

LA CIENCIA EN LA EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA: PROPUESTA DIDÁCTICA

M^a José Gómez Díaz, J. Manuel López Álvarez, José M^a López Sancho y Alfredo Tiemblo*

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunos experimentos de acústica. Es el primero de una serie de artículos cuya intención es ilustrar los principios básicos que gobiernan los procesos que tienen lugar en ellos. Los experimentos que se utilizan no requieren instrumentos ni aparatos especiales. Están inspirados en las observaciones que sirvieron a los grandes hombres para formular sus leyes, como son la oscilación de la lámpara de la Catedral de Pisa, la caída de la manzana de Newton, los guisantes de Mendel o los pinzones de Darwin. Pretendemos de esta forma que los experimentos sean útiles tanto para formular las ideas científicas que los profesores deben conocer como para que sirvan de guía de los trabajos prácticos en las aulas.

ABSTRACT

In this paper we present a few experiments in acoustics. This is the opening article of a series of papers, devoted to illustrate the basic principles that govern the fundamental processes. The proposed experiments are designed in order to be performed with common, readily available materials. They are inspired in the original observations made by great scientists to formulate the Laws of Science, such as the lamp oscillations of the Cathedral of Pisa, the falling of the Newton's apple, the Mendel's peas or the Darwin's finches. The aim of this article is twofold: to show up the underlying fundamental facts in a useful way and to give the teachers clues to prepare elementary science experiments to be performed in the classroom.

1. IMAGINACIÓN VIENE DE IMAGEN

En este artículo presentamos una serie de experimentos que forman parte de un proyecto que se está desarrollando en la actualidad. Trata de enseñar a manejar la imaginación para obtener resultados útiles en un proceso en el que todos estamos interesados: la creatividad.

El objeto fundamental del experimento, la esencia del método que proponemos, radica en que se puede crear un mundo paralelo al real, una representación de la Naturaleza, simplemente si conseguimos que los elementos y partes imagina-

* Miembros del Instituto de Matemáticas y Física Fundamental del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

(N.B) Ilustraciones de esta experiencia: Esther Moreno Gómez, alumna del CES Don Bosco

dos se comporten de una manera semejante a los originales. Por ello el profesor debe hacer comprender al alumno que existe un enlace entre las ideas que surgen en su imaginación y los objetos reales, lo cual no es más que una forma de Platonismo.

A continuación vamos a presentar algunos experimentos relacionados con el sonido que nos servirán para exponer de forma práctica nuestra propuesta para la introducción de la enseñanza de la ciencia en la educación Infantil y Primaria.

2. ALGUNAS NOCIONES PREVIAS SOBRE LA FÍSICA DEL SONIDO

Galileo Galilei encarna lo que podríamos denominar un prototipo de hombre renacentista, esto es, era un hombre muy culto, siempre deseoso de entender todo lo que veía, movimientos, luz, sonidos,... todo le parecía interesante. Entre los numerosos experimentos que realizó, nosotros vamos a relatar el que se refiere a nuestro tema de trabajo: "el sonido". Galileo midió la velocidad del sonido en el aire de una manera sencilla y exacta.

Galileo también lo suponía, la luz se propaga a una enorme velocidad. Respecto a la del sonido se puede decir que la velocidad de la luz es infinita. Por ello a efectos prácticos, él y su ayudante pidieron a un amigo común que era capitán de artillería, que disparase un cañón (cargado con pólvora sólo) a las doce de la noche. Ambos investigadores se situaron en un monte próximo, a una distancia de 3Km del lugar en que estaba situado el cañón. El experimento se realizó de la siguiente manera:

Cuando el capitán disparó el cañón, Galileo y su ayudante vieron el resplandor de la pólvora y empezaron a contar: uno, dos, tres... esperando el momento en el que el sonido producido por el cañonazo llegase hasta ellos; siete, ocho, nueve, diez. ¡Ahora! gritaron ambos. Galileo calculó en voz alta: 3.000 metros recorridos en diez segundos son 300 metros en un segundo. Esa es la velocidad del sonido en el aire.

Con ese dato se puede calcular la distancia a la que está una tormenta si se ve un relámpago y se empieza a contar el tiempo que tarda en oírse el trueno, y también sirve para medir las distancias entre dos puntos, siempre que dispongamos de un cañón o algo parecido. Pero, ¿cómo podía Galileo

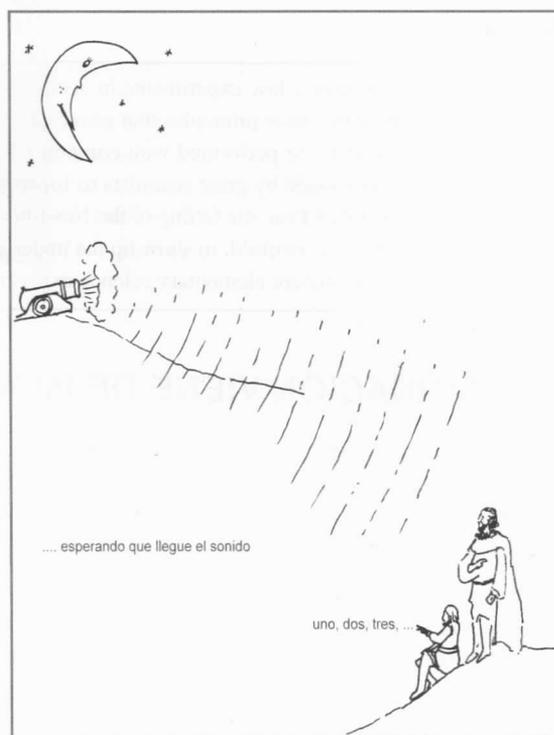


Figura 1: Disparo del cañón; Galileo y su amigo contando en un monte próximo.

contar de una forma tan exacta en esa época en que todavía no existían los relojes?, ¿Cómo podía estar seguro de que cada número que recitaba correspondía a un segundo?

