

## CAPÍTULO VII

## EL SONIDO Y LA VOZ

Uno de los efectos mas importantes de las obras de la Atmósfera en la vida terrestre, uno de los resultados mas fecundos y felices de su presencia al rededor del globo, consiste sin duda alguna en ser el vehículo del pensamiento humano, en circundar al mundo con una esfera de armonía y de actividad que no existiría sin ella.

Si, despues de vivir un corto número de años en la Luna, pasáramos de repente un dia del astro-Luna al astro-Tierra, y nos viésemos aquí en medio de nuestros animados paisajes y de nuestras populosas ciudades, sentiríamos bruscamente la inmensidad del trabajo operado por el sonido en la naturaleza.

La ribera del mar escucha incesantemente el eterno suspiro de las olas, y la voz del Océano domina en los vastos acantilados de granito, contorneando los arrecifes y los cuerpos todos con su interminable empuje. Al solemne clamor de las líquidas llanuras, responde el murmullo permanente de las corrientes aéreas, desde las regiones equinociales estremecidas por la rugiente cólera de las fieras hasta las congeladas calmas de los círculos polares. En el seno de los bosques silenciosos, el oído atento percibe cómo se disipa el silencio aparente y oye el confuso rumor de las mil voces de la naturaleza; las avejillas que se llaman, el arroyo que murmura, el viento que inclina el ramaje, la sávia ardiente que se eleva haciendo estallar la epidermis de los

árboles, la hoja que cae, ó el insecto que zumba. La Atmósfera está llena de voces diversas; al suspiro adormecedor de la cascada, sucede el horrisono desprendimiento de la avalancha; al canto del nido, el estampido fulgurante del trueno; á la calma, pura y serena, de las praderas solitarias, el tumulto de las grandes ciudades, los gritos, tristes ó alegres de la humanidad, el encanto de la conversacion, las agradables pláticas nocturnas, y los voluptuosos arrullos de la música de temblorosas alas.

El hombre, á quien el contacto de una sociedad trivial no ha embotado sus primeras impresiones, contempla siempre con admiracion las vivas tintas de la aurora y del crepúsculo, los graciosos matices del arco-iris, las magnificencias de una aurora boreal. ¡Cómo excitaria nuestra sorpresa y nuestro entusiasmo la reproduccion fiel de nuestra propia imágen, con las expresiones mas finas y delicadas de la fisonomía, si la observáramos por primera vez! Pues un fenómeno tal vez mas admirable es el de la palabra. ¡Qué cosa tan maravillosa es verla comunicarse con tanta facilidad al oído de millares de espectadores, cuyo corazón y sentidos tiene en suspenso! ¿Cómo es posible que algunos átomos de materia den cuerpo al pensamiento, y traduzcan y comuniquen hasta los matices mas insensibles de las pasiones y de los sentimientos?

¿Qué es el *sonido*?

Es un movimiento producido en el aire,

que se trasmite por él merced á ondulaciones sucesivas. Para que el oído lo perciba, es preciso que este movimiento vibratorio no sea muy lento ni muy rápido. Cuando el

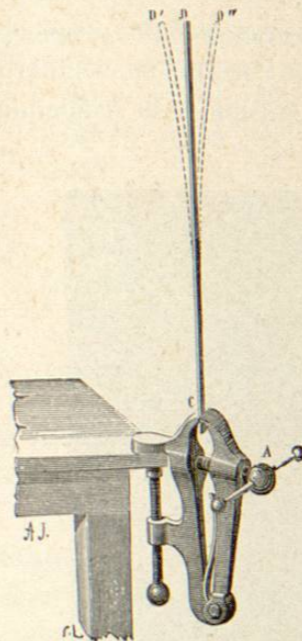


Fig. 38.—VIBRACION DE UNA HOJA DE ACERO

aire agitado por el sonido vibra á razon de 60 ondulaciones por segundo, da el sonido mas *grave* que podemos oír. Cuando estas vibraciones llegan á 40,000, resulta el sonido mas *agudo* que nuestro nervio auditivo puede percibir.

