

iedad que más habremos de considerar en ellos es la que poseen de transmitir los sonidos emanados de los sólidos, sin que por ello dejemos de consignar su aptitud para engendrar á su vez sonidos. Los líquidos y los gases son medios transparentes para el sonido, del propio modo que lo son para la luz, siquiera esto no signifique que la transparencia sonora dimanase de la misma causa que la luminosa.

Los cuerpos no elásticos ó dotados de escasa elasticidad, los cuerpos blandos, resuenan por lo común muy mal: por ejemplo, un pedazo de cera ó de greda un poco húmeda. Por la misma razón, estos cuerpos son malos conductores del sonido: lo interceptan ó lo apagan. Relativamente á la transmisión del sonido son análogos á los cuerpos opacos con relación á la luz.

Las materias sumamente divididas, como la pluma, la lana ó el algodón, tienen de por sí muy poca ó ninguna sonoridad y transmiten mal el sonido, y por esto se llenan de aserrín, de virutas ó de yeso los espacios que median entre los techos y pavimentos cuando se quiere amortiguar el ruido de un piso á otro. Los tapices, las cortinas, las coladuras hacen á una habitación mucho menos sonora, más sorda, porque son cuerpos poco á propósito para repercutir los sonidos.

He aquí, pues, formulada una consecuencia no menos importante que la del artículo III, cual es la de que los cuerpos sonoros son los elásticos, es decir, aquellos cuyas moléculas, sacadas de su posición de equilibrio por una acción exterior, vuelven á ella, la traspasan y oscilan así más ó menos tiempo. Por consiguiente, desde ahora podemos ya considerar que el sonido tiene su origen en un movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos.

V

EL SONIDO NO SE PROPAGA EN EL VACÍO

Nadie ignora que el sonido invierte un espacio de tiempo apreciable en propagarse desde el cuerpo sonoro al órgano del oído. Cuando vemos á alguna distancia una persona que da un martillazo, por ejemplo, nuestros ojos ven cómo cae el martillo sobre el obstáculo antes que el oído perciba el sonido de la percusión. Del propio modo, el estampido de un fusil, de un cañón llega á nuestros oídos después que hemos columbrado el fulgor de la llama producida por la explosión. Cuando se disparan fuegos artificiales, vemos cómo estallan los cohetes en el espacio y cómo se difunden y apagan los chorros luminosos, antes de oír el ruido que acompaña á la explosión.

Recuerdo haber admirado en las costas del Mediterráneo el curioso espectáculo de un buque de guerra que hacía ejercicio de cañón; veía el humo de los disparos, y en las crestas de las olas los rebotes de las balas que iban á perderse en el mar, mucho tiempo antes de oír el estampido del cañón.

En todos estos casos, el intervalo comprendido entre la vista del fenómeno y la audición del sonido marca la diferencia entre la velocidad de éste y la de la luz; pero como la de la segunda comparada con la del primero puede considerarse como infinita (1), el mismo intervalo marca, sin error apreciable, el tiempo que el sonido invierte

(1) Séneca había adivinado en parte esta verdad experimental: "Vemos el relámpago, dice, antes de oír el estampido del trueno, porque, siendo el sentido de la vista más rápido, se anticipa mucho al del oído." (*Quest. natur.*, II, 12.) Pero el filósofo latino incurre en un error atribuyendo á nuestros sentidos una propiedad que pertenece á los fenómenos exteriores, á las ondas luminosas y á las ondas sonoras.

en propagarse de un punto á otro. La observación demuestra también que el intervalo á que nos referimos aumenta con la distancia.

Así pues, el sonido se propaga sucesivamente, y en breve veremos con cuánta velocidad. Pero ¿cuál es el medio que sirve de vehículo á este movimiento? ¿Es el suelo? ¿Se comunica sirviéndole de intermediarios los cuerpos sólidos, ó los líquidos, ó el aire, ó bien todos ellos á la vez? El siguiente experimento servirá de respuesta á estas preguntas.

Pongamos bajo el recipiente de la máquina neumática un aparato de relojería provisto de un timbre sonoro, cuyo martillo lo sujeta un muelle, pero que por medio de una varilla se le puede soltar (fig. 247). Antes de hacer el vacío, se oye resonar perfectamente el timbre cuando el martillo lo golpea. Mas conforme se va enrareciendo el aire, la intensidad del sonido disminuye, hasta que se extingue por completo cuando queda hecho el vacío, si se ha tenido la precaución de colocar el aparato sobre una almohadilla de corcho, de algodón ó de cualquier materia blanda y poco ó nada elástica. Vese entonces cómo el martillo da golpes en el timbre, pero sin percibirse ningún ruido, ningún sonido. Si se introduce entonces en el recipiente, en lugar del aire que contenía, un gas cualquiera, como hidrógeno, ácido carbónico, oxígeno, vapor de éter, etc., se oye de nuevo el sonido.

