía: Internet



Figura 34. Luís Barragan, casa taller en ciudad de México. Fotografía: Daumal, F.

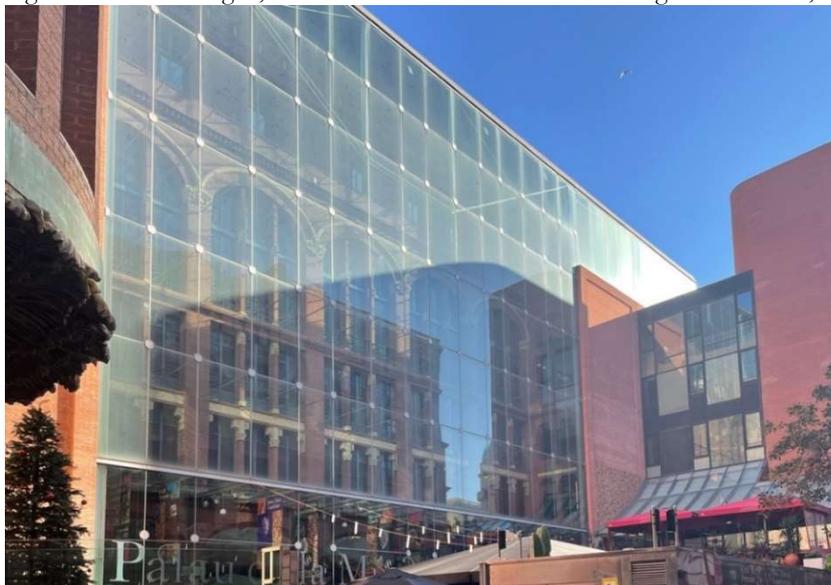


Figura 35. La nueva fachada del Palau, vista desde la calle lateral. Fotografía: Daumal, F.



Figura 36. La doble fachada vista desde el interior.  
Fotografía: Daumal, F.

Esta moda de envolver los edificios en una urna de cristal, no acaba aquí. Algo parecido realiza en el año 2007 el arquitecto Ricardo Bofill Levi para el Centro Cultural Miguel Delibes, de Valladolid, España, donde una piel exterior de gran acristalamiento se ve soportada y cerrada hacia el interior por un gran muro de hormigón, roto solamente donde interesa generar aberturas. Figura 37.

Pero, ¿no les resulta familiar estas soluciones que estamos contemplando, con las de las galerías y miradores que hemos visto y admirado tantas veces como propias de la arquitectura popular? Existen en casi todos los lugares donde el clima lo motivó, como las galerías de la Marina en A Coruña, o los famosos miradores de Valladolid y Madrid. Figura 38. Entonces ¿Por qué hemos de sorprendernos al verlos extendidos y aplicados a otros propósitos como son los del aislamiento acústico?

Si podemos continuar teniendo visión gracias a los acristalamientos, y a su vez estos nos proporcionan ya un gran aislamiento frente al ruido. ¿No es lógico utilizarlos incluso en grandes dimensiones? Claro que parecen edificios dentro de envoltorios, listos “para regalo”, pero si además podemos hacer que funcionen como muros Trombe y mejorar su comportamiento higrotérmico, ¿Debemos renunciar a ello?

Son múltiples las preguntas que podemos formularnos sobre lo que es mejor en cada caso, pero ya vemos que algunos caminos de la arquitectura se refuerzan con los lenguajes de las necesidades de cada momento, como es el caso del Centro Cultural villa de Madrid, (figuras 39 y 40) ubicado en los sótanos de la plaza Colón, que estaba acordonado por una cascada lineal de agua que producía más de 90 decibelios. Recuerdo que era muy difícil adquirir una entrada debido al elevado volumen sonoro. Aunque fuera agua, la verdad es que el enmascaramiento era difícilmente sostenible.

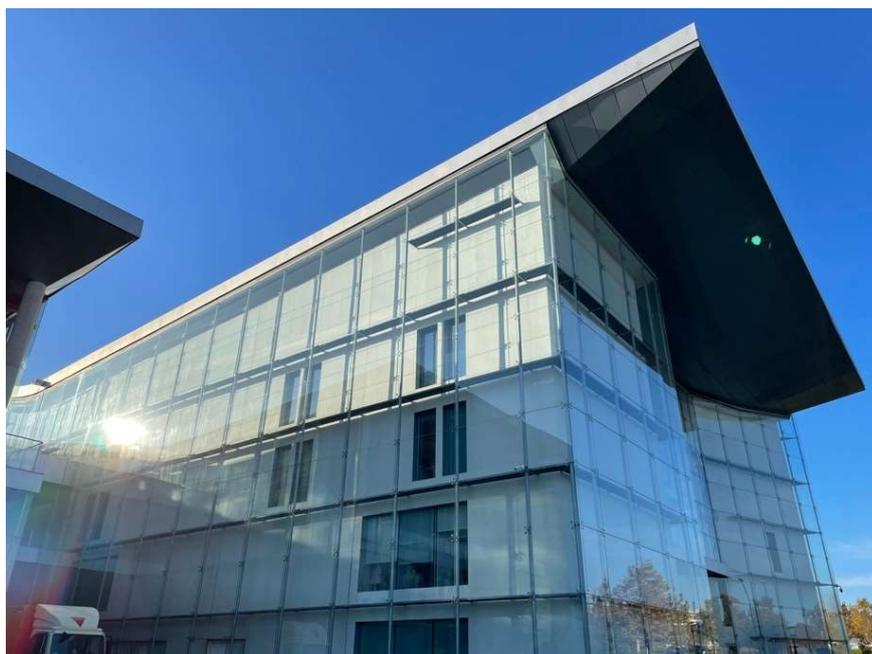


Figura 37. Doble piel del Centro Cultural Miguel de Delibes, Valladolid. Fotografía: Daumal, F.



Figura 38. Mirador típico de la zona de Madrid. Fotografía: Daumal, F.

## 7. PENSAR EN FILTROS ACÚSTICOS

Pensar en una ciudad con sus vías principales de circulación totalmente enterradas, dio pánico a sus urbanistas, que prefirieron buscar otros proyectos sectorizando los segmentos cerrados o dejándolos más abiertos, a modo de filtros.

Las barreras cada vez van a ser menos utilizadas, ya que los vehículos están resolviendo el ruido del motor y esperamos que el de la rodadura, que todavía no hemos resuelto, esperamos poder disminuirlo en un futuro próximo. En contrapartida, los vehículos eléctricos incluso deben instalar un sistema de generación de aviso sonoro (AVAS) cuando circulan a baja velocidad (menos de 20 km/h).

Esta otra forma de pensar la acústica consiste en plantearse filtros en vez de barreras, como es el caso de los absorbentes colocados en la Ronda de Dalt de Barcelona, representados en la figura 41, cuya descripción se acompaña a continuación en la Figura 42, y varias imágenes en las Figuras 43 a 46.



Figuras 39 y 40. Antigua Cascada del centro Cultural de la Villa de Madrid, vistas desde fuera y desde el interior. Fotografías: Daumal, F.



Figura 41. Filtros acústicos de Màrius Quintana para la Ronda de Dalt. Barcelona. Fuente: Quintana, M.

*Arquitecto: Màrius Quintana*

El proyecto da respuesta a las demandas principales: unión de los barrios de Canyelles y Guineueta y la instalación de pantallas acústicas en los espacios de ventilación de la circulación rodada inferior.

El recorrido peatonal con sección de rambla logra ganar una vía cívica entre los dos barrios, acompañada de plantaciones de árboles en todos los puntos posibles y con los «bosques de bambú» que camuflan las pantallas acústicas.

El agua como elemento de filtro acústico y la pérgola de protección solar, completan la urbanización del pavimento continuo de aglomerado asfáltico coloreado.

Son los elementos mínimos que necesita la nueva rambla longitudinal, con pasos transversales y espacios centrales de encuentro que la han convertido en un eje común a los dos barrios antes distanciados por la ronda deprimida y la contaminación acústica.

Los colores de las pantallas acústicas se filtran por los agujeros sobre los carriles de circulación inferior, haciendo evidente así la actuación de la urbanización superior a los conductores.

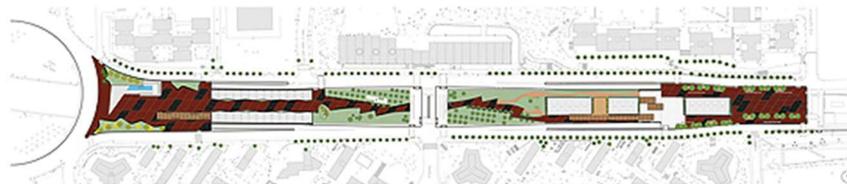


Figura 42. Descripción del proyecto. Fuente: Quintana, M.



Figuras 43 y 44. Conducción bajo los filtros de la Ronda de Dalt. Fotografía: Daumal, F.



Figuras 45 y 46. Filtros formados por absorbentes a modo de bafle colgante. Fotografía: Daumal, F.

En algunos tramos de esta Ronda de Dalt, todavía coexisten los filtros anteriores, formados por los vuelos de las calles superiores sobre la zanja, lo que genera un vial parcialmente cubierto. Figura 47. El problema, es que no se pensó en ningún sistema absorbente, y tuvo que incorporarse con posterioridad. Figuras 48 y 49. Como ya sabemos, los sistemas absorbentes colocados en el exterior son de difícil limpieza, ya que deben basarse en los resonadores de cavidad o en mantas de fibra de lanas minerales recubiertas por enrejados o paneles perforados.



Figura 47. Semicubrición de un tramo de la Ronda de Dalt. Fotografía: Daumal, F.



Figuras 48 y 49. Absorción añadida en la boca de un tramo cubierto de la Ronda del Mig. Fotografía: Daumal, F.

A nivel de edificio también es posible encontrar soluciones de apantallamiento suave, a modo de filtro,

entre el edificio y la calle, como en el caso representado en las figuras 50 y 51, de un edificio plurifamiliar de viviendas situado en el Paseo Bonanova de Barcelona. El filtro lo forma una pérgola exterior a modo de terraza peraltada por un alto zócalo que la aleja del plano de la calle, cubierta con lamas absorbentes del sonido que se interponen entre la calle y las viviendas.



Figuras 50 y 51. Pérgola absorbente de un edificio en Barcelona. Fotografía: Daumal, F.

Y en los interiores podemos también encontrar algo similar, entre barrera y filtro, en ciertas mamparas, biombos o asientos, como los representados en la figura 52 de pantalla acústica móvil interior, o el dibujo de la figura 53 de los respaldos y asientos del restaurante situado en el museo Guggenheim de Bilbao.

## 8. LOS FILTROS NATURALES

Quizás una de las mejores formas de generar un apantallamiento sin repercutir en las consecuencias negativas de los muros, sea precisamente no hacer muros.

