

# **Ley de contaminación acústica y el sistema auditivo.**

## **Análisis desde la complejidad del tercero excluido<sup>1</sup>**

*Por Walter Alfredo Montano  
Rodríguez<sup>2</sup>*

### **Resumen**

La legislación ambiental en materia de ruido molesto evalúa los sonidos teniendo en cuenta 'lo que escucha el oído' simplificando el resultado de las mediciones a un sólo parámetro, siendo esto inadecuado al momento de examinar un ruido que contenga baja-frecuencias acústicas, las cuales no son percibidas por el oído, pero sí por la complejidad intrínseca del sistema auditivo. La Organización Mundial de la Salud advierte esta discordancia, la cual no es tomada en cuenta en las leyes de los países Latinoamericanos incluida la de la Ciudad de Buenos Aires. Las emisiones en baja-frecuencias de los aparatos electromecánicos son los que mayores molestias causan a las personas, que redundan en problemas económicos a causa de que las mediciones por ruido molesto no son correctas porque no es considerado como emergente dicho fenómeno.

Esta problemática es una tradición heredada desde hace más de 80 años en la metrología, y se mantiene a pesar de que se conoce como inapropiada esa forma de medir el sonido. Aquí se construirá «la historia no detallada» de la realidad de la legislación ambiental en materia de ruido molesto, examinando

---

<sup>1</sup> Este artículo es producto de la tesis doctoral en Pensamiento Complejo titulada *Prognosis para evaluar eventos de baja-frecuencias acústicas como ruido ambiental con perspectiva del Pensamiento Complejo*; tesis tutelada por Giovanni Castellanos Garzón de la Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, AC.

<sup>2</sup> ARQUICUST Laboratorio de mediciones acústicas. Gualguaychú, Entre Ríos, Argentina. Miembro pleno del Comité de Archivos e Historia de la *Sociedad (norte) Americana de Acústica-ASA*. montano\_walter@yahoo.com.ar - ORCID 0000-0002-0059-5257

interdisciplinariamente la fisiología de la audición, la ley y la acústica, para cruzarlas desde la complejidad y atravesar sus fronteras con el objetivo de imprimir una visión transdisciplinar a las baja-frecuencias acústicas, así como tercero excluido para que sean consideradas como parte de la evaluación de un sonido molesto, que deje de lado la concepción positivista que tiene actualmente la legislación ambiental.

**Palabras clave:** Complejidad, Baja-frecuencias, Legislación, Latinoamérica, Acústica.

### **Abstract**

The annoying noise environmental legislation evaluates sounds considering 'what the ear hears' simplifying the measurements result to a single parameter, being this inadequate when examining a noise containing acoustics low frequencies, which are not heard by the ear but are perceived by the intrinsic complexity of the auditory system. The World Health Organization warns about this discordance which is not considered in the laws of Latin American countries, including that of the Buenos Aires City. Low-frequencies emissions from electromechanical devices are the most disturbing to people, which results in economic problems since annoying noise measurements are not correct because this phenomenon is not considered as emergent.

This problem is a tradition inherited for more than 80 years in metrology and is maintained even though this way of measuring sound is known as inappropriate. Here the author will build "Coarse-grained history" of the environmental legislation on annoying noise reality, examining interdisciplinary physiology of hearing, law, and acoustics, to cross them from the complexity and cross their frontiers with the aim of printing a transdisciplinary vision to the acoustics low frequencies, as well as third included as part of the evaluation of an annoying sound, leaving aside the positivist conception that the environmental legislation has.

**Keywords:** Complexity, Low-frequency, Legislation, Latin American, Acoustics.

## Introducción

Los efectos nocivos que producen en las personas la exposición a sonidos de baja-frecuencias son bien difundidos, y desde la Acústica se aboga a que tengan que ser considerados al momento de analizar una medición de ruido molesto, pero no lo es así desde otras disciplinas, ya que existe una postura dogmática de que sólo hay que considerar 'lo que escucha el oído', utilizando la curva de ponderación «A» que no se corresponde con las de audibilidad, y esta realidad está plasmada en la legislación ambiental, la cual se sostiene en que la evaluación positivista de la presunta molestia de un ruido, debe hacerse con operaciones simples, desestimando así un fenómeno que podría afectar la salud de los seres vivos.

La legislación ambiental en materia de evaluación de ruido molesto en Latinoamérica mantiene una tradición heredada desde hace más de 80 años, que simplifica su análisis al no considerar el nivel sonoro en las baja-frecuencias acústicas cuando en realidad deberían valorarse, porque limita su campo de estudio al omitir la complejidad que posee el sistema auditivo.

Existen decenas de investigaciones y publicaciones de la década de 1960, sobre el ruido y la percepción de la sonoridad en los hogares, oficinas y lugares de trabajo utilizando como índice de unidad de medida el dBA, sobre personas que estuvieron expuestas a sonidos de banda ancha; los resultados estadísticos simplificados que surgieron del análisis de los datos, concluyeron que hay cierta correlación entre la respuesta de ponderación en frecuencia «A» para aproximar la respuesta del oído humano con cálculos estocásticos, cuando las personas fueron expuestas a un sonido de banda ancha sin componentes tonales, momento a partir del cual se universalizó la medición en dBA independientemente del nivel sonoro a registrar y de su contenido espectral, es decir, se simplificó a que 'con la curva «A» se puede medir cualquier tipo de sonido'.

El oído no está desarrollado genéticamente para escuchar las baja-frecuencias, las cuales sí son identificadas por el sistema auditivo, ya que para su percepción interviene (entre otros) el sistema cabeza-torso; por lo tanto, la audibilidad posee una complejidad tal que no puede ser evaluada con procedimientos simplificados, por lo que al no estar ese fenómeno considerado en la legislación ambiental, los afectados son quienes están a veces sometidos a padecerlos, llegando también a sufrir pérdidas monetarias cuando se trata de

inversiones económicas, como por ejemplo los usuarios de la industria de la hospitalidad (hotelería, gastronomía, etc.).

El análisis de las baja-frecuencias acústicas es una temática poco investigada entre los acústicos hispanoparlantes, provocando a que su literatura en este idioma sea escasa, y uno de los objetos de este artículo es el de generar ciencia en castellano. De acuerdo con el Instituto Cervantes, después del inglés «el español es la segunda lengua en la que más documentos de carácter científico se publican, y tres cuartos de la producción científica se reparten entre tres áreas temáticas: ciencias sociales, ciencias médicas y artes y humanidades», y apenas el 7% del total de las publicaciones en castellano son del área de la ingeniería (Cervantes, n.d.), por lo que en pleno siglo XXI es tiempo que los acústicos hispanoparlantes difundamos ciencia en nuestra propia lengua.

