

## Se ve, se siente... el sonido está presente

Rafael García Molina  
Nuria Piñol  
Javier Abellán  
Universidad de Murcia

*La mayoría de los estudiantes están familiarizados con el sonido, pero si no tienen un oído muy entrenado musicalmente, no son capaces de diferenciar sus principales características, excepto las frecuencia e intensidad (tono y volumen, en su denominación más cotidiana). Estas propiedades del sonido y otras, tales como el timbre, pueden visualizarse y estudiarse empleando programas para grabar, reproducir y editar sonidos; incluso puede determinarse la velocidad del sonido en sólidos con bastante exactitud. De esta manera los estudiantes pueden percibir de forma cuantitativa lo que de otro modo no pasaría de ser una información cualitativa.*

Palabras clave: *sonido, ondas, nuevas tecnologías.*

### Seeing and sensing sound with simple devices

*Most students are familiar with sound, but if they don't have a good, well-trained ear they are unable to distinguish the main features of sound (except frequency and intensity, or tone and volume as they are more commonly known). These and other properties of sound, such as timbre, can be seen and studied by means of programmes to record, reproduce and edit sound. Even the speed of sound in solids can be measured fairly accurately. In this way students can get a good quantitative understanding of what would otherwise be qualitative information.*

Keywords: *sound, waves, new technologies.*

La mayoría de las personas no son capaces de diferenciar las principales propiedades del sonido, excepto su frecuencia e intensidad (tono y volumen, en lenguaje cotidiano). Para que los alumnos entiendan bien las características, conceptos y fenómenos asociados a las ondas es importante que se familiaricen con ellas de una forma práctica. El estudio del sonido es ideal para este propósito. Sin embargo, la evolución en el contenido de los libros de texto más usuales muestra una progresiva reducción de los apartados dedicados a las ondas acústicas, o bien su inclusión en temas más genéricos. Por ejemplo, el libro de Tipler (uno de los textos más usados en la enseñanza de los primeros cursos universitarios) dedica un capítulo completo al sonido en su tercera edición (Tipler, 1992), mientras que la quinta edición (Tipler y Mosca, 2005) presenta las características de los fenómenos acústicos dispersas en varios temas de ondas.

En este trabajo proponemos el uso de uno de los programas que manejan con asiduidad los jóvenes para grabar, reproducir y editar sonidos (Audacity v1.3.4, de uso libre) con el objetivo de ilustrar y analizar las prin-

cipales propiedades del sonido. Aunque son numerosas las experiencias que se pueden realizar, en este trabajo nos hemos restringido a las siguientes:

- Distinguir las diferentes características del sonido, tales como la frecuencia (tono), la intensidad (volumen) y el timbre.
- Ver la onda generada por distintos instrumentos.
- Observar el resultado de la interferencia de dos ondas; en concreto, la aparición de pulsaciones (o batidos) cuando las dos ondas que interfieren tienen frecuencias muy próximas.
- Determinar la velocidad del sonido en un sólido.

Estas actividades prácticas son útiles para estudiar las características del sonido (en particular) y de las ondas (en general) en el bachillerato y los primeros cursos universitarios; en este último caso, también puede servir de introducción al análisis de Fourier.

A continuación se relaciona el material empleado:

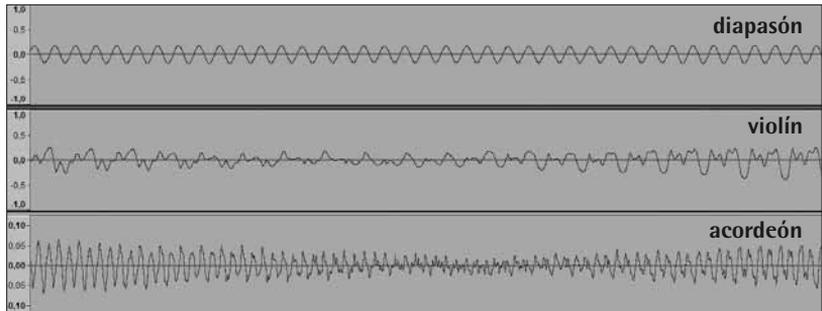
- Programa Audacity (v1.3.4, en su versión de uso libre), que permite grabar y analizar sonidos; su uso está bastante extendido entre los jóvenes para manejar ficheros de sonido.
- Micrófono conectado a un ordenador.
- Varios instrumentos musicales; en nuestro caso hemos empleado un diapasón, un violín, un acordeón, un órgano y dos pequeños címbalos tibetanos.
- Una varilla maciza de aluminio y otra de latón, de 1 m de longitud y 1 cm de diámetro (las dimensiones exactas no son cruciales); pueden conseguirse en comercios que ofrecen materiales de bricolaje y de construcción para quienes ocupan su tiempo de ocio en tales menesteres.
- Resina de violín; disponible en tiendas de instrumentos musicales.