Fabricks Pantalla acústica móvil (1200 x 1200mm)



Figura 52. Prospecto de pantalla móvil. Fuente: Fabricks

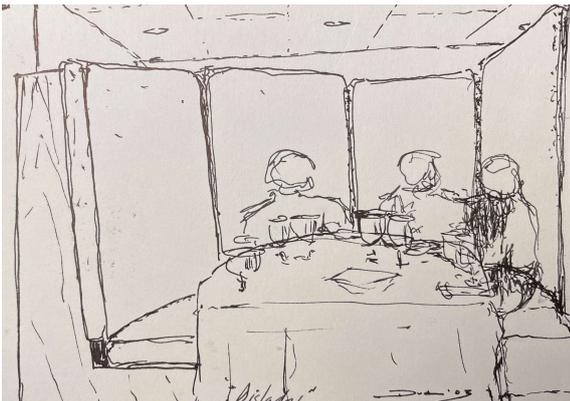


Fig. 53. Los asientos del restaurante del Museo Guggenheim de Bilbao. Dibujo “aislados”: Daumal, F (Duc 2003)

La gente acepta mejor los montículos de tierra, con o sin vegetación añadida (aunque limiten su horizonte visual), que no los muros y pantallas, porque se parecen más a las formas que se presentan en la propia naturaleza. Especialmente podemos utilizar las dunas artificiales para separar los parques y jardines de los viales ruidosos.

Esa es la solución que se ha utilizado en algunas zonas ajardinadas de Barcelona, como es el caso de los jardines Juan Vinyoli situados entre los edificios “las cocheras de Sarriá”, del arquitecto Jose Antonio Coderch de Sentmenat, donde el montículo, muy utilizado por los jóvenes en sus juegos, los separa del Paseo San Juan Bosco (Figura 54).

Algo parecido se ha realizado en la separación del Parque de la Estació del Nord con la calle Almogàvers, en Barcelona, como podemos apreciar en la figura 55.

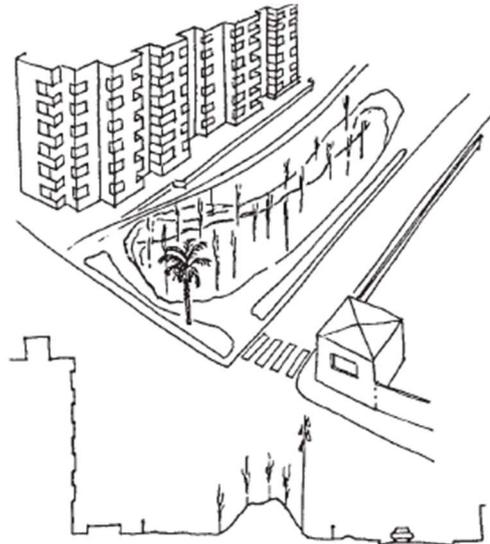


Figura 54. Perspectiva y sección del Parque Juan Vinyoli, con la duna central. Dibujo: Daumal, F.



Figura 55. Duna del límite del Parque de la Estació del Nord. Fotografía: Daumal, F.

De la misma forma, aunque en este caso rehundiendo el plano de trabajo como podemos observar en la figura 56 se ha formado el Jardí de les Tres Torres, separado de la Vía Augusta (antiguo trazado que unía las ciudades romanas de Barcino Nova y Tarraco) por un montículo, diseñado esta vez con piezas de granito.

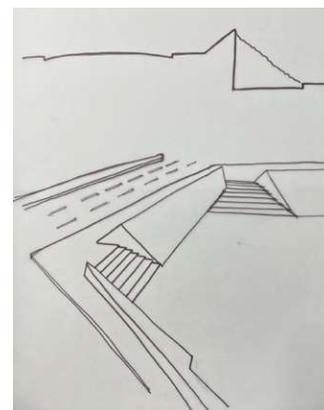
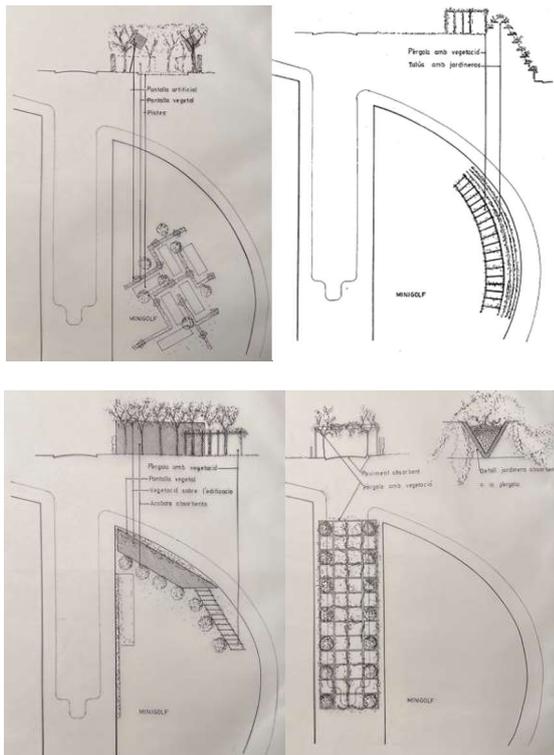


Figura 56. Sección y perspectiva del Jardí de les Tres Torres. Dibujo: Daumal, F.

En algún momento pueden realizarte un encargo especial, como el que tuve con el urbanista Luís Cantallops, de informar justificadamente sobre la conveniencia o no, indicando soluciones de diseño acústico, de instalar un gran minigolf en unos terrenos próximos a edificaciones urbanas de Barcelona. Las imágenes de nuestro estudio representadas en las figuras 57 a 60 que siguen, creo que son suficientemente expresivas de todos los filtros que estudiamos.



Figuras 57 a 60. Plantas y secciones de las propuestas para el minigolf. Dibujo: Daumal, F.

## 9. LOS CONECTORES ACÚSTICOS

Athanasius Kircher, en su *Musurgia Universalis-Phonurgia Nova*, basándose en el ejemplo de los secretos de Siracusa, aunque de forma exagerada, en la figura 61 nos indica las posibilidades que tenemos para realizar unos conductos que nos lleven el sonido de un lugar a otro, tanto dentro como fuera de los edificios. De modo similar, pero sin conductos, realicé para el Forum 2004 de las Culturas en Barcelona, un susurrador denominado Instrumento Músico, en honor de un poema de Luís Cernuda, donde dos personas sentadas en los focos de un gran elipsoide de unos cuatro metros de largo, podían susurrarse ese poema o los secretos que desearan, con una ganancia de más de 14 decibelios. Figura 62.

## 10. DAR LA ESPALDA TAMPOCO ES LA SOLUCIÓN

“Si la pantalla no va al emisor, se la pongo al receptor”. El ejemplo del Ruedo de la M-30 (para mí la oreja de Madrid), me impactó mucho cuando lo visité “in situ” armado de sonómetro y cámara fotográfica.

Se trata de un edificio plurifamiliar de viviendas sociales situado muy cerca de la M-30, gran ronda exterior de Madrid, diseñado por el arquitecto Francisco Javier Sáenz de Oiza (el autor de las famosas Torres Blancas) que ganó el concurso restringido de la Comunidad de Madrid en 1986. El edificio, terminado el 1990, se enrosca sobre sí mismo, formando un gran espacio tranquilo en su interior, al que se vierten las diferentes viviendas, mientras que hacia la M-30 solamente se abren pequeñas aberturas para los servicios y cocinas. Es como una gran muralla con viviendas dentro. Figuras 63 a 65.

Cuando entré en el espacio interior, encontré una calma relativa rota por las distintas radios de algunas viviendas. Era un paisaje sonoro específico, alejado de la ciudad y sus grandes avenidas y rondas, sí, pero propio de unas viviendas en un suburbio

Realmente, pienso que si la arquitectura debe dar la espalda al paisaje sonoro de la ciudad, es que estamos equivocados!

La fachada externa es “el muro” que protege de la agresión externa, curva, con losetas de color teja y con pequeñas aberturas. Esas pequeñas ventanas fueron hechas para no permitir la entrada del ruido y contaminación de la autopista, pero también sirvieron para que apodaran al edificio con el nombre de “la cárcel de la M-30”.

En esta fachada casi ciega, se disponen las cocinas, los servicios, y los núcleos de comunicación vertical.

El edificio El Ruedo, fue concebido como una gran muralla que no solo otorgue una potente sensación de aislamiento y protección, sino que también lo sea. Muchos críticos no lo han entendido así y pasaron a compararlo con una cárcel, por su tipología, su monumental tamaño y sus pequeñas aberturas.

Tanto la propuesta como la realización final de esta obra, han suscitado intensas polémicas. Uno de los temas más criticados es su forma de espiral con escasos huecos en su fachada exterior para evitar los ruidos y la contaminación que proviene de la vía cercana. Terminado en 1990, y a pesar de los detractores, obtuvo el Premio Arquitectura y Urbanismo del Ayuntamiento de Madrid.

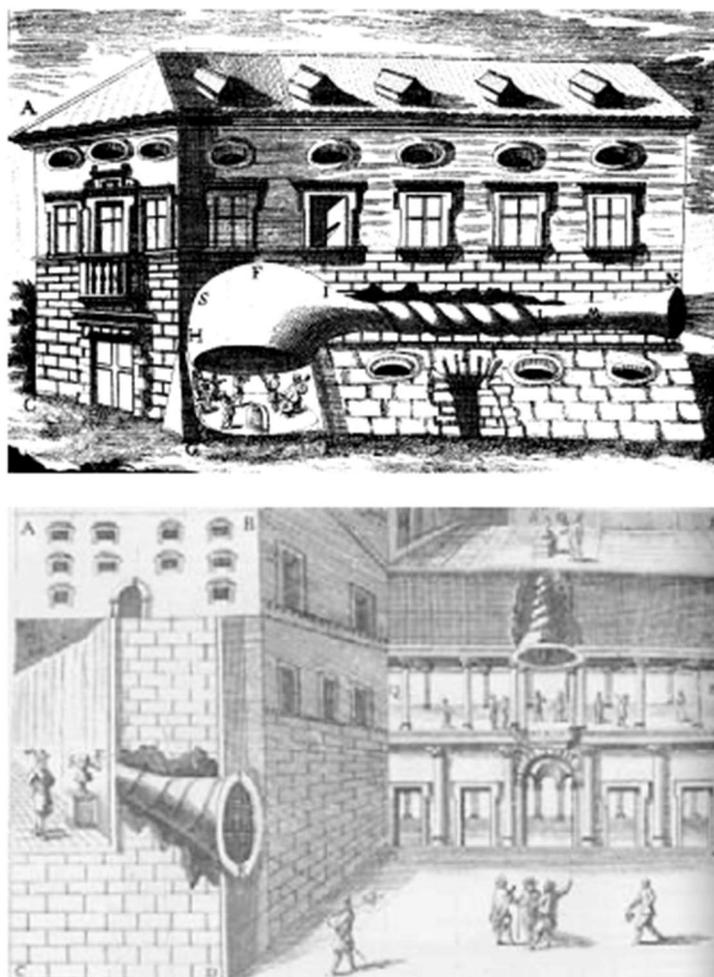


Figura 61. Los conectores de Athanasius Kircher. Fuente: Kircher, A.

