

sonido determinado, tenemos la altura musical y la sonoridad. En términos generales, los sonidos graves nos dan como posibilidad que la sensación vibratoria en el cuerpo sea intensa, pero para que un sonido sea percibido por el cuerpo, además de tener una frecuencia baja, es necesario que tenga cierta energía, es decir, cierto nivel de intensidad.

En el presente capítulo nos introduciremos en este fenómeno de propagación de las ondas sonoras, que puede comprenderse desde la acústica, una disciplina que, entre otras cosas, describe lo que le sucede al sonido desde que es emitido por alguna fuente acústica (como, por ejemplo, un cuenco sonoro tibetano) hasta que es percibido por un oyente o receptor.

Lo que el lector encontrará a continuación es un valioso aporte de María Andrea Farina, que sintetiza las nociones básicas relacionadas con la propagación de las ondas sonoras y su relación con el abordaje vibroacústico (Farina y Zain, 2013).

Musicoterapia vibroacústica y propagación de ondas sonoras

Prof. María Andrea Farina

Para que sea posible la percepción del sonido es necesario que existan tres elementos: en primera instancia, una fuente acústica, que puede ser un instrumento musical, la voz humana o un parlante, o sea, un objeto capaz de vibrar que suministra energía al medio y lo excita; luego, el medio en el que la energía se propaga a partir del movimiento de sus moléculas; y, por último, la energía que llega al receptor.

El sonido se propaga a través de un medio elástico (por ejemplo, en el vacío no hay propagación de ondas sonoras). Lo que hace posible la propagación es la existencia de materia en cualquiera de sus tres estados: sólido, líquido o gaseoso.

En el caso de los recursos que se utilizan en los abordajes vibroacústicos, habrá propagación en el aire y en el cuerpo del paciente.

Si una de las partículas que conforman la materia en un medio es perturbada, separada de su posición de reposo, comienza a oscilar con respecto a su posición de equilibrio. Las partículas realizan así un pequeño movimiento local de ida y vuelta,

que tiene lugar gracias a una fuerza restauradora o elástica que trata de llevarlas nuevamente a la posición de equilibrio.

Es decir, debido a la elasticidad y como consecuencia de la densidad del medio, se transmite la energía en forma de oscilaciones y se desplaza la perturbación, originándose una onda que se propaga a través del medio.

Por cada oscilación, las partículas afectadas chocan con las partículas inmediatas a ellas que están en equilibrio; al moverlas se produce una compresión del medio —por ejemplo, del aire—, que a continuación se descomprime. Estas perturbaciones que se propagan alejándose de la fuente sonora en todas direcciones (como ocurre con las olas en el agua) se denominan ondas sonoras.

La densidad del aire varía en forma periódica. La distancia entre dos máximos sucesivos de la densidad es lo que se denomina longitud de onda (λ).

