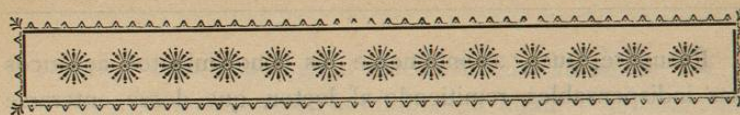


parte de los autores muy someramente, deteniéndose sobre todo tal como se halla en las Gramáticas modernas. Pero esto es porque de la *Fonología* propiamente dicha tratan la mayor en las leyes fonéticas; y otros, que se atienen más al elemento fisiológico y omiten las leyes silábicas, como SIEVERS por ejemplo, llaman también *Fonética* á esta, que mejor se diría *Fonología fisiológica*.

La *Fonología* trata de las voces tomadas separadamente, como sonidos que son, y no como elementos silábicos.

El término *Fonética*, además de lo dicho, tiene otro inconveniente, y es que, significando de suyo *arte de los sonidos*, no responde al punto de vista científico, desde el cual se pretende —y yo por lo menos pretendo— considerar las voces del humano lenguaje. No trato de dar reglas del arte de hablar; trato de investigar científicamente el habla.

Como el objeto de este libro es estudiar á fondo las voces como primeros gérmenes que son del lenguaje humano, no solo tengo que estudiarlas tal como se encuentran en las lenguas existentes, sino en su misma naturaleza física, en su formación fisiológica y en el valor psicológico que puedan tener con las ideas y demás manifestaciones del espíritu. De esta manera tendremos conocidos los gérmenes del lenguaje, de los cuales en la *Embriogenia*, que seguirá á continuación, veremos cómo se desenvuelven las formas más primitivas, de las que se derivaron las de todas las lenguas posteriores.



## PRIMERA PARTE

### Fonología física: los sonidos

*Der Schall ist die Antwort, welche die Körperwelt erteilt, wenn man sie nach ihrem Wesen fragt.*

KLEINPAUL.

3

LA *Fonología física* considera la voz objetivamente en su naturaleza física, como la causa, que es, de la sensación del oír: determina la naturaleza del sonido, su origen, sus cualidades y su propagación hasta llegar al oído.

La *Acústica* trata del sonido en general y en sus principales manifestaciones; la *Fonología física*, en cuanto que el sonido es elemento del lenguaje. Podríase, pues, en rigor omitir esta materia; pero en una obra como la presente conviene tocarla ligeramente por lo menos: porque, sin entender la naturaleza física de las voces, no se puede comprender de raíz la teoría del lenguaje que yo voy á exponer, en cuanto á la relación que parecen tener con las ideas, relación que se funda precisamente en la naturaleza física y fisiológica de las voces.



Resumiré, pues, sucintamente los conocimientos acústicos mas indispensables, remitiendo al lector, que desee enterarse mas de propósito, á los tratadistas especiales, por ejemplo á TYNDALL y á TECHMER (1).

## CAPÍTULO I

### Produccion y propagacion del sonido

#### 4. PRODUCCION DEL SONIDO

**C**ierto es en muchas ocasiones lo que reza el dicho de *haber uno oído campanas y no saber dónde*, pero no lo es menos, sin darse por ello contradicción, que las mas veces el que se empeña en averiguarlo podrá decir: *el sonido es de aquella campana*. Atribuimos el sonido á la campana; como lo atribuimos á un violin que oímos tocar, ó á un individuo, cuyo timbre conocemos ó que nos habla por primera vez; y, sin embargo, esos sonidos ni estan en la campana, ni en el violin, ni en el que habla; estan en nosotros mismos.

El sonido formalmente es un fenómeno fisiológico-psíquico; objetivamente solo existe la causa del sonido, de esa *percepcion* que el oído recibe, que es propiamente el sonido.

Pero ¿cuál es la *causa* de esa sensación acústica, *causa* á la cual tambien llamamos sonido, aunque solo lo sea impropia-mente? ¿qué es objetivamente el sonido como fenómeno físico, ántes de llegar al oído?

Es la vibración de un cuerpo con determinada velocidad. Todo el mundo sabía ya de muy antiguo que al chocar dos cuerpos entre sí ó con el aire resultaba un sonido, mayormente si los cuerpos son muy elásticos. Todo cuerpo que vibra libremente choca con el aire, que no deja de ser cuerpo, aunque no

(1) *Internationale Zeitschrift.*

se palpa, y tiene que originar necesariamente un sonido. Tal sucede con el diapason ó con la tablilla que atada ó un bramante hace girar el niño con velocidad, con una sirena, con una flauta, con un violin, con el aparato de la voz.