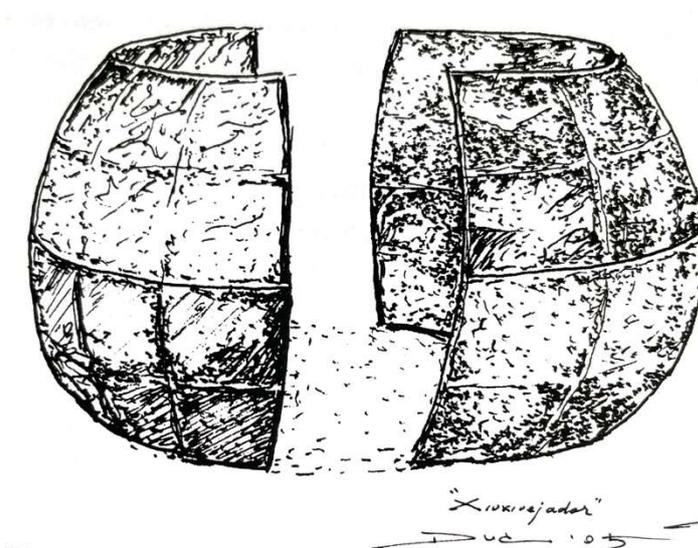


Figura 62. Xiuxiuejador. Dibujo: Daumal, F. (Duc 2005)



Figuras 63 y 64. Viviendas El Ruedo. Fuente: Sáenz de Oiza, F.J.

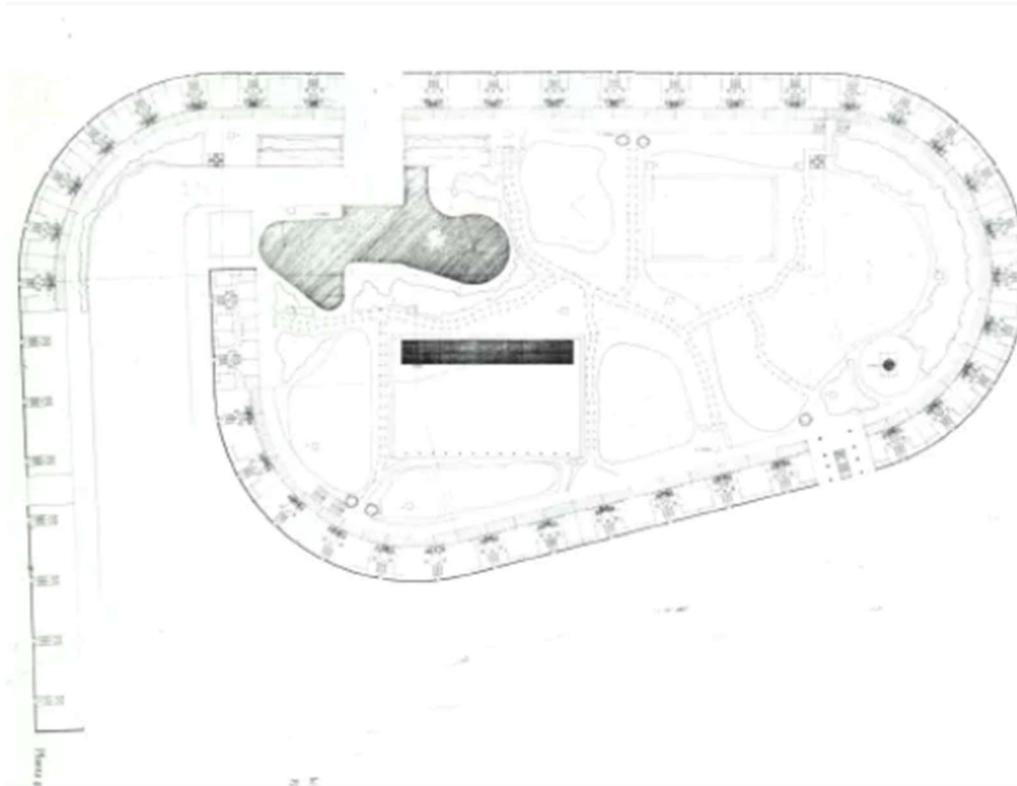


Figura 65. Planta del Ruedo. Dibujo: Sáenz de Oiza, F.J.

## 11. FINAL

A veces, incluso antes de enfrentarnos a aquello que nos oprime, nos volvemos cobardes y aceptamos los golpes sin rechistar. Esa acción, recuerdo que yo la planteo en uno de mis libros, cuando el protagonista está proyectando unos estudios de grabación en una ruidosa ciudad como Londres. El personaje, llamado Maestro Roncador<sup>8</sup>, organiza los espacios de forma introvertida, volcando el edificio hacia un gran y tranquilo patio interior central. Así, da la espalda a los ruidos de las calles exteriores.

Ahora veo que mis cobardías no me han servido de nada para erradicar los ruidos, antes al contrario, puesto que hace parecer que les doy la razón. La única

actitud positiva es la de enfrentarse abiertamente al ruido y erradicarlo.

Antes de luchar por conseguir que las administraciones nos hagan estos apantallamientos, por bellos que sean, lo que hemos de luchar es porque los vehículos no produzcan ruidos, tanto de sus motores como de sus rodaduras con los pavimentos, las enseñanzas de civismo para que no se toque el claxon con la asiduidad con que algunos conductores lo realizan, etc.

Pero en la imagen 66 observamos que debemos estar preparados para otros ataques sonoros, o ataques visuales, como aquellos que nos superan en número, nos exceden en densidad, o nos minimizan nuestra escala.

<sup>8</sup> Se pueden obtener gratuitamente las dos novelas “Maestro Roncador” y “Paisajes sonoros del Maestro Roncador” en pdf,

entrando en la web de la Sociedad Española de Acústica y buscando en la sección de Publicaciones.



Figura 66. Gran crucero junto a la Basílica de San Giorgio Maggiore, de Andrea Palladio (Cinquecento), en Venecia.  
Fuente: Estudio Daumal

## Presencia de sonidos de baja frecuencia e infrasonido producidos por los sistemas de transporte colectivo en el espacio urbano en Monterrey, México

### Presence of low frequency sounds and infrasound produced by collective transport systems in urban space in Monterrey, Mexico

### Presença de sons de baixa frequência e infrassom produzidos por sistemas de transporte coletivo no espaço urbano em Monterrey, México

Fernando J. Elizondo-Garza<sup>1</sup>, [fjelizon@gmail.com](mailto:fjelizon@gmail.com) - [orcid.org/0000-0002-5000-3969](https://orcid.org/0000-0002-5000-3969)

Walter A. Montano<sup>2</sup>, [wmontano@arquicust.com](mailto:wmontano@arquicust.com) - [orcid.org/0000-0002-0059-5257](https://orcid.org/0000-0002-0059-5257)

<sup>1</sup>Laboratorio de Acústica. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, N.L., 66450, México

<sup>2</sup>Departamento de Acústica. ARQUICUST SRL. Gualguaychú, 2820, Entre Ríos, Argentina

#### Resumen

Con el desarrollo de las plantas aerogeneradoras se ha vuelto a poner atención a los sonidos de baja frecuencia e infrasonido (SBFI). En este contexto se ha vuelto evidente la necesidad de revisar la instrumentación y las normas relacionadas con la evaluación de los SBFI y el efectuar mediciones en las ciudades. En esta conferencia se presentan resultados de mediciones preliminares realizadas durante la parte práctica del curso «Sonidos de baja-frecuencia e infrasonidos (SBFI)» organizado por la FIME-UANL como parte del Programa de Profesores Invitados, en particular sobre la presencia de sonido de baja frecuencia e infrasonido en la vida cotidiana de la ciudad de Monterrey en México generados por los sistemas de transporte colectivo integrado por camiones urbanos y el metro, usados por cientos de miles de personas. De los resultados se confirma la presencia de SBFI, los cuales deberán ser considerados en estudios y acciones ambientales futuras.

**Palabras clave:** Acústica, baja-frecuencia, infrasonido, ruido en ciudades, Monterrey.

#### Abstract

With the development of wind turbine plants, attention has been drawn again on sounds of low-frequency and infrasound (SLFI). In this context, it becomes evident the need to review the equipment and the standards related to the evaluation of SLFIs, especially in cities. This work presents the results of preliminary measurements, made during the practical part of the course "Sounds of low-frequency and infrasound (SLFI)" organized by FIME-UANL as part of the Guest Professors Program, in particular on the presence of low frequency sounds and infrasound in the daily life of the city of Monterrey in Mexico, generated by the City Transport Systems, integrated by urban busses and a metro, which is used by hundreds of thousands of people. The results confirm the presence of SLFIs, which should be considered in future environmental studies and actions.

**Keywords:** Acoustic, low frequency, infrasound, city noises, Monterrey.

#### Resumo

Com o desenvolvimento das turbinas eólicas, a atenção foi dada novamente aos sons de baixa frequência e infrassom (SBFI). Nesse contexto, tornou-se evidente a necessidade de rever a instrumentação e as normas relacionadas à avaliação das SBFIs e das medidas da cidade. Esta conferência apresenta os resultados das medições preliminares realizadas durante a parte prática do curso "Sons de baixa frequência e infrassom (SBFI)" organizado pela FIME-UANL no âmbito do Programa de Professores Convidados, em particular sobre a presença de som e infrassom de baixa frequência na vida cotidiana da cidade de Monterrey, no México, gerada pelos sistemas de transporte coletivo integrados por caminhões urbanos e pelo metrô, utilizados por centenas de milhares de pessoas. Os resultados confirmam a presença de SBFI, o que deve ser considerado em futuros estudos e ações ambientais.

**Palavras-chave:** Acústica, baixa frequência, infrassom, ruído nas cidades, Monterrey.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el establecimiento de una definición estadística, redondeada, se estableció que el sonido se encuentra en el rango de frecuencias ‘audibles’ de aproximadamente 20 a 20 000 Hz, y se planteó, como en la óptica, la existencia de ondas elásticas por debajo y encima de dicho intervalo, los cuales fueron denominados: infrasonido y ultrasonido.

Estas regiones interactúan con el hombre en formas principalmente no auditivas, y han seguido su desarrollo independientemente, pero en el caso del infrasonido con menos éxito que el ultrasonido, esto debido a muchos factores, siendo los principales, los problemas de metrología, la falta de Normas sencillas y claras y un mercado mucho más limitado.

El desarrollo en la última década de equipos que genera sonidos con rangos crecientes hacia los graves, ha generado un nuevo interés en los fenómenos acústicos de las baja-frecuencias y el infrasonido. A lo anterior debe añadirse mejoras en los sonómetros y en la metrología, aunque aún, en los equipos de uso general, limitadas.

## 2. ANTECEDENTES

Como parte del Programa de Profesores Invitados que organiza el Cuerpo Académico de Acústica y Vibraciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FIME-UANL), en la semana del 7 al 11 de octubre de 2019, se llevó a cabo el curso «Sonidos de baja-frecuencia e infrasonidos (SBFI)» impartido por el Mag. Walter Alfredo Montano Rodríguez, que tuvo una duración de cuarenta horas cátedra.

Este curso contempló, además de las clases teóricas, sesiones prácticas dentro de las cuales se efectuaron mediciones de infraestructura y vehículos urbanos típicos de ciudad, tanto dentro como fuera del campus de la UANL, incluyendo los sonidos en baja-frecuencias e infrasonidos.