En este artículo se recolectan varias fuentes de información que servirán para poner orden a lo que se encuentra disperso, con el objeto de demostrar que la evaluación clásica de un ruido molesto excluye el fenómeno acústico de las baja-frecuencias, es el tercero excluido. Entonces, ampliar la limitación impuesta por la legislación positivista yuxtaponiendo y atravesando las fronteras del conocimiento acerca de dicho fenómeno desde la complejidad, es también objeto que el autor expone en este artículo.

Desde la perspectiva que exponemos en este artículo, la palabra «ruido» se menciona únicamente para referirse a situaciones emergentes que producen molestia o daño a la salud de las personas; se aclara esto porque la significación que ‘ruido’ tiene para el Pensamiento Complejo es completamente diferente, ya que lo considera como un evento que altere la homeostasis de un sistema, el que será identificado como ‘ruido’ y que metafóricamente se lo asocia con la entropía.

### **La legislación ambiental en materia de ruido molesto**

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires-CABA, con su Ley L. 1540 y su Decreto N.º 740/2007 que la reglamenta, definen que el ruido «Es todo sonido no deseado que moleste, perjudique o afecte a la salud de las personas y/o los animales, capaz de producir efectos psicológicos o fisiológicos adversos» (CABA, 2005) (CABA, 2007); tanto en el cuerpo de su texto como en las definiciones, no

se menciona el fenómeno de las baja-frecuencias acústicas como factor de molestia y/o riesgo a la salud, ni que deba ser evaluado. En Argentina todas las ordenanzas municipales y leyes provinciales poseen definiciones similares de ruido que la de la CABA, y ninguna tampoco consideran el fenómeno de las baja-frecuencias acústicas como factor de molestia y/o riesgo a la salud. Lo mismo sucede para la legislación del resto de los países Latinoamericanos, es decir, esta realidad no es propia de la Argentina.

Párrafo aparte se menciona que en Argentina existe una norma de gestión de calidad acústica vernácula, la IRAM 4062, cuya última actualización incorpora la evaluación de las baja-frecuencias acústicas (IRAM, 2021), pero en la CABA no se puede utilizar dada la existencia de la Ley 1540; en el caso de gran cantidad de municipios de la Argentina su aplicación es obligatoria. Su análisis está fuera de los objetivos de este artículo.

### **La transdisciplina como herramienta epistemológica del Pensamiento Complejo**

La complejidad del sistema de audición y cómo el ruido provoca reacciones fisiológicas adversas a la salud de las personas, que se exponen a un sonido que contiene baja-frecuencias acústicas, no puede dejarse en manos únicamente al resultado de mediciones referidas ‘a lo que escucha el oído’, que además tiene un sesgo simplificador de la realidad, la cual debería tener una mirada científica que la supere y que le de significación desde otros saberes disciplinares, y en este artículo se hará con la filosofía de la complejidad atravesando las fronteras e integre las principales disciplinas involucradas en la interpretación de la problemática de las baja-frecuencias acústicas.

Las personas involucradas en las mediciones sonoras (ya sean de la actividad privada o de la pública), están obligadas a conocer los vínculos que existen entre las disciplinas tales como la fisiología, el derecho, la sociología, etc., que producirán saberes polidisciplinarios ya que el estudio de las baja-frecuencias es una cuestión interdisciplinaria; medir un ruido presuntamente molesto no es sólo registrar su nivel de presión sonora como un todo, se requiere de conocimientos para evaluar dicho fenómeno, y en este artículo se propone una mirada desde la complejidad.

## *Instrumentos filosóficos del pensamiento complejo y la transdisciplina*

La paulatina ruptura de los encierros disciplinares es factual, porque la humanidad no funciona con entes unicelulares aislados sino con seres colaborativos, y esta conducta –al momento de enfrentar un problema– demanda la interacción entre disciplinas (aparentemente) disímiles, dando aparición primero a la interdisciplina y luego a la transdisciplina como su mirada superadora de la realidad.

Las disciplinas ‘aparentemente aisladas’ tuvieron que relacionarse entre sí para resolver determinados inconvenientes, produciendo un nuevo lugar de trabajo científico como el pluridisciplinario (que implica la coordinación entre las distintas disciplinas), básicamente porque el conocimiento unívoco de una disciplina no es suficiente al momento de solucionar o entender un problema, y que ella particularmente requiera de ‘saberes foráneos’, es decir, se tienen que yuxtaponer distintas disciplinas para resolver dificultades.

Muchas personas consideraron que el conocimiento tenía que ir más allá de la relación intradisciplinar, y que es necesario eliminar las fronteras disciplinares con una mirada enfocada en la naturaleza, una mirada más humanitaria, es decir, atravesar las fronteras entre disciplinas para eliminarlas hacia la ética como valor superior con la transdisciplina, dando así formalización a la *Carta de la transdisciplinariedad*, que fue redactada en 1994 por un colectivo de intelectuales reunidos en Arrábida, Portugal, que entre otras nociones, señala:

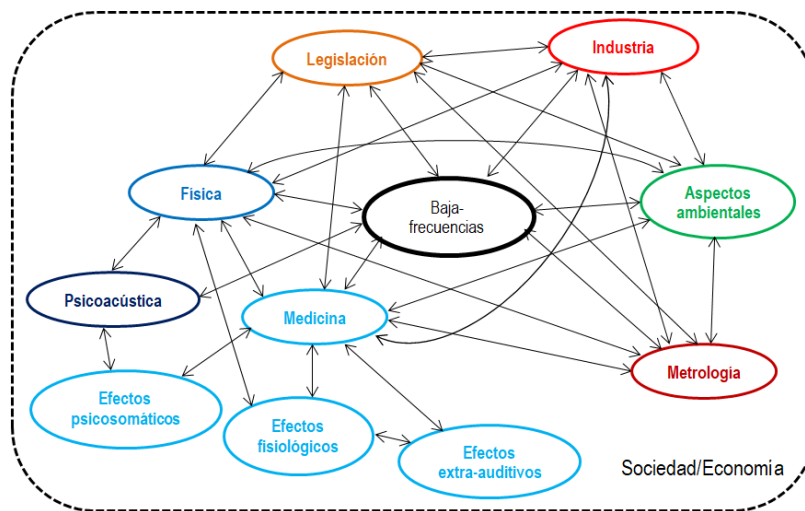
La clave de la bóveda de la transdisciplinariedad reside en la unificación semántica y operativa de las acepciones a través y más allá de las disciplinas. Ello presupone una racionalidad abierta, a través de una nueva mirada sobre la relatividad de las nociones de «definición» y «objetividad». El formalismo excesivo, la absolutización de la objetividad, que comporta la exclusión del sujeto, conducen al empobrecimiento. (Colectivo, 1994)

## *La transdisciplina y la complejidad de las baja-frecuencias*

En vez de hacer la discusión de este tema departamentalizado o separando la problemática legal de las baja-frecuencias en subsistemas para simplificarla, la realidad obliga a presentar dicho fenómeno como un todo, para así no perder la idea de la complejidad que surge del sistema de la audición, porque se trata de

una situación que va más allá de los límites definidos por la acústica y la legislación, y que se amplían los alcances de muchos sectores hasta los económicos –tal como se ilustra en la figura 1– hacia una frontera común entre ellos.