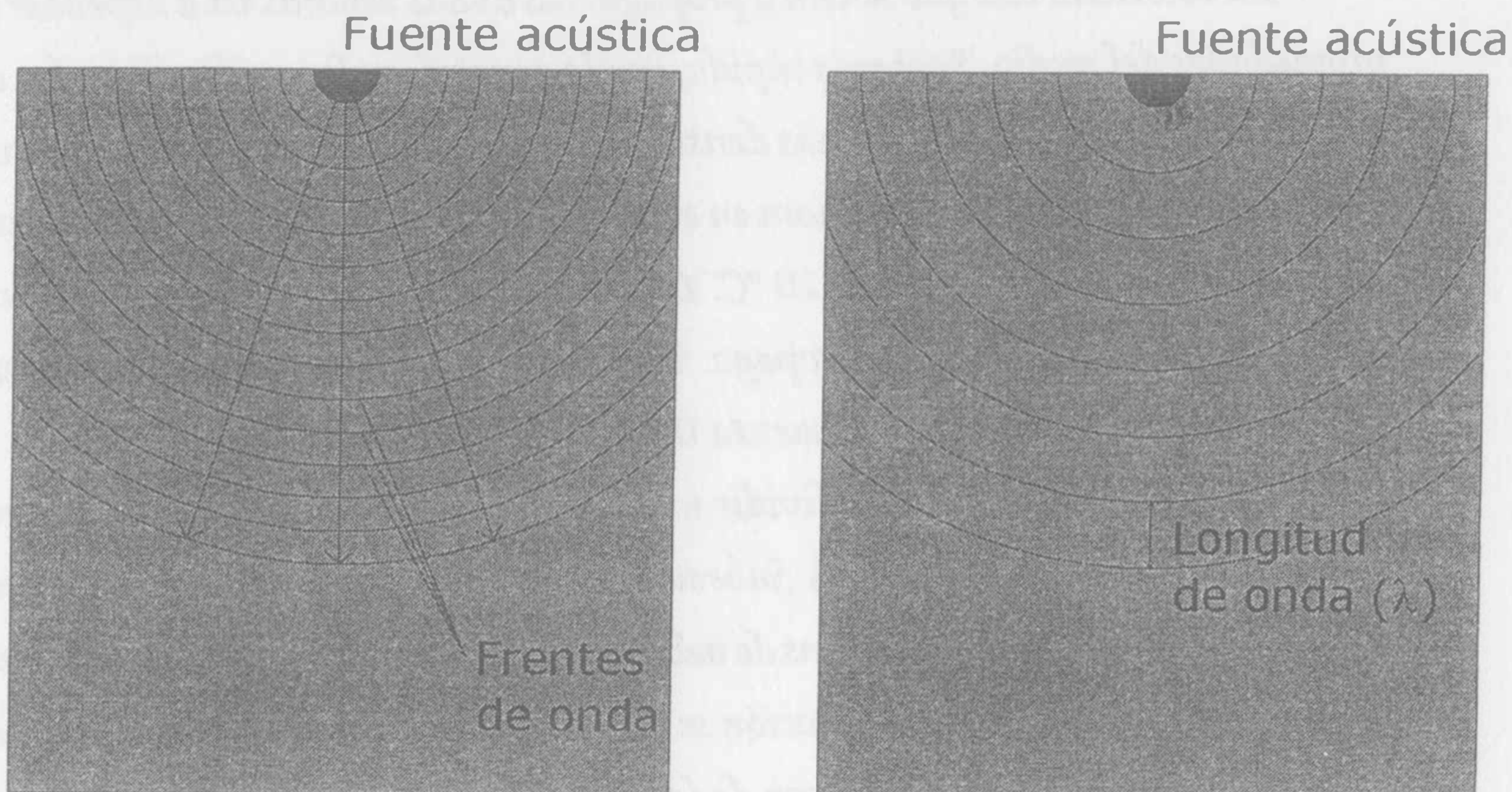


Figura 1. Propagación de sonidos con distintas longitudes de onda.

Además, todos los puntos que están en la misma parte del ciclo de variación forman un frente de onda.

Las variaciones de la densidad del aire producidas por la energía entregada al medio por una fuente cualquiera —es decir, los movimientos vibratorios generados en los cuerpos sonoros— inducirán a nuestro tímpano a vibrar en forma análoga a estas vibraciones. Y, al ser transformadas por nuestro oído interno en impulsos

electroquímicos que son transmitidos al cerebro, experimentamos la sensación que llamamos sonido.

Las ondas pueden clasificarse según la dirección en que se mueven las partículas en el medio, tomando como referencia la dirección en que se propaga la onda. Podemos así hablar de ondas longitudinales y ondas transversales. Las ondas longitudinales son aquellas en que las partículas que comunican la perturbación se mueven, en vaivén, en la misma dirección en que se propaga la onda; si un resorte se comprime en uno de sus extremos, se verá como la energía viaja a través de él en esta forma de propagación longitudinal. En las ondas transversales, las partículas realizan un vaivén hacia arriba y hacia abajo, es decir, en forma perpendicular con respecto a la propagación de la onda, que sigue siendo horizontal. Una onda sonora que se propaga a través del aire lo hace en forma longitudinal.

La velocidad con que se van a propagar las ondas sonoras va a depender de las propiedades del medio. Será más rápida, por lo general, en los medios líquidos o sólidos. Estos últimos son mucho más densos, con sus partículas más próximas entre sí. En el caso de la propagación sonora en el aire, la velocidad será de aproximadamente 344 m/s a una temperatura de 20 °C. La velocidad depende de la temperatura del medio por el que el sonido se propaga. En el aire, si se incrementa la temperatura, la velocidad de propagación aumenta 0,6 m/s por cada grado.

La velocidad resulta de dividir una distancia por el intervalo de tiempo que se tarda en recorrerla ($v = d / t$). Sabemos que la longitud de onda es justamente la distancia entre dos zonas sucesivas de máxima o mínima presión, o la distancia mínima después de la cual el ciclo de vibración se repite. Además, como esta distancia va a ser recorrida en un intervalo de tiempo dado, tenemos:

$$v = \lambda / P \quad v = \lambda \cdot f$$

Por ejemplo, para una onda que se desplaza en el aire a 344 m/s con una longitud de onda de 3,11 m:

$$P = 3,11 \text{ m} / 344 \text{ m/s} = 0,0090 \text{ s}$$

Debido a la relación inversa que existe entre frecuencia y período, $f = 1 / P$, la frecuencia será:

$$f = 1 / 0,0090 \text{ s} = 110 \text{ Hz}$$

que corresponde a la frecuencia más baja del cuenco vibroacústico, objeto de análisis en el capítulo 3, de altura musical A2.

A modo de ejemplo, las longitudes de onda que les corresponden a las frecuencias más bajas de los otros dos cuencos analizados son, para el cuenco mediano 1, de frecuencia 196 Hz: 1,75 m; y para el cuenco mediano 2, de frecuencia 220 Hz: 1,56 m. Los sonidos más graves, de frecuencias más bajas, poseen longitudes de onda de mayor tamaño que los sonidos de frecuencias más altas.

Propiedades de las ondas sonoras

Ahora veamos cómo puede modificarse el recorrido de una onda sonora desde su emisión hasta su recepción.

a) Reflexión

Si en una sala existe una fuente sonora, por ejemplo un instrumentista, y un oyente, y el músico comienza a tocar su instrumento, un sonido se propagará en forma directa desde él hasta el oyente.