Mediante esta historia hemos conocido a qué velocidad viaja el sonido en el aire. No vamos a estudiar algunas de sus propiedades, sino algunas de las formas conocidas de propagación de señales. Éstas son aplicables a cualquier señal que se propague de un punto a otro, entre ellas el sonido y la luz. Una vez que conozcamos estos modos de transmisión trataremos de averiguar cuál de ellas se acomoda a la forma en que el sonido se desplaza.

En primer lugar presentaremos las dos formas en que podría propagarse el sonido: ondas o tal vez partículas

Las partículas se pueden imaginar como pelotas de ping-pong, pero microscópicas, que se desplazan como las balas de una ametralladora. Rebotan en superficies lisas y se comportan, en cierto modo, de forma convencional. Así llegan a la Tierra las que salen del Sol: pueden desplazarse a través del espacio.

Por otro lado están las ondas. Existen dos formas en las que se pueden transmitir: ondas transversales y longitudinales que vamos a estudiar a continuación.

2.1 Ondas transversales

La forma en que se propaga una onda es misteriosa y desconcertante. Para entenderlo podemos fabricar una simplemente dando una sacudida a una cuerda tensa.

La deformación que producimos por medio de la sacudida (que se llama "paquete"), se propaga a lo largo de la cuerda sin que en ella haya desplazamiento de materia.

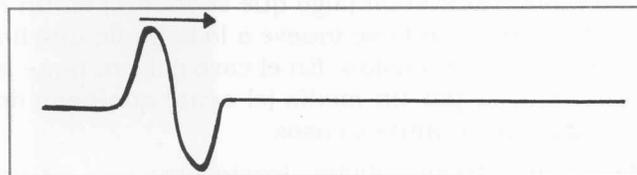


Figura 2: Un "paquete" desplazándose por una cuerda

Ocurre lo mismo si producimos ondas sinusoidales viajeras, (que son las ondas clásicas que se representan en todos los libros). Estas se producen desplazando verticalmente el extremo de la cuerda *hacia arriba y abajo con un movimiento oscilatorio uniforme* y se desplazan con velocidad constante a lo largo de la cuerda.

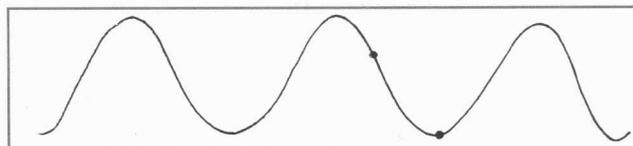


Figura 3: Ondas sinusoidales en una cuerda

Si pintamos una señal roja en un punto de la cuerda vibrante la veremos oscilar hacia arriba y abajo, sin desplazarse a lo largo de la misma. Si señalamos otro punto con una marca verde veremos que ambas oscilan de la misma forma, pero retrasándose una respecto de la otra: sus movimientos están desfasados. Lo importante de este experimento es poner de manifiesto que las ondas se desplazan a lo largo de la cuerda, desde un extremo a otro, longitudinalmente. Para que esto ocurra las partes de la cuerda, en cambio, se mueven en sentido transversal al movimiento, sin desplazarse en la dirección de propagación. Los puntos de la cuerda sólo realizan

movimientos oscilatorios en dirección transversal a la misma. Por ello esta forma de onda se llama transversal. La distancia que hay entre la posición superior y la inferior del punto rojo se llama *amplitud* del movimiento.

Lo mismo ocurre cuando tiramos una piedra en un estanque; se forman ondas que se propagan en forma circular.

¿Cómo son las ondas que se generan en el estanque? ¿Cuál es el origen de esos círculos que se alejan de lugar en que ha caído la piedra? Para responder a esta pregunta podemos observar lo que ocurre si tiramos al agua pedacitos de madera o corcho, pintados de rojo y verde, que floten y se mantengan en su superficie a distinta distancia del centro: veremos que, cuando llega la onda, estos pedacitos suben y bajan como lo hacían los puntos coloreados de la cuerda del ejemplo anterior. La distancia que hay entre la posición superior y la inferior de los pedacitos de madera constituyen la *amplitud* del movimiento. Si se cortara el estanque por un plano vertical imaginario observaríamos la misma figura ondulada que se veía en la cuerda.

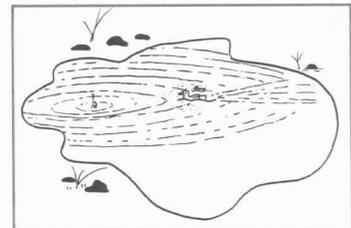


Figura 4: Ondas en un estanque

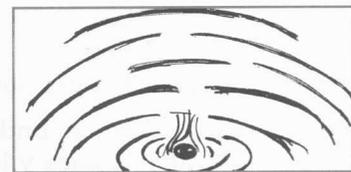


Figura 5: Estanque cortado

Resumiendo: tanto en el caso de la cuerda como en el del estanque se transmite una onda transversal (algo que se mueve) en un medio que no se desplaza. En el primer caso la onda se mueve a lo largo de una línea: es un fenómeno que se produce en una dimensión. En el caso del estanque la onda se mueve por una superficie, es decir por un medio (el agua) que tiene dos dimensiones. Pero el proceso es el mismo en ambos casos.

Pero, como hemos dicho, existe otro tipo de ondas: las ondas longitudinales; vamos a estudiarlas de la misma forma que las transversales.