*Figura 1:* Red que vincula las conexiones complejas del sistema que involucra las baja-frecuencias



Fuente: Elaboración propia

La red identificada en la figura 1 (contenida en la superestructura de la sociedad/economía) no necesariamente tiene conexiones inamovibles, sino que esas conexiones mostradas representan una de las posibles realidades, por lo que si cambian se producirán reconexiones que darán lugar a que se resuelvan a medida que vayan surgiendo, que pueden generar o no nuevos vínculos dependiendo de cada realidad en particular, porque no existe una única solución simplificada tal como se la reduce en la legislación ambiental, es decir, se comportará como un sistema adaptativo complejo (Holland, 1995)

### **Una mirada desde el Sur a la complejidad de las baja-frecuencias**

La red compleja de la figura 1 también imprime una *mirada filosófica desde el Sur* pero no desde ‘el sur geográfico’, sino desde el *Sur* como idea de conocimiento científico, conocimiento que se genera descentralizado de los grandes centros de poder académico (anglosajón, europeo, etc.) y que es de vital importancia en la

ciencia, *mirada al Sur* que fue introducida por Boaventura de Sousa Santos (2011) ya que este artículo busca producir ciencia escrita en castellano, y porque tal como apunta Ana Cristina Suzina (2020, p. 173) que para muchos investigadores existe el mantra de «publicar en inglés o perecer», por ser ésta considerada como la *lingua franca* del siglo XXI.

A menudo cuando se requiere de fuentes de información en castellano sobre la rama disciplinar de las baja-frecuencias acústicas, las personas se enfrentan a la disyuntiva de dar por válido lo que haya sido escrito en castellano, como si ello fuese una situación aporística al no estar redactado en *lingua franca*. La episteme (en el sentido de Foucault) del estudio de las baja-frecuencias como contaminante ambiental de origen físico –que posiblemente afecte a la salud de los seres vivientes– no debería constituir sólo un saber noológico de la literatura anglosajona.

### *La historia no-detallada de las baja-frecuencias acústicas*

La acústica se encuentra entre las historias detalladas (traducción de la expresión<sup>3</sup> “Fine-grained histories”) de la ciencia, el cual es un concepto introducido por Murray Gell-Mann en su libro *El quark y el jaguar...* (1995), concepto que este artículo retoma para construir una línea histórica que sea capaz de dilucidar el por qué se llegó a la situación actual. El fenómeno físico de ondas en las baja-frecuencias acústicas es poco estudiado por su complejidad, por esto aquí se reúne lo que está disperso y desordenado sobre esa rama de estudio, para darle un ordenamiento y regularidad que asegure su entendimiento, por lo que intentará escribir la historia no-detallada (traducción de la expresión<sup>3</sup> “Coarse-grained histories”) de este fenómeno.

Aquí sólo se mencionan *las historias detalladas* de la metrología, aquellas que darán forma a la complejidad de *la historia no-detallada* de las baja-frecuencias acústicas. Porque en general, cada historia no-detallada es una clase de equivalencia de historias detalladas, caracterizadas por una narración particular que describe los fenómenos que se siguen, y una narración cualquiera

---

<sup>3</sup> La traducción a la que se hace referencia es la que se utiliza en la versión al castellano del libro *El quark y el jaguar...* (Gell-Mann, 1995).

de entre las posibles alternativas que describen todo aquello que se ignora; en este caso, la complejidad de la audición omitida en la legislación ambiental en materia de ruido molesto.

### **Metrología acústica para la medición del nivel sonoro**

Las válvulas de vacío que permitieron amplificar las señales electrónicamente aparecieron en 1906, y no fue hasta la década de 1920 que en Alemania y en EEUU se realizaron las primeras investigaciones fisiológicas a fin de determinar la respuesta del oído –con instrumental electrónico– a estímulos sonoros de diferentes niveles, sin olvidar que esos experimentos fueron realizados por físicos e ingenieros que se dedicaban al estudio del sistema auditivo, con la finalidad de mejorar la calidad de las comunicaciones telefónicas (Montano, 2022).

#### *La tecnologización norteamericana, la experimentación y la simplificación*

En 1933 dos físicos de EE. UU. trabajando para la Bell, Harvey Fletcher y Wilden Andrew Munson, publicaron en 1933 una serie de curvas de audibilidad (Fletcher & Munson, 1933), que fueron obtenidas mediante comprobaciones simplificadas propias de las posiciones epistémicas de la ciencia norteamericana. El desarrollo en 1936 de las primeras curvas de ponderación en frecuencia –para ser utilizadas en medidores sonoros– constituye un gran esfuerzo científico y tecnológico para la época, y para ello la *Acoustical Society of America* (ASA) desarrolló los «Estándares provisionales estadounidenses Z24.3 para medidores de nivel de sonido para la medición del ruido y otros sonidos» (ASA, 1936). Puesto que las curvas de audibilidad de Fletcher-Munson eran demasiado complicadas para ser resueltas con la tecnología analógica de aquellos años, entonces se propusieron –para medir el nivel de presión sonora– tres curvas de filtrado (ponderación) simplificadas que están dibujadas en la figura 2-b (Beranek, 1954) que se entienden como sigue:

- a) La curva «A» de la figura 2-b es una mímica de la de «40 dB» de la figura 2-a, y esto es dogmático, esto es una imposición del tecnologismo que, en su afán de simplificar la respuesta del sistema auditivo a la unicidad, condicionó a que todo instrumento de medida utilice la curva de

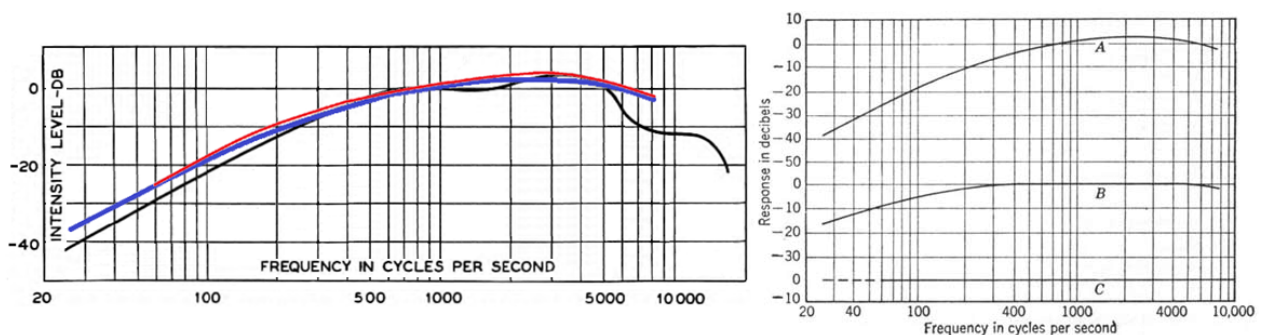
ponderación en frecuencia (o filtro) «A» para medir un sonido por debajo de 55 dB.