Se puede hacer la misma prueba con otro aparato más sencillo, que consiste en un globo de cristal, provisto de dos llaves, y que puede adaptarse á la máquina neumática (fig. 248). En el interior de este globo está suspendida de unos hilos sin retorcer una campanilla que se agita sacudiendo el globo con la mano; si en éste se ha hecho el vacío, la campanilla no suena.

Introduciendo entonces por el embudo de la parte superior unas cuantas gotas de un líquido volátil, redúcese éste á vapor penetrando en el espacio vacío del globo sin que el aire pueda mezclarse con él, y se ve que los vapores transmiten el sonido como los gases, porque entonces el sonido de la campanilla resuena de nuevo. Los experimentos de M. Biot han demostrado que el sonido transmitido es tanto más intenso, á igualdad de presión, cuanto mayor sea la densidad de los gases ó vapores.

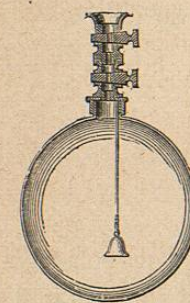


Fig. 248. — El sonido no se propaga en el vacío.

Pero esta propiedad difiere mucho entre dos gases. El hidrógeno transmite el sonido con intensidad mucho menor que el aire reducido á igual grado de enrarecimiento. En una de sus interesantes lecciones dadas en el Instituto Real, describe Tyndall en los siguientes términos la singular acción del hidrógeno sobre la voz: "La voz se forma, dice (y así lo veremos más adelante), por la inyección del aire de los pulmones en un órgano llamado *laringe*. A su paso al través de este órgano, las cuerdas vocales lo ponen en vibración, resultando así el sonido. Pues bien, si se llenan los pulmones de hidrógeno y se quiere hablar, las cuerdas vocales imprimen también su movimiento al hidrógeno, que lo transmite al aire exterior; pero esta transmisión de un gas ligero á otro mucho más pesado tiene por consecuencia el disminuir de un modo notable la

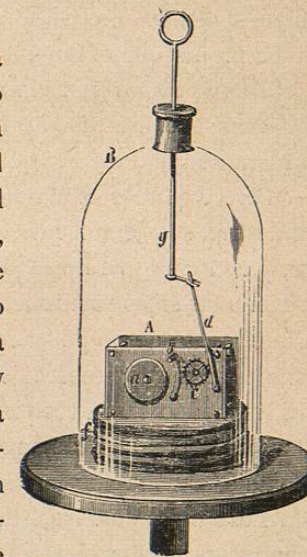


Fig. 247. — Aparato para demostrar que el sonido no se propaga en el vacío.

fuerza del sonido. Es un efecto verdaderamente curioso. Ya conocéis la fuerza y el timbre de mi voz. Pues si expulso el aire de mis pulmones, los lleno de hidrógeno aspirado en ese recipiente y me esfuerzo en hablar alto, mi voz pierde gran parte de su fuerza, y su timbre no es el mismo. Es una voz ronca y cavernosa, que no parece humana, ni siquiera propia de este mundo. No puedo describirla de otro modo.”

Un siglo atrás, no estaban todos los físicos enteramente convencidos, por los experimentos hechos en el vacío, de que el aire fuese el vehículo del sonido; en su concepto, faltaba probar que el movimiento capaz de engendrar el sonido no quedaba anulado en el cuerpo sonoro por el mismo vacío que le rodeaba. Véase lo que con tal motivo dice Hauksbee, así como los nuevos experimentos que ideó para poner esta circunstancia fuera de toda duda, y que hizo en 1705 ante la Sociedad Real de Londres:

“Parece que los experimentos hechos hasta el día sobre el sonido en el vacío no demuestran suficientemente que la pérdida de aquél procede tan sólo de la carencia de aire, y aun creo que no se puede asegurar así si no se hacen nuevas pruebas. Trátase de averiguar si las partes del cuerpo sonoro, en un medio como el vacío, no cambian hasta el punto de no poder recibir ya el movimiento necesario para producir el sonido. Como esta cuestión merece ser tratada con detenimiento, he ideado la siguiente prueba:

„He metido en un recipiente de alguna resistencia, y rodeado en su parte inferior de un aro de cobre, una campana de regular tamaño y grueso, sujetando el orificio del recipiente sobre una plancha de cobre por medio de un disco de cuero humedecido colocado entre otros dos. De esta suerte el recipiente estaba lleno de aire común que no podía escaparse por ninguna parte. Púsele en seguida en la máquina neumática, le cubrí con otro recipiente mayor y extraje el aire contenido entre uno y otro.

