

# **Física e introducción a la biofísica**

## **UBA-CBC**

---

### **Unidad 5**

## **Bases físicas**

## **de la visión y la audición**

### **Teórico-práctico**

Autores:

**Adrián Silva**

**Ondina Fraga**

**Karina Bastida**

Diseño editorial:

**Karina Bastida & Ondina Fraga**

Agradecemos a Eduardo Izquierdo por su lectura meticulosa y aportes al texto final

**Cátedra Adrián Silva**

---

**Maquetación: Ignacio Fernández Casas**

**Ediciones Villoldo Yanele**

**Agosto de 2025**

Física e introducción a la biofísica, unidad 5  
Bases físicas de la visión y la audición (Teórico-práctico)

© Ediciones Villoldo Yanele, Buenos Aires, Argentina.  
Correo electrónico: villoldoyanele@yahoo.com.ar  
☎(+549)1140458326; ☎(+549)1166863029

Printed in Argentina.  
Impreso en la Argentina en agosto de 2025

Todos los derechos reservados.  
Hecho el depósito que marca la ley 11.723.

I.S.B.N: 978-987-27147-7-2  
La ilustración de tapa es *What goes on in our heads when we see a car and say car?* de Fritz Kahn (1939).

Prohibida la reproducción total o parcial de este trabajo, su almacenamiento en sistema informático, su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos sin el permiso del editor.

Silva, Adrián

Física e introducción a la biofísica unidad 5 : bases físicas de la visión y la audición / Adrian Silva ; Ondina Fraga ; Karina Bastida. - 1a ed ampliada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Editora Villoldo Yanele, 2025.

72 p. ; 28 x 20 cm.

ISBN 978-987-27147-7-2

1. Biofísica. I. Fraga, Ondina II. Bastida, Karina III. Título  
CDD 571.4

## Tabla de contenido

---

1 ONDAS A NUESTRO ALREDEDOR .....	5
1.1 Ondas transversales y longitudinales .....	5
1.2 Principio de superposición y análisis armónico.....	10
1.3 La luz .....	10
2 EL SONIDO .....	11
2.1 Ondas armónicas y Resonancia .....	11
2.2 Ondas estacionarias .....	12
2.3 Audición .....	17
2.3.1 Intensidad sonora .....	17
2.3.2 Física de la Audición .....	20
2.3.3 Efecto Doppler .....	22
2.3.4 El Eco Doppler y la Ecografía .....	24
2.3.5 El Eco Doppler y el monitoreo agrícola satelital. ....	26
3 ÓPTICA GEOMÉTRICA .....	26
3.1 Luz y Leyes .....	26
3.2 Ondas .....	26
3.2.1 Ondas electromagnéticas .....	28
3.2.2 Espectro visible .....	29
3.3 Rayos de luz y frentes de onda .....	29
3.3.1 El camino óptico .....	29
3.3.2 Principio de Fermat.....	30
3.4 Reflexión y Refracción .....	30
3.4.1 Ley de Reflexión .....	30
3.4.2 Índice de refracción .....	31
3.4.3 Ley de Refracción .....	32
3.4.4 Cambio de longitud de onda en la refracción: .....	32
3.4.5 Índice de refracción y longitud de onda .....	33
3.4.6 Dispersión de la luz .....	34
3.4.7 Reflexión total interna .....	34
3.4.8 Resumiendo: Refracción y Reflexión: .....	35
3.4.9 Refracción y Reflexión en acción (curiosidades) .....	36
3.5 LENTES DELGADAS .....	37
3.5.1 Sistema óptico .....	37
3.5.2 Lentes convergentes .....	38
3.5.3 Lentes divergentes.....	38
3.5.4 Focos y distancias focales .....	39

3.5.5	Potencia de la lente .....	40
3.5.6	Objetos e imágenes .....	40
3.5.7	Rayos principales de una lente convergente .....	42
3.5.8	Rayos principales de una lente divergente .....	43
3.5.9	Fórmula de las lentes (Fórmula de Gauss) .....	43
3.5.10	Aumento lateral (m) .....	46
3.5.11	Combinación de lentes .....	47
3.5.12	Instrumentos Ópticos .....	48
4	Neurofisiología de la Visión .....	54
5	Anexo: Efecto Doppler óptico .....	56
6	Ejercicios de Bioacústica .....	57
6.1	SONIDO .....	57
6.1.1	Preguntas importantes que tienes que responder antes de hacer los problemas: .....	57
6.1.2	Ejercicios resueltos de sonido: .....	57
6.1.3	GUÍA DE EJERCICIOS DE SONIDO Y AUDICIÓN .....	59
6.1.4	Respuestas de la guía de sonido y audición: .....	61
6.2	ÓPTICA GEOMÉTRICA .....	62
6.2.1	Preguntas importantes que tienes que responder antes de hacer los problemas: .....	62
6.2.2	Ejercicios resueltos de óptica: .....	63
6.2.3	GUÍA DE EJERCICIOS DE ÓPTICA .....	65
6.2.4	Respuestas de la guía de óptica: .....	68
7	Bibliografía .....	70