En todos estos casos el sonido que se percibe lo produce el aire ambiente, puesto en vibración al impulso de la mano, del vapor, del soplo, del arco, de las cuerdas vocales de la laringe. En una palabra, siempre y cuando que la velocidad de un cuerpo en movimiento pase de 16 oscilaciones por segundo y no llegue á 38.000 (1), esté vibrar del cuerpo causa en el oído la sensación llamada sonido; bien que hay personas que no perciben estos extremos y tal vez haya animales que pasen de ellos.

Pero, para que el sonido llegue al oído, es menester que entre éste y el cuerpo vibrante haya algun otro cuerpo trasmisor. El medio trasmisor ordinario del sonido, y el que lo es de la voz humana en el habla, es el aire. En el vacío de la campana neumática no suena el tic-tac del reloj. Cuanto mas denso esté el aire, mejor se oye, en cambio, el sonido, y se va apagando, conforme el aire se va enrareciendo, como sucede al subir por una alta montaña.

Pero ¿cómo se transmiten hasta mi oído las vibraciones de la campana que estoy oyendo sonar en la torre del barrio? Si el sonido es movimiento, como acabamos de ver, se transmitirá como todo movimiento, por sucesión de choques de las partículas aéreas que median entre el foco sonoro y el tímpano del oído.

Las moléculas del aire estan, supongamos, en reposo, como las cartas de la baraja, que el niño ha colocado seguidas y de pié apoyándose mutuamente de dos en dos en forma de tiendas de campaña. Basta empujar la primera molécula ó la primera carta, para que vayan empujándose mutuamente ellas mismas hasta la última: el primer movimiento se transmitió de un cabo al otro. De igual manera el movimiento, que imprimo á una larga sog

(1) HELMHOLTZ. Prácticamente la serie de sonidos musicales queda limitada entre 40 y 4.000 vibraciones por segundo ó sean 7 octavas; el *mi* del contrabajo es de  $41\frac{1}{2}$  vibraciones, los pianos llegan al *do* = 33 vibraciones, los órganos al *do*-<sub>2</sub> =  $16\frac{1}{2}$  vibraciones.



tendida en el suelo, corre desde la una punta, que tengo en mi mano, hasta la otra.

En este último ejemplo se ve á ojos vistas la traslación del movimiento en forma de ondas, que van corriendo del uno al otro cabo. Otro tanto hemos observado todos en el mar, cuyas olas no son más que las oscilaciones del elemento líquido que está en movimiento.

Cuando lanzamos una china en un lago tranquilo, vemos formarse en torno suyo una série de ondulaciones, que arrancan del punto donde la china cayó, y en forma de círculos concéntricos se van de él alejando una tras otra, aumentando cada vez más en circunferencia. Echemos encima de esas ondulaciones una paja ó cualquier otro objeto que flote, y no hará más que subir y bajar, sin alejarse ni seguir el movimiento centrífugo de los círculos, que van pasando por debajo sin interrupción.

Esto prueba manifiestamente que las partículas del agua no siguen á las ondulaciones, sino que solo se mueven en sentido vertical, mientras que la dirección del movimiento ondulatorio es horizontal, del centro, donde dió la china, hácia las circunferencias cada vez mayores.

Lo que sucede en el agua, sucede en el aire (1), y no ya en una superficie plana como la del agua, sino en todo el espacio cúbico que rodea el centro de donde partió el movimiento. En vez de formarse circunferencias, se forman esferas concéntricas cada vez mayores hasta desvanecerse. Si el oído se encuentra dentro de la esfera del movimiento oíble, las partículas aéreas, que como las del agua están sufriendo un movimiento de vaiven al pasar las ondulaciones, dan en el tímpano del oído, y por los huesecillos del oído medio llegará la oscilación á las fibras nerviosas de los órganos de Corti, situadas en el oído interno, y esa oscilación se percibirá en forma de sonido.

Si el medio trasmisor no fuese elástico, esto es, si sus moléculas unas vez separadas de su lugar no volviesen á él, sino que

(1) Distingase entre las vibraciones longitudinales del sonido y las transversales, que se verifican en el agua del ejemplo propuesto, como en el fluido hipotético éter del calor y de la luz.

todo el impulso recibido lo guardáran trasformándolo en calor, luz, etc., el sonido se apagaría al llegar á tales moléculas: bien así como una vedija de lana, que, sacudida contra el suelo, allí se queda sin botar y sin meter ruido. Pero, si las moléculas son elásticas, muy buenas conductoras del movimiento recibido, el impulso lo comunican tal como lo recibieron, quitada una pequeña cantidad, por no haber cuerpo perfectamente elástico: bien así como la pelota resurte botada fuertemente y como una bolita de marfil al chocar en otra le trasmite casi todo el movimiento recibido y ésta á otra, etc., hasta la última, que se mueve casi con la misma velocidad que la primera. Las bolitas intermedias solo sufren un ligero vaiven; el movimiento sigue adelante.