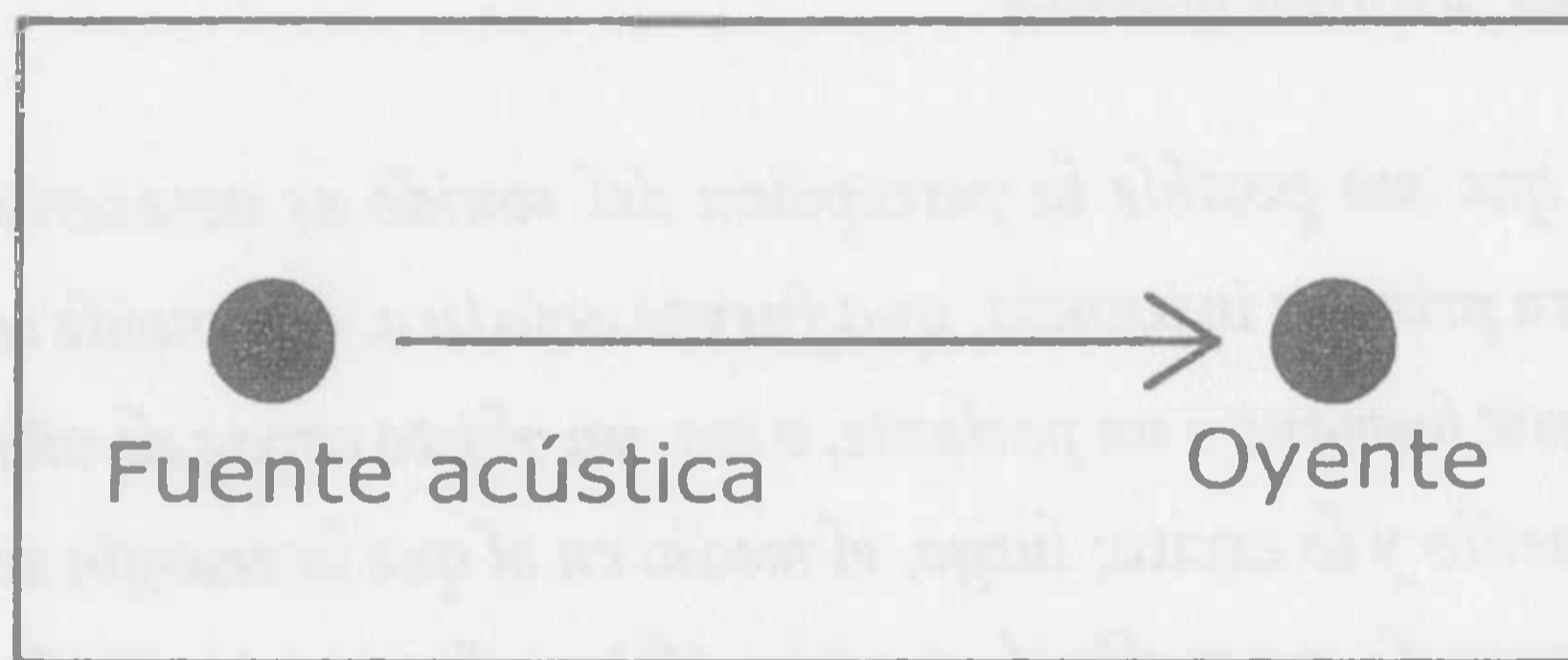


Figura 2. Sonido directo.

Como las ondas se propagan casi en todas las direcciones y sentidos, se producirá además una serie de reflexiones en las distintas superficies interiores de la sala; por ejemplo, en una pared. Estas reflexiones son especulares, es decir que el ángulo de incidencia del frente de onda coincide en valor absoluto con el ángulo de reflexión.