# 1 ONDAS A NUESTRO ALREDEDOR

## La conexión exterior

Nuestro cerebro construye una representación del mundo exterior a través de los sentidos. El neocórtex, recibe información de sensores altamente especializados: El ojo percibe las ondas luminosas, la piel, las infrarrojas y ultravioletas, el oído, las sonoras. El gusto y el olfato detectan formas moleculares. Estos sensores convierten las señales en impulsos eléctricos, que nuestro cerebro, mediante una maravillosa estructura de redes neuronales, interpreta y nos prepara para la supervivencia y el aprendizaje.

### 1.1 ONDAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Las ondas se asocian a movimientos oscilatorios, de partículas que forman parte de sólidos, líquidos y gases. Pero también a oscilaciones de campos de energía, como el campo eléctrico y el magnético. Una oscilación se relaciona con un fenómeno periódico, que en términos generales estará caracterizado por una frecuencia  $f$ , un período  $T$  y una longitud característica  $\lambda$ . Pero no basta con esto para tener una onda. La clave es **la propagación**. Esto es, una vez perturbado el movimiento, este cambio debe propagarse por el medio en que ocurre con cierta velocidad. O sea, la onda “avanza”. En consecuencia, una onda vincula de manera inseparable, una variación simultánea en el espacio y en el tiempo. La forma de onda más simple viene dada por una variación senoidal, la expresión matemática de una onda que propaga en la dirección  $x$  es:

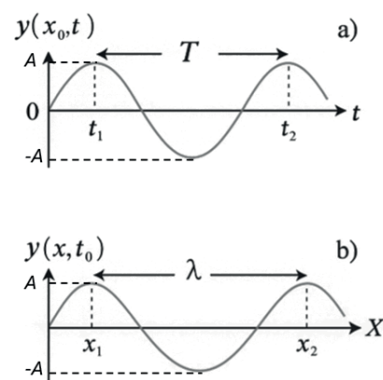
$$y(x, t) = A \cdot \text{sen} \left( \frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t \right)$$

Ecuación 1-1

En la Ecuación 1-1  $A$  representa la Amplitud de la onda, que es el máximo valor de  $Y$ , variable que puede representar un desplazamiento vertical de una cuerda o la presión de un gas como el aire. Esta expresión nos sirve para ver que, si fijamos un punto en el espacio, digamos  $x = 0$ , en ese punto podremos medir una variación de la amplitud  $A$  con el transcurso del tiempo. Lo mismo si fijamos el tiempo: en  $t = 0$ , a lo largo del eje  $x$  podremos medir una variación de la amplitud  $A$ , como se muestra en la figura Figura 1-1.

La **frecuencia  $f$**  es el número de ciclos enteros por segundo, y se expresa en Hertz:  $\text{Hz} = \text{seg}^{-1}$ ; da una idea de cuán rápido varía la amplitud de la onda por segundo, por lo que también se suele indicar su medida en ciclos/seg. Por ejemplo, la luz visible (la que perciben nuestros ojos) tiene frecuencias del orden de  $10^{15}$  Hz. Esto se interpreta así: el campo eléctrico varía su amplitud cíclicamente  $10^{15}$  veces por segundo, y esta energía la percibimos como luz. Se utilizan los múltiplos del Hz: kHz = 1000 Hz; MHz =  $10^6$  Hz; GHz =  $10^9$  Hz; THz =  $10^{12}$  Hz (respectivamente: Kilo, Mega, Giga, Tera). Para el sonido el mínimo y máximo valor de las frecuencias audibles es:  $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$ .