Por lo dicho, de la perfecta elasticidad de los cuerpos, es por lo que el movimiento va menguando juntamente con las ondulaciones y llega un punto en que se apaga enteramente y cesa del todo.

La vibración, que, cuando hablamos, comunicamos al aire en la laringe y en la boca, se trasmite de la misma manera al través del aire hasta llegar al oído: las moléculas aéreas van entrechocándose desde el centro á la circunferencia por el radio, formando ondas condensadas y dilatadas. Cada molécula sufre un movimiento de vaiven, choca en la que tiene delante comunicándole el impulso, y vuelve á su primera posición. En este vaiven de las moléculas aéreas el movimiento se comunica por ondulaciones todas esféricas, concéntricas y cada vez mayores, bien que perdiendo cada vez en intensidad lo que ganan en diámetro.

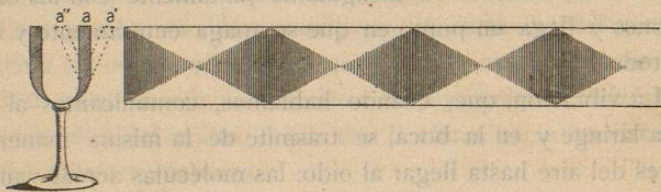
Este movimiento del sonido objetivo se llama *ondulatorio*, por ser como el de las ondas; y el de vaiven de las moléculas aéreas, *vibratorio*, como lo es el del cuerpo, foco del movimiento.



## 5 PROPAGACION DEL SONIDO

Fijémonos en una molécula de aire. Al recibir el impulso, se acerca á la mas próxima siguiente y choca con ella; luego vuelve atras, mientras que la que recibió el impulso sigue adelante á encontrarse con otra, y así sucesivamente. Luego, en la ondulacion hay un espacio donde las moléculas se juntan, y otro, el próximo siguiente, donde se separan: en el primero tenemos la *onda condensada*, en el segundo la *dilatada*.

Analicemos esta propagacion del sonido en un tubo prismático M N lleno de aire á una presion y temperatura constantes (fig. 1.a).

Figura 1.<sup>a</sup>

Al resonar un diapasón, el brazo *a* vibra como un péndulo entre las dos posiciones extremas *a'* y *a''*, y sus vibraciones se propagan por la columna de aire del tubo.

Hay que distinguir dos fases, la de la ida entre la posición *a''* y la posición *a'* del brazo del diapasón, y la de la vuelta entre la posición final *a'* y la inicial *a''*.

En la primera fase el brazo vibrante comunica al aire del tubo una serie de impulsiones, cuya velocidad,—y por lo tanto la intensidad,—va primero creciendo desde *a''* hasta *a* y luego decreciendo desde *a* hasta *a'*, al modo que sucede en todo péndulo. Cada una de las impulsiones sucesivas se propaga al través de la columna de aire, merced á la elasticidad de este gas.

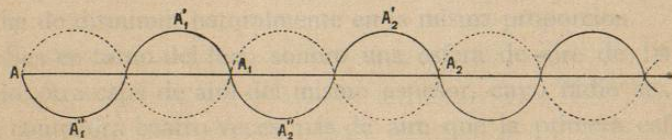
Cuando el brazo llega á *a'*, dando su última impulsión, la impulsión primera se habrá propagado ya una distancia  $\frac{1}{2} VT$  ( $V =$  velocidad de la propagacion del sonido,  $T =$  tiempo de una oscilacion completa), puesto que la oscilacion completa consta

de  $a'' a' + a' a''$ : por lo tanto, la region anterior de la columna de aire se halla condensada en un espacio igual á  $\frac{1}{2} VT$ , y tal es la *onda condensada*.

En la segunda fase de la vibracion el brazo vibrante retrocede comunicando al aire, no ya una serie de impulsiones, sino por el contrario de aspiraciones ó dilataciones, cuya velocidad va primero creciendo entre *a'* y *a* y luego decreciendo entre *a* y *a''*.

Durante este mismo tiempo la porcion de la columna de aire, donde antes se hallaba la onda condensada, queda en reposo, por haberse propagado esta onda condensada, y toma su lugar la *onda dilatada* ó rarificada por las sucesivas dilataciones que recibe durante el tiempo  $\frac{T}{2}$  de esta segunda fase de la vibracion.