Para apreciar la naturaleza del movimiento sonoro, supongamos que se fija á un torno de cerrajero uno de los extremos de una hoja de acero elástica, que se separa el extremo superior de su posicion vertical, y que se suelta de pronto. En virtud de su elasticidad, la hoja volverá á su posicion primitiva, pero á consecuencia de la velocidad adquirida, pasará mas allá y ejecutará á uno y otro lado de la vertical una série de oscilaciones cuya amplitud irá disminuyendo gradualmente, hasta extinguirse al cabo de un tiempo mas ó menos largo.

Mientras la hoja elástica es suficientemente larga, las vibraciones se efectúan con bastante lentitud, y la vista puede seguirlas directamente; pero á medida que aquella se acorta, el movimiento vibratorio se va

haciendo mas rápido, y llega un momento en que deja de ser perceptible á la vista. Mas en dicho momento, en que cesa por decirlo así el papel del órgano de la vision, empieza el del órgano del oído, el cual percibe un sonido perfectamente claro, cuya naturaleza depende por lo demás de las condiciones físicas del cuerpo vibrante.

La vibracion de una cuerda sujeta por sus extremos A y B y pulsada por el medio, puede darnos otro ejemplo de la produccion del sonido. La forma de huso prolongado que presenta ha hecho sensible su estado vibratorio, lo cual consiste en que, en razon de la persistencia de las impresiones en la retina y de la velocidad del movimiento vibratorio, el ojo vé la cuerda en todas sus posiciones á la vez, por ser inferior la duracion de una vibracion á la de una impresion luminosa, que es de un décimo de segundo.

Así pues, el sonido no es mas que una impresion en el órgano del oído, ocasionada por el estado vibratorio de un cuerpo. Mas la existencia de un cuerpo vibrando por una parte, y del oído por otra, no bastan para



Fig. 39.—VIBRACION DE UNA CUERDA

determinar la impresion: es preciso que se establezca cierta relacion entre el cuerpo y el órgano; y esta comunicacion se produce por el intermedio de un centro ponderable, líquido ó gaseoso, constituido por una materia mas ó menos elástica. Si se supone un

cuerpo vibrando en un espacio absolutamente vacío ó en el seno de un centro completamente desprovisto de elasticidad, el oído colocado á cierta distancia no percibe, no oye ningún sonido: este no existe, en la estricta acepción de la palabra.

Por consiguiente, puede definirse en resumen el sonido como sigue:

*El sonido es una impresión producida por las vibraciones de un cuerpo, transmitidas hasta el órgano del oído á través de un centro ponderable y elástico cualquiera.*

¿Con qué velocidad se propaga el sonido?

Las primeras medidas exactas con respecto á esta cuestión se efectuaron en 1758 por una comisión de la Academia de cien-



Fig. 40. —MEDIDA DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL AIRE, POR LA OFICINA DE LONGITUDES

cias, de la que formaban parte Lacaille y Cassini de Thury.

Habíanse colocado algunos cañones en Montlhery y en Montmartre, y se convino en que desde una hora determinada se dispararian cañonazos con intervalos de tiempo iguales; los observadores median el tiempo transcurrido entre la aparición del fogonazo y la llegada del estampido. Hallóse como término medio de esta duración 1 minuto 24 segundos para una distancia de 29,000 metros próximamente, lo que da una velocidad de cerca de 337 metros por segundo.

La Oficina de longitudes repitió estos experimentos en 1822, siendo los observadores Arago, Gay-Lussac, d'Humboldt, Prony,

Bouvard y Mathieu. Fijáronse las estaciones en Montlhery y Villejuif, distantes 18,613 metros, y resultaron, como velocidad de transmisión, 340 metros por segundo, á la temperatura de 16°.

