

## PARTE I: Fundamentos de Acústica

# CAPÍTULO I

## LA CIENCIA ACÚSTICA

### Contenidos

- 1.1 ¿Qué es la acústica?
- 1.2 Interdisciplinariedad.
- 1.3 Hitos históricos de la ciencia acústica.
- 1.4 La acústica como ciencia interdisciplinaria. Rueda de Lindsay.
- 1.5 Resumen
- 1.6 Referencias

### 1.1 ¿Qué es la acústica?

La *acústica* es la ciencia que estudia el sonido en sus diversos aspectos abarcando, como definió John William Strutt (Lord Rayleigh) en su célebre libro —The Theory of Sound, 1877— su producción, transmisión y percepción en seres vivos. En la actualidad, ésta ciencia vincula una amplia gama de disciplinas científicas y de la ingeniería lo que permite dividirla en diferentes áreas generales y específicas (Ferreyra et al, 2009). A continuación se describen brevemente algunas de ellas:

1. **ACÚSTICA FÍSICA.** Estudio de los fenómenos sonoros mediante modelos físicos y matemáticos.
2. **ACÚSTICA FONOAUDIOLÓGICA.** Estudio del funcionamiento del aparato de fonación y audición del ser humano.
3. **PSICOACÚSTICA.** Estudio de la percepción del sonido y sus efectos en el ser humano.
4. **BIOACÚSTICA.** Estudio de la producción y percepción de sonidos en animales.
5. **ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA.** Estudio del aislamiento y acondicionamiento acústico de recintos y edificios.
6. **ACÚSTICA ESTRUCTURAL.** Estudio de la propagación y efectos de las vibraciones mecánicas en sólidos.
7. **ACÚSTICA MUSICAL.** Estudio de instrumentos musicales, escalas, acordes, consonancia, disonancia, etc.
8. **ELECTROACÚSTICA.** Estudio del tratamiento electrónico del sonido, incluyendo captación, procesamiento y sistemas de sonido.
9. **ULTRASONIDO E INFRASONIDO.** Estudio de efectos y aplicaciones de sonidos inaudibles por el ser humano de alta y baja frecuencia respectivamente.
10. **ACÚSTICA AMBIENTAL.** Estudio del sonido y las vibraciones mecánicas en el medioambiente.
11. **ACÚSTICA LABORAL:** Estudio del ruido y vibraciones en ambientes ocupacionales, abarcando efectos y métodos preventivos.
12. **ACÚSTICA SUBACUÁTICA.** Estudio del comportamiento del sonido en el agua y sus aplicaciones.
13. **MACROACÚSTICA.** Estudio de sonidos extremadamente intensos producidos en explosiones, turborreactores, turbinas, etc.
14. **METROLOGÍA ACÚSTICA.** Estudio de métodos y técnicas de medición en diferentes áreas de la acústica.
15. **PROCESAMIENTO DE SEÑALES ACÚSTICAS.** Estudio de la adquisición y procesamiento de señales acústicas.
16. **REALIDAD ACÚSTICA VIRTUAL.** Estudio de la simulación computacional de entornos acústicos virtuales incluyendo la fuente, el medio y el receptor.

### 1.2 Interdisciplinariedad

La *interdisciplinariedad* es la *cualidad de interdisciplinario* (aquello que se realiza con la cooperación de varias disciplinas). El término fue acuñado por el sociólogo Louis Wirtz y habría aparecido publicado por primera vez en 1937.

La interdisciplinariedad supone la existencia de un *conjunto de disciplinas conexas entre sí y con relaciones definidas*, que evitan desarrollar sus actividades en forma aislada, dispersa o fraccionada. Se trata de un proceso dinámico que busca solucionar distintos problemas de investigación. La importancia de la interdisciplinariedad surge con el propio desarrollo científico-técnico, que derivó en el nacimiento de numerosas ramas científicas. Esta dinámica hizo que la necesidad de integrar situaciones y aspectos para generar conocimientos sea cada vez mayor. Gracias a la interdisciplinariedad, el *objeto de estudio* es abordado de forma *integral* y se estimula la elaboración de nuevos enfoques metodológicos para la solución de problemas. En otras palabras, la interdisciplinariedad es un marco metodológico que consiste en la búsqueda sistemática de integración de las teorías, instrumentos y fórmulas de acción científica de diferentes disciplinas, a partir de una concepción multidimensional de los fenómenos.