- b) La respuesta del oído manifiesta otro comportamiento cuando los sonidos tienen un nivel sonoro entre los 55 dB y 85 dB, y en esta situación se debe utilizar la curva de ponderación en frecuencia (o filtro) «B» de la fig. 2-b, que es una mímica de la de «60 dB» de la fig. 2-a.
- c) Se tiene utilizar la curva de ponderación en frecuencia (o filtro) «C» si el nivel sonoro es mayor a 85 dB, que en realidad es una respuesta plana y no introduce filtrados.

Esto implica que para medir el nivel de presión sonora las personas tenían que manipular dos llaves, porque dependiendo del nivel a medir se tenía que escoger la curva de ponderación, convirtiendo el trabajo de mediciones en una acción muy complicada que sólo la realizaban técnicos especializados.

En la figura 2-a se presenta la curva de ponderación «A» que es una mímica de la curva de 40 fones definida por Fletcher y Munson –pero invertida–, y la curva «A» tentativa de 1936 que tiene similitudes en las frecuencias por debajo de 1 kHz, y la versión de 1944 alcanza niveles menores que la anterior (ASA, 1944). Los valores que se miden utilizando la curva «A», se simboliza como dBA.

*Figura 2. (a) En color negro se representa la curva inversa de Fletcher-Munson de 40-fones de sonoridad; la curva de color rojo es la de ponderación en frecuencia «A» tentativa de 1936, la curva de color azul es la de ponderación en frecuencia «A» de la versión de 1944 (b) Curvas de ponderación de la Norma Z24.3 de 1944*



Fuentes: (a) Elaboración propia. (b) extraída de (Beranek, 1954)

Son bien conocidas algunas situaciones importantes en la investigación de Fletcher-Munson, que en definitiva acotan los alcances de sus resultados estadísticos que obtuvieron de su experimento: (i) Utilizaron ondas sinusoidales puras para obtener la respuesta auditiva de los sujetos bajo estudio; (ii) para escuchar las señales, los sujetos usaron auriculares (audífonos) sellados en sus cabezas; (iii) las curvas dibujadas de respuesta no tienen en cuenta el filtrado en frecuencias que introduce – al campo sonoro – el sistema del torso y la cabeza humana. Para dibujar el contorno final de cada curva de sonoridad, Fletcher y Munson seleccionaron empíricamente los datos de aquellos sujetos que ‘mostraron una audición normal’ para cada oído de forma independiente (Fletcher & Munson, 1933), porque tal como bien apunta Alves-Pereira (2017) bajo una «forma muy poco natural de escuchar un sonido muy poco natural» nace la curva en ponderación de frecuencia de «A» que se mantiene como un *accidente congelado*<sup>4</sup> desde hace más de 80 años.

Contrariamente al pensamiento popular, la respuesta en frecuencia, de las curvas de ponderación normalizadas en 1944, no se aproxima a las de Fletcher-Munson de 1933 (ver figura 2-a), son una mímica de éstas y no tienen reciprocidad.

### *La tecnología europea y su mathema en la cuestión humana*

A diferencia del positivismo norteamericano en el desarrollo de las curvas de audibilidad, bajo la doxa en determinar la calidad de los aparatos telefónicos, la episteme europea incluyó la cuestión humana para estipular las curvas de audibilidad, y correlacionarlas con la exposición del cuerpo entero a las ondas sonoras. Donald W. Robinson y Robert S. Dadson en 1956 realizaron una investigación controlada en Inglaterra sobre la audición humana en condiciones de campo libre, con incidencia de sonido frontal a cuerpo entero a sonidos de

---

<sup>4</sup> *Frozen accident hypothesis* (hipótesis del *accidente congelado*) es un concepto que se utiliza en filosofía para referirse a situaciones heredadas sin cambios, argumento introducido por Francis Crick en 1968 cuando identificó secuencias de ADN que mantienen una situación ‘congelada a lo largo del tiempo’, y que invariablemente transmiten información.

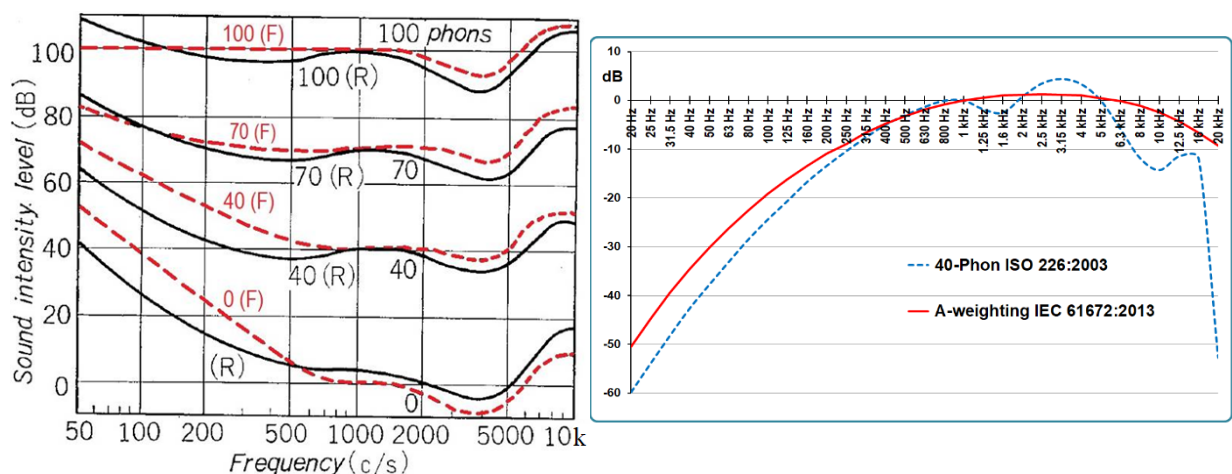
tonos puros, que se reprodujeron con un altavoz dentro de una sala anecoica (Robinson & Dadson, 1956).

Los contornos de igual sonoridad después de cuatro años de experimentaciones, fueron ‘mapeados’ con la intensidad en decibeles para medir en niveles en fones, creando así una revolución al introducir un paradigma, tanto en la fisiología de la audición como en la acústica, respecto a cómo se debe analizar la audibilidad por medio de curvas normalizadas, conocidas como las curvas Robinson-Dadson (ver figura 2-a) y se mantienen a la fecha de hoy –con algunas modificaciones– en la Norma ISO 226 (ISO, 2003).

