

elemental, tres del tercero, etc. Con armónicos de cierta intensidad sería fácil equivocarse al contar las pulsaciones, sobre todo si los golpes del sonido fundamental son muy lentos y separados por silencios de uno ó dos segundos: si en tales condiciones se quiere apreciar el tono de los sonidos que pulsan, es preciso recurrir á resonadores.,

El concurso de dos sonidos muy intensos, de distintos tonos, da asimismo lugar á un fenómeno particular que difiere á la vez de los sonidos primarios y de sus armónicos. Para valuar el tono de este sonido, llamado *resultante*, se restan los números de vibraciones de los sonidos componentes. Dos notas á la octava, cuyo intervalo expresa la relación de los números 1 y 2, producen un sonido representado por 1, es decir, al unísono del más grave; dos notas á la quinta (relación 2 á 3) dan el sonido resultante 1, octava grave del primer sonido; á la tercia mayor (relación 4 á 5) producen el sonido 1, que está á la doble octava grave del primer sonido, y así sucesivamente. Como se ve, la ley es semejante á la que da el número de pulsaciones, habiéndose deducido de ella que los sonidos resultantes no eran otra cosa sino el sonido engendrado por el concurso de pulsaciones bastante rápidas para producir en el oído la impresión de un sonido musical.

Pero esta teoría no era exacta, según lo ha demostrado Helmholtz práctica y analíticamente.

Y en efecto, este físico ha probado que, además de los sonidos resultantes diferenciales que acabamos de definir, hay sonidos resultantes cuyo tono se mide por la suma de los números de vibraciones de los componentes.

Un organista alemán, Sorge, fué el primero que observó los sonidos resultantes; pero el célebre músico italiano Tartini llamó antes que nadie la atención de los físicos hacia tan curioso fenómeno, en 1754.

CAPITULO IX

EL OÍDO Y LA VOZ

I

EL ÓRGANO DEL OÍDO EN EL HOMBRE

Todos los fenómenos físicos se revelan al hombre por la impresión que producen en sus órganos. Ante todo son para él sensaciones simples ó compuestas, según que tomen parte en su producción uno ó varios sentidos; así, por ejemplo, percibimos la luz por mediación del órgano de la vista, del ojo; por el tacto tenemos la sensación del calor; el esfuerzo que hacen nuestros músculos para levantar un cuerpo pesado, la vista de una piedra que cae, son para nosotros una demostración de la gravedad, y por último, el oído nos da la sensación del sonido.

Mas para estudiar los fenómenos en sí mismos, para hallar las condiciones y las leyes de su modo de producirse, interesa que discernamos, entre las sensaciones experimentadas, lo que corresponde á nuestros órganos de lo que les es extraño, exterior, única condición mediante la cual es accesible á nuestra inteligencia la naturaleza peculiar de los fenómenos. A decir verdad, esta abstracción nunca es completa, por cuanto

no hay una observación, una sola experiencia que no requiera la presencia del hombre y la intervención de alguno de sus sentidos para comprobar los resultados. ¿Cómo, pues, lograremos abstraernos de nosotros mismos, por decirlo así, en el estudio de los fenómenos físicos?

La verdad se abre paso poco á poco y los fenómenos se nos presentan en toda su independencia, variando de todas las maneras posibles sus modos de producirse así como los métodos de que nos valemos para observarlos, y comparando unas con otras las sensaciones que experimentemos.

Gracias al empleo de estos métodos, sabemos ahora lo que es el sonido; sabemos que consiste en un movimiento particular de las moléculas de los cuerpos elásticos, só-