El **período  $T$**  es el tiempo que emplea un ciclo en completarse, y se mide en segundos, por definición es (ver Ecuación 1-2):



**Figura 1-1:** Onda armónica como a) variación periódica en función del tiempo para una posición fija  $X_0$ , y b) variación periódica en función de la posición en un instante  $T_0$  determinado.

$$T = \frac{1}{f}$$

Ecuación 1-2

La longitud de onda  $\lambda$  es la extensión espacial de un ciclo. Cuanto más alta es la frecuencia  $f$ , más corta es la longitud de onda  $\lambda$ . Estas dos magnitudes están directamente relacionadas con la **velocidad de propagación** de la onda (ver Ecuación 1-3):

$$\lambda \cdot f = v$$

Ecuación 1-3

En el caso de la luz, esta velocidad es  $v = c = 300.000 \text{ km/s}$  cuando viaja por el vacío. En el caso del sonido en el aire seco  $v = 344 \text{ m/s}$ , adelantando que la onda de sonido requiere de un medio material (sólido, líquido o gaseosa) para propagarse, pero la luz puede viajar por el vacío.

A las ondas senoidales, que tienen una única frecuencia se las conoce como ondas **armónicas** u ondas puras.

Una onda puede ser **transversal**, si las variaciones de la amplitud ocurren en un plano perpendicular a la dirección de avance; es el caso de las ondas electromagnéticas:

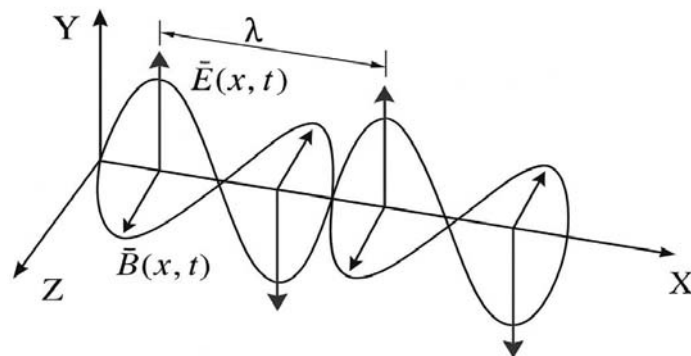


Figura 1-2: Onda transversal. El Campo eléctrico  $E(x,t)$  y magnético  $B(x,t)$  de una onda electromagnética monocromática plana de longitud de onda  $\lambda$ , propagándose en la dirección del eje X.

Las ondas electromagnéticas (Figura 1-2), que están presentes en el tema Radiación (en la unidad Termodinámica), son variaciones extremadamente rápidas del campo eléctrico y del campo magnético, entrelazados, que se pueden propagar por el vacío a la velocidad de la luz de  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , o propagarse por medios transparentes a una velocidad menor. En la sección de leyes de la Óptica se verá que este último hecho permite definir el llamado índice de refracción  $n$  de un medio transparente (aire, agua, cristales, vidrio, plásticos).

A su vez, una onda puede ser **longitudinal** cuando las variaciones periódicas de la amplitud ocurren en la dirección de avance de la onda (Figura 1-3); tal es el caso de las ondas sonoras, que son variaciones de la presión de un gas, de un líquido o de un sólido:

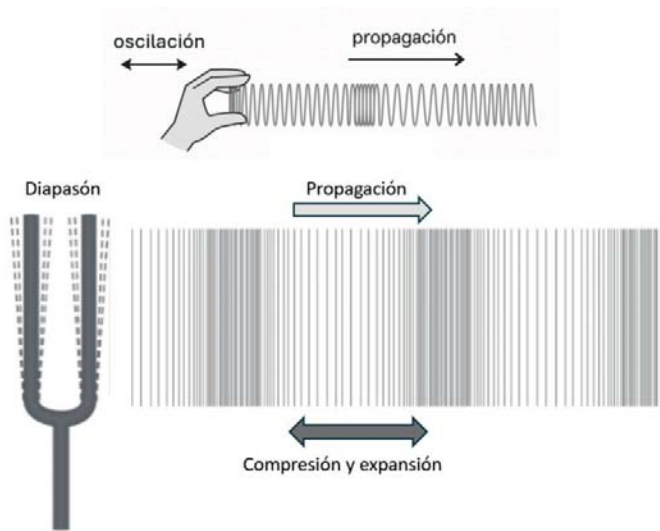


Figura 1-3: Onda longitudinal. La onda se propaga en el mismo sentido que se genera la vibración. Es decir, la perturbación (como una compresión) se mueve paralelamente a la dirección en que la onda viaja.

Las ondas, al propagarse, transportan energía e información. A una onda que lleva información se la denomina **señal**. Las señales eléctricas captadas por un equipo de electrocardiografía ECG o de un electroencefalógrafo EEG son fundamentales para reconocer el estado de salud del corazón y cerebro respectivamente (ver Figura 1-4 y Figura 1-5).