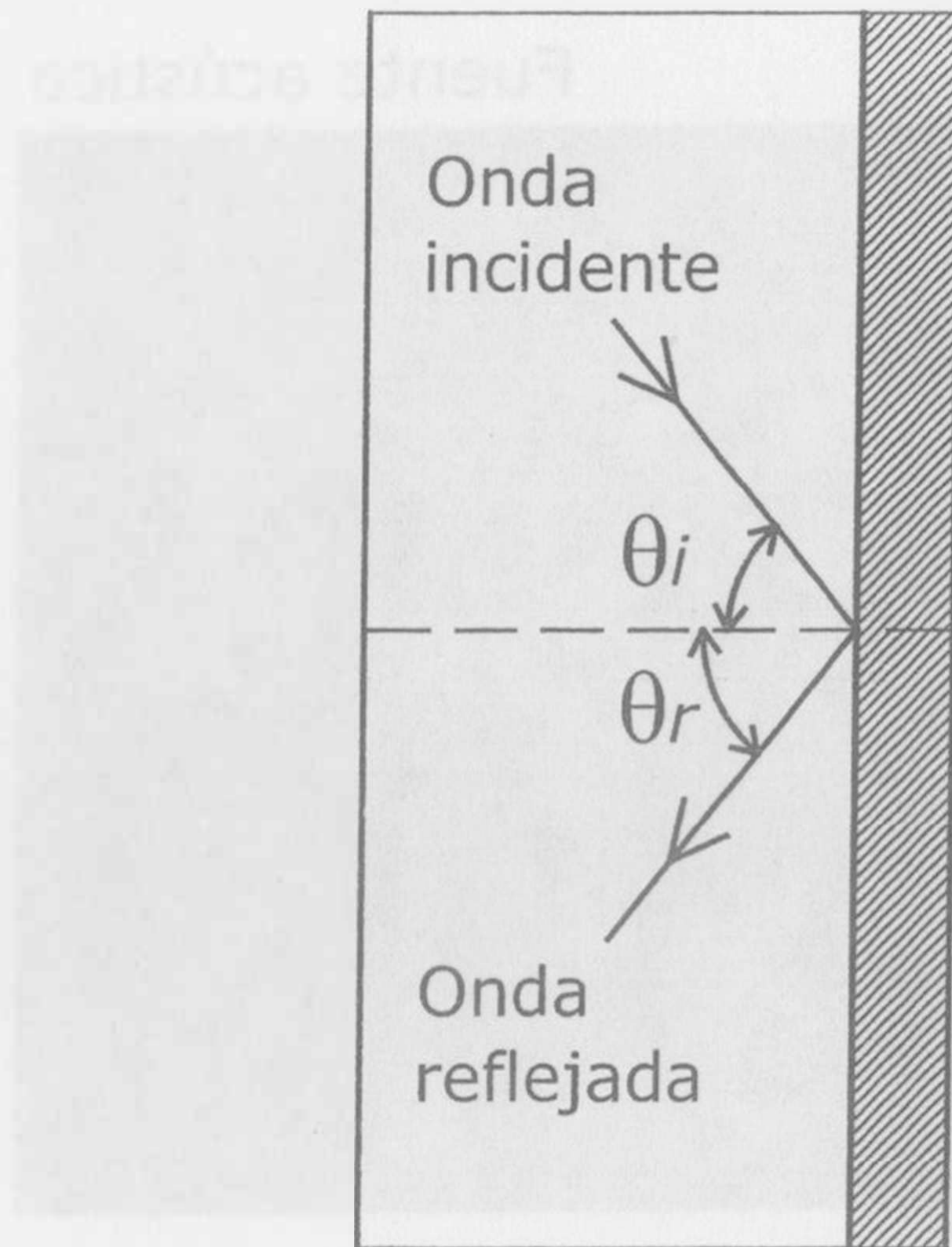


Figura 3. Ángulos de incidencia y de reflexión.