Al fin del tiempo  $T$  de la vibracion completa  $a'' a' + a' a''$ , que llamaré  $\lambda$ , el estado de la columna de aire es el siguiente: en la porcion anterior está la onda dilatada en un espacio  $\frac{1}{2} VT$ , y en la porcion contigua en un espacio igual está la primera onda condensada que se ha transmitido: de modo que en el espacio  $VT = \lambda$  la columna de aire contiene una onda completa. Durante los períodos de tiempo siguientes, nuevas ondas se originan en la porcion anterior del tubo, mientras que las ondas precedentes van propagándose con la velocidad constante  $V$ . Al cabo de un tiempo la columna de aire se halla dividida en porciones de una longitud  $\frac{\lambda}{2}$ , en las que van alternando las ondas condensadas y las dilatadas sucesivamente, y cuya representacion gráfica ofrece la siguiente figura 2, donde en torno del eje del tubo se ven las ondas condensadas de un lado y las dilatadas del otro: la longitud de dos arcos  $AA_1$  es la onda completa  $\lambda$ , la de cada uno lo es de la mitad  $\frac{\lambda}{2}$ .

Figura 2.<sup>a</sup>



Esta explicacion geométrica la veremos prácticamente meneando en direccion vertical un tubo de caucho tendido en el suelo, ó una simple sogá.

En los puntos A, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>... la altura es nula, por ser nula la densidad, y va creciendo hasta los puntos de máxima densidad A<sub>1</sub>', A<sub>2</sub>'... y A<sub>1</sub>"', A<sub>2</sub>"'...

Nótese que siempre  $\lambda$ , ó la longitud de la onda, es constantemente igual, con tal que sean constantes la velocidad V y el tiempo T:  $\lambda = VT$ : el caracter esencial de la propagacion es, por lo tanto, la *periodicidad de la vibracion* y la *constancia de la velocidad* de la misma propagacion.

La propagacion del sonido en el aire á 0° es de 332<sup>m</sup>8 por segundo, y á 26°6 es de 347<sup>m</sup>5: de modo que la velocidad crece á razon de 6 dm. por grado de calor, por crecer la elasticidad de las moléculas aéreas en esta misma proporcion, segun se calienten más y más: la velocidad es mayor al traves de los líquidos y mayor al traves de los sólidos.

Cuando la propagacion es en capas esféricas, como sucede en el sonido al aire libre, la intensidad va disminuyendo; pero persisten siempre constantes la misma longitud de la onda y la velocidad de su propagacion.

La sucesion de la porción condensada de las ondas es para el tímpano del oído una sucesion de golpes, como lo es para las capas aéreas: y, como la sensacion de cada golpe, por más que se apague enseguida en el oído, dura lo bastante para que llegue antes el segundo golpe, el efecto es sentirse el sonido como un todo continuo, al modo que la vista percibe como continua la sucesion de gotas que forman la vena líquida, aunque ésta en sí esté realmente constituida por infinidad de gotas físicamente distintas y separadas, segun lo enseñan los físicos y se demuestra experimentalmente.



## CAPÍTULO II

Cualidades del sonido: intensidad, tono, timbre.

Sonidos musicales y ruidos.

### 6. INTENSIDAD.



SA sabemos que en el vacío no se oye como sonido la vibracion de un cuerpo, y que el sonido se debilita, cuando se oye en lo alto de las montañas. En efecto, conforme aumenta la densidad del aire, aumenta tambien el sonido; pero, se entiende de la densidad del aire en el seno del cual se origina el sonido, no del aire donde se oye. Así tirando un cañonazo en un monte, lo oiran igualmente el que se encuentre en el valle á una distancia del cañon, por ej., de 300<sup>m</sup>, y el que esté en otro monte á la misma distancia de 300<sup>m</sup> del cañon, aunque en el valle, el aire sea mas denso que en el monte; y al revés tirando un cañonazo en el valle, se oirá lo mismo á 300<sup>m</sup> en el valle y á 300<sup>m</sup> monte arriba. Pero, el cañonazo del valle será mas intenso que el cañonazo del monte, por ser mayor la densidad en el valle que en el monte.

La intensidad del sonido varía en razon inversa del cuadrado de la distancia: es decir, que aumentando la cantidad de aire, que se pone en movimiento al propagarse el sonido, como el cuadrado de la distancia al foco sonoro, la intensidad del sonido ha de disminuir naturalmente en la misma proporcion.

Sea en torno del foco sonoro una esfera de aire de 1<sup>m</sup> de rádio: otra capa de aire del mismo espesor, cuyo rádio sea de 2<sup>m</sup>, contendrá cuatro veces más de aire que la primera esfera, otra de 3<sup>m</sup> de radio tendrá nueve veces más, otra de 4<sup>m</sup> diez y