2.2 Ondas longitudinales

Para producir una onda longitudinal sustituimos la cuerda por un “muelle mágico”, de los que emplean los niños para jugar.

Se trata de un muelle muy elástico, con muchas espiras y generalmente hecho de acero o plástico. Si damos una sacudida al muelle (que ahora es el medio de propagación), pero esta vez en sentido longitudinal, (en la dirección en la que se encuentra el muelle), formaremos una zona de concentración de espiras que se propagará a lo largo del medio con una velocidad constante. Esta concentración de espiras recibe también el nombre de “paquete”, como en el caso de la cuerda, y ambas son semejantes en casi todo.

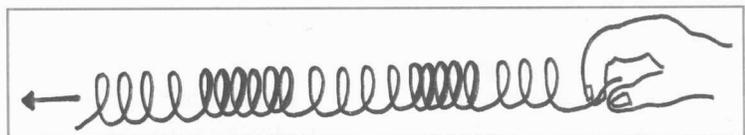


Figura 6: Ondas sinusoidales en un muelle

También en este caso podemos producir una serie de ondas sinusoidales que se desplacen por el muelle. Para ello aplicamos en uno de sus extremos *un movi-*

miento oscilatorio uniforme en la dirección del muelle, de derecha a izquierda. Si pintamos un par de puntos, rojo uno y verde otro, en dos espiras separadas del muelle, como hicimos en la cuerda, veremos que estos puntos realizan sendos movimientos oscilatorios, también con un cierto desfase, pero ahora de derecha a izquierda, a lo largo de la dirección de propagación; por ello esta forma de ondas se denomina longitudinales. La distancia que hay entre la posición extrema izquierda y la extrema derecha del punto rojo es la *amplitud* del movimiento oscilatorio longitudinal.

3. EL AIRE DE LA ATMÓSFERA COMO MEDIO POR EL QUE SE PROPAGA EL SONIDO

3.1. Modelo de atmósfera

Aunque el sonido se transmite por sólidos, líquidos y gases, en este artículo sólo nos vamos a ocupar de la transmisión a través del aire. Para ello es fundamental que tengamos una imagen, un modelo, de cómo es el aire que nos rodea.

Richard Feynman, uno de los Premios Nobel más creativos del siglo XX, estaba firmemente convencido de que la teoría más útil de que disponíamos era la atómica; como tantas otras fue enunciada por primera vez por los griegos. Los cuerpos del mundo físico, y entre ellos el aire, están constituidos, de acuerdo con ella, por pequeñas esferas que se comportan como pelotas perfectamente elásticas, y dotadas de una velocidad muy alta, proporcional a la temperatura. Estas bolas reciben el nombre de moléculas; en el caso del aire seco las más numerosas son las moléculas de nitrógeno (78%) y las de oxígeno (21%), pero para nuestros propósitos tendrán las mismas características y se comportarán de la misma forma. Estas esferas chocan entre sí y con las paredes, entran en nuestros pulmones (donde la hemoglobina captura algunas de las de oxígeno y desprende dióxido de carbono) y penetran en nuestro oído llegando al tímpano, que es la ventana de nuestro oído externo. Cuando chocan con los sólidos rebotan elásticamente, como una pelota de frontón en la pared; el resultado de esos rebotes es la presión atmosférica. Evidentemente a igualdad de temperatura (velocidad de las partículas) el valor de la presión es tanto mayor cuanto mayor sea la concentración de moléculas.

Para ayudarnos en nuestro proceso, vamos a llevar a cabo un experimento mental; supongamos que inflamos un globo hasta un punto próximo a su tamaño máximo. Esto lo conseguimos introduciendo, con la fuerza de nuestros pulmones, una cantidad de moléculas de aire mucho más concentradas que lo que están en la habitación. En el interior del globo las moléculas de aire golpean la pared de éste y, por ser mayor su concentración que en la parte exterior de él, no sólo contrarrestan la presión de la atmósfera sino que obligan a la pared elástica a estirarse, de manera que ejerza una fuerza adicional hacia el interior.

A continuación llevamos nuestro globo a la entrada de un tubo de los que se emplean en las conducciones de aire acondicionado, largo y estrecho. Si rompemos el globo de forma brusca, el aire (que está muy concentrado en su interior) saldrá al exterior (el interior del tubo) dotado de una velocidad neta hacia la parte externa; esta velocidad hace que se cree una región en la que las moléculas de

aire están muy concentradas, que se propagará desplazándose a lo largo del conducto con una cierta velocidad. (Gracias al experimento que realizó Galileo sabemos a qué velocidad),

Si miramos atentamente veremos que la zona de alta concentración de moléculas se desplaza por la canalización de manera similar a la forma en que lo hacía el paquete formado por una alta concentración de espiras a lo largo del muelle, después de la sacudida longitudinal (que corresponde en nuestro caso a la explosión del globo). Este paquete o región de moléculas muy concentradas, viaja a lo largo del tubo hasta que se encuentra con la salida. Si ponemos la cabeza en el extremo del tubo, al llegar el paquete a nuestro oído oiremos la explosión del globo.

De este experimento deducimos que el sonido se propaga por el aire del tubo de la misma forma que el paquete formado por la región de espiras comprimidas del muelle, es decir, generando ondas longitudinales.