Las mediciones realizadas tenían como objetivo recopilar datos reales de campo, que permitan evidenciar la existencia de ruido ambiental en el intervalo de las baja-frecuencias e infrasonidos en la actividad cotidiana en la ciudad de Monterrey.

La UANL viene realizando mediciones normalizadas de ruido desde hace más de 50 años, incluso antes de que México publicara reglamentos federales en materia

de ruido. El presente estudio se distingue de los anteriores porque suministra información ambiental en un rango de frecuencias escasamente estudiado en las ciudades, que es el de los *sonidos de baja-frecuencia e infrasonidos*, para advertir la existencia de esta problemática en la ciudad Monterrey.

En esta ponencia sólo se contemplará la información experimental obtenida relacionada con vehículos de transporte colectivo urbano en la Zona Metropolitana de la Cd. de Monterrey, México (ZMM), fuentes cotidianas en la ciudad:

- Nivel de SBFI de viaje en camión, de 20 minutos de duración.
- Nivel de SBFI en una plaza abierta con paso de camiones, de 12 minutos de duración.
- Nivel de SBFI en acera de mercado con paso de camiones, de 12 minutos de duración.
- Nivel de SBFI de viaje en metro, de 16 minutos de duración.

La publicación de este artículo se demoró a consecuencia del confinamiento que produjo la pandemia por la COVID, ya que el resultado de las mediciones quedó en las memorias de los sonómetros, que estuvieron en el depósito del laboratorio de acústica dentro de la FIME.

## 3. METROLOGÍA

La problemática de la instrumentación y metodología para la medición de sonidos de baja frecuencia e infrasonido no ha sido resuelta para fines prácticos y se está aún lejos de un acuerdo internacional.

La discusión va desde que parámetro medir, como resolver la instrumentación a nivel de reglamentos operativos a nivel ingenieril, cuántos puntos y donde realizar las mediciones, y hasta como presentar los resultados para que sean comparables.

Por lo dicho debe tenerse claro que este estudio busca únicamente reconocer la presencia de sonidos de baja frecuencia e infrasonidos en un contexto de ciudad y solo de algunas de sus fuentes sonoras.

### 3.1. Instrumentación

Para las mediciones sonoras se utilizaron dos sonómetros clase 1 que cumplen con la Norma IEC 61672-1:2013:

- BSWA® modelo 308, con curvas de ponderación A, B, C, Z; bandas por tercios de octava [de 6.3 Hz a 20 kHz]; micrófono de 12.7 mm (BSWA, n.d.).

- CESVA® modelo SC310 con ponderaciones A, C y Z; bandas por tercios de octava desde [de 10 Hz a 20 kHz]; micrófono de 12.7 mm (CESVA, n.d.).

Se verificó el funcionamiento de los sonómetros antes y después de las mediciones con un calibrador sonoro B&K tipo 4230 de clase 1.

La altura de medición de los micrófonos dependió del escenario que se registró:

- ✓ Altura del oído, en los medios de transporte.
- ✓ A 1,5 m del suelo, en mediciones sobre la acera.

Los sonómetros entregan valores numéricos de los Niveles Sonoros Continuos Equivalentes (NSCE) (dB re. 20 µPa) en formato texto que fueron procesados informáticamente, los registros no son archivos de sonido digital. Dado que el experimento está centrado en analizar qué es lo que sucede durante todo el intervalo de tiempo de exposición a los SBFI, los sonómetros se programaron para registrar la medición en subintervalos:

- BSWA308, un registro cada 0.5 s de 41 valores de NSCE.
- CESVA SC310, un registro cada 0.125 s de 44 valores de NSCE.

Para el procesamiento de los datos de las mediciones se utilizó un programa aplicativo desarrollado en .NET Framework para utilizar la librería de funciones disponibles en Internet, y los algoritmos de cálculo están escritos en lenguaje C#; se usó este sistema porque permite la compilación justo a tiempo (JIT en inglés) que permite ejecutar el código en subprocesos en segundo plano con todos los núcleos del procesador, acelerando así la velocidad de cómputo.

### 3.2. Criterios, normas sobre ruido de baja-frecuencia e infrasonido

Dado que no existe legislación específica en México con protocolos de cómo se debe registrar, evaluar y analizar los SBFI, se tomaron las referencias de las Normas ISO 1996: parte uno (ISO, 2016) y parte dos (ISO, 2017), y para los infrasonidos se utilizó la Norma ISO 7196 que presenta la curva de ponderación en frecuencia G (ISO, 1995), pero limitada a la frecuencia inferior que soporta cada sonómetro.

Los valores del NSCE calculados en este trabajo con la ponderación en frecuencia G es aproximado, y está limitado a los siguientes intervalos:

- De 6,3 Hz a 250 Hz, para el sonómetro BSWA308.
- De 10 Hz a 250 Hz, para el sonómetro CESVA SC310.

En este artículo se utilizan las referencias internacionales, por lo que, para evitar posibles confusiones, los rangos de frecuencia utilizados se establecieron como:

- ✓ Los de baja frecuencias entre los 16 Hz y 200 Hz, de acuerdo con la ISO 1996-2.
- ✓ Los de infrasonidos por debajo de los 16 Hz.

En la Figura 1 se muestran cuatro curvas de ponderación normalizadas, donde se muestra cómo la curva «G» es como un filtro pasa banda, que por un lado busca excluir los sonidos en el rango audible y por otro lado considerar los posibles efectos sobre humanos en baja frecuencia y sobre todo infrasonidos. La medición en valores de dBA está popularizada y pocas veces se aclara que no es un descriptor de ruido adecuado para analizar los SBFI (Montano, 2020, 2021) (Elizondo et al., 2022), a pesar de que sí está mencionada esta situación desde 1999 por la OMS en su documento *Guías para ruido comunitario* (Berlung et al, 1999), y por la Norma ISO 1996 parte 1 en su acápite 5.1.1 «La ponderación en frecuencia A se usa excepto para sonidos de impulso de alta energía o sonidos con fuerte contenido en la baja-frecuencia» (ISO, 2016).

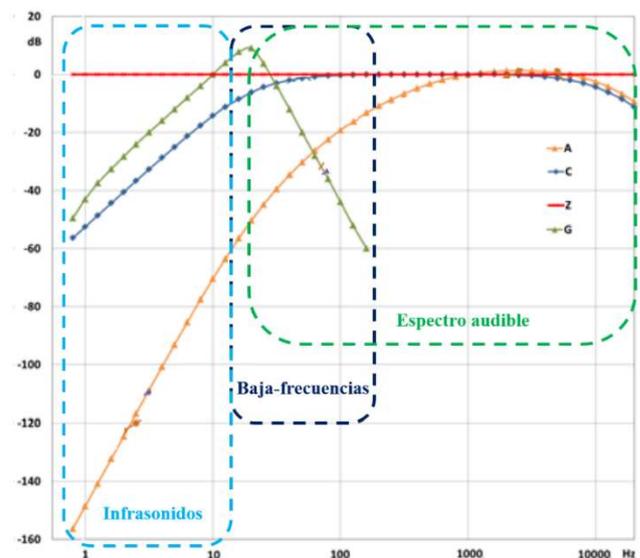


Figura 1. Curvas de ponderación en frecuencia «A», «C», «Z» y «G». Nota. Diseño propio

#### 4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Para los fines de esta ponencia, de las diferentes mediciones realizadas se seleccionaron solo 4 casos correspondientes a sonidos producidos por fuentes cotidianas en la ciudad, específicamente vehículos urbanos de transporte colectivo, tanto dentro de ellos como emitidos hacia afuera.

Para cada uno de los casos se presenta una gráfica (Fig. 3, Fig. 5, Fig. 9, Fig. 13) que muestra la evolución temporal del NSCE con dos curvas de ponderación, a saber:

- **Color rojo**, la ponderación «Z» que se corresponde con el nivel de presión sonora real (Lineal).
- **Color añil**, la ponderación «A» que es una convención internacional sobre cómo supuestamente el oído prescribe los sonidos de baja intensidad.

Esta es una forma pedagógica de mostrar el efecto del nivel de presión sonora real al que se exponen las personas, ya que los valores expresados en dBA dan una idea errónea de la energía en las baja-frecuencias y nula apreciación de los infrasonidos.

En las cuatro gráficas mencionadas que presentan la evolución temporal del nivel sonoro, se observa que:

- En muchas ocasiones la curva en dBZ ‘no coincide’ con la curva en dBA,
- Hay máximos relativos en dBZ que no se manifiestan en dBA,
- Hay máximos relativos en dBA que no se manifiestan en dBZ, que se expresan mediante el descriptor de ruido normalizado  $L_{Amáx}$

Lo anterior es a consecuencia del filtrado en frecuencia que tiene la ponderación «A», es por esta razón que se grafican en una misma figura la curva dBA y dBZ, y así tener una fuente de datos adicional para una posterior evaluación del comportamiento del nivel sonoro.

Se presentan también gráficas que muestran la comparación de los espectros en valores de dBZ (Fig. 4, Fig. 6, Fig. 10, Fig. 14) registrados por ambos sonómetros. En los espectros se resalta el intervalo de frecuencias considerado en los SBFi y para cada curva se indican sus valores equivalentes en dBA y dBC, así el lector puede tener una mejor idea de comparación del nivel sonoro para una misma medición expresado con distintos descriptores de ruido; además, se resumen en una tabla para cada uno de los casos

(Tablas 1 a 4) el nivel sonoro continuo equivalente en las cuatro ponderaciones en frecuencia consideradas en dBA, dBC, dBZ y dBG.

#### 4.1. Mediciones relacionadas con Camiones Urbanos

##### 4.1.1. Mediciones durante viaje en camión. Resultados del nivel de SBFi

Se hizo una medición en dos puntos de medición dentro de un camión de transporte colectivo urbano: uno detrás del conductor, otro al fondo frente a la puerta de salida (ver Figura 2).



Figura 2. Viaje en camión. Fotografías tomadas dentro de un camión urbano típico

El viaje tuvo una duración de 20 minutos desde el Campus de la UANL hasta la Plaza del Colegio Civil en el centro de Monterrey. En la Figura 3 se presenta la evolución temporal del NSCE, donde se puede ver el comportamiento del sonido distinguiéndose los instantes de tiempo cuando el camión estuvo detenido o en marcha. Es importante considerar que las ventanas del camión permanecían cerradas.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del NSCE de todo el intervalo del tiempo medido con diferentes descriptores de ruido para cada curva de ponderación en frecuencia, registrados en simultáneo por ambos sonómetros en cada punto de medición.

Tabla 1. Viaje en camión. NSCE registrado en cada punto de medición con  $T = 20$  min

Posición del micrófono	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{Zeq,T}$	$L_{Geq,T}$
Detrás del conductor	71.2	94.8	101.4	104.5
Último asiento	75.7	96.6	101.1	103.2

De la figura 3 y la tabla 1 se tiene que hay una gran diferencia en decibeles entre las mediciones en ponderación A comparadas con Z y G. Para las

mediciones equivalentes detrás del conductor  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 30.2$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 33.3$  dB y para las mediciones en el último asiento  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 25.4$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 27.5$  dB. Esto indica que hacia dentro

del camión, el motor de combustión interna emite significativamente sonidos de baja frecuencia e infrasonido.