Leo Apostel (1975) describe la *interdisciplinariedad* como un término que alude a la interrelación orgánica de conceptos de diversos campos disciplinares con el objeto de construir una “nueva unidad” de nivel superior que incluye e integra las aportaciones disciplinares particulares. Asimismo, se considera que un grupo interdisciplinario está compuesto por personas formadas en diversos dominios del conocimiento que se organizan, a partir de una continua intercomunicación y esfuerzo en común, alrededor de un problema específico. La interdisciplina es una posición frente al objeto del conocimiento que no implica pérdida de la identidad disciplinaria (Arias et al, 2010).

Un ejemplo de una ciencia interdisciplinaria es la *oceanografía*, que se dedica al estudio de los procesos biológicos, físicos, geológicos y químicos que se dan en los océanos y en los mares. Otro ejemplo es la *acústica*, ciencia que se dedica al estudio del sonido y las vibraciones mecánicas estableciendo vínculos científicos entre disciplinas como física, matemática, arquitectura, ingeniería, música, medicina, psicología.

En la actualidad, muchas ciencias apelan a la interdisciplinariedad para desarrollarse.

### 1.3 Hitos históricos de la ciencia acústica

Los primeros estudios y trabajos sobre acústica se realizaron en el campo de la física, la música y la arquitectura. *Pitágoras* (582 a.c.—507 a.c.) nacido en la isla de Samos fue un filósofo y matemático griego, famoso por el teorema de la geometría analítica que lleva su nombre, afirmaba que *todo es matemáticas*, por lo cual principalmente estudio y clasifico a los números. Con respecto a la ciencia acústica, estaba interesado en determinar si existía una relación única entre las alturas tonales de las notas musicales que resultan placenteras al oído humano, lo que se conoce como *consonancia* y *disonancia*. *Aristóteles* (384 a.c.—322 a.c.) fue un filósofo y científico de la antigua Grecia, escribió mas de 200 tratados, de los cuales se conocieron solo 31, sobre temas referidos a filosofía política, lógica, metafísica, filosofía de la ciencia, ética, retórica, física, astronomía y biología. Anuqué su fama llegó a través de tratados sobre filosofía, en el campo de la acústica física realizó avances en la teoría sobre la propagación del sonido en el aire. *Aristoxenus* (355 a.c.— ), filósofo y músico griego discípulo de Aristóteles, escribió 453 tratados entre ellos “*elementos armónicos*”, el más antiguo tratado de música que conocemos. *Euclides* (325 a.c.—265 a.c.) matemático y geómetra griego, a quien se le conoce como el *padre de la geometría*, escribió también sobre armonía musical.

*Marcus Vitruvius Pollio* (80 a.c.— 10 a.c.), fue arquitecto, escritor, ingeniero y tratadista romano del siglo I a.c. es el autor del tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva y el único de la antigüedad clásica, “*De architectura*”, en 10 libros probablemente escrito entre los años 23 a 27 a.c. Sus primeros estudios sobre acústica arquitectónica estuvieron referidos al diseño de teatros griegos y sus propiedades acústicas, especialmente sobre los ecos como factor de reforzamiento sonoro.

Hasta el siglo XIX la acústica era un arte que poseía consolidadas ramas directamente relacionadas con el ser humano. Como instrumentos de medición los ingenieros utilizaban en este campo especialmente sus oídos. Las únicas fuentes sonoras controladas disponibles eran silbatos, gongs y sirenas. Los micrófonos consistían en un diafragma articulado con una punta metálica que delineaba la forma de la onda sobre una superficie ennegrecida de un tambor rotativo, ó en una llama cuya altura variaba de acuerdo con la presión acústica. Por esa época aparecieron en la literatura técnica los grandes nombres de *Rayleigh*, *Stokes*, *Thomsom*, *Lamb*, *Helmholtz*, *König*, *Tyndall*, *Kundt* y otros. Sus contribuciones a la acústica física fueron seguidas por la publicación del tratado en dos volúmenes de *Lord Rayleigh*, “*Theory of Sound*” (1877-1878). La acústica no hizo más progresos hasta que *W. C. Sabine*, en una serie de artículos (1900-1915) llevó a la acústica arquitectónica a la categoría de una ciencia.

Aunque la contribución de estos primeros investigadores fue muy importante, el mayor interés en el campo de la acústica siguió a la invención del trío de alto vacío (1907) y al advenimiento de la radiodifusión (1920). Con los amplificadores a válvula ya disponibles, podía producirse sonidos de frecuencia deseada con la intensidad conveniente y, a la vez, podía medirse sonidos muy débiles. A demás, la válvula permitió construir instrumentos de medición compactos, robustos e insensibles a las corrientes de aire (Beranek, 1961).