„Al hacer este experimento, estaba seguro de que cuando el badajo diese un golpe en la campana resultaría un sonido en el recipiente interior, en el cual el aire tenía el mismo grado de intensidad que el de la atmósfera, y que no experimentaría alteración alguna por el vacío que quedaba fuera de él entre los dos recipientes.

„Cuando hube terminado los preparativos del experimento, hice que el badajo diese un golpe en la campana, pero el sonido no se transmitió al través del vacío, aun cuando me cercioré de que al propio tiempo se produjo sonido en el recipiente.”

Como se ve, este experimento era sobrado decisivo y concluyente.

VI

LOS SÓLIDOS, LOS LÍQUIDOS Y LOS GASES SON CONDUCTORES DEL SONIDO

Resulta, pues, que el aire y todos los gases en general son vehículos del sonido y los que lo conducen desde el cuerpo sonoro al oído. Pero no todos ellos poseen esta propiedad en el mismo grado. Según los experimentos de Tyndall, la conductibilidad del gas hidrógeno para el sonido es mucho menor que la del aire á igualdad de presión, y sin embargo la velocidad de propagación es en dicho gas cuádruple de lo que lo es en el aire. En el siglo pasado hizo Hauksbee experimentos sobre la propagación del sonido en el aire condensado hasta cinco atmósferas. La intensidad del sonido transmitido resultó también gradualmente aumentada.

Los sólidos no dejan de transmitirlo, pero en proporción muy varia y que depende de su elasticidad. Así por ejemplo, si en los experimentos anteriores, y después de hecho el vacío, se aplica el oído, percíbese un sonido muy tenue, transmitido al aire circun-

dante por los discos de cuero y el platillo de la máquina. Lo que prueba aún más la certeza de esta transmisión por los sólidos es que el sonido de la campana sólo se debilita un tanto si se pone directamente el aparato sobre la platina de vidrio que sustenta la campana (1).

Finalmente, el agua y en general todos los líquidos son también vehículos del sonido, y tanto por lo que respecta á la intensidad como á la rapidez, mucho mejores que el aire. Los buzos oyen debajo del agua los ruidos más tenues, por ejemplo los que producen los guijarros al rodar y al chocar unos con otros. En un principio se puso en duda si el sonido que se percibía á pesar de la interposición de cierta masa de agua tenía efectivamente este líquido por vehículo, y se pensó que tal vez fuese el aire disuelto en él el que transmitiese al exterior las vibraciones sonoras. El abate Nollet reprodujo los experimentos de Hauksbee, tomando la precaución de extraer el aire del agua en la cual se propagaba el sonido, y no halló diferencia apreciable entre el producido por el cuerpo sonoro metido en agua con ó sin aire.

Así pues, para la propagación del sonido no es indispensable que haya aire en el agua, ni tampoco aumenta ó disminuye su intensidad.

Un experimento muy sencillo demuestra la conductibilidad de los líquidos para el sonido. Se frota un diapasón con un arco de violín, y se observa que el sonido producido y comunicado por el aire solo es muy débil y apenas perceptible. Si se introduce el pie del instrumento en una vasija llena de agua (fig. 249), el sonido adquiere más fuerza, sobre todo si además se coloca la vasija sobre una caja de madera vacía. La conmoción sonora se comunica entonces directamente por medio del agua al cristal de la vasija y á la madera de la caja.