Si en vez de hacer explotar el globo dentro de un tubo lo hacemos en medio de una habitación, la región de alta concentración molecular se expandirá por toda la habitación describiendo una superficie esférica de radio creciente. Como la superficie de la región aumenta con el cuadrado del radio, la concentración de moléculas disminuirá (se atenuará) en la misma proporción hasta que finalmente se haga igual a la concentración de moléculas que existe en el aire a presión nor-

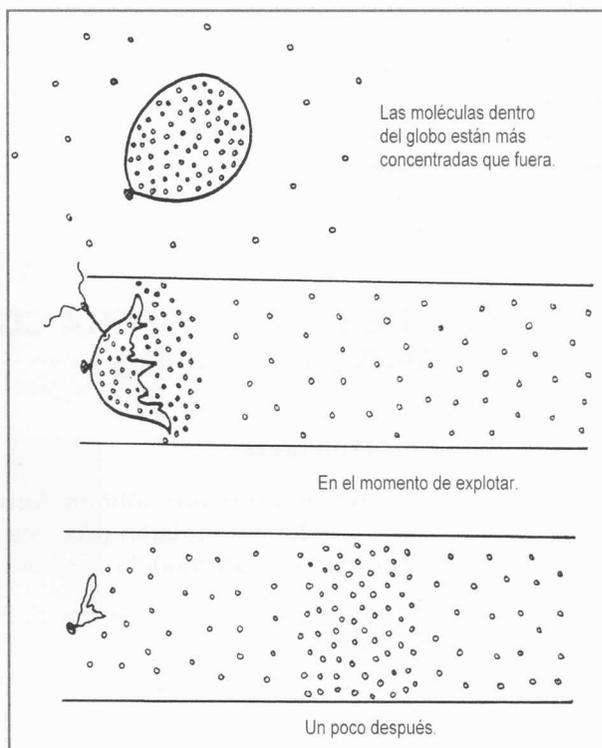


Figura 7: Explosión de un globo en un tubo

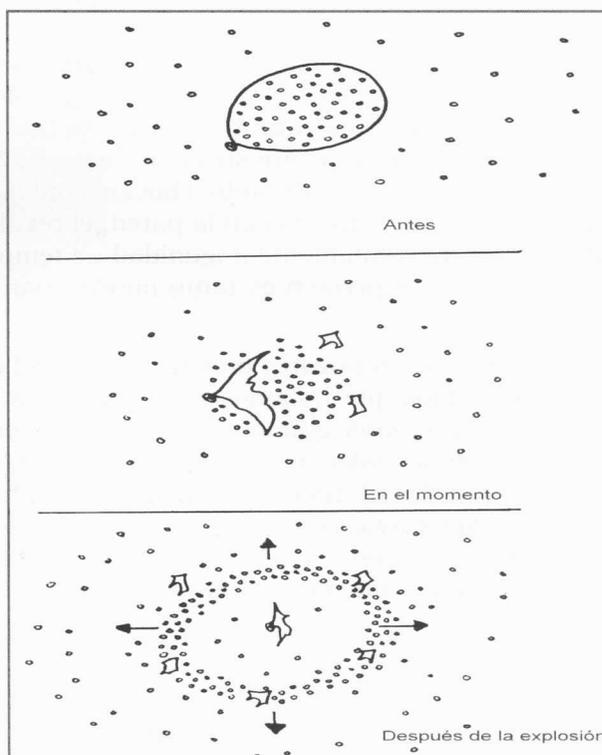


Figura 8: Explosión de un globo en una habitación

mal; en ese punto habrá desaparecido la onda.

A continuación realizaremos otro experimento mental, como el anterior del globo; pero ahora elegiremos un tambor como elemento productor de sonido. Y lo vamos a excitar (sacar de su condición de equilibrio o reposo) con un único golpe en el centro.

Como puede verse en la figura, lo que producimos con un golpe es un estiramiento elástico de la piel del tambor, de forma que su superficie baje generando una especie de "valle" y suba después formando una pequeña "montaña", volviendo a bajar y a subir en movimientos sucesivos hasta que el rozamiento haga que la energía que le hemos comunicado con el golpe inicial se disipe.

Pero ¿cómo se propaga este movimiento de la piel del tambor al aire y luego a nuestro oído?. Vamos por partes.

Cuando la piel sube empuja a la capa de moléculas que están cerca de ella y la acerca a las demás:

- ◆ Zona de alta concentración
- ◆ Zona de concentración normal
- ◆ Zona de baja concentración

De esta manera vemos que el tambor produce una serie de "empujones a las "moléculas", que dan como resultado una serie de zonas de alta y baja concentración que se desplaza desde la piel hacia las paredes de la habitación. Recordemos que hemos producido una onda de este tipo (onda longitudinal), simplemente sometiendo a nuestro muelle a un movimiento de "va y ven" regular.

Ésta es la manera en que se propaga el sonido en el aire. Si nos fijamos (en nuestro experimento imaginario) en una molécula determinada del aire (podemos pintarla de rojo para diferenciarla de las demás) veremos que realiza un movimiento de "va y ven" en torno a su posición de equilibrio igual que lo hacía cada una de las espiras del muelle en el experimento real de la propagación del paquete formado por las espiras más juntas. Así pues, las moléculas de aire se desplazan en torno a su posición de equilibrio con un movimiento vibratorio, volviendo siempre a él. A cada movimiento completo de "va y ven" se le llama ciclo y el número de ciclos que se producen en un segundo se llama frecuencia. El tiempo que tarda en realizar un ciclo completo recibe el nombre de *periodo*.