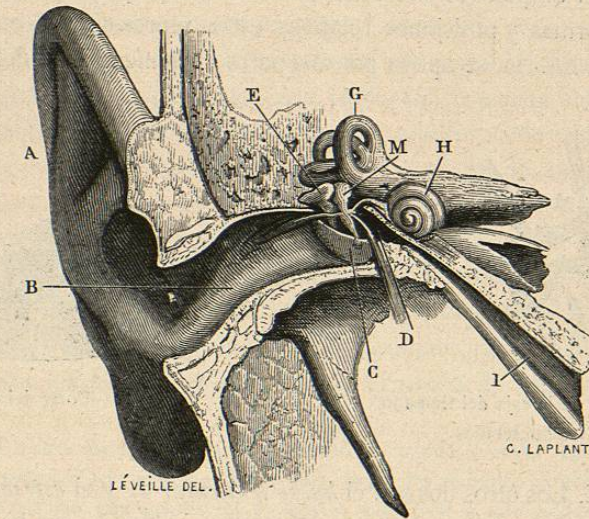


Fig. 329.—El oído humano

A, Pabellón de la oreja; B, conducto auditivo; C, membrana del tímpano; D, caja del tímpano; E, yunque; M, martillo; H, caracol; G, canales semicirculares; I, trompa de Eustaquio

lidos, líquidos y gaseosos. Hemos comprobado la existencia de las vibraciones y estudiado sus leyes. Réstanos ahora saber cómo se comunican estas vibraciones á nuestros órganos, hasta el momento en que, formando parte integrante, por decirlo así, de nuestro ser, la conmoción que producen en nuestros nervios se transforma en una sensación particular, que es la del sonido.

El oído es el aparato especial del hombre y de todos los animales encargado de recoger las vibraciones sonoras y de transmitir las al nervio auditivo. Procuremos hacer comprender, según los anatómicos, la disposición y funciones de las varias partes de este órgano.

Todos conocemos el oído externo ó oreja, situado á cada lado de la cabeza y compuesto de dos partes, el *pabellón* y el *conducto auditivo*. El pabellón A (fig. 329) consiste en una membrana cartilaginosa cuya forma varía según los individuos, pero que por lo común presenta el contorno de un óvalo irregular más estrecho en su parte inferior. En el centro una especie de embudo redondeado, ancho de boca, la *cuenca*, forma la entrada del conducto auditivo B, especie de tubo sonoro que termina á cierta profundidad, en el mismo punto en que empieza el oído medio. Allí, separado del conducto auditivo por una membrana tenue y delicada C, llamada tímpano, hay una espe-

cie de tambor D, conocido con el nombre de *caja del tímpano*. La membrana del tímpano está inclinada con bastante oblicuidad sobre el eje del conducto auditivo, de suerte que su superficie es notablemente mayor que la sección recta del conducto en el punto de su inserción. La caja del tímpano tiene cuatro orificios, dos abiertos en la pared situada enfrente de la membrana, y como el uno es de forma circular y el otro de forma elíptica, se los distingue con los nombres de *ventana redonda* y *ventana oval*.

En la parte inferior del tímpano desemboca por el tercer orificio un canal I, que pone en comunicación al oído medio con el aire exterior por mediación de las fosas nasales. Por último, en la parte superior de la caja está la cuarta abertura.

En el interior del tímpano se ve una serie de huesos pequeños; es la *cadena de los huesecillos*, cuyas formas y posiciones relativas están representadas en la figura 330. Uno de ellos, el *martillo* M, se apoya por una parte en la membrana del tímpano y por

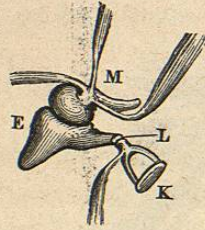


Fig. 330.—Detalles de la caja del tímpano.
Cadena de los huesecillos

otra en el *yunque* E. Los otros dos son el *hueso lenticular* L y el *estribo* K, uno y otro llamados así á causa de su forma. La base del estribo está unida con la membrana que sirve de tabique á la ventana oval. Dos pequeños músculos mueven el martillo y el estribo, apoyándolos con más ó menos fuerza contra las membranas vecinas.