Por mor de la brevedad, en lo que sigue mostraremos los resultados más ilustrativos obtenidos en cada experiencia, sin detenernos a describir las propiedades del sonido que intervienen en cada caso (frecuencia, timbre, intensidad, interferencia...), pues ya se tratan en los libros de texto, tanto de los primeros cursos universitarios antes mencionados como en los de bachillerato (Barrio Gómez de Agüero, 2003).

En el cuadro 1 se muestra la onda correspondiente a la nota la (440 Hz) emitida por un diapasón, un acordeón y un violín. Podemos apreciar como el diapasón genera una onda armónica pura, mientras que en los otros dos instrumentos se observa un patrón que es el resultado de la superposición de diversas ondas.

Para comprobar que estos tres sonidos tienen el mismo tono (es decir, la misma frecuencia de 440 Hz, correspondiente a la nota musical

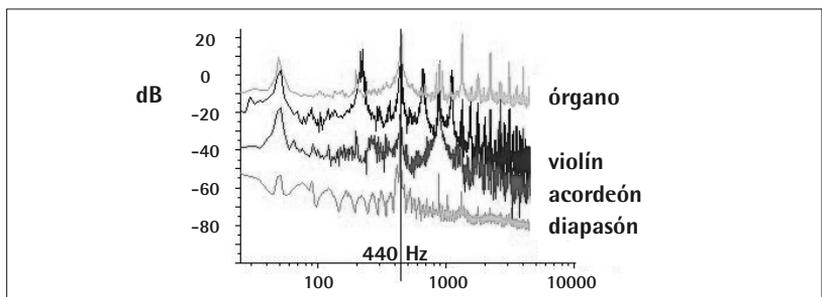
**Cuadro 1.** Registro de las ondas generadas por un diapasón, un violín y un acordeón tocando la nota la (440 Hz)



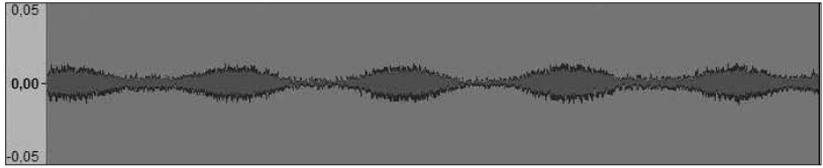
la), el programa Audacity permite realizar el análisis de Fourier de cada onda (Alonso y Finn, 1970; Fishbane y otros, 1994) y proporciona el espectro de frecuencias presente en cada sonido. El resultado se muestra en el cuadro 2, donde además se ha añadido el espectro correspondiente a un órgano. Aparte del ruido presente en los espectros, puede observarse que en todos los instrumentos aparece la frecuencia de 440 Hz, pero cada uno de ellos se diferencia de los restantes porque a junto a la frecuencia principal aparecen otras características de cada instrumento (los denominados armónicos). En el caso del diapason se observa que la frecuencia de 440 Hz está rodeada de frecuencias menos intensas que en el resto de los instrumentos.

También se puede discutir (y visualizar gráficamente) cómo la amplitud de una onda determina su intensidad sonora, sin más que repre-

**Cuadro 2.** Espectros correspondientes a la nota musical la (440 Hz) interpretada con cuatro instrumentos distintos: órgano, violín, acordeón y diapason. Se ha desplazado la escala vertical de cada espectro (correspondiente a su intensidad) para que no se superpongan y puedan distinguirse con más claridad



**Cuadro 3.** Interferencia de las ondas acústicas generadas por dos címbalos tibetanos. Se observa perfectamente la pulsación resultante, cuya frecuencia es la diferencia de las frecuencias de cada címbalo

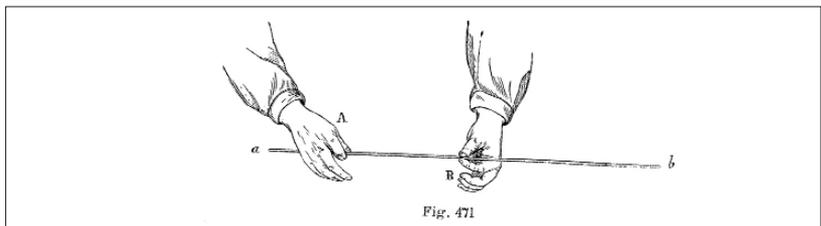


sentar el sonido obtenido con un instrumento que se hace sonar a mayor o menor volumen, o bien acercándolo o alejándolo del micrófono.