En diferentes países se efectuaron muchos experimentos del mismo género, y recientemente M. Regnault se ha ocupado del mismo asunto, utilizando todos los recursos de la física moderna, y particularmente las señales telegráficas, para consignar el instante de los disparos y el de la llegada del sonido.

La velocidad de este varía con la densidad y elasticidad del aire, y por consiguiente, con su temperatura. Con arreglo á las

medidas más exactas, podemos formar el pequeño cuadro que sigue, por lo que hace á la velocidad del sonido en el aire:

Temperatura	Velocidad por segundo	Temperatura	Velocidad por segundo
— 15°	322	+ 20°	342
— 10	326	+ 25	345
— 5	329	+ 30	348
0	332	+ 35	351
+ 5	334	+ 40	354
+ 10	336	+ 45	357
+ 15	339	+ 50	360

El sonido se propaga en el aire por ondulaciones sucesivas, que pueden compararse á las ondas circulares que resultan en el agua al rededor de un punto turbado por la caída de una piedra, aunque ambos fenómenos son en realidad muy diferentes. En las ondas líquidas, las moléculas se levantan y bajan alternativamente con relación al nivel general, pero no sufren ningún cambio de densidad; por el contrario, este cambio es característico en las ondas sonoras. Sin embargo, entre ambos fenómenos hay una circunstancia común que conviene indicar. La onda no produce ningún movimiento verdadero de traslación, así es que cuando las ondas líquidas se siguen unas á otras, si se observa un pequeño cuerpo flotante, se le vé alternativamente subir y bajar, pero conservando siempre el mismo sitio en la superficie. Así también, las moléculas de aire ejecutan en las ondas sonoras movimientos alternativos en la propagación del sonido; pero el centro de estos movimientos parece invariable.

La educación científica debe enseñarnos á ver en la naturaleza lo invisible del mismo modo que lo visible, á pintar en los ojos de nuestra imaginación lo que se escapa á los del cuerpo. Con un poco de atención, podemos formarnos una idea verdadera de una onda sonora; ver mentalmente las moléculas del aire, oprimiéndose primero unas contra otras, separándose inmediatamente después

de esta condensación, por un efecto contrario de dilatación ó enrarecimiento; y así nos representaremos una onda sonora como si estuviese compuesta de dos partes; en la una, el aire está condensado, y enrarecido, por el contrario, en la otra. Una condensación y una dilatación; hé aquí lo que constituye esencialmente una onda de sonido.

Más, si el aire es indispensable para la propagación de este, ¿qué sucederá cuando un cuerpo sonoro, como por ejemplo, el timbre de un reloj se coloque en un espacio vacío de aire? Que no podrá salir ningún sonido de dicho espacio. El martillo caerá sobre el timbre, pero silenciosamente. El físico Hawksbee demostró este hecho, por medio de un experimento memorable, ante la sociedad real de Londres. Colocó una campana bajo el recipiente de una máquina neumática de modo que pudiera continuar efectuándose el choque del badajo después de haberse extraído el aire. Mientras el recipiente estaba lleno de este fluido, se oía el sonido de la campana; pero tan luego como se hacía el vacío, dejaba de percibirse, ó por lo menos era sumamente débil. El siguiente grabado representa otro aparato que permite practicar mejor el experimento de Hawksbee. Bajo la campana B, ajustada al platillo de una máquina neumática, se coloca un mecanismo de relojería A con su timbre. El martillo está sostenido por la rueda dentada c. Se extrae el aire tan perfectamente como sea posible; después, por medio de un vástago g, que atraviesa la parte superior de la campana sin permitir que se introduzca el aire exterior, se suelta el fiador d que sujeta el martillo b. El timbre a vibra silenciosamente. Pero si dejamos que el aire penetre en la campana oiremos en seguida un sonido, muy débil al principio, pero que se va haciendo más fuerte á medida que el aire es más denso.