Detrás de la caja del tímpano está el *oído interno*, que parece la parte más esencial del órgano del oído, por lo cual está protegido por las partes más duras del hueso temporal, ó sea las que los anatómicos llaman el *peñasco*. Tres cavidades particulares componen el oído interno: el *vestíbulo* en medio, los *canales semicirculares* G en la parte superior, y el *caracol* H en la parte inferior. Su conjunto forma el *laberinto membranoso*, cuyo interior está tapizado en toda su extensión por una membrana bañada de un líquido gelatinoso, en cuyo líquido se sumergen las ramificaciones del nervio auditivo, que penetra en el laberinto por un canal huesoso llamado *conducto auditivo interno*.

Tal es la descripción de las principales partes que constituyen el órgano del oído en el hombre; en la serie animal descendente va desapareciendo por grados el oído externo y el medio; mas, á medida que el órgano se simplifica, se desarrollan más las partes restantes.

Digamos ahora qué papel desempeña cada una de ellas.

Es indudable que el pabellón tiene por objeto reunir y reflejar las ondas sonoras en el interior del conducto auditivo externo, y así lo prueba el que los animales que pueden mover el pabellón lo vuelven hacia el lado de donde proceden los sonidos tan luego como los perciben. El hombre no tiene esta facultad; para obtener el mismo resultado, ha de volver la cabeza poniendo el orificio del pabellón en la dirección de donde le

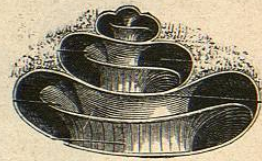


Fig. 331.—Corte del caracol

parece que proceden los sonidos (1); pero se ha observado que tienen el oído más sutil las personas cuya oreja está más separada del cráneo, y nadie ignora que para oír mejor basta agrandar artificialmente la superficie reflectora del oído externo ahuecando la mano junto á la oreja.

El conducto auditivo externo transmite las vibraciones sonoras á la membrana del tímpano, reforzándolas, y luego por la cadena de los huesecillos al oído interno (2). La trompa de Eustaquio conduce el aire exterior á la caja del tímpano, manteniendo así hacia el lado interior de la membrana la misma presión que en el exterior en la cara vuelta hacia el conducto auditivo externo. Por lo que toca á los huesecillos, además de su misión de transmitir las vibraciones al oído interno más fácil y enérgicamente de lo que lo haría un cuerpo gaseoso, sirven también, según Savart y Müller, para moderar el efecto de los sonidos demasiado estridentes; y sobre todo para estirar la membrana del tímpano y de la ventana oval, haciéndolas así más sensibles al movimiento vibratorio, del mismo modo que, según Müller, una varilla sólida puesta entre dos membranas aumenta la intensidad de la transmisión sonora. De aquí procede la diferencia que existe, desde el punto de vista de la sensación, entre los modos de audición que la lengua caracteriza con las palabras: *oir, escuchar*. La persona que oye solamente, experimenta una sensación menos fuerte, porque no hace intervenir la acción de su voluntad. En cambio, cuando se pone á escuchar, da instintivamente la orden de entrar en funciones á los músculos del martillo y del estribo; las membranas se distienden y el sonido parece más intenso y más distinto. Esta opinión, emitida por Bichat, ha sido adoptada por los fisiólogos y los físicos (3). Parece que el grado de tensión de la membrana

(1) Nos cuesta mucho trabajo apreciar la dirección del sonido, ó mejor dicho, la del foco sonoro, cuando no vemos la posición del cuerpo que lo contiene. Según los recientes experimentos de M. Graham Bell, el inventor del teléfono, esta apreciación es todavía más difícil si sólo escuchamos con un oído. En concepto de este físico es necesaria la audición *biauricular* para percibir la dirección de los sonidos, casi como es indispensable la visión biocular para tener la sensación del relieve y apreciar la distancia de los objetos.

(2) Las partes sólidas de la cabeza, y hasta los dientes, transmiten directamente al oído interno las vibraciones sonoras; así es que, si se cuelga un timbre de un hilo sujeto con los dientes, y se tapan previamente los oídos, se oye un sonido grave transmitido por el hilo, los dientes y los huesos del peñasco hasta el oído interno.