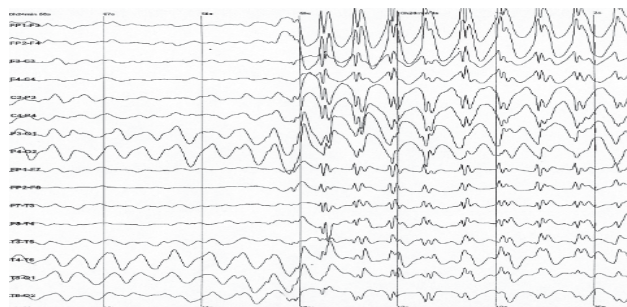


Figura 1-4: En un electrocardiograma (ECG), las ondas representan la actividad eléctrica del corazón a medida que viaja por sus diferentes partes.

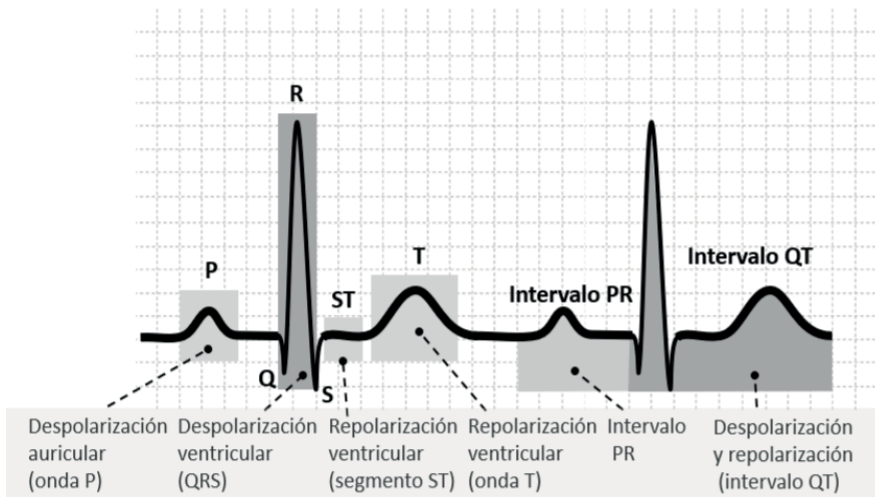


Figura 1-5: Las ondas P, QRS y T son las principales, y cada una está asociada con una actividad eléctrica específica del corazón.

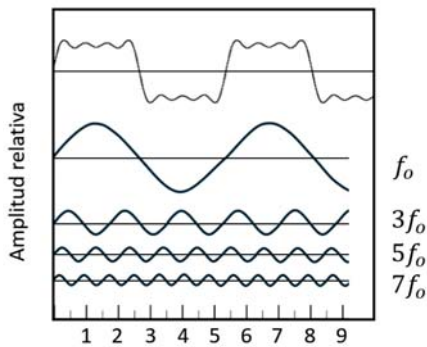


Figura 1-6: Toda señal periódica puede ser descompuesta como una suma de ondas armónicas simples, según el Teorema de Fourier. Este teorema establece que cualquier función periódica puede expresarse como una combinación de ondas senoidales (o cosenoidales) de diferentes frecuencias y amplitudes.

## 1.2 PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN Y ANÁLISIS ARMÓNICO

Las ondas complejas como las producidas por un ECG o un EEG, instrumentos musicales, la voz humana, sonidos en el reino animal y en las olas, pueden analizarse como el resultado de la superposición de ondas armónicas simples. Por superposición entendemos la suma instantánea en el espacio y el tiempo de sus amplitudes. Este resultado importantísimo, se conoce como Teorema de Fourier, y se enuncia así: *Toda señal periódica puede descomponerse como suma de ondas armónicas simples.*

En la Figura 1-6 la onda de arriba se puede descomponer en 4 ondas armónicas, cuyas frecuencias son una fundamental  $f_0$ , y múltiplos impares de frecuencias  $3f_0$ ,  $5f_0$  y  $7f_0$ .