El progreso de la acústica de las comunicaciones fue apresurado por el esfuerzo de los *Bell Telephone Laboratories* (desde 1920 en adelante) y el desarrollo del sistema telefónico en los Estados Unidos de Norteamérica.

La acústica arquitectónica recibió un gran impulso gracias a los aportes teóricos y experimentales de la *Universidad de Harvard*, el *Instituto Tecnológico de Massachusetts* (MIT) y la *Universidad de California* en Los Ángeles (1930-1940) y varios *Centros de Investigación en Europa*, especialmente en Inglaterra y Alemania. Durante este período se fundamentó y explicó en detalle el decrecimiento del sonido en los locales rectangulares, se introdujo el método de especificación de materiales acústicos por la impedancia, y se fundamentó con precisión el cómputo de la atenuación del sonido en conductos. Se demostraron las ventajas de las paredes irregulares y del uso del material acústico en zonas específicas más bien que sobre toda la extensión de las paredes. Se introdujeron absorbentes funcionales y aparecieron en el mercado muchos materiales acústicos, en una amplia variedad.

También se desarrolló la ciencia de la psicoacústica. En los *Bell Telephone Laboratories*, bajo la espléndida dirección de *Harvey Fletcher*, se cuantificaron los conceptos de sonoridad (loudness) y enmascaramiento y se determinaron muchos de los factores que rigen la comunicación hablada (1920-1940). La acústica, a través de los ultrasonidos penetró el campo de la medicina y la química. Se ensayó la diatermia ultrasónica y la aceleración de las reacciones químicas por medio de los ultrasonidos (Beranek, 1961).

Seguidamente, ocurrió la segunda guerra mundial con su demanda de dispositivos para la detección de submarinos y de medios de comunicación confiables en ambientes muy ruidosos, por ejemplo en los carros de asalto y en las aeronaves. Por lo cual se instalaron grandes laboratorios en Inglaterra, Alemania, Francia y en Estados Unidos de Norteamérica, en las universidades de Harvard, Columbia y California, para ocuparse de estos problemas. Las investigaciones acústicas alcanzaron proporciones no soñadas hasta el momento y se mantuvieron desde entonces en el mismo nivel.

La visión moderna del siglo XX consideró entonces a la acústica como la ciencia de la radiación mecánica en todos sus aspectos y aplicaciones incluyendo el origen (vibración de materiales), transmisión (a través de medios elásticos) y la recepción (percepción en seres vivos, principalmente el ser humano).

En los 60 y 70 los expertos discutían acerca de la conveniencia de conservar la acústica como disciplina independiente o como ramas de disciplinas relacionadas. En el congreso de la Sociedad Acústica de América (ASA) de 1964, se exponen las grandes falencias que existen en la enseñanza de la acústica y en la disponibilidad de buenos libros de texto elemental e intermedio de acústica física. A raíz de estos intercambios se creó el comité de educación en acústica, vigente en la actualidad, cuyo objetivo consiste en mejorar y expandir la enseñanza de la acústica en todos los niveles: desde la escuela elemental hasta la universidad. Además, el comité promueve: a) programas universitarios interdisciplinarios en acústica que cuenten con la acción cooperativa de las facultades involucradas, b) programas combinados de educación e investigación en campos de la acústica de especial interés y c) la creación de carreras de grado en la especialidad acústica.

En los 80 se hizo evidente el desequilibrio producido en el desarrollo de la acústica a través de la proliferación de reuniones científicas sobre control de ruido junto con la escasez de presentaciones en las otras áreas temáticas, a excepción de las importantes aplicaciones en medicina, arquitectura y de las investigaciones en acústica subacuática.