Los sordos, cuyo achaque reconoce por única causa alguna conformación viciosa de los órganos exteriores, pueden oír de este modo, y Broussais hace mención de un español que oía los sonidos de una guitarra poniéndose entre los dientes el mango del instrumento. Recientemente se ha utilizado esta propiedad para construir aparatos para los sordos: más adelante describiremos estos aparatos, que llevan el nombre de *audífonos*.

(3) ¿Está á cubierto de toda objeción? Se ha demostrado prácticamente que la distinción, bien establecida de hecho, entre los dos estados fisiológicos sucesivos por los cuales pasa una persona que, limitándose en un principio á oír, pasa en seguida á escuchar, tiene únicamente por causa el paso de una tensión menos fuerte de la membrana del tímpano á otra que lo es más? En todo caso, la intervención de la voluntad puede obtener algo más que el simple tránsito del órgano del oído de un estado casi pasivo á una actividad más intensa; en ciertos casos puede elegir entre las sensaciones auditivas. Todo el mundo ha observado que en medio de un confuso murmullo de muchas conversaciones que á veces se oyen sin escuchar ninguna, el oído puede, prestando la debida atención, atender una de las conversaciones parciales que entonces oye distintamente, al paso que continúa *oyendo*, pero no *escuchando* las demás voces que á pesar de ello no dejan de afectarle; para producir este resultado, la voluntad no ha podido actuar evidentemente sobre la membrana del tímpano, ó al menos sobre ella sola, por cuanto entonces la membrana más distendida, más sensible, lo sería para una voz lo mismo que para las otras. ¿No serán las fibras de Corti, de que luego hablaremos, las que efectúan semejante distinción? De todos modos, parecemos que hay motivo para indagar todavía la verdadera explicación del fenómeno.

del tímpano varía también con el de agudeza ó gravedad de los sonidos que se han de percibir; para escuchar los agudos la membrana se estira mucho más que para los graves.

Hemos dicho antes que el oído interno es la parte esencial del órgano del oído, y en efecto, la observación ha demostrado que se puede perder la membrana del tímpano y los huesecillos sin que sobrevenga la sordera. Es sin embargo indispensable que no se desgarren las dos ventanas del tímpano, porque entonces, escapándose los líquidos que bañan el nervio auditivo, se secan los órganos del oído interno y pierden su sensibilidad, así como las ramificaciones del nervio mismo. En este caso habrá sordera completa.

El nervio auditivo distribuye sus ramificaciones en dos ramas principales, una de las cuales, la que penetra en el caracol, se divide en una multitud de ramúsculos de extraordinaria tenuidad llamados *fibras de Corti*, del nombre del docto micrografo que los descubrió. Según Helmholtz, cada una de estas fibras, que son de longitud varia y cuyo número pasa de 3,000, vibra probablemente al unísono de un sonido particular, de suerte que forman una serie regular análoga á la gama musical. Suponiendo que 200 de ellas correspondan á los sonidos situados fuera de los límites musicales, "quedan, dice, 2,800 fibras para las siete octavas de los instrumentos de música, es decir, 400 para cada octava, 33 para cada semitono, y en todo caso las bastantes para explicar la distinción de las fracciones de semitono, en el límite posible." Admitiendo esta misión de las fibras de Corti, compréndese cómo se transmite el mecanismo de las vibraciones sonoras hasta el nacimiento de los nervios. Estas vibraciones, bien sean simples ó compuestas, llegan por el conducto auditivo hasta la membrana del tímpano, y en seguida se transmiten por la caja del tímpano, la cadena de los huesecillos y las membranas de las dos ventanas, redonda y oval, hasta el oído interno. Al llegar á este punto, conviértense de vibraciones aéreas en vibraciones de cuerpos líquidos y sólidos, hasta las fibras de Corti. Finalmente, aquí se efectúa la distribución, y cada vibración simple de tono musical determinado encuentra una fibra que la reciba. Así se puede explicar también la descomposición de un sonido compuesto y de sus armónicos, como la sensación simultánea del sonido fundamental y del armónico predominante, es decir, del timbre.