Un sonido de setenta ciclos por segundo (70 Herzios) es un sonido muy grave. Es el más grave que puede dar un cantante masculino. La tecla del extremo izquierdo de un piano produce un sonido de 27,5 Herzios (aproximadamente como el

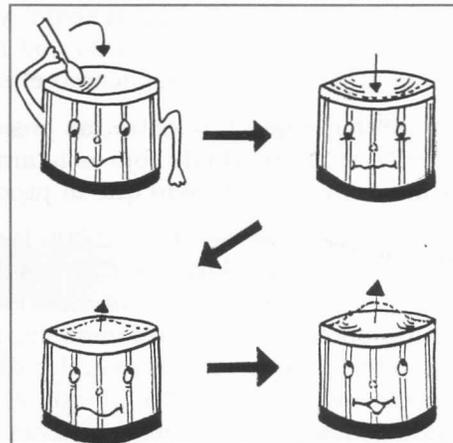


Figura 9: Piel del tambor oscilando

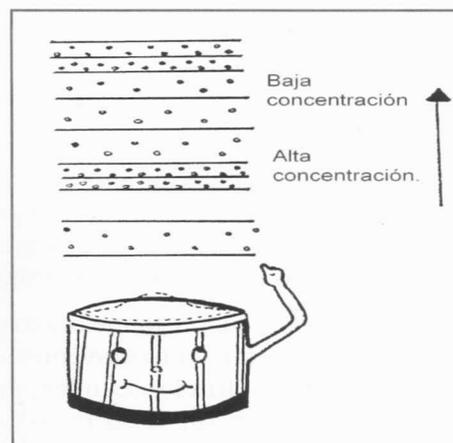


Figura 10: Ondas producidas por el tambor

sonido más grave del contrabajo) y la del extremo derecho de 4186 Herzios. El "Do" central corresponde a 261,63 Herzios y la frecuencia más alta de una soprano es unos 1050 Herzios (como el sonido más agudo de una viola).

La distancia que hay entre las posiciones extremas del movimiento vibratorio de la molécula pintada de rojo es la amplitud del movimiento, y está relacionada con la intensidad del sonido que la produce.

Nuestro oído oye de 16 a 20.000 Herzios cuando funciona normalmente, es decir en los niños y los jóvenes. Con la edad va perdiendo sensibilidad y no llega ni tan bajo ni tan alto. Pero ya veremos eso más adelante. Por debajo de los 16 Herzios lo que percibimos lo llamamos vibraciones. Por encima de 20.000 Herzios nuestro oído no reacciona al sonido: decimos que las ondas son ultrasónicas. Pero existen oídos más perfectos que el nuestro, como los de los perros y los gatos; éstos últimos llegan a oír frecuencias de hasta 60.000 Herzios, que nosotros sólo podemos detectar por medio de aparatos. Y es que los aparatos son como la prolongación de nuestros sentidos. Gracias a ellos podemos ver el interior del cuerpo humano por medio de los rayos X o los satélites de Júpiter, gracias al telescopio.

3.2 Modelo simplificado de oído

Hemos visto de qué está constituido el aire, (medio de propagación del sonido), cómo se produce una onda sonora y cómo se propaga. Sabemos que un sonido está formado por unas zonas alternadas de alta y baja concentración de moléculas, que se desplazan de forma que se alejan del lugar en que se producen. El siguiente punto que vamos a abordar es el de nuestro aparato receptor de sonidos.

Podemos construir un modelo extremadamente simple, pero que conserva los aspectos fundamentales del oído. Consiste en un tubo de unos 10 cm de longitud y unos dos de diámetro, cerrado por ambos extremos por medio de gomas elásticas como las de los globos de nuestro experimento anterior. El extremo exterior está unido a un cucurucho de papel que modeliza la oreja, como en la figura 11:

La tapa elástica que se encuentra en el lado del tubo de vidrio que está junto al cucurucho corresponde al tímpano.

Supongamos que repetimos el proceso mental de explotar un globo en el centro de una habitación. La explosión produce un paquete de moléculas de aire de alta concentración que avanza, alejándose del globo roto. Cuando llega al oído, esta zona de alta densidad de moléculas chocará

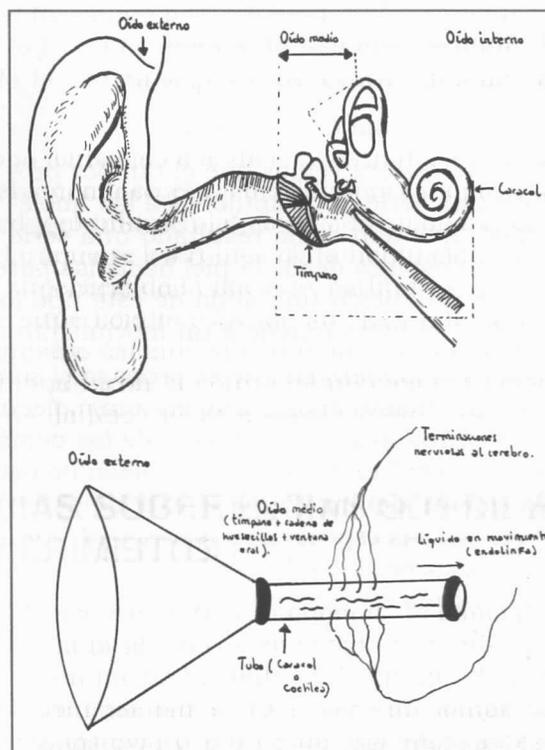


Figura 11: Oído natural y oído modelo

con el tímpano, empujándolo hacia adentro, donde las moléculas tienen una concentración menor. El desplazamiento del tímpano produce una oscilación del agua que llena el tubo, que corresponde en nuestro modelo al oído interno. De esta manera hemos convertido la explosión del globo en un sonido y este sonido en un movimiento de líquido.

Sólo falta añadir un sistema que transforme este movimiento en una señal nerviosa. Esto lo conseguimos en nuestro modelo por medio de unos pelillos sensibles (como los que tenemos en el brazo o los que forman las cejas), que atraviesan las paredes del tubo. Las terminaciones nerviosas unidas a cada pelillo transmitirán al cerebro, cuando se muevan debido al desplazamiento del líquido, la sensación de haber recibido un sonido.