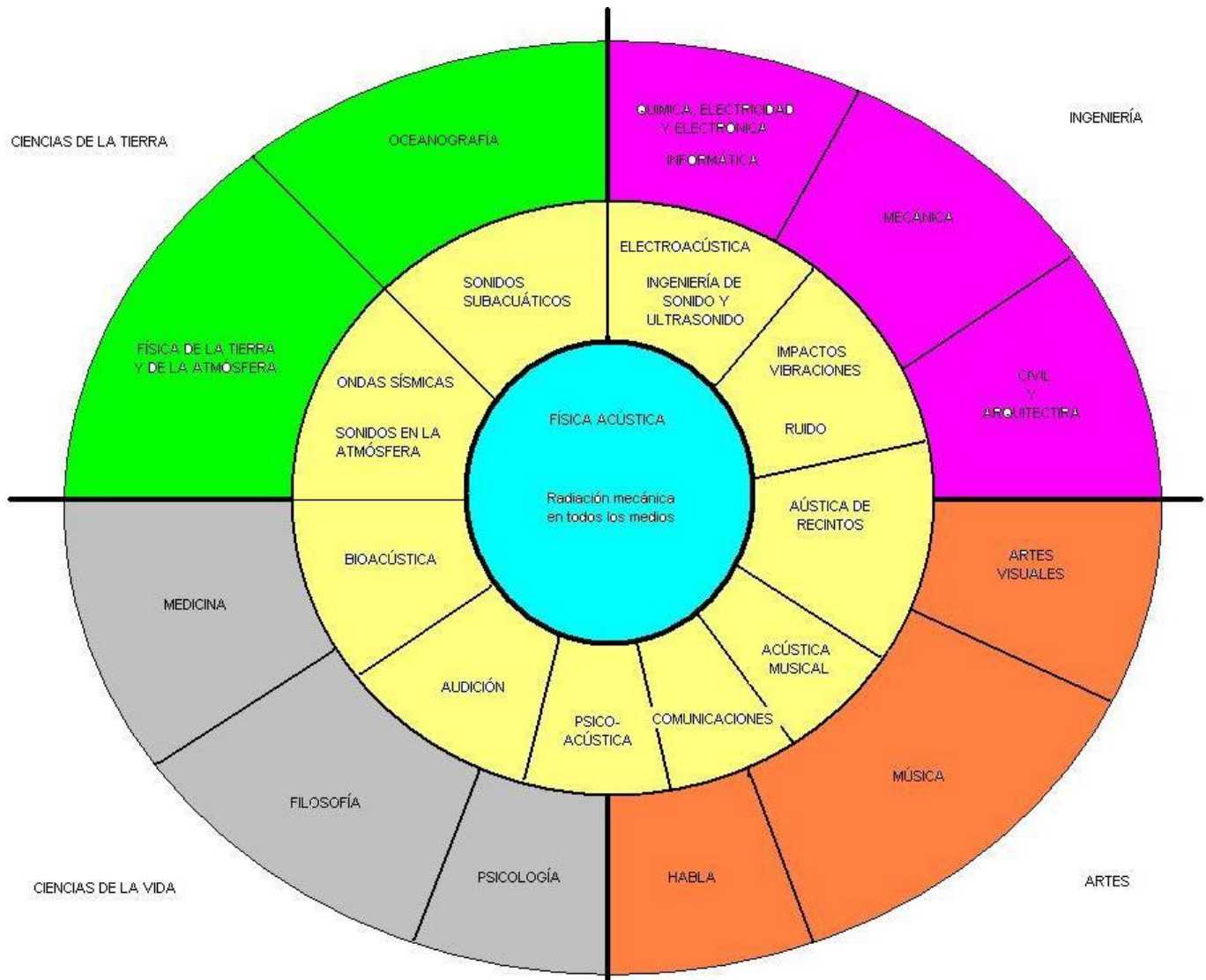
En los 90, los significativos avances logrados en relación a la comprensión de complejos procesos neurofisiológicos y percepto-cognitivos de la audición están corrigiendo el rumbo hacia la recuperación de la esencia misma de la acústica, “su naturaleza interdisciplinaria”. Es de destacar que el mencionado avance se ha concretado tanto por la utilización de los nuevos paradigmas y estrategias metodológicas de la experimentación comportamental y fisiológica como por el empleo de los sorprendentes desarrollos tecnológicos de los últimos tiempos.

En la actualidad no sólo se ha renovado y acrecentado el interés por esta disciplina sino que, más aún, se están generando nuevas ramas que han comenzado a fructificar en resultados pioneros y promisorios (Arias et al, 2010).

#### **1.4 La acústica como ciencia interdisciplinaria. Rueda de Lindsay**

La acústica es una ciencia inherentemente interdisciplinaria cuyo objeto de estudio es el *sonido*, incluyendo su producción, transmisión y percepción en seres vivos. Etimológicamente la palabra *acústica* proviene de un vocablo griego que significa “audición” y fue adoptada en el siglo XVII aludiendo a la *ciencia del sonido*.

La acústica existe naturalmente en una variedad de disciplinas debido a la naturaleza de su objeto de estudio y necesidades sociales. Es, además, una ciencia en desarrollo y una herramienta para el desarrollo de otras ciencias y sus aplicaciones.