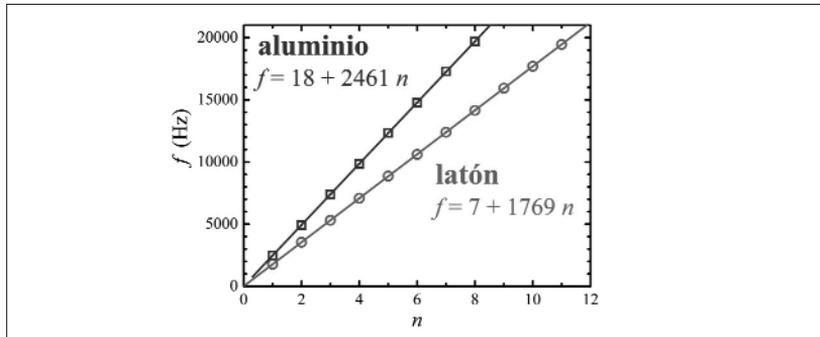
El cuadro 3 muestra la onda correspondiente a la interferencia de los sonidos producidos por dos pequeños címbalos tibetanos, cuyas frecuencias son muy próximas. Puede verse con claridad la modulación de la onda resultante, que es la responsable de las pulsaciones (o batidos) que emiten los címbalos.

Tras mostrar de forma esencialmente cualitativa las principales propiedades del sonido, realizamos un estudio cuantitativo, que consiste en determinar la velocidad del sonido en un sólido. Para ello, grabamos con el programa Audacity el sonido generado en una varilla de aluminio (y, posteriormente, en una barra de latón) al frotarla longitudinalmente con el dedo índice y pulgar impregnados de resina de violín, mientras la sujetamos por el centro con los dedos índice y pulgar de la otra mano (cuadro 4); de esta forma se generan ondas estacionarias con vientres en los extremos de la varilla. También se pueden obtener ondas estacionarias de mayor frecuencia sujetando la varilla a distancias de  $1/4$ ,  $1/8$ , etc. de su extremo (pero ahora hay que sostener la varilla verticalmente, pues su masa no está distribuida por igual a ambos lados del punto de apoyo). Esta forma de generar sonido se explica brevemente en repertorios clásicos de experiencias de física (Meiners, 1970) y en algunos libros de texto (Sears y Zemansky, 1966), aunque es bien conocida desde mucho tiempo antes, tal como lo acredita el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Se pueden generar ondas longitudinales audibles en una varilla de aluminio (u otro metal) si, sujetándola por su centro (B), se frota longitudinalmente con los dedos impregnados en resina (A). La imagen procede de Soler y Sánchez (1900)



**Cuadro 5.** Representación de la frecuencia frente al número de nodos del sonido generado por ondas longitudinales en una varilla de aluminio y en otra de latón, ambas de 1 m de longitud. Los puntos indican los datos experimentales mientras que las líneas son los correspondientes ajustes por mínimos cuadrados, cuya expresión matemática aparece debajo del nombre de cada material



Aunque también se puede producir sonido golpeando la varilla longitudinalmente en un extremo, el método propuesto resulta más espectacular por lo inesperado del resultado y la gran intensidad del sonido emitido. Además, dirigiendo la varilla hacia diversos sectores del público se percibe con claridad que la intensidad sonora aumenta notablemente en la dirección axial de la varilla, lo cual pone de manifiesto que la onda generada es longitudinal. La varilla ha de frotarse a un ritmo acompasado con el sonido que se emite, lo cual sirve para discutir con los alumnos el fenómeno de la resonancia. La frecuencia  $f$  de las ondas estacionarias que se generan en la varilla con sus extremos libres sólo puede tomar los valores discretos  $f = nv/(2L)$  [1], donde  $n=1,2,3...$  corresponde al número de nodos de la onda,  $L$  es la longitud de la varilla y  $v$  es la velocidad del sonido en el material que constituye la varilla.