## 1.3 LA LUZ

### Modelos: Ondas, Rayos y Fotones

La luz visible se origina a partir de un proceso que involucra saltos de los electrones dentro de los átomos entre sus niveles de energía. Las ondas electromagnéticas en general (de las cuales la luz visible es un caso particular) se generan por varios mecanismos diferentes como acelerar electrones en una antena, o desintegrar partículas por colisiones. A su vez, en el origen del universo, toda la materia se originó a partir de la luz (en el Big Bang). La luz es por lo tanto la energía primordial del mundo conocido. Mediante infinidad de experimentos en los laboratorios de Física a lo largo del tiempo, se ha comprendido que, dependiendo del fenómeno bajo estudio, los modelos que se ajustan al comportamiento de la luz varían de acuerdo con la escala de tamaños, distancias y energías involucrados. Cuando la luz atraviesa regiones con dimensiones comparables a su longitud de onda, se comporta como **onda**, y da lugar a fenómenos como la *Interferencia*, la *Difracción* y la *Polarización* que no estudiaremos en este curso. Cuando la luz que proviene de una fuente viaja libremente, la luz puede modelarse como **rayos rectilíneos** que viajan en todas direcciones. Si la fuente está muy alejada, estos rayos pueden considerarse paralelos. El rayo, tendría la dirección y sentido del avance de la energía transportada por la luz. Cuando la luz es absorbida por un material, se comporta como un **tren de partículas** sin masa llamadas **fotones**. Sin embargo, esta naturaleza 'particulada' no es exclusiva de la absorción: fenómenos como el efecto Compton (donde fotones 'rebotan' en electrones) o la aniquilación de partículas confirman que la luz actúa como corpúsculos en múltiples escenarios. **Un fotón** individual transporta una cantidad muy pequeña de energía, aproximadamente 1.63 eV (unidad vista en Electroestática) para el color rojo, hasta 3.26 eV para el violeta.

Este último modelo, propuesto por Albert Einstein en 1905, permite explicar el efecto fotoeléctrico, que se emplea en las baterías solares fotovoltaicas. Finalmente, a energías muy elevadas, como en los rayos cósmicos provenientes del espacio exterior, o en la radiación y originada en reacciones nucleares, la luz se comporta claramente como partículas capaces de chocar, desviarse o ser absorbidas. Este comportamiento ocurre a cualquier energía, desde la luz visible

que absorbe una hoja verde hasta los fotones infrarrojos que emite una taza caliente. La diferencia está en que, a energías elevadas, los efectos ‘particulares’ de los fotones (como choques o desviaciones) se vuelven fáciles de observar.

Un principio de gran importancia afirma que no es posible que la luz se manifieste como onda y como partícula a la vez; se lo conoce como *Principio de Complementariedad*.

## 2 EL SONIDO

La ciencia que estudia el sonido es la Acústica. Lo que percibimos como sonido son ondas longitudinales que se propagan como ondas de compresión y expansión del aire, o vibraciones en la dirección de propagación de moléculas de sólidos o líquidos. Estas ondas tienen una velocidad de propagación característica del medio en el que se propagan, que llamaremos  $V$ . Para el caso del sonido en el aire seco es de 344 m/s; para la sangre es de 1570 m/s.

### 2.1 ONDAS ARMÓNICAS Y RESONANCIA

Como se dijo antes, una onda armónica o pura, tiene una única frecuencia de vibración y se representa por la Ecuación 2-1:

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen} \left( \frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t \right)$$

Ecuación 2-1

En el caso de las ondas sonoras en aire,  $Y$  representa la presión variable del aire, y la amplitud  $A$  es la presión máxima  $P$  de la perturbación en la onda longitudinal formada por presiones y descompresiones. Consideraremos sistemas vibrantes como tubos y cuerdas, que permiten modelar la vibración en el oído interno y las cuerdas vocales.

Todo sistema mecánico tiene una o varias frecuencias naturales de tal manera que, si ese sistema se excita con ondas armónicas de esas frecuencias, la transferencia de energía es máxima, y por lo tanto la amplitud de la vibración resultante será máxima también. Un diapasón por ejemplo está diseñado para vibrar en una frecuencia característica de modo que si lo golpeamos generará ondas de esa frecuencia, los más corrientes lo hacen a 440 Hz, que corresponde a la nota “La” de la primera escala.

Este fenómeno de excitar un sistema con ondas cuya frecuencia coincide con la frecuencia natural del sistema se denomina **Resonancia**. En general cuando se excita una cuerda (de piano, de guitarra, vocal), un tubo (como un instrumento de viento) o una estructura (como un puente, la caja de un instrumento musical, etc) se excitan varias ondas armónicas, cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia natural (Ecuación 2-2). La más baja de esas frecuencias es llamada **frecuencia fundamental  $f_0$** . Es decir,

$$f_n = n \cdot f_0$$

Ecuación 2-2

Estas frecuencias  $f_n$  reciben el nombre de **armónicos, con  $n=1,2,3 \dots$**