**Figura 1** Rueda de Lindsay, representación de la interdisciplinariedad en la Acústica.

La rueda de Lindsay (Lindsay, 1964) es una excelente síntesis conceptual acerca de la naturaleza interdisciplinaria de la acústica. Los *cuadrantes* representan los campos disciplinarios relacionados con la acústica. El *primer anillo* muestra las disciplinas relacionadas con la acústica. El *segundo anillo* está conformado con las ramas de la acústica. El *círculo central* está ocupado por la física acústica (generación y propagación de ondas vibratorias mecánicas), núcleo teórico y aplicado que sustenta el resto de las ramas de la acústica.

La disposición espacial de disciplinas y ramas así como las dimensiones de los sectores que las representan no son arbitrarias. Por ejemplo, el cuadrante de las *ciencias de la tierra* (ídem con *ingeniería*) está ocupado por las disciplinas oceanografía y física de la tierra y la atmósfera que cubren idénticos sectores y por dos ramas: la acústica subacuática y ondas sísmicas y sonidos en la atmósfera. En cambio, el cuadrante de las *artes* (ídem *ciencias de la vida*) está ocupado por disciplinas y ramas de la acústica cuyos pesos relativos están indicados a través de las diferentes dimensiones de los sectores que las representan.

La generación y circulación de conocimiento básico y aplicado dentro de la rueda se establece en varias direcciones. Todas las ramas de la acústica se nutren de la física acústica. A modo de ejemplo, la rama de la acústica que se ocupa de la audición se sustenta en la física acústica y recibe y brinda aportes en parte de la fisiología y en parte de la psicología y de las ramas adyacentes de la bioacústica y la psicoacústica.

La acústica es una ciencia netamente interdisciplinaria. Los temas de investigación básica de cualquier rama de esta disciplina pueden originarse dentro como fuera. Desde el punto de vista académico, la acústica involucra a las ciencias físicas, la ingeniería, las ciencias de la vida y las artes. Desde el punto de vista de la aplicación se relaciona con la invención, el diseño, la industria, la economía, los negocios, la legislación, la salud y la seguridad, entre otros.

Por último puedes decir que las ciencias integradas de la acústica y sus aplicaciones tienen mucho que ofrecer en relación con las necesidades de las personas y de la sociedad.

## 1.5 Resumen

A continuación se sintetizan los conceptos fundamentales del capítulo I:

- La *acústica* es la ciencia que estudia el sonido en sus diversos aspectos, abarcando su generación, propagación y percepción en seres vivos. Es una ciencia inherentemente interdisciplinaria.
- *Interdisciplinariedad* es un término que alude a la interrelación orgánica de conceptos de diversos campos disciplinares con el objeto de construir una “nueva unidad” de nivel superior que incluye e integra las aportaciones disciplinares particulares.
- La *rueda de Lindsay* es una síntesis conceptual que expresa la naturaleza interdisciplinaria de la acústica y la dinámica de sus aportes. Desde el punto de vista académico involucra las ciencias físicas, la ingeniería, las ciencias de la vida y las artes. Desde el punto de vista de la aplicación se relaciona con la invención, el diseño, la economía, los negocios y la legislación.

## 1.6 Referencias

- ANSI (1994), “*Acoustical Terminology*”. Editorial American National Standard Institute. New York.
- Apostel, L. (1975), “*Interdisciplinariedad*”. Editorial Anuies, México.
- Apostel, L, et al (1983), “*Interdisciplinariedad y ciencias humanas*”. Editorial Tecnos, Madrid, España.
- Arias C, Biassioni E., Serra M., Ramos O., Verzini A., Hinalaf M., Pérez Villalobo J., Hüg M., Ferreyra S., Bermejo F. (2010), “*Apunte del Seminario: Investigación Interdisciplinaria en Acústica*”, CINTRA, UTN FRC, Córdoba, Argentina.
- Beranek, L. (1961), “*Acústica*”. MIT, USA, Edición en castellano Editorial Panamericana. USA.
- Ferreyra S., Hüg M., Jasá V., Lucchino F. (2004), Apunte del Seminario: “*Introducción a la Acústica y Psicoacústica*”, CINTRA, UTN FRC. Córdoba. Argentina.
- Ferreyra S., Miretti G., Barrera F. (2009), “*Acústica: Campo de Acción del Ingeniero Civil*”. Apunte del Seminario de grado organizado por la facultad de ciencias exactas físicas y naturales de la UNC. CINTRA, UTN FRC, Córdoba, Argentina.
- Linsay B. (1964). “*Report to the National Science Foundation on Conference on Education in Acoustics*”. Journal of the Acoustical Society of America. (JASA) 36, 2241-2244.
- Miller D. (1959), “*Anecdotal history of the science of sound to the beginning of the 20<sup>th</sup> century*”. The MacMillan Company. New York.