### *Comparación entre la simplificación norteamericana respecto de la europea*

Las curvas de contornos de igual sonoridad de Robinson-Dadson difieren mucho de las curvas de contornos de igual sonoridad de Fletcher-Munson, como se observa en la Figura 3-a (Kawashima & Itoh, 1968), donde se observa la gran diferencia que existe entre ambas curvas, principalmente en la audibilidad de baja-frecuencias, donde las curvas «0» y «40» de Robinson-Dadson (en color negro) indican que el sistema auditivo percibe los sonidos con menor presión sonora, a diferencia de los experimentos de Fletcher-Munson (curvas de color rojo) que dan un umbral más alto.

Fig. 3: (a) Fletcher-Munson (**F**) vs. Robinson-Dadson (**R**). (b) Curva de 40 fones de la Norma ISO 226:2003 es una mímica de la curva de 40 dBA de la Norma IEC 61672:2013



Fuentes: (a) Extraída de (Kawashima & Itoh, 1968); (b) Elaboración propia

Evidentemente cuando el cuerpo humano fue considerado como parte integrante de la complejidad del sistema auditivo, los resultados que se obtuvieron fueron muy diferentes a los que se obtuvieron utilizando auriculares. Es obvio que la curva de frecuencia de ponderación «A» ‘imita’ la audición humana cuando se usan auriculares para escuchar sonidos a una misma sonoridad de 40 dB, y no refleja la respuesta de la audición humana en campo libre.

En la figura 3-b se compara la curva de ponderación en frecuencia «A» definida en la Norma IEC 61672-1 (UNE-EN, 2014) con la curva (invertida) de sonoridad en 40 fones, en la cual se puede observar que aún hoy en el 2022 los decibeles en dBA son una mímica de lo que percibe el sistema auditivo a niveles sonoros por debajo de los 55 dB (de poco volumen).

### **Las baja-frecuencias acústicas como sujeto de discusión compleja**

En esta sección se identifican las pautas empíricas del contexto científico, no solamente de la física y de la acústica, sino también de la medicina y ciencias sociales, que pudieran ser sustento holístico y humanístico desde la perspectiva compleja para la discusión que el uso de la curva «A» en las baja-frecuencias es inadecuado, porque tal como señala Edgar Morin (1990) «La información debe ser definida de manera físico-bio-antropológica».

#### *El dogma de la curva «A» y la tecnologización puesta en discusión*

El sistema auditivo humano evolucionó a que los sonidos de baja-frecuencia no sean percibidos con la misma sonoridad que la voz hablada, básicamente porque los sonidos atmosféricos se manifiestan en las baja-frecuencias e infrasonidos, los que si fueran evaluados por el cerebro con la misma sonoridad que la voz humana, ése los enmascararía, es decir, los sonidos de la atmósfera constituyen un ruido para la comunicación verbal, es información destructiva, y por esta razón es que la fisiología del oído interno tiene baja

capacidad de escucha en el intervalo de las baja-frecuencias. Lo anterior no significa que ‘el oído humano no escuche esas frecuencias’, ya que el sistema auditivo ‘recibe’ las vibraciones que se propagan hacia el cerebro a través del cuerpo, esencialmente por los receptores propioceptores como los de *Golgi* (Bonaldi, 2004); para que sean escuchadas las ondas sonoras de baja-frecuencias acústicas que ingresan al canal auditivo del oído externo, deben tener un nivel de volumen mucho más alto que el que deben tener los sonidos en las frecuencias en la que se encuentra la voz humana.

El sistema auditivo humano evolucionó hace millones de años a que los sonidos de baja-frecuencia no sean percibidos con la misma sonoridad que la voz hablada, básicamente porque los sonidos atmosféricos se manifiestan en las baja-frecuencias e infrasonidos, los que si fueran evaluados por el cerebro con la misma sonoridad que la voz humana, ése los enmascararía, es decir, los sonidos de la atmósfera constituyen ‘ruido’ para la comunicación verbal, es información destructiva, y por esta razón es que la fisiología del oído interno tiene baja capacidad de escucha en el intervalo de las baja-frecuencias acústicas.

Hasta 1966 convivieron la tecnología europea con la norteamericana, y una vez más el tecnologismo triunfa reduciendo la problemática en dicho año: Se normalizan internacionalmente las curvas «A», «B» y «C» europeas, pero el hegemonismo positivista impone medir el sonido independientemente del nivel de nivel de presión sonora que se quisiera medir ¿Qué significa esto? Que se podía (y se puede) medir altos niveles sonoros con la curva «A» como si fuesen sonidos con bajo nivel. Con lo anterior se trata de darle identidad al conflicto cognitivo y de la hipótesis de este artículo, porque las sucesivas reducciones y simplificaciones que devinieron a cómo se mide el sonido, el tecnologismo obliga a medir el fenómeno de las baja-frecuencias con una curva que es una mímica de cómo supuestamente es ‘interpretado por el oído’ que además considera que su nivel de presión sonora sea menor a 55 dB.

La orientación positivista que tiene la legislación actual (incluida la Ley 1540 de la CABA) redujo a que el sonido debe ser medido e interpretado con un único valor numérico, el cual lamentablemente ‘no puede ser discutido’, no considerando la complejidad intrínseca de cómo los humanos percibimos el

fenómeno sonoro, que no es sólo por la vía aérea directa, sino también involucra el sistema del filtrado cabeza-torso y la transmisión por la vía sólida.

### *La metrología internacional y la percepción fisiológica de las baja-frecuencias*

A continuación, se presenta la evolución histórica de cómo se mencionó desde 1961, en la normativa internacional de metrología acústica que la curva «A» no representa la audibilidad de la escucha humana, hasta desaparecer esta advertencia en 2003:

- a) IEC 123-1961, cláusula 4.3: «Aunque estas ponderaciones se aproximan ‘toscamente’ a ciertas propiedades del oído, deben considerarse simplemente como convencionales».
- b) IEC 179:1973, cláusula 4.3: «Aunque las curvas A, B y C tienen en cuenta ciertas propiedades del oído, deben considerarse puramente convencionales».
- c) IEC 651:1979, cláusula 2.3.3: «En el pasado, la ponderación de frecuencia y la ponderación de tiempo se han asociado con ciertas características del oído. Sin embargo, el trabajo reciente no ha corroborado estas asociaciones históricas, por lo que las características de ponderación de frecuencia y tiempo de sonómetros puede considerarse convencional. La característica de ponderación “A” ahora se especifica con frecuencia para clasificar los sonidos independientemente del nivel».
- d) IEC 61672-1 [versiones de 2003 y la actual de 2013] nada dice sobre el origen de la ponderación «A».

Es entonces que la metrología internacional desde 2003 (exigida por la legislación mundial), omite toda mención a que la curva «A» no es adecuada para medir las baja-frecuencias, ni tampoco que no representa la curva de sonoridad del oído. Se puede ver que la disciplina vinculada al desarrollo tecnológico ‘borró de la escena’ la complejidad del sistema auditivo, excluyen del objeto de la medición al sujeto, y dejó de especificar que el uso de la curva «A» es una convención metrológica.