Veamos qué ocurre cuando llega al oído la onda constituida por la serie de regiones de alta y baja presión producida por el tambor, propagándose desde el instrumento.

Las zonas de alta concentración provocarán un movimiento del tímpano hacia el interior del tubo, como en el caso del paquete producido por la explosión del globo. La siguiente zona de la onda en llegar al tímpano es de baja concentración, con lo cual disminuye la presión ejercida produciendo un movimiento del tímpano hacia el exterior del oído. Este efecto se va repitiendo. De esta manera, el sonido del tambor produce un movimiento oscilatorio en el tímpano hacia dentro y fuera del oído semejante al de la piel del tambor.

El tímpano obliga al líquido a moverse con la misma frecuencia que el sonido que lo mueve, y éste arrastra en su movimiento a los pelillos que transmiten la sensación al cerebro. El resultado es que al cerebro llega la información de la "frecuencia del sonido".

La frecuencia mínima que puede oírse es aquella que produce un movimiento del líquido suficiente para que los pelillos se muevan. Es fácil ver que, si la frecuencia es muy elevada, el tímpano no tiene tiempo de seguir las oscilaciones del sonido. Si queremos aumentar la frecuencia máxima de audición tendremos que hacer más grande la oreja (para captar más energía) y disminuir el tamaño del tubo del líquido, para que tenga menor inercia y pueda oscilar a frecuencias superiores.

Nuestro modelo de oído también es sensible a la intensidad del sonido, puesto que la amplitud del movimiento de las moléculas se verá reflejado en la amplitud del movimiento oscilatorio del líquido que llena el oído interno y, por lo tanto, en la amplitud del movimiento de los pelillos sensibles.

4. ALGUNOS EXPERIMENTOS PARA EL AULA

Ahora que conocemos los fundamentos de la producción, propagación y detección del sonido vamos a realizar algunos experimentos que servirán para que los niños conozcan los conceptos que hemos expuesto.

4.1 Construcción de un modelo de instrumento de cuerda.

Si pensamos en los instrumentos de cuerda que conocemos, guitarra, violín, contrabajo, piano, etc. observamos que siempre tienen dos partes: las cuerdas y la caja. Cada una de las partes tiene un papel bien diferenciado: la cuerda vibra de

acuerdo con su longitud y tensión, y fija la frecuencia que el músico elige; la caja roba una parte pequeña de energía a la cuerda y la transmite al aire que la rodea. La cantidad de energía que la caja sustrae a la cuerda es una característica importante en el diseño del instrumento e influye en su calidad. Si la caja quita demasiada energía, el sonido tendrá muy poca duración; pero si absorbe poca energía de la cuerda o transmite poca energía al aire, el instrumento apenas se oír. De hecho, si construyésemos una guitarra con una caja de hormigón no podríamos oír ningún sonido.

Podemos construir un modelo sencillísimo de instrumento de cuerda empleando un anillo de goma como cuerda y un vaso como caja, en la forma representada en la figura 12. El lápiz se utiliza para variar la tensión de la cuerda, de manera que produzca sonidos agudos o graves. Se debe aprovechar este experimento para relacionar la tensión de la cuerda con la frecuencia del sonido (al aumentar o disminuir la tensión se producen sonidos de mayor o menor frecuencia, es decir, más agudos o más graves).

Una vez construido el modelo es importante compararlo con un instrumento real, identificando cada una de las partes que componen ambos objetos. El lápiz hace las veces de un clavijero, el vaso trabaja como la caja y la boca del vaso como el agujero de las guitarras. Si empleamos un vaso de vidrio de paredes gruesas veremos que apenas oímos ningún sonido; en cambio con vasos de materiales más elásticos o botes de aluminio, hojalata, cartón, etc., oímos sonidos de más intensidad y de calidades variables.

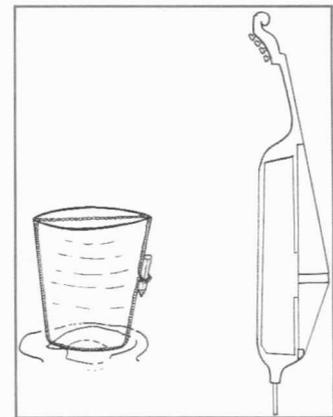


Figura 12

El funcionamiento de nuestro modelo se puede explicar fácilmente. Cuando la cuerda está en reposo ejerce una determinada fuerza sobre los bordes del vaso, y la boca se alabea ligeramente. A continuación se pulsa la cuerda y se la hace vibrar. Cuando la cuerda está en un máximo o un mínimo la tensión de la cuerda sobre el borde aumenta, con lo cual el vaso se alabea más que en estado de equilibrio.

El resultado de estas deformaciones armónicas del vaso (armónicas porque están en armonía con la cuerda) es el mismo que el de las oscilaciones de la piel del tambor: comunican energía de movimiento a las moléculas del aire; este movimiento genera ondas longitudinales que se transmiten por el aire y llegan a nuestros oídos.

Todos hemos observado la gran diferencia de tamaño entre un bombo y unos timbales o entre un violín y un contrabajo. La razón para esa desproporción es puramente técnica (por necesidades de funcionamiento) y se puede entender fácilmente. Sabemos que una de las formas en que se genera un sonido es transmitiendo a las moléculas del aire el movimiento de una superficie que oscila. Supongamos que queremos mover aire por medio de un abanico. Si el movimiento del abanico es muy rápido, con una superficie pequeña conseguiremos mover una cantidad apreciable de aire; pero si lo movemos lentamente, tendremos que disponer de un abanico de grandes proporciones para que se transmita algún movimiento a las moléculas de aire. Es decir: si nos abanicamos con un "pay-pay"

diminuto tendremos que moverlo con una frecuencia enorme; en cambio con un uno grande bastará que lo movamos con una frecuencia mucho menor.