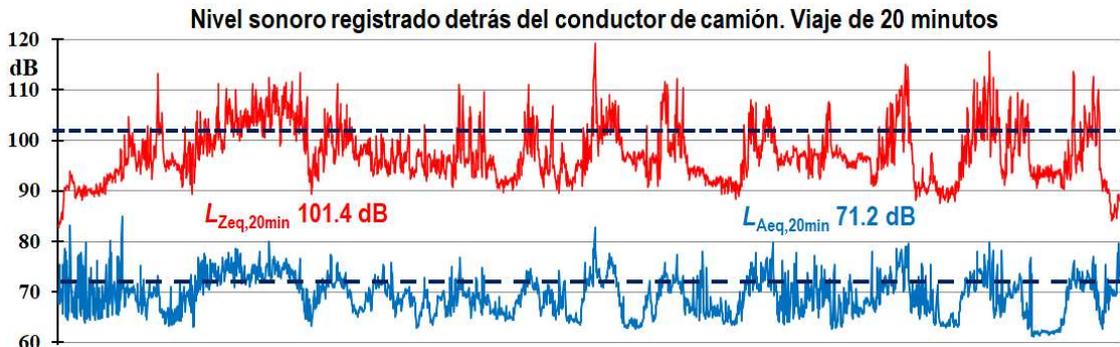


Figura 3. Viaje en camión. Evolución temporal del NSCE en dBZ y dBA

En la Figura 4 se presenta la comparación de los espectros sonoros registrados en dBZ, en cada punto de medición, donde se observa el alto nivel de presión sonora en el intervalo de los SBFI, a consecuencia de la presencia de una fuente artificial emisora de esa energía, en este caso el conjunto motor/chasis del camión.



Figura 4. Viaje en camión. Comparación de espectros sonoros en cada punto de medición

Esto refuerza los resultados obtenidos de las figuras 3 y tabla 1, y muestra las frecuencias preponderantes, las cuales, dentro del rango medido, están en las bandas de 1/3 de octava de entre 10 y 25 Hz.

**4.1.2. Medición en plaza abierta. Resultados del nivel de SBFI**

En la Plaza del Colegio Civil se encuentra en una zona comercial, con puestos feriales de artesanías (que son de tela) sobre la acera de la avenida Benito Juárez, significando esto que las personas que ahí laboran están expuestas a la energía acústica de los SBFI.

En la Figura 5 se presenta la evolución temporal del NSCE en la acera de la plaza, donde se ve una ‘variación’ del nivel sonoro registrado, porque cuando el semáforo se pone en verde se incrementa el nivel sonoro, y se reduce cuando el semáforo se pone en rojo; se observa también que muchos instantes la curva «Z» no tiene el mismo comportamiento que la curva «A».

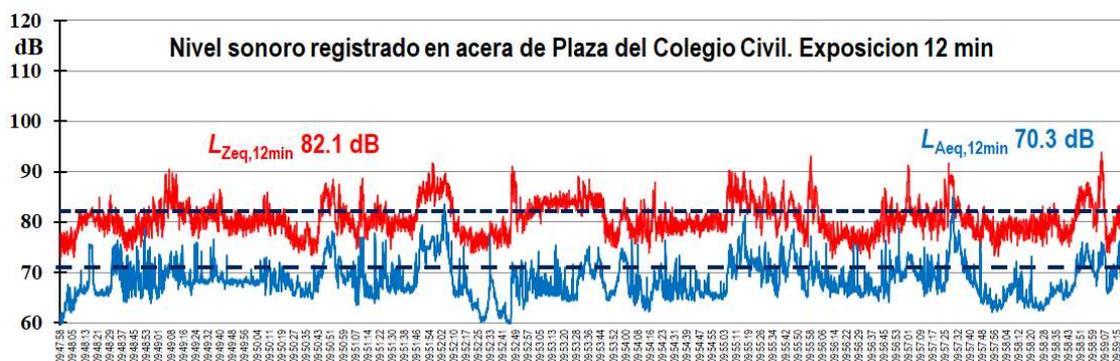


Figura 5. Plaza del Colegio Civil. Evolución temporal del NSCE en dBA y dBZ

En la Tabla 2 se presentan los resultados del NSCE de todo el intervalo del tiempo con diferentes descriptores de ruido para cada curva de ponderación en frecuencia, registrados en simultáneo por ambos sonómetros en cada punto de medición en esta ubicación.

Tabla 2. Plaza del Colegio Civil. NSCE registrado en cada punto de medición con T=12 min

Posición del micrófono	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{Zeq,T}$	$L_{Geq,T}$
En esquina	68.6	80.1	81.7	73.0
Al centro	70.3	80.6	82.1	74.2

De la figura 5 y la tabla 2 se tiene la diferencia en decibeles entre las mediciones en la acera, una en el centro y otra cercana a la esquina (ubicación de semáforos), en ponderación A comparadas con Z y G. Para las mediciones en la esquina de la plaza  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 13.1$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 4.4$  dB y para las mediciones en el centro de la acera oriente de la plaza  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 11.8$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 3.9$  dB. Esto debido al paso de vehículos de todo tipo por los puntos de medición, los sonidos de sistemas de audio usados para publicidad y el sonido de personas hablando, pasando cerca del punto de medición, todas fuentes típicas de zonas comerciales. Aunque los motores de los camiones tienen SBFI como su efecto no es constante no incrementa mucho los valores equivalentes medidos.

En la Figura 6 se presenta la comparación de los espectros sonoros registrados en dBZ en la acera de la plaza, en el centro y cerca de la esquina, donde se observa que no hay diferencia significativa entre el centro y cerca de la esquina de la plaza en el rango de SBFI y que predomina el ruido en el rango audible producto de todas las fuentes sonoras en la plaza. La componente de baja frecuencia e infrasonido disminuye a como baja la frecuencia y se observa como el nivel de presión sonora se concentra entre los 25 Hz y 100 Hz con un máximo en los 40 Hz, que se corresponden con el ruido de las fuentes artificiales emisoras de esa energía, en este caso el de los motores y tubos de escape de los vehículos y camiones que por ahí circulan.

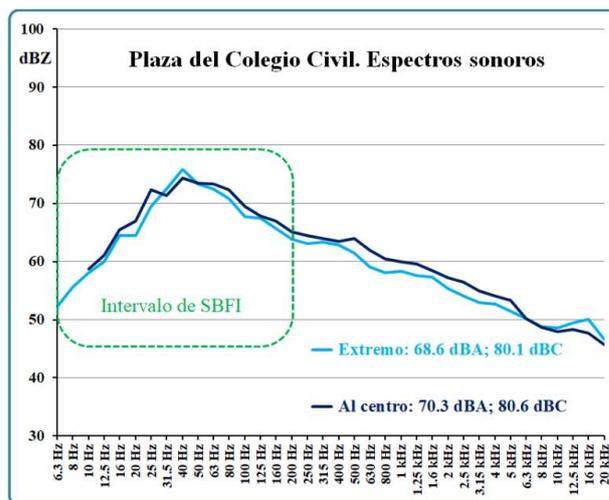


Figura 6. Plaza del Colegio Civil. Comparación de espectros sonoros en cada punto de medición

En la Figura 7 se presentan fotografías tomadas durante las mediciones sobre la acera de la plaza de la Av. Benito Juárez.



Figura 7. Plaza del Colegio Civil. Fotografías tomadas durante las mediciones

Las mediciones en esta plaza fueron realizadas en condiciones de campo abierto y libre de reflexiones, tal como se puede ver en las fotos de la Figura 8.

#### 4.1.3. Medición en acera de mercado. Resultados del nivel de SBFI

En la avenida Benito Juárez, a dos cuadras de la Plaza del Colegio Civil, se encuentra el *Mercado Juárez*. Los locales gastronómicos con puerta hacia la acera son abiertos, por lo que tanto comensales como trabajadores dentro del mercado están expuestos a las emisiones de ruido del tráfico vehicular, con gran cantidad de pasada de camiones con escapes abiertos cuyo espectro de ruido predomina en los SBFI.



Nota. Las imágenes del Google® son del 2020 durante la pandemia de COVID, por esto es por lo que no se encontró la feria de artesanos  
 Figura 8. Foto satelital e imágenes de la Plaza del Colegio Civil

En la tabla 3 se presentan los resultados del NSCE de todo el intervalo del tiempo medido con diferentes descriptores de ruido para cada curva de ponderación en frecuencia, registrados en simultáneo por ambos sonómetros en cada punto de medición en esta ubicación.

Tabla 3. Mercado Juárez. NSCE registrado en cada punto de medición con T = 12 min

Posición del micrófono	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{Zeq,T}$	$L_{Geq,T}$
En esquina	75.1	84.4	85.7	76.0
Al centro	74.4	82.7	84.1	76.4

De la figura 9 y la tabla 3 se tiene la diferencia en decibeles entre las mediciones en la acera, una en el centro y otra cercana a la esquina del mercado por la calle Juárez. Para las mediciones en la esquina de la plaza  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 10.6$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 0.9$  dB y para las mediciones en el centro de la acera poniente del mercado  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 9.7$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 2$  dB. Esto

debido al paso de vehículos de todo tipo por los puntos de medición, el sonido de personas hablando, pasando cerca del punto de medición, fuentes típicas de zonas comerciales. Aunque los motores de los camiones tienen SBFi como su efecto no es constante no incrementa mucho los valores equivalentes medidos.

En la Figura 10 se presenta la comparación de los espectros sonoros registrados en dBZ, en cada uno de los puntos de medición, donde se observa que no hay diferencia significativa entre los espectros medido con ponderación Z y que predomina el ruido en el rango audible producto de todas las fuentes sonoras en la acera del mercado y la calle. El nivel de presión sonora se concentra entre los 25 Hz y 100 Hz con un máximo en los 40 Hz, que se corresponden con el ruido de las fuentes artificiales emisoras de esa energía, en este caso el de los motores y tubos de escape de los vehículos y camiones que por ahí circulan.

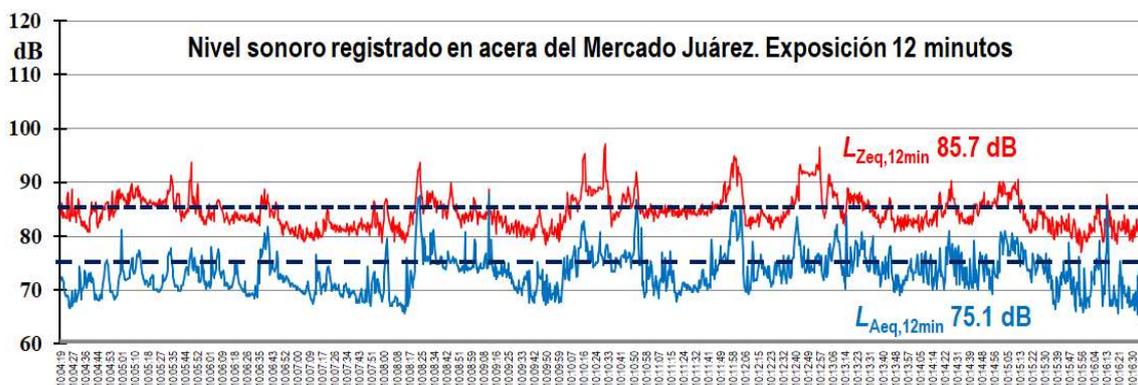


Figura 9. Mercado Juárez. Evolución temporal del NSCE en dBA y dBZ.