### *Publicación del primer reporte internacional de la Organización Mundial de la Salud sobre ruido ambiental en 1980*

Las indicaciones de la *International Programme on Chemical Safety-InChem* (colaboradora de la Organización Mundial de la Salud-OMS) sobre el ruido ambiental publicado en 1980, están vertidas en su reporte “Environmental Health Criteria 12. Noise” (InChem, 1980); aunque contiene las opiniones colectivas –no vinculantes– de un grupo internacional de expertos, sus conceptos y orientaciones sobre la cuestión de la medición sonora utilizando la curva «A» son importantes:

La ponderación A se utiliza para las mediciones de sonido en diversas situaciones, ya que está ampliamente aceptado que el nivel de presión sonora ponderado A,  $L_p(A)$ , es una estimación razonablemente fiable y fácil de medir de la sonoridad (Botsford, 1969). Hay que destacar que *esto sólo es cierto para los sonidos de banda ancha sin concentraciones espectrales de energía*, en cuyo caso  $L_p(A)$  suele ser unas 10 unidades de decibeles inferior a la sonoridad en fones. En el caso de los sonidos de rango de frecuencias estrecho, hay que tener mucho cuidado con la interpretación de las lecturas del nivel de presión sonora ponderado A, ya que pueden no reflejar con exactitud la sonoridad del sonido. (InChem, 1980) (El énfasis en cursiva es del autor).

Este párrafo escrito en 1980 es notable, pero desafortunadamente estos conceptos han sido obviados y completamente desestimados por la legislación ambiental en materia de ruido molesto.

### *Las Guías sobre ruido comunitario (ambiental) publicada por la OMS*

En 1999 la OMS publicó un documento titulado «Guías para el ruido comunitario» (*Guidelines for community noise*), y nota lo siguiente (Berglund et al, 1999):

Si el ruido incluye una gran proporción de componentes de baja frecuencia, se necesitarán valores aún más bajos que los valores de referencia. *Cuando hay componentes prominentes de baja frecuencia, las medidas de ruido basadas en la ponderación A son inapropiadas*. Cabe señalar que una gran proporción de componentes de baja frecuencia en el ruido pueden aumentar considerablemente los efectos adversos sobre la salud. (El énfasis en cursiva es del autor).

Es interesante que esta Guía sugiera que para evaluar ruido ambiental que contenga sonidos de baja-frecuencias, se deberían tener límites de referencia diferentes a los típicos en dBA, ya que este tipo de mediciones subestima el impacto físico que tiene este fenómeno acústico.

### *Breve descripción de los efectos fisiológicos por exposición a sonidos con baja-frecuencias*

En 1973 dos acústicos ingleses publicaron un influyente artículo titulado «¿Son nuestras leyes contra el ruido adecuadas? », que a criterio del autor es el primero que pone en duda el dogmatismo de la acústica, que las mediciones en «A» sean mediciones absolutas; discutieron también las investigaciones y la legislación asegurando que no son concluyentes los resultados que se obtienen aplicando la curva «A» para evaluar cualquier tipo de sonido, y esas mediciones físicas no se correlacionan con la real molestia que pueden manifestar las personas (Bryan & Tempest, 1973).

A partir de 1974 se publican decenas de investigaciones científicas practicadas bajo condiciones controladas de laboratorio, sobre la percepción de personas a exposición de sonidos con baja-frecuencias, para correlacionarlas con las quejas y reclamos que hacían ante autoridades gubernamentales, y se comprobó objetivamente la veracidad de las molestias psíquicas y también de las alteraciones fisiológicas que ellas provocan.

En Portugal se encuentra un grupo interdisciplinario que realiza investigaciones en todo el mundo, sobre el impacto de las baja-frecuencias e infrasonidos en personas y animales, recientemente publicaron un artículo completo que resume la literatura en esta temática tomadas de investigaciones científicas validadas, un meta estudio, que se difundieron entre 2016 y 2019 (Araújo Alves et al, 2020). De este resumen que hicieron de los treinta y nueve artículos que tomaron como referencia, observan que los principales efectos sobre la salud humana a consecuencia del sonido de baja-frecuencias más prevalentes en diversos aspectos son: Trastornos del sueño (11,7%), malestar, sensibilidad e irritabilidad al ruido (10%), molestia (13,3 %), estrés (6,7 %), pérdida de audición (8,3 %), rendimiento reducido/fatiga (5 %), frecuencia cardíaca/enfermedades cardiovasculares (10 %), tensión y presión arterial (6,7

%), ansiedad ( 1,7 %), depresión (3,3 %), desequilibrio (3,3 %) y rendimiento mental (6,7 %); y agregan que:

También hubo otros efectos sobre la salud humana, pero con incidencia en aspectos muy específicos (13,3%), como la frecuencia de aberraciones cromosómicas en las células de la médula ósea, exceso de bilirrubina, úlceras pépticas (gástricas y duodenales), efectos sobre el cerebro barrera sanguínea, eventos hemodinámicos, desequilibrio irreversible con daño estructural de la membrana otoconial, tinnitus y terapia de reconversión sonora, y trastornos vocales y de esfuerzo (Araújo Alves et al, p.3, 2020).

### **Conflicto cognitivo y discusión desde la transdisciplina**

La Organización Mundial de la Salud proporciona una mirada interdisciplinaria a la problemática de sonidos con contenido de energía en las baja-frecuencias, y aquí se comparten algunos párrafos de interés escritos por Berlung *et al* (1999):

La ponderación A es la más utilizada y pondera las frecuencias más bajas como menos importantes que las frecuencias medias y altas. Se pretende aproximar la respuesta de frecuencia de nuestro sistema auditivo // También se debe prestar especial atención a: las fuentes de ruido con componentes de baja frecuencia // Se han observado reacciones más fuertes cuando el ruido va acompañado de vibraciones y contiene componentes de baja frecuencia // Cabe señalar que el ruido de baja-frecuencia, por ejemplo, de los sistemas de ventilación, puede perturbar el descanso y el sueño incluso a niveles bajos de presión sonora // Fuentes con componentes de baja-frecuencia. Pueden producirse perturbaciones, aunque el nivel de presión sonora durante la exposición sea inferior a 30 dBA // El ruido con componentes de baja frecuencia requiere valores de referencia (legales) más bajos.

Aquí se quiere transmitir la idea que si bien las curvas de Robinson-Dadson expresan la sensibilidad del sistema auditivo, la curva de 40 fones utilizada para definir la ponderación «A» que sólo se comprueba para niveles sonoros por debajo de los 55 dB considerando tonos puros sinusoidales, es decir, para espectros sonoros SIN componentes tonales; entonces, para ruidos con características de tono o de banda ancha en las baja-frecuencias como las emitidas por equipos electromecánicos, es inapropiado usar esa ponderación.