No hay que confundir los sonidos que percibimos por intermedio del aire con los que nos transmiten los sólidos, por ejemplo el suelo ó cualquier otro cuerpo elástico. Si se aplica el oído al extremo de un madero bastante largo, se percibe muy bien el ruido que produce en el extremo opuesto el roce de un alfiler ó la punta de una pluma: sin embargo, una persona situada hacia la mitad del madero, pero algo apartada de él,

No hay que confundir los sonidos que percibimos por intermedio del aire con los que nos transmiten los sólidos, por ejemplo el suelo ó cualquier otro cuerpo elástico. Si se aplica el oído al extremo de un madero bastante largo, se percibe muy bien el ruido que produce en el extremo opuesto el roce de un alfiler ó la punta de una pluma: sin embargo, una persona situada hacia la mitad del madero, pero algo apartada de él,

(1) Los académicos de Florencia, que hicieron experimentos sobre la propagación del sonido en el vacío, creyeron que el aire no era necesario para la propagación. La causa de su error consistía en lo difícil que á la sazón era obtener un vacío suficientemente perfecto, así como también en que no tuvieron la precaución de aislar el cuerpo sonoro con cuerpos blandos ó malos conductores del sonido. Una imprevisión parecida indujo al P. Kircher á hacer una deducción distinta, pero no menos errónea. Habiendo observado que una campanilla seguía resonando en el espacio barométrico, no admitía que este espacio pudiese estar realmente vacío.

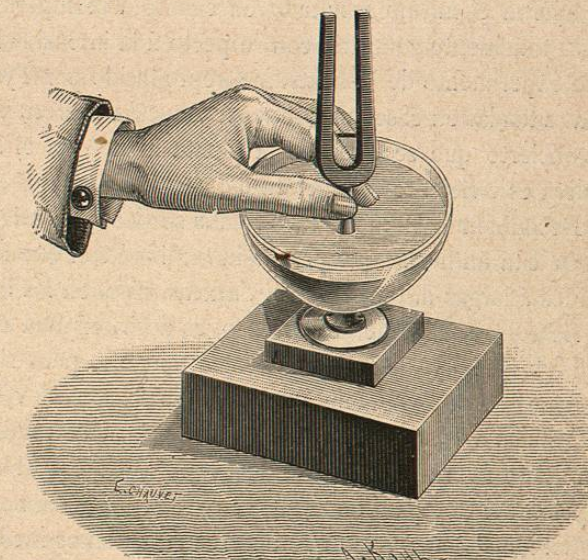


Fig. 249. — Conductibilidad de los líquidos para el sonido

no oye nada. El tic-tac de un reloj de bolsillo colgado del extremo de un tubo metálico se oye distintamente en el otro extremo, sin que las personas más inmediatas perciban ruido alguno. "Habiendo bajado Hassenfratz á una de las canteras situadas debajo de París, encargó á otra persona que diese martillazos en una masa de piedra que forma la pared de una de las galerías subterráneas. Él se iba alejando en tanto del sitio donde los martillazos se descargaban, aplicando un oído á la masa de piedra; y en breve distinguió dos sonidos, uno de ellos transmitido por la piedra y el otro por el aire. El primero llegaba á sus oídos más pronto que el otro, pero en cambio se debilitaba con mayor rapidez á medida que se alejaba el observador, hasta el punto de que dejó de percibirse á los ciento treinta y cuatro pasos de distancia, mientras que el sonido al cual servía el aire de vehículo no se extinguió sino á los 400 pasos.", (Hauy.)

Otros experimentos por el estilo ejecutados con largas barras de madera ó de hierro produjeron el mismo resultado en cuanto á la superioridad de la velocidad, pero un efecto totalmente contrario con respecto á la intensidad. Más adelante citaremos el curioso experimento de Wheatstone, reproducido por Tyndall, merced al cual varias personas situadas en el segundo piso de una casa oyeron, por intermedio de varas de abeto, el concierto que se daba en la planta baja ó en el sótano del edificio. Así pues, la madera es excelente conductora del sonido.

Describiendo Humboldt los ruidos sordos que casi siempre acompañan á los terremotos, cita un hecho que prueba la facilidad con que los cuerpos sólidos transmiten los sonidos á largas distancias. "En Caracas, dice, en los llanos de Calabozo y en las orillas del río Apure, afluente del Orinoco, es decir, en una extensión de 130,000 kilómetros cuadrados, se oyó una detonación formidable, pero sin que hubiera sacudidas, en el momento en que vomitaba un torrente de lavas el volcán de San Vicente, situado en las Antillas á 1,200 kilómetros de distancia. Con relación á esta distancia, viene á ser como si se oyera en el Norte de Francia una erupción del Vesubio. Cuando la gran erupción del Cotopaxi en 1744, se oyeron detonaciones subterráneas en Honda, á orillas del Magdalena; y eso que entre ambos puntos median 810 kilómetros de distancia, su diferencia de nivel es de 5,500 metros, y están separados por las montañas colosales de Quito, de Pasto y de Popayán, y por valles y barrancos sin cuento. Es indudable que el aire no transmitió el ruido, sino que lo propagó la tierra á gran profundidad. El día del terremoto de Nueva Granada, en febrero de 1835, ocurrieron los mismos fenómenos en Popayán, en Bogotá, en Santa Marta, en Caracas, donde el fragor duró siete horas enteras, en Haití, en la Jamaica y á orillas del lago Nicaragua.", (*Cosmos*, I.)