La intensidad del sonido disminuye notablemente en las grandes alturas de la atmósfera. Según los cálculos de Saussure, la detonación de un pistoletazo en la cima del

Monte Blanco equivale á la de un sencillo petardo ordinario en la llanura.

Puesto que se ha demostrado que no hay sonido en el vacío, bien pueden sobrevenir espantosas catástrofes á través de los espa-

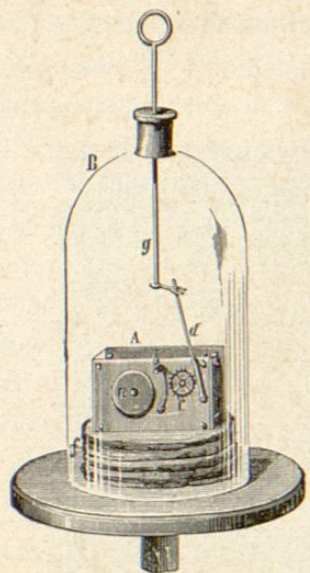


Fig. 41. — TIMBRE TOCADO EN EL VACÍO

cios planetarios sin que llegue el mas imperceptible ruido hasta la superficie de la Tierra.

Se ha representado el movimiento vibratorio del aire como una onda circular que se propaga en todos sentidos con igual velocidad y va debilitándose en razon de la distancia. ¿Dónde se detiene, dónde se extingue el sonido? Parece que debe ser en aquel punto del espacio donde el oído mas delicado deja de percibirlo; pero este limite varia segun la organizacion y los hábitos de cada individuo. No hay duda que la onda aérea continúa propagándose á lo léjos, aun cuando el órgano mas ejercitado no llegue á percibirla. El ruido incesante producido en el aire por los millares de personas que habitan en los sitios sumamente poblados establece diferencias características entre el día y la noche; esos ruidos se cruzan, se confunden, se propagan, aunque de un modo confuso, y se sobreponen á cualquier ruido particular. El silencio es el compañero de las tinieblas y del desierto. Durante la noche, nada disminuye la intensidad del

sonido; el oído percibe en toda su plenitud el mugido de la tempestad, el silbido del viento, los bramidos de las olas, el grito penetrante del ave de rapiña y de las fieras, y entonces nacen tambien en el alma timorata los miedos pusilánimes y los terrores supersticiosos... Al atravesar en globo durante una oscurísima noche las llanuras del Charenta, me pareció el ruido del curso de un rio tan intenso como el de los mas caudalosos saltos de agua, mientras el canto de las ranas elevaba su doliente queja á cerca de un kilómetro de altura. Mas allá de los tres kilómetros, cesa todo rumor. Jamás he observado un silencio tan absoluto y solemne como el de las alturas de la Atmósfera, el de esas glaciales soledades á donde no llega ningun sonido terrestre.

Dos condiciones determinan esencialmente, dice Tyndall, la velocidad de la onda sonora; la elasticidad y la densidad del centro que atraviesa. La elasticidad del aire se mide por la presión que soporta y con la cual se equilibra. Hemos visto que esta presión es igual, al nivel del mar, á la de una columna de mercurio de 76 centímetros. En la cima del Monte Blanco, la columna barométrica apenas pasa de la mitad de esta altura, y por consiguiente, en el punto mas elevado de dicha montaña, la elasticidad del aire casi no tiene mas que la mitad del valor que representa en la orilla del mar.