Dada la gran cantidad de evidencias, se presenta el enunciado de un posible silogismo, punto de partida de la hipótesis del artículo y cuyo consecuente es el interrogante que discutir desde la complejidad:

- ✓ Clásicamente la curva «A» considera que las baja-frecuencias son parte del sonido en todo su espectro hasta los 20.000 Hz.
- ✓ Las baja-frecuencias están definidas como un fenómeno acústico de sonidos en el intervalo entre los 16 Hz y 200 Hz.
- ✓ Entonces ¿Por qué para estudiar la complejidad de un sonido que se manifiesta por debajo de los 200 Hz se tiene que usar todo el espectro de frecuencias?

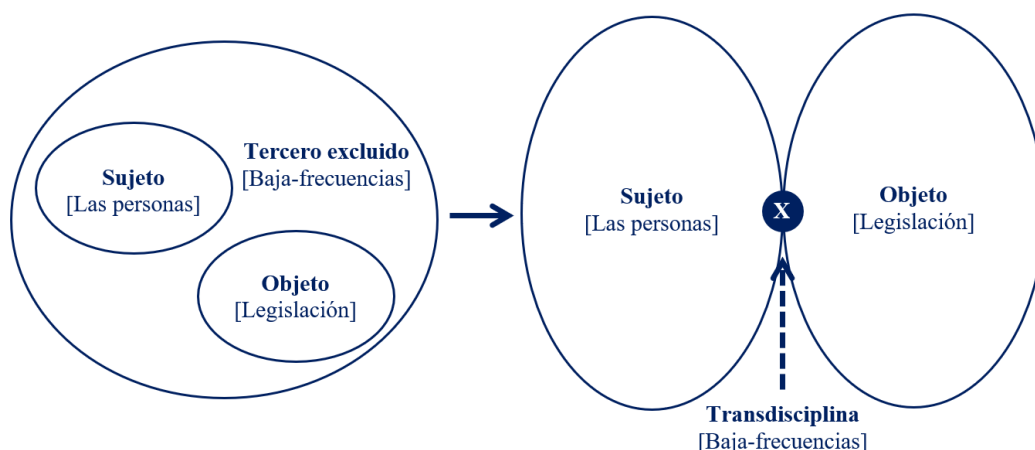
#### *La legislación ambiental y el tercero excluido: Las baja-frecuencias*

Dado que la problemática de las baja-frecuencias acústicas no está incluida en la legislación en materia de ruido ambiental, ontológicamente se lo puede conceptualizar bajo el principio antagónico definido por Lupasco con una premisa de axioma fundamental de la lógica clásica  $[A, \text{no-}A, \nexists T \text{ (que sea } A \text{ y no-}A)]$ , conocida como la del tercero excluido.

Dicha proposición bajo análisis de este artículo, conceptualizando *el significado del significado* introducido por Nicolescu (2016), quien reescribe a Lupasco introduciendo la idea del *tercero incluido*, interconectando la *Realidad del sujeto* con el *objeto* y el *tercero excluido*, cuyo axioma queda como  $[A, \text{no-}A, \exists T \text{ (que es } A \text{ y no-}A)]$ , es decir, las baja-frecuencias acústicas serán el tercero oculto (excluido) que debe ser incluido en la legislación (que es el objeto) para proteger a las personas (que son el sujeto), en las leyes que regulan la contaminación por ruido ambiental.

Tal como es conceptualizada la transdisciplinariedad por Nicolescu (2016), tanto el sujeto como el objeto están inmersos en la realidad del tercero excluido; entonces, al yuxtaponerse todos esos elementos quedará definida una *Realidad Transdisciplinaria*, una *Trans-Realidad* (ver fig. 4).

*Figura 4. La baja-frecuencia es un emergente de la Trans-Realidad*



Fuente: Elaboración propia basada en Nicolescu (2016)

Queda en claro que el fenómeno de las baja-frecuencias acústicas en la legislación ambiental vigente en materia de ruido molesto, es el tercero excluido y como emergente debe ser considerada su inclusión para reducir el sesgo positivista de las leyes, ya que el marco transdisciplinar del tercero incluido permite una lógica no-contradictoria, siendo una lógica más de la complejidad que justificará también que la Realidad de las baja-frecuencias sea interpretada como el tercero incluido.

## Conclusiones

El estudio de las ondas de baja-frecuencias acústicas es realmente complejo, porque se propagan con poca atenuación por las estructuras edilicias, por esta razón es que dicho fenómeno es el que mayor molestia produce a las personas dentro de sus viviendas, ya que esas ondas acústicas se propagan por flanqueo en superficies sólidas, que a su vez son radiadas por todas las superficies de la edificación y se propagan por vía aérea, impactan sobre el cuerpo humano estimulando determinados sensores fisiológicos que alteran el sistema nervioso, para ser finalmente percibidas por el cerebro con la posibilidad de generar malestar psicofisiológico, pero como la legislación ambiental que regula los niveles sonoros se sustenta 'en lo que oye el oído', excluye el fenómeno de las baja-frecuencias y no las considera como eventos molestos o de daño a la salud.

Los equipos de aire acondicionado centrales, las turbinas extractoras de humo/gases, las torres enfriadoras de agua, etc., son las principales fuentes de sonido en las ciudades que generan alto contenido de energía en las baja-frecuencias, y son objeto de la mayor parte de las denuncias por ruido molesto en zonas residenciales y comerciales; para el caso de zonificaciones mixtas residencial/industrial, las instalaciones de las fábricas agravan aún más la situación. Entonces, tal como se ve, si la legislación ambiental en materia de ruido molesto no considera la evaluación de las baja-frecuencias, la aplicación práctica de este artículo será fundamental ya que su propuesta desde la complejidad servirá para otorgarle una mirada ética al contenido de la ley vigente.

Superar la realidad impuesta por un dogma, el que una medición acústica sea evaluada sólo con la ponderación en frecuencia «A», con una propuesta desde la complejidad a fin de considerar también el nivel sonoro en las baja-frecuencias acústicas, tendrá un impacto social muy importante, ya que esto devendrá a crear un paradigma en la legislación ambiental en materia de evaluación y calificación de un ruido molesto, que va a demandar un avance tecnológico en el instrumental que se debe utilizar y también científico, ya que se va a requerir de masa crítica y capacitación desde las universidades.

La doctrina legal no debe ser un impedimento al avance de los conocimientos científicos, y debería reevaluarse la legislación ambiental en materia de ruido molesto; los acústicos hispanoparlantes se encuentran en un punto de inflexión, de proponer una superación de la realidad con una visión transdisciplinaria, así incorporar los conceptos publicados por la OMS acerca de lo inadecuado de utilizar los dBA cuando se tiene que evaluar un sonido con contenido de baja-frecuencias. En pleno siglo XXI no se puede continuar sosteniendo una forma inadecuada de analizar el ruido mediante la curva «A», es decir, con criterios definidos en el año 1936 y que además ubicuamente está en toda la legislación ambiental. La curva de sonoridad auditiva es una forma simplificada de la realidad que de ninguna manera refleja la complejidad de la audición humana.