Vese por los detalles precedentes que la teoría del oído presenta aún obscuridades; pero á los fisiólogos más bien que á los físicos incumbe disiparlas enteramente (1). Lo admirable en esta organización de uno de los sentidos más útiles para la conservación del individuo y para sus relaciones con sus semejantes y con el mundo exterior, y que además es manantial de goces deliciosos y profundos, es su maravillosa facultad de percibir un número indefinido de sonidos.

Por lo demás, la coexistencia de las vibraciones en el aire y en los medios á propósito para propagar el sonido explica esta propiedad del oído, el cual no hace más que transmitir á los nervios y de éstos al cerebro las mil modificaciones de los medios elásticos en los que estamos metidos.

(1) . El órgano del oído está conformado casi del mismo modo en todos los mamíferos, sólo que ciertas partes están más desarrolladas unas veces, y otras menos; las aves tienen el aparato de la audición construido siempre sobre el mismo plano, si bien es muchísimo más sencillo que el nuestro. No se sabe que los insectos tengan órgano del oído, aunque la función existe, toda vez que estos animales producen sonidos con los que se llaman desde lejos. Por último, los moluscos, excepto los cefalópodos superiores, carecen de sentido auditivo.

II

LA VOZ HUMANA

Terminemos este estudio de los fenómenos del sonido con una sucinta descripción del órgano de la voz en el hombre, de ese instrumento natural de música con cuyo auxilio comunicamos nuestras ideas, instrumento tan flexible y completo, que los artificiales más perfeccionados no llegan á tener esa diversidad de matices y de timbres que permite á la voz humana expresar los sentimientos y las pasiones más opuestas.

El órgano de la voz no es otra cosa sino un instrumento de viento, es decir, un aparato en que producen los sonidos las vibraciones más ó menos rápidas del aire al pasar por una abertura de forma particular y variable dimensión. El aire llega de los pulmones por un tubo ó canal anular N llamado *traquearteria*; de aquí penetra en la *laringe* M, en donde entra en vibración y produce los sonidos de la voz, y luego en la *faringe*, embudo situado en la parte posterior de la boca. El sonido llega entonces á las cavidades de las fosas nasales y de la boca, que desempeñan el papel de cajas de refuerzo y dan al sonido un timbre especial.

La figura 332 representa la conformación interior de la laringe. Como se ve, es una especie de caja cartilaginosa terminada inferiormente por la traquearteria N, y en la parte superior por el *hueso hioides*, en forma de herradura. Una especie de válvula movable, la *epiglotis* E, se puede bajar tapando la parte superior de la laringe é impidiendo así que los alimentos penetren en ella, lo cual produciría la extinción de la voz ó la asfixia. Debajo de la epiglotis está la *glotis* K, abertura comprendida entre dos sistemas de pliegues que dejan entre sí una cavidad llamada *ventrículo de la glotis*. Estos pliegues son, por una parte, las *cuerdas vocales* I, situadas en la parte inferior de la glotis y así llamadas porque en un principio se creyó que eran las que formaban los sonidos, vibrando por efecto del aire, como las cuerdas sonoras frotadas por un arco; y por otra parte, los *ligamentos superiores* H, situados sobre ellas.

Los experimentos hechos por los fisiólogos han demostrado que las cuerdas vocales vibran como las lengüetas batientes de los tubos sonoros, y que los sonidos así producidos son más ó menos agudos, según que la tensión mayor ó menor de las cuerdas