Si pudiéramos acrecentar la elasticidad del aire sin aumentar al mismo tiempo su densidad, aumentaríamos la velocidad del sonido, lo cual conseguiríamos tambien si pudiéramos disminuir la densidad sin variar la elasticidad. Expuesto esto, la elasticidad del aire calentado en el interior de una vasija cerrada, donde no puede dilatarse, se aumenta con el calor, mientras que la densidad continúa siendo la misma; por consiguiente, el sonido se propagará á través del aire calentado así, mas rápidamente que á través del aire libre. Del mismo modo, la densidad del aire al cual se deja en libertad de dilatarse disminuye con el calor,

mientras que su elasticidad sigue siendo la misma, y por lo tanto, propagará el sonido con mas rapidez que el aire frio; y esto es lo que sucede cuando el Sol calienta nuestra atmósfera. El aire se dilata y se hace mas ligero á igualdad de volúmen, al paso que su presión ó, en otros términos, su elasticidad continúa siendo la misma. De este modo se explica la frase de que la velocidad del sonido en el aire es de 332 metros por segundo, á la temperatura del hielo fundente. Cuanto mas baja es la temperatura la velocidad es menor, y mayor cuanto mas alta, lo que viene á dar por término medio una diferencia de 6 decímetros por cada grado de temperatura.

Bajo la misma presión, es decir, con la misma elasticidad, la densidad del hidrógeno es mucho menor que la del aire, y por consiguiente, la velocidad del sonido en el gas hidrógeno *excede* considerablemente á su velocidad en el aire. Lo contrario sucede por lo que respecta al ácido carbónico, que es mas denso que el aire; en este gas, y á la misma presión, la velocidad del sonido es menor que en el aire.

El hecho de que un aire, por muy enrarecido que esté, puede transmitir sonidos intensos, se demuestra por las explosiones de meteoritos á grandes alturas; verdad es que en estos casos, la causa inicial de la conmoción atmosférica debe ser sumamente violenta.

El movimiento sonoro, como otro cualquiera, se debilita cuando se comunica de un cuerpo ligero á un cuerpo grave. La acción del hidrógeno en la voz es un fenómeno del mismo género. La voz se forma por la inyección del aire de los pulmones en la laringe. Al pasar á través de este órgano, el aire se pone en vibración por dos cuerdas vocales, que engendran de este modo el sonido. Ahora, si se llenan los pulmones de aire, y se quiere hablar, las cuerdas vocales imprimen tambien su movimiento al hidrógeno, que lo transmite al aire exterior; pero esta transmisión de un gas ligero

á otro mucho mas pesado tiene por consecuencia una disminución considerable en la fuerza del sonido. Este efecto es sumamente curioso; John Tyndall lo ha hecho ver en el Instituto real de Londres, llenando sus pulmones de hidrógeno merced á una fuerte aspiración, despues de lo cual habló, pero su voz, por lo comun sonora y potente, era ronca y cavernosa, su timbre apagado, y su palabra parecia salir del interior de una tumba.

La intensidad del sonido depende de la intensidad del aire en cuyo seno nace, y no de la del aire en cuyo seno se percibe.

La onda sonora propagada en todas direcciones á partir del punto donde se ha producido el sonido, se difunde por la masa del aire en conmoción, que va aumentando sin cesar, y que por consiguiente, debilita mas y mas el movimiento propagado. Supongamos en torno del centro de conmoción una capa esférica de aire de un metro de radio; otra del mismo espesor y cuyo radio sea de dos metros contiene cuatro veces mas aire; otra de tres metros de radio contiene nueve veces mas; otra de cuatro, diez y seis, y así sucesivamente. La cantidad de materia puesta en movimiento aumenta, pues, como el cuadrado de la distancia al centro de conmoción. La *intensidad* ó el estampido del sonido disminuye en la misma relacion. Enúnciase esta ley diciendo que la intensidad del sonido varia en razon inversa del cuadrado de la distancia.

Esta disminución no tendria lugar si la onda sonora se propagara en condiciones que no permitiesen su difusión lateral. Al emitir el sonido en un tubo cuya superficie interior esté exenta de toda aspereza, realizamos esas condiciones esenciales, y la onda, confinada de tal suerte, se propaga á grandes distancias sin perder casi nada de su intensidad. Esta fué la causa de que Biot, estudiando la transmisión del sonido en los tubos vacíos de las cañerías de agua de París, advirtiese que podia seguir una conversacion en voz baja á un kilómetro de dis-