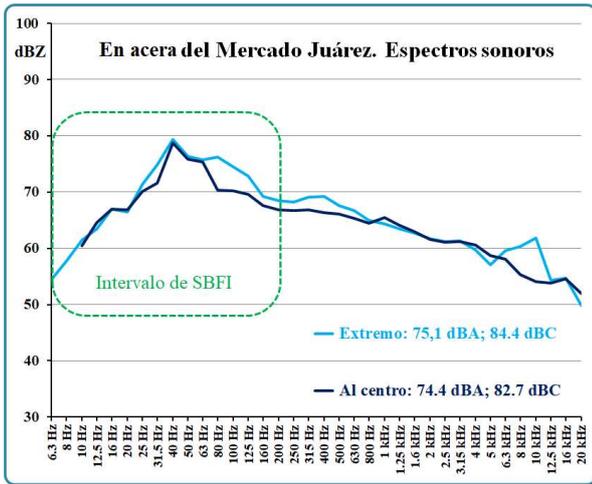


Figura 10. Mercado Juárez. Comparación de espectros sonoros en cada punto de medición.

En la Figura 11 se presentan fotografías tomadas durante las mediciones sobre la acera de la plaza de la Av. Benito Juárez, que ilustran la situación en cada punto.



Figura 11. Mercado Juárez. Fotografías tomadas durante las mediciones



Nota. Las imágenes del Google® son de octubre de 2019.

Figura 12. Foto del frontis del Mercado Juárez

Para tener una mejor idea de la arquitectura urbana del lugar en el que se hicieron las mediciones sonoras, en la Figura 12 se presentan fotos del frontis de este mercado.

**4.2. Mediciones durante viaje en el Metro.**

El sistema de transporte colectivo METRO de la ciudad de Monterrey es un sistema eléctrico en partes elevado en partes subterráneo. Se hizo una medición en dos puntos dentro del primer vagón, el que posee motores impulsores, una en el centro y otra en un extremo. El viaje tuvo una duración de 16 minutos saliendo de la estación Fundadores a estación Universidad, en el Campus de la UANL, por lo que la primera parte del viaje fue subterráneo y luego por vía elevada.

En la figura 13 se muestran los registros de las mediciones tanto en ponderación «A» como en «Z» durante todo el trayecto del viaje realizado.

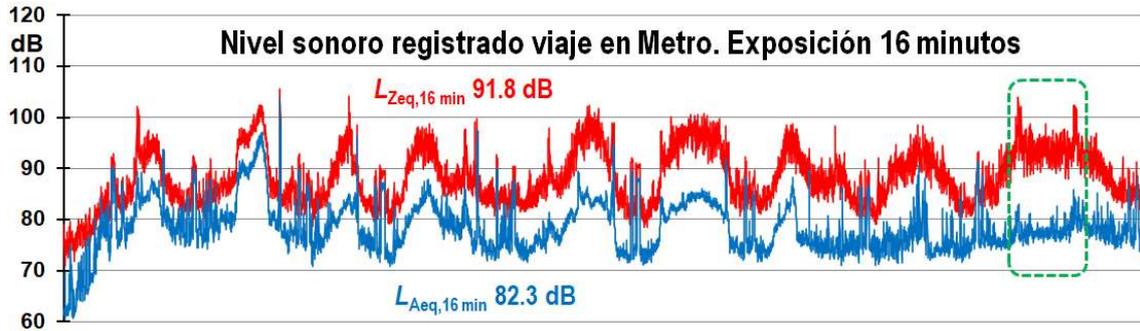


Figura 13. Viaje en Metro. Evolución temporal del NSCE en dBA y dBZ.

En la tabla 4 se presentan los resultados del NSCE de todo el intervalo del tiempo medido durante el viaje, con diferentes descriptores de ruido para cada curva de ponderación en frecuencia, registrados en simultáneo por ambos sonómetros en cada punto de medición.

Tabla 4. Viaje en Metro. NSCE registrado durante en cada punto de medición con T = 16 min.

Posición del micrófono	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{Zeq,T}$	$L_{Geq,T}$
Extremo	82.3	88.5	91.8	93.1
Al centro	81.7	88.7	92.3	94.2

De la figura 13 y la tabla 4 se tiene que la diferencia en decibeles entre las mediciones en ponderación A comparadas con Z y G, son para las mediciones equivalentes durante el viaje, en el extremo del vagón  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 9.5$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 10.8$  dB y para las mediciones en el centro del vagón  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 10.6$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 12.5$  dB. Esto indica la presencia de SBF1.

Para conocer la exposición sonora a los SBF1 durante un solo viaje entre dos estaciones, en la tabla V se presenta el resumen del NSCE integrado durante los 75 segundos que duró ese trayecto, y es el que está identificado en verde en la Figura 13.

Tabla 5. Viaje en Metro. NSCE registrado en cada punto de medición durante trayecto de T=75 segundos.

Posición del micrófono	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{Zeq,T}$	$L_{Geq,T}$
Extremo	78.5	93.6	100	103.2
Al centro	77.6	92.1	98.1	101.4

En este caso las mediciones equivalentes durante el trayecto entre 2 estaciones, fue en el extremo del vagón  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 21.5$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 24.7$  dB y para las mediciones en el centro del vagón  $L_{Zeq} - L_{Aeq} = 20.5$  dB y  $L_{Geq} - L_{Aeq} = 23.8$  dB. Es notable el incremento

en los SBF1 recibido en equivalente, o sea que los tiempos de los vagones detenidos en las estaciones reducen en formas importante la dosis de baja frecuencia e infrasonidos recibido por los pasajeros.

En la Figura 14 se presenta la comparación de los espectros sonoros registrados en dBZ, en cada uno de los puntos de medición, donde se observa el alto nivel de presión sonora en el intervalo de los SBF1, a consecuencia de que está presente una fuente artificial emisora de esa energía, en este caso el conjunto motor/chasis/colector de corriente del vagón impulsor.

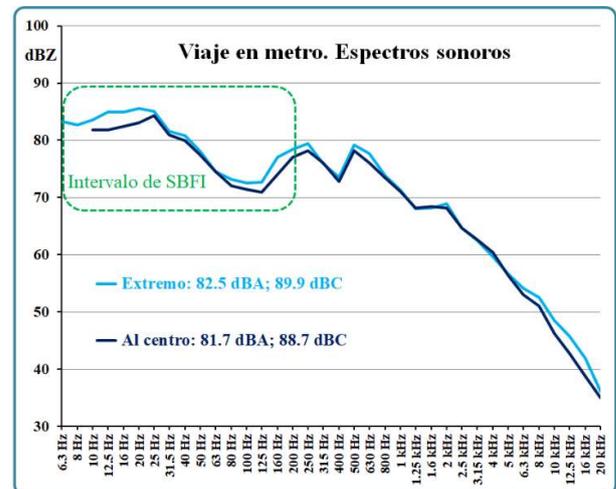


Figura 14. Viaje en Metro. Comparación de los espectros sonoros en cada punto de medición

En la Figura 14 se puede observar que para los dos puntos de medición los espectros en dBZ son prácticamente iguales, con alto nivel de presión sonora en el intervalo de los SBF1, generado principalmente durante el movimiento de los vagones. Las frecuencias preponderantes fueron en las bandas de 1/3 de octava desde 6.3 a 40 Hz.

En la Figura 15 se presentan fotografías tomadas durante las mediciones dentro del primer vagón del metro, que tiene motores impulsores.

## 5. DISCUSIÓN DEL RESULTADO

Comparando los niveles sonoros en dBZ para un viaje en camión respecto uno en metro, se observa que las personas están expuestas a mayor nivel de SBFi en el camión, siendo una de las causas que el motor a combustión nunca se apaga en cambio el del metro al ser eléctrico se apaga cuando está detenido en las estaciones.

El espectro sonoro registrado en el interior del camión posee mayor contenido de tonos en el intervalo de frecuencias de los SBFi, por la vibración del motor, del ruido del tubo de escape, y la vibración de otras partes de la carrocería por coincidencias mecánicas. La presencia de los SBFi es significativamente alta.

En el caso del metro, la diferencia sonora entre cuando el vehículo está en movimiento y cuando está detenido en las estaciones, hace que la dosis de ruido sea menor cuando está en las paradas. En la fig. 13 que muestra la evolución temporal del SBFi de un viaje en metro, se observan también máximos relativos altos, que están relacionados con la purga de los compresores cuando liberan la presión en el sistema de apertura/cierre de puertas.

Los niveles sonoros en dBZ entre los registrados en la Plaza Colegio Civil son más bajos que los registrados en la acera del Mercado Juárez, porque el lugar es un gran espacio abierto y los sonómetros estuvieron a más de 30 m de distancia de superficies de reflexión, en cambio sobre la acera del Mercado Juárez los sonómetros si bien estuvieron a 3.5 m del frontis de la edificación, la presencia de las marquesinas contribuye a incrementar las reflexiones sonoras. En ambos espectros la energía de los SBFi se concentra alrededor de la frecuencia de tercio de octava de los 40 Hz, que se debe principalmente a la frecuencia de operación de los motores de combustión de los camiones. Para la medición en la plaza, un punto se ubicó al lado de la parada (paradero) de pasajeros, por lo que el nivel sonoro es más alto respecto al otro punto, porque se está más expuesto al ruido de los camiones

Tecnológicamente los camiones usados generalmente en la ZMM no están optimizados desde el punto de vista acústico, pues los motores no están encapsulados, esto es: hay aberturas que permiten la salida del sonido hacia el medio ambiente, e incluso a las personas que descienden del camión o a las que están en la acera esperando en la parada, tal como se ve en las fotografías de la Figura 16.

Respecto al primer vagón del Metro, en él estaban los motores impulsores y los pantógrafos colectores de corriente eléctrica, tal como se puede ver en la figura 17.



Figura 15. Viaje en Metro. Fotografías dentro de un vagón típico del METRO en la ZMM

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que actividades cotidianas, como es el transportarse en las ciudades, específicamente en la Zona metropolitana de Monterrey, expone a las personas a sonidos de bajas

frecuencias e infrasonido. En este caso se trata de miles de personas diariamente, principalmente expuestos al ruido de los vehículos del sistema de camiones colectivos urbanos (con motores de combustión interna) y el sistema del Metro (con motores eléctricos), tanto dentro como fuera de los vehículos.

La energía acústica a la que están expuestas las personas, incide parcialmente sobre la audición (bajas frecuencias) pero implica la recepción de energía fuera del rango audible que llega y entra al cuerpo humano generando diferentes efectos en las personas, actualmente internacionalmente en estudio. (NTP, 2001).