Lo mismo ocurre con los instrumentos que estamos tratando. Los contrabajos y los bombos producen sonidos de baja frecuencia, por lo que tienen que tener grandes superficies para transmitir sus lentos movimientos a las moléculas de aire; (lo mismo ocurre con los altavoces de graves). En cambio los violines y los timbales (y los altavoces de agudos), con un tamaño muy reducido mueven suficiente aire como para hacerse oír. Esta es la regla: sonidos agudos, instrumentos pequeños. Sonidos graves, instrumentos grandes.

Pero ¿por qué no se oye el “pay-pay” y no se oyen los abanicos? Muy sencillo: porque con sus 0,5 a 2 herzios están muy por debajo de los dieciséis herzios, que es la frecuencia mínima a la que reacciona nuestro oído. Como hemos dicho, las frecuencias más bajas las percibimos los seres humanos como vibraciones o corrientes de aire.

4.2 Teléfono de hilo

Una vez que sabemos construir un elemento productor de sonido vamos a estu-

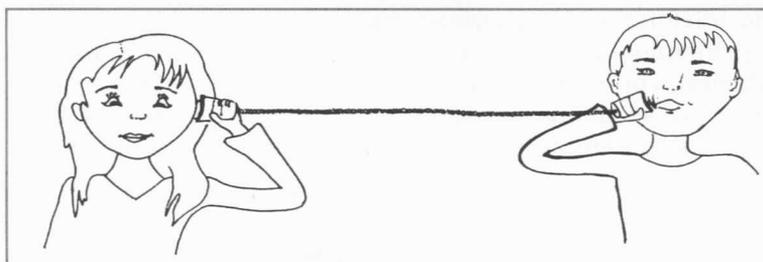


Figura 13: Teléfono de hilo con un niño hablando y otro escuchando

diar como se transmite de un lugar a otro a lo largo de un hilo. El teléfono es de los que emplean los niños para jugar y constan de dos vasos de plástico o cartón unidos por una cuerda fina que atraviesa el fondo de cada uno de ellos. La cuerda está sujeta al fondo de los vasos por medio de un nudo, de tal forma que quede ésta ligeramente tensa:

Si empezamos a hablar en el interior de uno de los vasos, como se indica en la figura, observaremos que el sonido se trasmite al otro a lo largo de la cuerda. Estudiemos el proceso:

- 1º Cuando hablamos dentro del vaso A, que hace de micrófono, estamos produciendo ondas, es decir, zonas de alta y baja concentración de moléculas de aire, del mismo tipo que las producidas en el experimento del tambor.
- 2º Las moléculas de aire que forman las ondas sonoras chocan con el fondo del vaso A; de acuerdo con su mayor o menor concentración le comunican más o menos energía y producen una deformación elástica que consiste en el mayor o menor desplazamiento del fondo del vaso.
- 3º El movimiento del fondo del vaso micrófono se transmite por la cuerda tensa hasta el fondo del vaso B, que trabaja como auricular; de esta manera hemos transmitido la vibración del fondo del vaso A al fondo del vaso B.

- 4º El movimiento del fondo del vaso B comunica su vibración a las moléculas del interior del vaso, de la misma forma que lo hacía la piel del tambor al vibrar. Como resultado, en el vaso B se reproducen las ondas sonoras que se han producido al hablar en A: hemos llevado a cabo una transmisión telefónica. (*Tele* indica distancia y *fono* se refiere al sonido)

4.3. Construcción de un teléfono acústico

Este experimento, a pesar de su simplicidad, nos da información acerca de algunas preguntas importantes respecto a la propagación del sonido.

Como todo el mundo sabe, el teléfono acústico se construye uniendo dos embudos por medio de un tubo de goma hueco, largo y flexible. Los más baratos son los que emplean los electricistas para empotrar las conducciones eléctricas en los edificios. Hablando y escuchando a través de este dispositivo se puede transmitir el sonido a mucha distancia y sin que sea perturbado por sonidos ambientales.

El tubo puede pasar a través de una piscina o por una habitación ruidosa, sin que se perturbe la transmisión. De todas formas es conveniente disponer de un trozo de goma más elástica que el tubo de electricista, de manera que se pueda colapsar.

Este tipo de teléfono se ha empleado profusamente en los barcos de vapor del siglo XIX y principios del XX; comunicaban la sala de máquinas, situada bajo la línea de flotación, con el puente de mando, siendo un método seguro y fiable. En muchas películas se puede ver al capitán, navegando por el Misisipi, transmitiendo órdenes por el embudo: “¡Mark Twain, adelante!”

Aunque es obvio, el funcionamiento del teléfono acústico se fundamenta en que toda la energía de la fuente sonora se concentra y canaliza en el tubo, en vez de repartirse por toda la habitación. De esta forma las ondas sonoras apenas se atenúan.

Otro uso del teléfono acústico es el de concentrador (no amplificador) del sonido, como en el caso del fonendoscopio. Para ilustrar esta forma de usarlo se sitúa un embudo en la pared y el tubo se acerca al oído como indica la figura 20. Se verá que se oyen más claramente los ruidos de la habitación contigua, debido a que la energía de toda la superficie de la boca del embudo se ha concentrado en el tubo de conducción, de superficie mucho menor. Esa misma energía se concentrará finalmente en el tímpano del oído (de superficie aún más pequeña), a donde llega a través de otro embudo (con la consiguiente concentración de energía) con que la Naturaleza nos ha dotado: nuestra propia oreja.