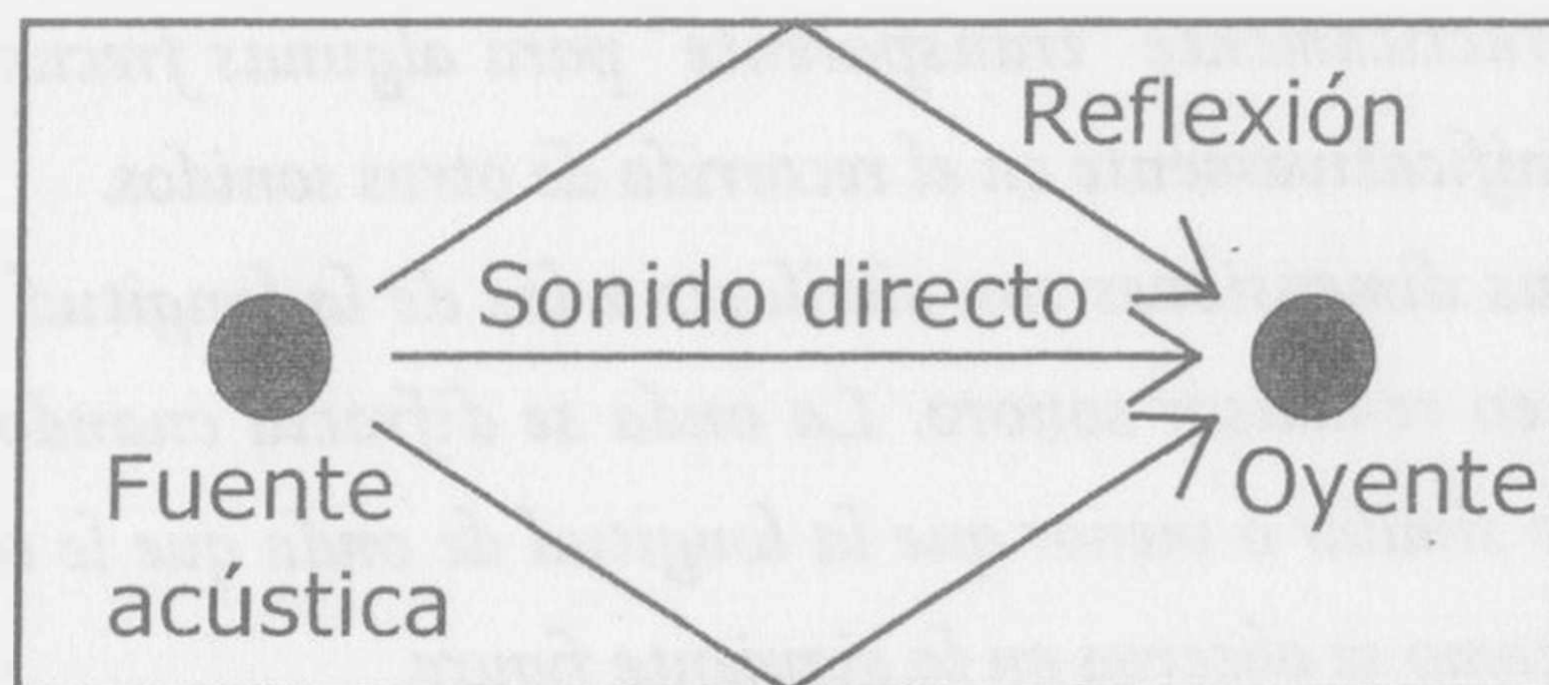


Figura 4. Sonido directo y reflexiones.

b) Absorción

La energía que llega a un material puede reflejarse o absorberse. Existen materiales que reflejan gran cantidad de energía y absorben una muy reducida. Otros se comportan en sentido contrario. La vestimenta de los pacientes por lo general absorbe una cantidad de energía que está en función del material con el que está confeccionada; por ejemplo, una prenda de lana absorberá y atenuará mucho más la vibración que una remera de algodón. Además, de acuerdo con el lugar donde se apoye el cuenco vibroacústico, habrá zonas del cuerpo que tenderán a absorber

mayor o menor cantidad de energía, en función, por ejemplo, de la masa corporal. El sonido de un cuenco apoyado en el abdomen de alguien con panza no será el mismo que cuando esté apoyado en una zona ósea más dura, como puede ser el plexo solar de un paciente flaco. Así, algunas zonas del cuerpo pueden absorber mayor cantidad de energía que otras.

c) Refracción

Si una onda sonora atraviesa medios de distintas densidades dejará de propagarse en línea recta, cambiando así su trayectoria. Esto ocurre no solo cuando cambia el medio (de líquido a sólido, por ejemplo), sino también cuando cambian las características de un mismo medio: por ejemplo, en el aire, ante el aumento o disminución de su temperatura.