Los resultados obtenidos para el caso de Monterrey indican que las personas viajando en los camiones urbanos están más expuestas a sonidos de baja frecuencia e infrasonidos con respecto a los que viaja en Metro.



Figura 16. Fotografías de parte trasera de camiones, donde se puede observar la parrilla de entrada de aire al motor



Figura 17. Fotografías de un vagón de Metro, que lleva los motores impulsores.

Los resultados de este estudio muestran también que los niveles sonoros medidos en las aceras de las calles con presencia de camiones urbanos son, en cuanto a SBFI, menores que los existentes dentro de los vehículos; y que espectralmente en las calles predominan los sonidos de baja frecuencia mientras que dentro de los vehículos los infrasonidos son mayores.

En base a lo medido y analizado, es nuestra opinión que es preferible, en lugar de la tradicional comparación entre dBC y dBA (OMS), el utilizar para evaluar la presencia de SBFI la comparación entre dBZ y dBA mientras se desarrollen criterios bien justificados para los diferentes casos de generación de sonidos de baja-frecuencia e infrasonidos.

Los resultados justifican una revisión de las condiciones acústicas de los vehículos de transporte colectivo de la Zona Metropolitana de Monterrey.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, especialmente al equipo de investigadores de su *Laboratorio de Acústica*, y a los participantes del curso de SBFI, por la colaboración durante las mediciones de campo (especialmente a Samuel Pérez T. y Oscar Zapata por compartir sus fotografías).

## DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Los autores no alojan sentimientos contra la tecnología, consideran que las actividades comerciales son importantes para las sociedades modernas; presentan esta ponencia bajo una única agenda de investigación científica y no está 'produciendo un

informe' que argumente en contra de ningún desarrollo industrial o actividad comercial.

## REFERENCIAS

- Berglund, B; Lindvall, T; Schwela, D.H. & World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team (1999) Guidelines for community noise. *World Health Organization*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>
- BSWA (n.d.) BSWA 308 Class 1 octave sound level meters updating the dual-core (DSP+ARM) architecture to single chip ARM [http://www.bswa-tech.com/?p=566&a=view&r=589&city\\_name=](http://www.bswa-tech.com/?p=566&a=view&r=589&city_name=)
- CESVA (n.d.) SC310 Sonómetro y Analizador de espectro. Sonómetro integrador Clase 1 ampliable a Analizador de espectros en tiempo real por tercios de octava, Barcelona. [https://download.cesva.com/datasheets/sc310\\_es.pdf](https://download.cesva.com/datasheets/sc310_es.pdf)
- Elizondo-Garza, F. J.; Montano, W.A. (2022) Ruido urbano en baja-frecuencias e infrasonidos. Estudio de cuatro casos en Monterrey, México. Memoria del 27 Congreso Internacional Mexicano de Acústica, En línea, México, 27 y 28 de octubre de 2022.
- ISO (1995) ISO 7196:1995 Acoustics — Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements.
- ISO (2016) ISO 1996-1:2016 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
- ISO (2017) ISO 1996-2:2017 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels.
- Montano, W.A.; Gushiken, E.I. (2019) Infrasound and low frequency noise immission from pipelines. Improving the ISO 1996-2:2017 proposed methods. Cases studies conducted at Los Andes and Peruvian rainforest. *Journal Akustika*. Czech Republic. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85073964328&partnerID=MN8TOARS>
- Montano, W.A.; Gushiken, E.I. (2019) Infrasound and low-frequency noise immission. Structural Vibrations Induced by industrial noise. Improving the ISO 1996- 2:2017 in order to propose a plausible standardized procedure for using in Legal noise assessment. ICA2019. <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/001036.pdf>
- Montano, W.A. (2020) Low-Frequency Noise is underestimated by dBA. After 80 years, an LFN descriptor for rating annoyance is necessary. *Journal Noise Theory and Practice*. San Petersburgo, Rusia. [http://media.noisetp.com/filer\\_public/50/f3/50f3c4f8-3c30-4031-adb8-f70ab05c78e1/noisetp2020issue1\\_6pp7-29.pdf](http://media.noisetp.com/filer_public/50/f3/50f3c4f8-3c30-4031-adb8-f70ab05c78e1/noisetp2020issue1_6pp7-29.pdf)
- Montano, W.A. (2021) Low-frequency noise and infrasound: Towards to a single de-scriptor to their assessments. 27th International Congress on Sound and Vibration. [https://iiav.org/content/archives\\_icsv\\_last/2021\\_icsv27/content/papers/papers/full\\_paper\\_721\\_20210502182014255.pdf](https://iiav.org/content/archives_icsv_last/2021_icsv27/content/papers/papers/full_paper_721_20210502182014255.pdf)
- Montano, W.A. (2021) Low-frequency noise vs dBA measurements after 80 years: Does not is time to retire the dBA? The 27th International Congress on Sound and Vibration. [https://iiav.org/content/archives\\_icsv\\_last/2021\\_icsv27/content/papers/papers/full\\_paper\\_718\\_20210501191016593.pdf](https://iiav.org/content/archives_icsv_last/2021_icsv27/content/papers/papers/full_paper_718_20210501191016593.pdf)
- NTP (2001) National Toxicology Program. Infrasound Brief Review of Toxicological Literature November 2001. [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem\\_backgr\\_ound/exsumpdf/infrasound\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem_backgr_ound/exsumpdf/infrasound_508.pdf)

# Identificación de parámetros de un sistema vibratorio no lineal utilizando algoritmos de IA

## Identification of parameters of a nonlinear vibratory system using AI algorithms

## Identificação de parâmetros de um sistema vibratório não linear utilizando algoritmos de IA

Carlos A. Lara Ochoa, [Carlos.laraoc@gmail.com](mailto:Carlos.laraoc@gmail.com) ORCID 0000-0003-4605-9211

César Guerra Torres, [cguerratorres@gmail.com](mailto:cguerratorres@gmail.com)

Laboratorio de Vibraciones Mecánicas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás, N. L. México

**Resumen.** En este artículo, se presenta una metodología para la estimación de los parámetros de un lazo de histéresis de un sistema vibratorio con amortiguamiento y rigidez no lineal, usando algoritmos genéticos.

**Palabras clave:** lazo de histéresis, sistema no lineal, algoritmos genéticos, sistema vibratorio

**Abstract.** In this paper, the results obtained in the estimation of the parameters of a hysteresis loop of a vibratory system with damping and nonlinear stiffness are presented, using genetic algorithms.

**Keywords:** hysteresis loop, non-linear system, genetic algorithms, vibratory system

**Resumo.** Neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos na estimação dos parâmetros de um laço de histerese de um sistema vibratório com amortecimento e rigidez não linear, utilizando-se algoritmos genéticos.

**Palavras-chave:** laço de histerese, sistema não linear, algoritmos genéticos, sistema vibratório.

### 1. INTRODUCCIÓN

Una parte fundamental para el control de un sistema vibratorio es el amortiguamiento, en el cual la energía vibratoria se convierte en calor o sonido. Este parámetro se puede manifestar por distintos mecanismos de acción entre los que se encuentran amortiguamiento por coulomb, fluido viscoso e histéresis. [1]; teniendo un modelo matemático representativo diferente.

En la práctica, no existe una relación lineal tanto del amortiguamiento como de la rigidez, particularmente cuando las deformaciones son grandes. La rigidez no lineal es causante de la inestabilidad en el sistema debido a la excitación paramétrica, y es típicamente un

sujeto estudiado con la estabilidad de un sistema en vibraciones no lineales [1]

Por su parte, el amortiguamiento interno de los materiales se origina en la disipación de energía asociada a defectos en la microestructura, donde se han empleado varios modelos debido a la amplia gama de materiales de ingeniería, y no hay un solo modelo que pueda representar, satisfactoriamente, las características de amortiguamiento interno de todos los materiales. [2].

Existen diferentes modelos matemáticos para representar el amortiguamiento y rigidez no lineal entre los que destaca el modelo de Bouc-Wen que relaciona la fuerza y deformación mediante una gráfica representativa conocida como lazo de histéresis; este modelo empírico incluye ciertos parámetros que al ser

empíricos se tienen que determinar por medio de experimentación y/o estimaciones. En este trabajo se presenta una metodología basada en Algoritmos Genéticos que permiten estimar dichos parámetros para poder modelar con mejor precisión un sistema vibratorio afín.

## 2. MARCO TEÓRICO

En cuanto a un sistema vibratorio, se pueden identificar dos tipos generales de amortiguamiento interno: amortiguamiento viscoelástico y amortiguamiento de histéresis. Este último término es en realidad un nombre inapropiado, ya que todos los tipos de amortiguamiento interno se asocian con histéresis de lazo (Figura 1). [2]

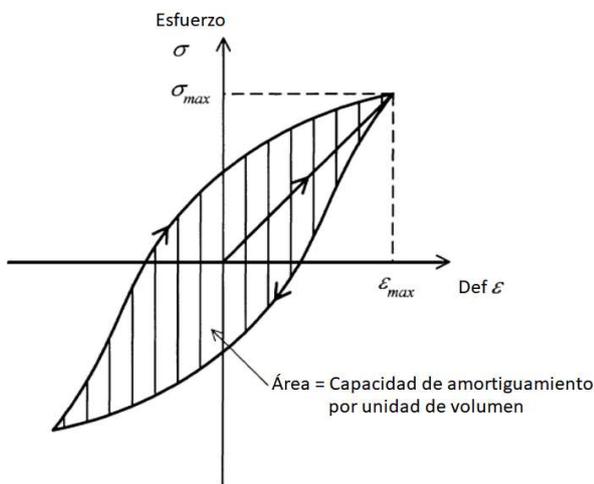


Figura 1. Representación del lazo de histéresis en amortiguamiento.

Como puede apreciarse en la Figura 1, el amortiguamiento de histéresis es un fenómeno altamente no lineal, por lo que ha de suponerse que los sistemas vibratorios con este tipo de amortiguamiento deben poseer modelos matemáticos no lineales.

Con el fin de simular el fenómeno de histéresis, han sido desarrollados algunos modelos matemáticos. Estos modelos se clasifican en dos tipos: (1) basada en el operador (los modelos que utilizan los operadores para caracterizar histéresis) y (2) a base de diferenciales (los modelos que utilizan ecuación diferencial para caracterizar histéresis).

Aun cuando se han estructurado algunos modelos para el fenómeno de histéresis [3], en este trabajo que se ha tomado de referencia el de modelo de Bouc-Wen, es un modelo endocrónico que a menudo se utiliza para

describir los fenómenos de histéresis. Fue introducido por Bouc [4] y se extendió por Wen [5], que demostró su versatilidad al producir una variedad de patrones de histéresis [6].

Debido a su naturaleza altamente no lineal, la identificación de los sistemas de Bouc-Wen constituye un problema difícil que ha sido abordado por una variedad de métodos, tales como Gauss-Newton, Modificada de Gauss-Newton, mínimos cuadrados, Simplex, Levenberg-Marquardt, Filtros de Kalman extendido, métodos de gradiente reducido, Algoritmos Genéticos (AG), evolución diferencial, Leyes de adaptación, etc. [7] [8].