5. SUGERENCIAS SOBRE EL EMPLEO DIDÁCTICO DE ESTOS EXPERIMENTOS

En primer lugar podemos escenificar la etapa de la **observación**, reuniendo en el aula algunos elementos productores de sonido que nos permitan concentrarnos en las propiedades del sonido. Un ventilador, un pito de guardia de circulación y un tambor pueden ser suficientes. Tras hacerlos sonar uno por uno podemos observar que en todos los casos se produce algo que va desde el emisor del sonido, incluidas nuestras bocas, hasta el oído, donde es detectado.

La segunda etapa consiste en formular la **pregunta**: y la pregunta inmediata es: ¿cuál es la naturaleza de lo que se propaga? Tras una discusión dirigida se debe llegar al tercer punto: la formulación de una hipótesis.

Supongamos que uno de los alumnos propone como **hipótesis** que el sonido es semejante a unos diminutos mosquitos que salen de los instrumentos y van "volando" hacia todas partes.

La cuarta etapa del método consiste en diseñar un **experimento** en el que se compruebe de una manera inequívoca la validez de la hipótesis. Se nos ocurre proponer el siguiente: intercalemos en el teléfono acústico una superficie de goma tensa, (como la goma con la que se construyen los globos) de manera que impida el paso de cualquier cosa que vuele o flote en el aire a lo largo del tubo. Se puede poner, por ejemplo, entre la salida de un embudo y el tubo flexible. Esta disposición es equivalente a unir dos muelles mágicos intercalando entre ellos una superficie de goma elástica; es evidente que las oscilaciones se propagarán a través de la superficie, de la misma forma que el sonido pasa a través de la goma del cuello del embudo en el experimento real. Con ello, al observar que el teléfono acústico, modificado de esa forma, sigue funcionando, **demostraremos que no es cierta la hipótesis propuesta.**

El mismo experimento sirve para desechar la hipótesis de que el sonido es un chorro de aire, como el que genera un ventilador o el pito de guardia, ya que tampoco el aire puede pasar por la goma del globo.

Con observaciones, preguntas, hipótesis y experimentos adecuados realizados con el teléfono de hilo se puede llegar a la idea de la propagación del sonido por ondas longitudinales; se puede comprobar que la transmisión cesa si sujetamos la cuerda que une los dos vasos, o llenamos de plastilina el fondo de uno de ellos para impedirle oscilar, etc.; el único límite es el de nuestra imaginación.

6. LA MIRADA DE UN GENIO

Galileo se quedó rezagado a la salida de la misa. Permaneció sentado en el banco de madera de las primeras filas de la Catedral de Pisa. Mientras sus conciudadanos abandonaban la iglesia, le veían al pasar a su lado mirando absorto el techo, con la mano derecha rodeando la muñeca de su brazo izquierdo y moviendo los labios, como desgranando una oración. Poco a poco se fue dibujando una tenue sonrisa en su rostro. Estaba seguro. La lámpara del Altar Mayor oscilaba siempre con el mismo periodo, impulsada por las ráfagas de viento que de vez en cuando la hacían balancearse. No se podía equivocar. El tiempo que tardaba la enorme lámpara en completar una pequeña oscilación era el mismo, tanto si la oscilación era de una cierta amplitud (aunque siempre reducida) como si apenas era perceptible. Había medido más de mil oscilaciones en series de veinte, contando las pulsaciones de su muñeca izquierda y siempre había obtenido el mismo resultado.

Los sonidos y las risas de los monaguillos, que apagaban las velas de la lámpara con unas varas altísimas con un cucurucho de metal en un extremo, le sacaron de su ensimismamiento. De todas formas ya no podía medir más periodos. Los monaguillos habían interrumpido el balanceo natural de su improvisado péndulo, ajenos a la importancia del momento.

Salió de la Catedral y se dirigió a su taller silbando alegremente a través de su barba pelirroja. Los resultados de aquella observación fueron fulminantes. Construyó un péndulo con una cuerda de longitud variable y una lenteja de plomo y realizó algunas pruebas. Pronto llegó a la conclusión de que, para pequeñas oscilaciones, el periodo es muy “aproximadamente” igual a dos veces la raíz cuadrada de la longitud del péndulo medida en metros.

Periodo = 2.0 por raíz cuadrada de la longitud

Inmediatamente fabricó un prototipo de pequeñas dimensiones y lo presentó en la Facultad de Medicina. Quedaron impresionados con el “pulsilogium” como acabó llamándose.

A los pocos meses se había extendido su uso por toda la península. Pronto llegó a España (la España de Felipe II) y desde aquí a los Países Bajos y a toda Europa. El “pulsilogium” lo empleó Galileo para sus experimentos de medida de velocidades, como la descrita al principio del artículo, y en menos de un siglo dio lugar a una floreciente industria de relojes de péndulo sobre todo en Holanda y en Inglaterra. Todos los relojes de péndulo existen gracias a esa observación de Galileo. Era el 1584 y Galileo acababa de cumplir veinte años.

7. CONSIDERACIONES FINALES

La intención de esta historia es meditar sobre la profundidad del pensamiento de Galileo ante una observación aparentemente banal, común e incluso trivial. Las plomadas, cunas y columpios se venían empleando desde hacía miles de años y millones de personas las habían visto oscilar. ¿Qué llevó a Galileo a asombrarse ante hecho tan insignificante? Cómo se dio cuenta de la importancia y las posibilidades de un fenómeno tan habitual? Esa característica del genio, responsable de la profundidad de observación de Galileo, es la capacidad que debemos desarrollar en los niños. Y para ello debemos empezar en las etapas en que la curiosidad y capacidad de asombro son sus características fundamentales. Pensemos en ello.