En resumen, la transmisión del sonido desde el cuerpo sonoro al oído puede efectuarse por medio de los cuerpos sólidos, de los líquidos y de los gases; pero su vehículo más común es la atmósfera.

De aquí resulta que el sonido no traspasa los límites de la atmósfera, y así, por ejemplo, el ruido de las explosiones volcánicas no puede propagarse hasta la Luna, del propio modo que hasta los habitantes de la Tierra no llega el rumor de los sonidos que tal vez se produzcan en los espacios celestes (1), y por consiguiente, las detonaciones

(1) Los pitagóricos creían en una armonía producida por el movimiento de las esferas. Los siete planetas formaban un concierto perfecto, y si los oídos humanos no percibían esos sonidos de origen celestial, no atribuían esta impotencia á falta de un medio capaz de propagarlos, sino que la achacaban á que estamos ya acostumbrados á ellos desde que nacemos, y que para distinguir dicha armonía hubiera sido menester el contraste del silencio. Aristóteles combate la hipótesis pitagórica valiéndose de argumentos que no valen mucho más que ella.

de los aerolitos indican que estos cuerpos han penetrado ya en nuestra atmósfera en el momento en que dichas detonaciones ocurren, lo cual puede servirnos de dato para calcular los límites de la capa gaseosa que rodea á nuestro planeta. En las altas montañas, el enrarecimiento del aire es causa de que los sonidos se debiliten sobre manera. Según de Saussure y todos los exploradores posteriores á él, un pistoletazo disparado en la cumbre del monte Blanco hace menos ruido que un cohete. "He hecho muchas veces esta prueba, dice Tyndall, la primera con un cañoncito de estaño, y las otras con pistolas, y lo que más me llamó la atención fué la falta de esa plenitud y de esa limpieza de sonido características de los pistoletazos que se disparan á menos altura; el estampido producía el efecto del tapón de una botella de Champagne, á pesar de lo cual el sonido no dejaba de ser aún bastante intenso.", Describiendo C. Martins una tormenta de que fué testigo en tan elevadas regiones, dice que "los truenos no producían un fragor continuado, sino golpes secos como el estampido de un arma de fuego.", Gay-Lussac observó en su célebre ascensión en globo, que el sonido de su voz se amortiguaba considerablemente á los 7,000 metros de altura á que había llegado.

En suma, de todos los hechos que acabamos de enumerar debe deducirse lo siguiente:

El sonido tiene su origen en ciertos movimientos impresos á las masas ó á las moléculas de los cuerpos elásticos: la percusión, el roce, la pulsación, la acción del calor y de la electricidad y las combinaciones bruscas que son causa de las explosiones químicas, son otros tantos modos de producirse el sonido;

Los cuerpos sonoros son los cuerpos elásticos: pueden ser sólidos, líquidos ó gaseosos;

Pero no basta que el movimiento que engendra el sonido se produzca en los cuerpos sonoros para que el oído perciba su sensación, sino que también se requiere que entre el origen del sonido y el órgano auditivo haya una serie no interrumpida de cuerpos, una sucesión de medios ponderables;

El aire es el vehículo más común del sonido: pero los cuerpos sólidos, los líquidos y los varios gases son también aptos para transmitir el movimiento particular que lo constituye;

Por último, en el vacío no se transmite el sonido.

CAPÍTULO II

LA VELOCIDAD DEL SONIDO

I

LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL AIRE. — ANTIGUOS EXPERIMENTOS

El sonido no se transmite instantáneamente desde el cuerpo sonoro al oído, como nadie ignora. Basta, en efecto, una corta distancia para advertir que media un intervalo apreciable entre el instante en que el ojo ve el movimiento que da origen al sonido y aquel en que el oído percibe su primera impresión.

Así pues, el sonido se propaga sucesivamente al través de los medios ponderables. —¿Cuáles son las leyes de este movimiento? ¿Con qué velocidad se propaga el sonido?