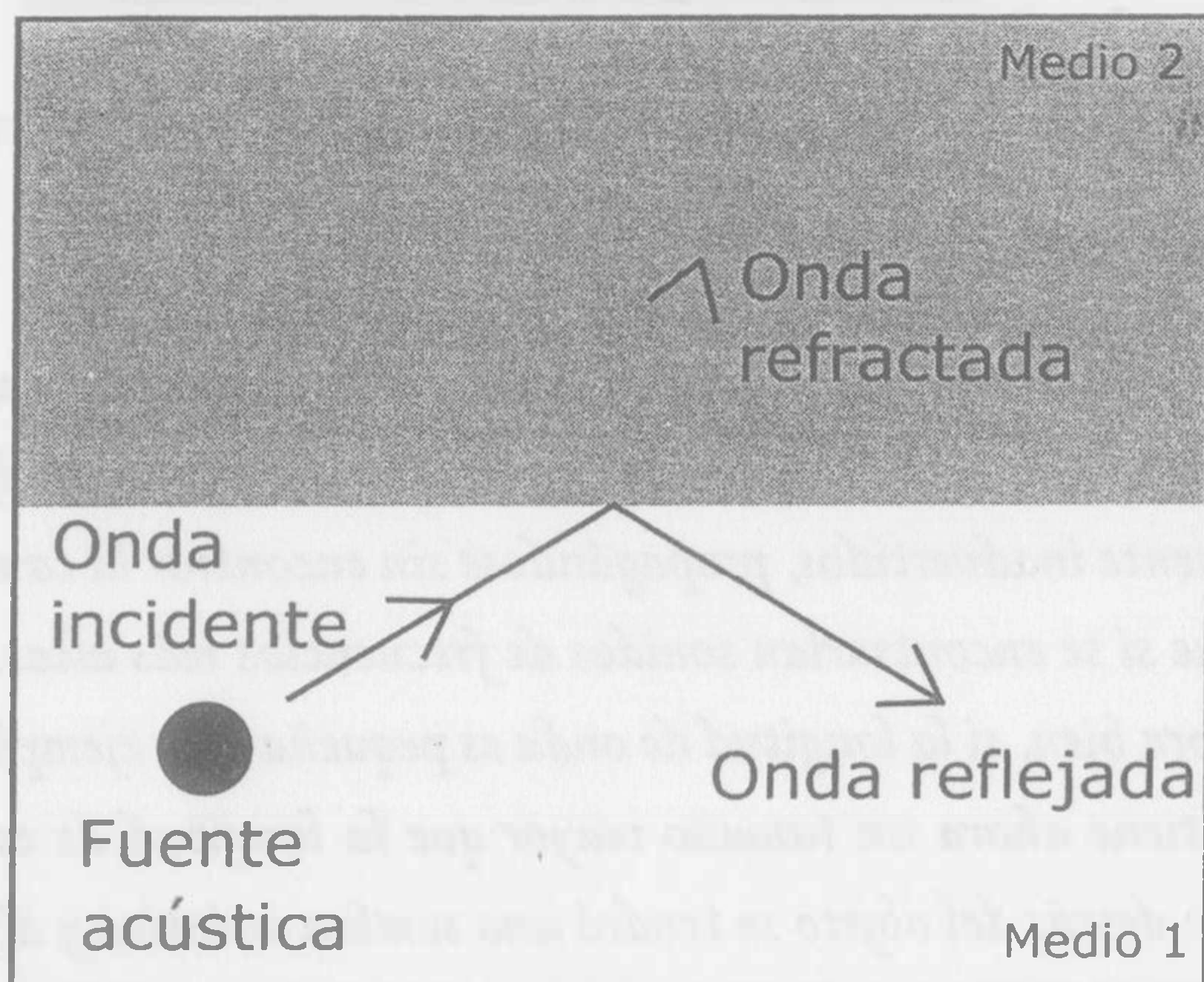


Figura 5. Refracción de sonido.

d) Otros fenómenos

En su propagación, las ondas sonoras (que poseen distintas longitudes de onda con relación a su frecuencia) se encuentran con objetos de distintos tamaños y características. Puede ocurrir que el tamaño del objeto sea pequeño en comparación con la longitud de onda del sonido; por ejemplo, un sonido grave. En ese caso el objeto puede pasar inadvertido para el sonido, como puede observarse en la siguiente figura.

Fuente acústica

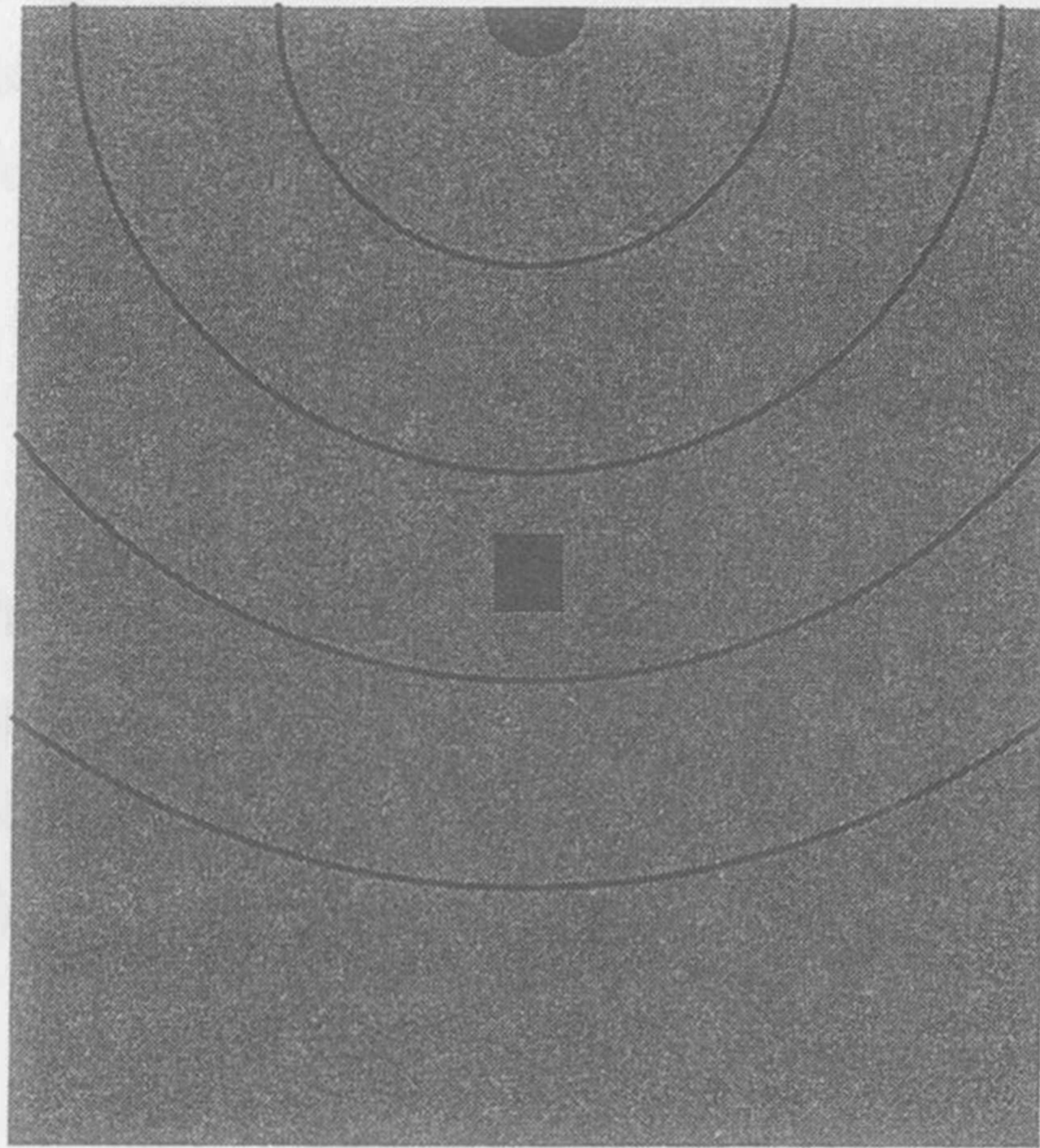


Figura 6. Propagación de un sonido de longitud de onda mayor que el tamaño del obstáculo.