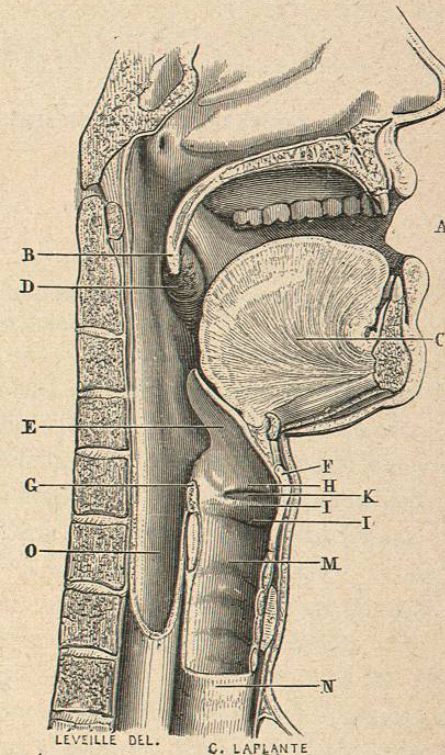


Fig. 332.—Órgano de la voz humana, caja interior de la laringe: A, boca; B, pilar posterior del paladar; C, lengua; D, músculo geniogloso; E, epiglotis; F, cartilago tiroides; H, ligamentos superiores; I, cuerdas vocales; K, glotis; O, faringe; M, círculos de la traquearteria; N, traquearteria

vocales modifica la forma y las dimensiones de la abertura de la glotis. Cuando el sonido llega á la boca, está ya determinado su tono, no sufriendo otras modificaciones sino las que constituyen su timbre ó forman la voz articulada. Los movimientos de la faringe, de la lengua y de los labios sirven para producir estos varios cambios, de los cuales no debemos ocuparnos aquí.

Únicamente diremos que la voz del hombre difiere por su gravedad de las de la mujer y del niño, debiendo este carácter á las mayores dimensiones de la laringe y de la abertura de la glotis. El desarrollo rápido de este órgano en los jóvenes, al llegar á la edad de la pubertad, es la causa de la transformación que se nota entonces en su voz.

SEGUNDA PARTE

ACÚSTICA.—APLICACIÓN DE LAS LEYES DEL SONIDO

CAPÍTULO PRIMERO

LA TELEFONÍA Ó TRANSMISIÓN DEL SONIDO Á DISTANCIAS

I

LAS SEÑALES ACÚSTICAS EN LA NAVEGACIÓN; BOYAS DE CAMPANA —LOS TUBOS ACÚSTICOS.
LA MUJER INVISIBLE

La idea de emplear el sonido, la voz humana, las campanas ú otros instrumentos acústicos para dar avisos ó noticias á larga distancia es muy antigua. El alcance del sonido es sin duda infinitamente menor que el de la luz, y por eso las señales luminosas han deparado un medio de telegrafía utilizado muchísimo tiempo antes que la electricidad llevara, por decirlo así, á la perfección ese arte tan precioso, esa aplicación tan útil.

Pero la luz no se ve ó se ve mal durante los tiempos ó días brumosos, ó en medio de las tempestades, y el sonido es entonces un auxiliar útil que se emplea siempre en la marina, á la entrada de los puertos y en las inmediaciones de los escollos.

“En los tiempos brumosos, dice M. Renard, se indican á los navegantes las entradas de los puertos volteando campanas, con ciertos intervalos de silencio. Algunos faros poseen también estos aparatos. En los Estados Unidos, en donde las nieblas son tan frecuentes y tan espesas, no se ha retrocedido ante los gastos que exigía el dar mayor alcance á los sonidos, y se ha instalado en muchos puntos campanas que pesan hasta 500 kilogramos y más, y en otros, grandes silbatos que se hacen resonar con aire comprimido.” (*Los Faros.*)

En los pasos de los canales, cerca de los arrecifes ó de las rocas, se ven á menudo boyas provistas de campanas que advierten del peligro á los marinos.

Las campanas de las iglesias, en las ciudades y en los campos, son señales telefónicas que anuncian á lo lejos á los fieles las ceremonias del culto, y éstos conocen por el modo de tocarlas la clase de la ceremonia anunciada. En caso de incendio, el toque de alarma lanza á los aires sus sonos siniestros y reclama el auxilio de las gentes. Pero en todos estos casos se emplea el sonido en pleno aire, sin ningún procedimiento especial para propagarlo á larga distancia conservándole su intensidad inicial. Los medios ideados para conducir el sonido á mayores distancias que su alcance ordinario son los que constituyen, propiamente hablando, lo que llamamos hoy *telefonía*.

Uno de estos medios, muy usado para distancias cortas, consiste en hacer de modo