Las implicaciones que tiene la omisión del estudio apropiado de este fenómeno acústico para la economía son considerables, porque muchas veces las personas se quejan de la molestia que les produce un ruido con contenido de

sonido en las baja-frecuencias, y la ley no da solución al problema generando conflictos que pueden llegar a situaciones de denuncias penales, las cuales nunca se resuelven porque la Ley excluye la evaluación de dicho fenómeno.

Por último, y no de menor impacto, este artículo contribuirá en proporcionar literatura en castellano sobre la problemática de las baja-frecuencias acústicas, que servirá de material de estudio y de referencia a otras disciplinas con una visión transdisciplinar desde el Pensamiento Complejo.

Finalmente, como trabajos a futuro, se puede estipular que el contexto de una investigación centralizada en la problemática de las baja-frecuencias acústicas como emergente para ser incluidas en la evaluación de un ruido molesto, debe concluir en la proposición de una prognosis matemática adecuada siendo esto algo indubitable: Es un asunto interdisciplinario que arribar desde la complejidad. También se podría sugerir a la Comisión de Ambiente de la Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que se incorpore en una actualización del Reglamento a la Ley 1540, la evaluación del fenómeno de las baja-frecuencias acústicas a las mediciones de ruido molesto.

### ***Agradecimientos***

El autor quiere agradecer a Giovanni Castellanos Garzón, tutor de mi tesis doctoral de la Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, AC, por sus comentarios y sugerencias; a Federico Miyara del Laboratorio de Acústica de la UNR de Rosario, Argentina, por sus sesudas observaciones; a Fernando Elizondo Garza del Laboratorio de Acústica de la FIME-UALN de Monterrey, México, por las continuas y acertadas observaciones a las primeras versiones del manuscrito; a Alberto Behar de la Ryerson University de Toronto, Canadá, por sus acotaciones al primer borrador; y también a editores y revisores de la Revista Complejidad por la publicación de este artículo.

### **Referencias**

ASA (1936) American tentative standards for sound level meters for measurement of noise and other sounds. *ANSI, US*.

ASA (1944) Sound Level Meters for Measurement of Noise and Other Sounds. *ANSI, US*.

Alves-Pereira M. Rapley B. Bakker H.H.C. (2017). The inadequacy of the A-frequency weighting for the assessment of adverse effects on human populations. *12th ICBEN*.  
[http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea08\\_Rapley\\_o801\\_3873.pdf](http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea08_Rapley_o801_3873.pdf)

Beranek, L.L. (1954) Acoustics. *The Acoustical Society of America*.

Berglund, B; Lindvall, T; Schwela, D.H. & World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team (1999) Guidelines for community noise. *World Health Organization*.  
<https://www.nh.gov/osi/energy/programs/documents/sb99-who-guidelines-community-noise.pdf>

Bonaldi, L.V. (2004) Bases Anatômicas da Audição e do Equilíbrio. *Livraria Editora Santos, São Paulo*.  
[https://www.med.ufro.cl/neuroanatomia/archivos/aportes/bases\\_anatomicas.pdf](https://www.med.ufro.cl/neuroanatomia/archivos/aportes/bases_anatomicas.pdf)

CABA (2005) LEY L - N° 1.540 Control de la contaminación acústica en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
<https://digesto.buenosaires.gob.ar/buscador/ver/10049>

CABA (2007) Decreto N° 740/2007-GCBA-07 que Aprueba la reglamentación de la Ley N° 1.540.  
<https://boletinoficialpdf.buenosaires.gob.ar/util/imagen.php?idn=99330&idf=50>

Cervantes (n.d.) 4. El español en la ciencia y la cultura. El español: una lengua viva. Informe 2021. *Centro Virtual Cervantes*.  
[https://cvc.cervantes.es/lengua/anuario/anuario\\_21/informes\\_ic/p04.htm](https://cvc.cervantes.es/lengua/anuario/anuario_21/informes_ic/p04.htm)

AAVV (1994) *Carta de la Transdisciplinariedad*. Firmada el 6 de noviembre de 1994.  
<https://biblioteca.multiversidadreal.com/index.php?page=13&id=1306&db=>

Fletcher, H.; Munson, W.A. (1933) Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation. *The Journal of the Acoustical Society of America* (5)82. <https://doi.org/10.1121/1.1915637>

Holland, J. H. (1995) Hidden order: How adaption builds complexity. *Helix Books*.

InChem (1980) Environmental Health Criteria 12. Noise. *International Programme on Chemical Safety (WHO)*. <https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc012.htm>

IRAM (2021) IRAM 4062-1 Ruidos molestos al vecindario. Parte 1 - Método de medición y calificación en ambientes interiores y en exteriores no linderos con la vía pública. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*.

ISO (2003) ISO 226 – Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions. *ISO, Geneva*.

Kawashima, H.; Itoh, Y. (1968) Recent features of Fuji low-sound-level transformers (2). *Fuji Electric Review* (14)6 pp.194-203, Japan. [http://www.fujielectric.com/company/tech\\_archives/pdf/14-06/FER-14-06-194-1968.pdf](http://www.fujielectric.com/company/tech_archives/pdf/14-06/FER-14-06-194-1968.pdf)

Montano, W.A. (2022) Public concern and measurements of noise in the city. *Journal article Noise/News International*, 2022-01-14. <http://noisenewsinternational.net/public-concern-and-measurements-of-noise-in-the-city/>

Morin, E. (1999) *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.

Nicolescu, B. (2016) Cybernetics and Human Knowing, Vol. 23(4) p. 77-83. [http://www.basarab-nicolescu.ciret-transdisciplinarity.org/Docs\\_articles/TD\\_in\\_philosophy\\_Russia.pdf](http://www.basarab-nicolescu.ciret-transdisciplinarity.org/Docs_articles/TD_in_philosophy_Russia.pdf)

Robinson, D. W.; Dadson, D.S. (1956) A Re-determination of the Equal-Loudness Relations for Pure Tones. *British Journal of Applied Physics*. (7)5 pp. 166-181.

Sousa Santos, B. de (2011) *Introducción: Las epistemologías del Sur*.  
Blog de Boaventura de Sousa Santos.  
[http://www.boaventuradesousasantos.pt/media/INTRODUCCION\\_BSS.pdf](http://www.boaventuradesousasantos.pt/media/INTRODUCCION_BSS.pdf)

Suzina, A. C. (2020) English as lingua franca. Or the sterilisation of scientific work. *SAGE Journals. Media, Culture & Society 2021, Vol. 43(1)* 171–179. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0163443720957906>

UNE-EN 61672-1:2014 Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones. *IEC*, Ginebra.