Los cuencos que se ubican en el rango vibroacústico tienen, en sus sonidos más graves, frecuencias cuyas longitudes de onda pueden hacer que algunos objetos pasen prácticamente inadvertidos, propagándose sin encontrar la cantidad de obstáculos con los que sí se encontrarían sonidos de frecuencias más altas.

Ahora bien, si la longitud de onda es pequeña (por ejemplo, un sonido agudo) el objeto tiene ahora un tamaño mayor que la longitud de onda, aparecerá otro fenómeno: detrás del objeto se tendrá una sombra acústica y al frente se generarán reflexiones de sonido.

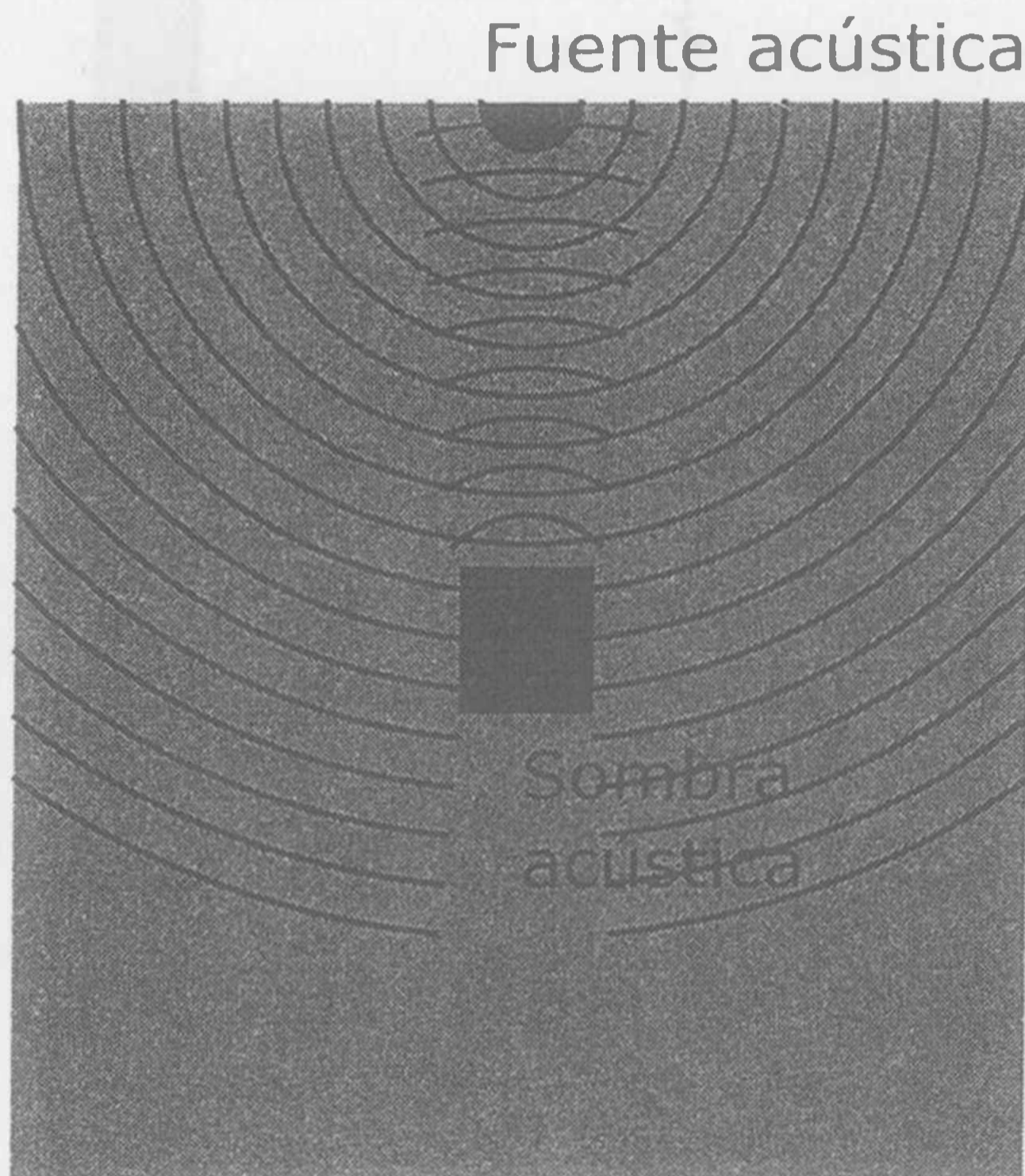


Figura 7. Sombra acústica y reflexiones.

Entonces, un mismo objeto que se interpone en la propagación sonora puede resultar prácticamente "transparente" para algunas frecuencias, aunque puede influir significativamente en el recorrido de otros sonidos.