El modelo de Bouc-Wen es definido por el siguiente conjunto de ecuaciones diferenciales, para un sistema de un grado de libertad [9].

$$F_k = k_e x + k_h z \tag{1}$$

$$\dot{z} = A\dot{x} + \beta|\dot{x}||z|^{n-1}z + \gamma|\dot{x}||z|^n$$

Donde  $k_e = \alpha k$ ,  $k_e = (1 - \alpha)k$ , siendo  $k$  la constante de rigidez lineal,  $\alpha$  es la relación de post y pre-cedencia,  $z$  es la fuerza restauradora histérica y  $A, n, \alpha, \beta$  son parámetros que regulan la forma del lazo de histéresis.

## 3. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el procedimiento desarrollado para estimar los parámetros  $A, n, \alpha, \beta, \gamma$  del modelo (1). Para lo anterior se hizo uso de un Algoritmo de Inteligencia Artificial perteneciente a la rama de Algoritmos Genéticos conocido como Evonorm [10].

El método tiene su sustento en la similitud ocurrida en proceso evolutivo de la humanidad, específicamente una estructura conocida como cromosoma. Dicha estructura base o cromosoma pueden ser vectores binarios, vectores reales, símbolos e inclusive estructuras más complejas como matrices, listas y árboles [10].

Para respetar la analogía con la teoría de la evolución se trabaja con poblaciones de individuos, es decir, un conjunto de soluciones potenciales todas con una misma representación común (mismo cromosoma) [11].

Es importante considerar que en todos los algoritmos evolutivos siempre se aplican los mismos procesos: Evaluación de todos los individuos de una población, selección de los individuos con los valores de evaluación más alta y generación de nuevos individuos

considerando solamente los individuos seleccionados. Estos tres procesos se aplican sucesivamente hasta que un criterio de finalización sea satisfecho [12], como se indica en la Figura 2.

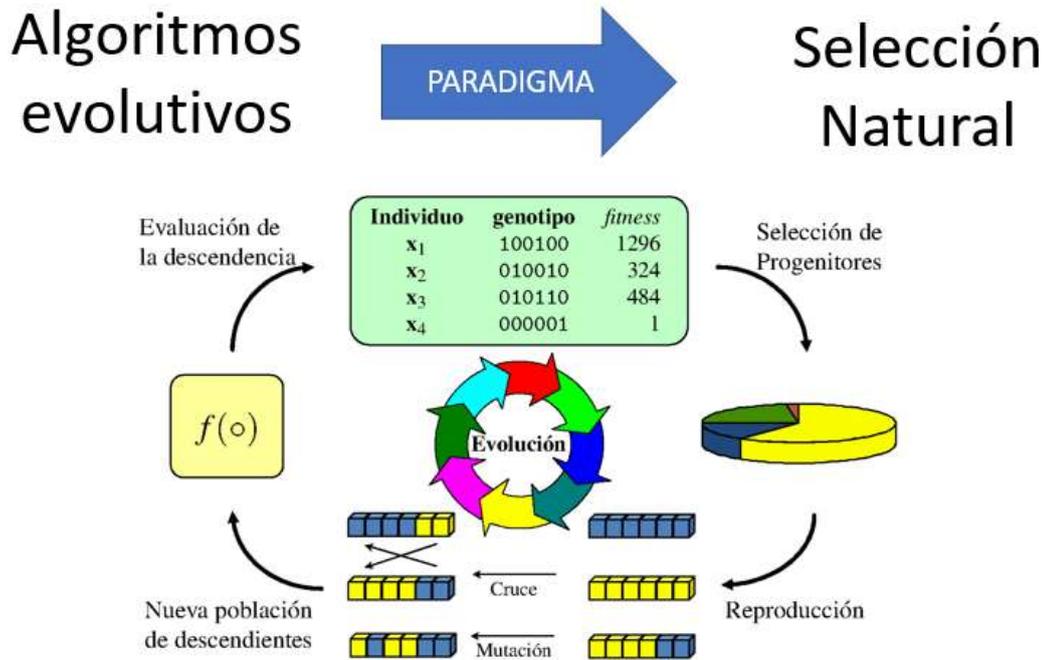


Figura 2. Explicación de un algoritmo evolutivo

Para la evaluación de la descendencia, se utilizó el modelo (1) pero en forma discreta utilizando una aproximación de Euler de primer grado [13], es decir.

$$\begin{aligned}
 F_k &= F_{k-1} + k_e \Delta x + k_h D \\
 D &= A \Delta x + \beta |\Delta x| |z_{k-1}|^{n-1} z_{k-1} + \gamma |\Delta x| |z_{k-1}|^n \\
 \Delta x &= x_k - x_{k-1}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Donde  $F_k$  es el valor de la fuerza en un instante dado y su respectiva deformación  $x_k$ , los cuales son valores que se obtendrán a partir de un lazo de histéresis conocido u obtenido mediante medios experimentales.

#### 4. RESULTADOS

Puesto que el objetivo es estimar los parámetros  $A, n, \alpha, \beta, \gamma$  del modelo (1) y que serán las variables de diseño, mientras que como función objetivo se utilizará el sistema discreto (2), por lo que las variables

de decisión serán  $[F_k, F_{k-1}, x_k, x_{k-1}]$  que son valores conocidos del lazo de histéresis a estimar para cada  $k$  muestra y su anterior  $k-1$  muestra. La selección de estos valores y el número de muestras es importante para eficientizar la corrida del algoritmo, por lo que deben ser estratégicos y minoritarios. Estratégicos porque, para este caso, se selecciono la mitad del lazo tomando como muestras: los extremos, el punto en el cruce con la vertical, así como dos puntos intermedios a los extremos del cruce con la vertical; y minoritarios para no aumentar el costo computacional del algoritmo. El resultado obtenido se muestra en la tabla 1 para diferentes corridas.

En la tabla 1 se pueden observar los valores esperados ( $\alpha=0.1, A=10, n=1.5, \beta=0.7, \gamma=0.6, k=980$ ) mientras que el resto de las filas muestra el resultado de 4 corridas y sus estimaciones.

Por último, en la figura 3 se muestra la convergencia del error del algoritmo mostrando la eficiencia del mismo contra el número de repeticiones por cada corrida.

Alfa	A	n	beta	gama	k	Err
(0.1)	(10)	(1.5)	(0.7)	(0.6)	(980)	
0.094	9.85	1.31	0.88	0.81	998.60	17
0.098	9.99	1.47	0.71	0.66	991.62	16
0.098	10.00	1.49	0.70	0.58	972.41	10
0.097	09.91	1.42	0.76	0.68	989.63	6

Tabla 1. Resultados obtenidos

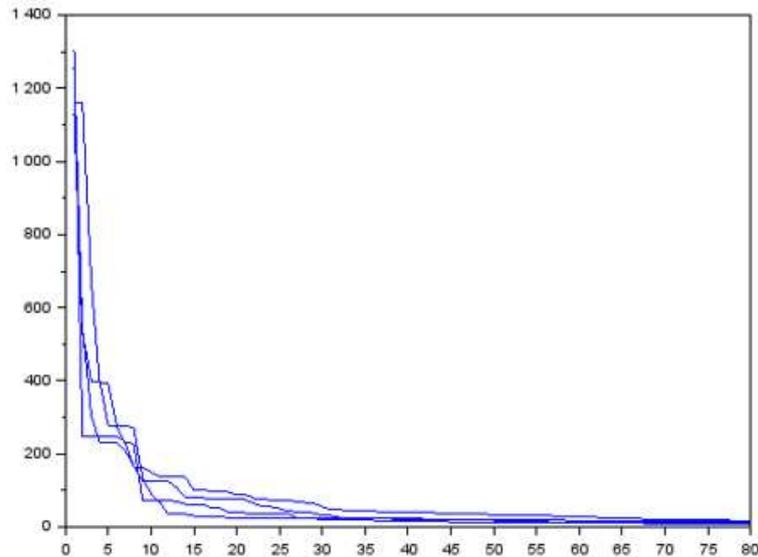


Figura 3. Convergencia del error

## 5. CONCLUSIONES

- Se utilizó un modelo de IA basado en algoritmos evolutivos para estimar los parámetros de un modelo de Bouc-Wen para un sistema vibratorio.
- Como función objetivo se hizo una combinación de la ecuación de rigidez línea y no lineal, con el de Bouc-Wen.
- Para utilizar la ecuación en la función objetivo se discretizó el modelo
- Se utilizó el algoritmo EVONORM como método heurístico para la estimación.
- Los resultados obtenidos mostraron que tanto el modelo utilizado como función objetivo y el algoritmo EVONORM, permitieron la estimación muy aceptable de los parámetros deseados, logrando bajar el error al aumentar el número de corridas.

## REFERENCIAS

- [1] Rao, S. S. (2016), *Mechanical Vibrations* (6ª ed.), Pearson.
- [2] de Silva, C. W. (2019), *Vibration Damping, Control, and Design*, Press.
- [3] Hassani, V., Tjahjowidodo, T. y Do, T. N. (2014). A survey on hysteresis modeling, identification and control. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 49(1–2), 209–233. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.04.012>
- [4] Bouc, R. (1967). Forced vibration of mechanical systems with hysteresis. *Proceedings of the 4th Conference on Non-linear Oscillations*.
- [5] Wen, Y.-K. (1976). Method for random vibration of hysteretic systems. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 102(2), 249-263. <https://doi.org/10.1061/jmcea3.0002106>
- [6] Charalampakis, A.E. & Dimou, C. K. (2010). Identification of Bouc–Wen hysteretic systems using particle swarm optimization. *Computers &*

- Structures*, 88(21-22), 1197-1205.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2010.06.009>
- [7] Charalampakis, A. E., & Koumousis, V. K. (2008). Identification of Bouc–Wen hysteretic systems by a hybrid evolutionary algorithm. *Journal of Sound and Vibration*, 314(3–5), 571–585.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.01.018>
- [8] Chatzi, E. N., Smyth, A. W., & Masri, S. F. (2010). Experimental application of on-line parametric identification for nonlinear hysteretic systems with model uncertainty. *Structural Safety*, 32(5), 326–337.  
<https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2010.03.008>
- [9] Zhu, X., & Lu, X. (2011). Parametric Identification of Bouc-Wen Model and Its Application in Mild Steel Damper Modeling. *Procedia Engineering*, 14, 318–324.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.039>
- [10] Torres, L. (2006). Evonorm: Easy and effective implementation of estimation of distribution algorithms. *Advances in Computer Science and Engineering*, 23, 75.
- [11] Lin, C.-J., Lin, C.-R., Yu, S.-K., & Chen, C.-T. (2015). Hysteresis modeling and tracking control for a dual pneumatic artificial muscle system using Prandtl–Ishlinskii model. *Mechatronics: The Science of Intelligent Machines*, 28, 35–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2015.03.006>
- [12] Guerra Torres, C. (2016), Análisis y Síntesis de Mecanismos con Aplicaciones. *Patria*.
- [13] Zaman, M. A., & Sikder, U. (2015). Bouc–Wen hysteresis model identification using Modified Firefly. *Magnetism and Magnetic Materials*, 395, 229–233.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.07.080>