Una vez registrado el sonido emitido por la varilla, analizamos su espectro para obtener las frecuencias que contiene y representarlas en función del número de nodos,  $n$ , de acuerdo con la ecuación [1]. El cuadro 5 muestra los resultados obtenidos con una varilla de aluminio y otra de latón cuando se hicieron sonar sostenidas por su centro; nótese la gran cantidad de armónicos que contiene el sonido emitido en cada caso. A partir de la pendiente de la recta que se ajusta a los datos experimentales y conociendo la longitud de la varilla, es fácil obtener la velocidad del sonido en el material de que está hecha la varilla. Los resultados que obtuvo un grupo de alumnos que trabajó con varillas de  $L=1$  m fueron  $v_{\text{aluminio}} = 4.922$  m/s y  $v_{\text{latón}} = 3.538$  m/s; otro grupo de alumnos realizó la experiencia con varillas de aluminio de di-

ferentes tamaños y obtuvo aluminio = 4.990 m/s. Estos resultados están en muy buen acuerdo con los valores tabulados para el aluminio y para el latón, 5.000 m/s y 3.480 m/s, respectivamente (Mason, 1972; Lide, 2005). Si tenemos en cuenta la calidad de los resultados, junto con la sencillez del método y la disponibilidad de los materiales empleados, cabe concluir que este procedimiento para determinar la velocidad del sonido es altamente recomendable para desarrollarlo durante el estudio de las ondas sonoras y mucho más barato que otros sistemas comerciales.

Concluimos este trabajo destacando que los programas que permiten el registro y el análisis de sonidos (tales como Audacity v1.3.4 u otros similares) son un excelente recurso en el ámbito docente para estudiar y explicar las principales características y fenómenos asociados a las ondas en general (tales como la frecuencia, las interferencias, el análisis espectral) y al sonido en particular (como el timbre y la determinación de su velocidad en un medio). De este modo se «visualizan» las distintas propiedades del sonido y se aprecia de forma cuantitativa lo que de otra forma no pasaría de ser una información cualitativa, que muchos estudiantes no son capaces de percibir (salvo aquellos que tienen un oído muy entrenado musicalmente).

La utilización de estos programas por parte de los estudiantes les ayuda a comprender las características del sonido tanto en situaciones simples (sonido emitido por un diapasón, cuyo interés es principalmente académico) como en casos más complejos y, por ello, más interesantes, tales como la relación entre la frecuencia y las características del emisor (dimensiones y naturaleza). Además, resulta muy formativo, a la vez que gratificante, poder realizar experiencias empleando materiales que les son familiares (instrumentos musicales, programas de grabación de sonidos, varillas metálicas). En particular, la generación de sonido por fricción longitudinal de una varilla metálica y la posterior determinación de la velocidad del sonido en sólidos es una de las actividades prácticas mejor valoradas por los estudiantes, tanto por la sorpresa y satisfacción que les proporciona el generar sonido como por la buena calidad de los resultados numéricos que se obtienen.

#### Referencias bibliográficas

- ALONSO M.; FINN E.J. (1970): *Física. Vol. I. Mecánica*. Bogotá. Fondo Educativo Interamericano.
- BARRIO GÓMEZ DE AGÜERO J. (2003): *Física. 2.º Bachillerato*. Madrid. Proyecto Exedra, Oxford Educación.
- FISHBANE P.M.; GASIOROWICZ S.; THORNTON S.T. (1994): *Física para ciencias e ingeniería*. México. Prentice-Hall.

- LIDE, D.R. (2005): *CRC Handbook of Physics and Chemistry*. Boca Ratón. Taylor & Francis, p. 14-39.
- MASON, W.P. (1972): *American Institute of Physics Handbook*. N.Y. MacGraw-Hill.
- MEINERS, H.F. (1970): *Physics demonstrations experiments*. N.Y. Ronald Press.
- SEARS, F.; ZEMANSKY, M.W. (1966): *Física*. Madrid. Aguilar, secc. 22-9.
- SOLER Y SÁNCHEZ, J. (1900): *Curso elemental de Física*. Alicante. Establecimiento Tipográfico de Vicente Botella.
- TIPLER, P.A. (1992): *Física*. 3.ª ed. Barcelona. Reverté.
- TIPLER, P.A.; MOSCA, E. (2005): *Física para la ciencia y la tecnología*. 5.ª ed. Barcelona. Reverté.

*Dirección  
de contacto*

*Rafael García Molina  
Universidad de Murcia  
rgm@um.es*

Este artículo fue recibido por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en octubre de 2009 y aceptado en enero de 2010 para su publicación.