Si sus dimensiones son similares a las de la longitud de onda, el objeto se convierte en re-emisor sonoro. La onda se difracta cuando atraviesa aberturas de tamaño similar o menor que la longitud de onda que le corresponde a la señal acústica, como se observa en la siguiente figura.

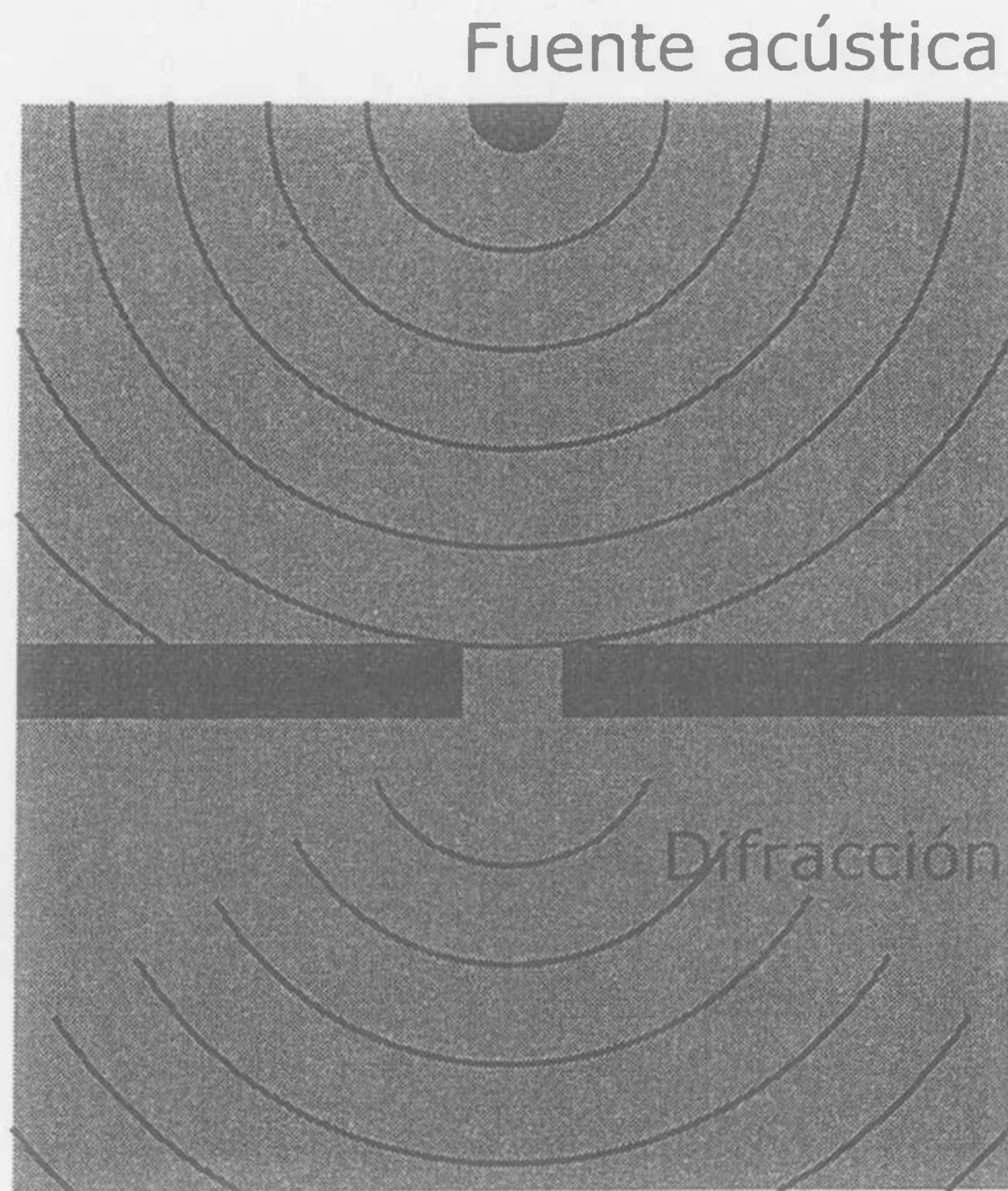


Figura 8. Efecto de difracción.

En el trabajo con cuencos, el paciente no solo oirá sonidos, sino que además percibirá vibraciones a través de su cuerpo. En su recorrido, las ondas sonoras de distinta frecuencia alcanzarán algunos lugares y no otros, cambiarán la dirección del recorrido, atravesarán obstáculos de manera diferente como producto de todos los aspectos estudiados en este apartado y pueden, incluso, llegar a lugares que uno tal vez no imagina. A partir de lo aquí establecido podemos comprender el rango de 20 a 150 Hz propuesto para el abordaje vibroacústico.

SONIDOS GRAVES Y EL CUERPO: UN MOVIMIENTO QUE SE ESCUCHA

La percepción de la vibración en el cuerpo, estimulada por los sonidos vibroacústicos, es la percepción de ese movimiento de vaivén de las partículas que conforman nuestros huesos, órganos, tejidos y sangre, que oscilan respecto a su posición de equilibrio,