

UNIDAD 7: ONDAS. LUZ Y SONIDO

Vamos a estudiar un tipo de movimiento con unas características especiales: los movimientos ondulatorios (ondas). En primer lugar, investiguemos los conocimientos que tenemos sobre el tema.

EXPLORA TUS IDEAS.

1. En las películas del Oeste, los indios acercan el oído al suelo para saber si se acerca el 7º de caballería. Lo hacían porque:
 - a) El sonido se propaga más rápido por el suelo que por el aire.
 - b) El sonido se propaga con más nitidez por el suelo que por el aire.
 - c) Porque no tenían ni idea. Esa técnica no sirve para nada. Perdían la batalla de todas formas.
 2. Cuando hablamos, los demás nos oyen porque:
 - a) El aire que sale de nuestros pulmones llega hasta el oído de cada oyente.
 - b) Las cuerdas vocales vibran y esa vibración se transmite por el aire.
 - c) El aire no influye, nos oirían aunque no hubiera aire.
 3. La luz consiste en:
 - a) Partículas que salen de los objetos incandescentes y que pueden atravesar los cristales debido a su pequeño tamaño.
 - b) Ondas, del mismo tipo que las ondas de radio y TV.
 - c) Ondas, como el sonido.
 4. Por el vacío puede transmitirse:
 - a) Luz
 - b) Sonido.
 - c) Las ondas de radio.
 5. Al iluminar un objeto de color verde sólo con luz roja se verá:
 - a) Verde
 - b) Rojo
 - c) Negro
 - d) Mejor
 6. Al introducir un palo en un vaso de agua, lo vemos “torcido”. Esto se debe a:
 - a) Nuestra visión no es perfecta. Se trata de una ilusión óptica.
 - b) La luz se desvía al pasar del agua al aire.
 - c) La luz viaja en línea recta, pero lo que vemos es un reflejo del palo en la superficie del agua.
-

1. FENÓMENOS ONDULATORIOS

¿Qué tienen en común los siguientes fenómenos?

- Se producen olas al dejar caer una piedra al agua.
- La tierra tiembla durante un terremoto.
- En un partido de fútbol, el público hace “la ola”.
- El sonido que produce la cuerda de una guitarra.
- Nos llega un trueno, y vibran los cristales.
- Agitamos una cuerda por un extremo, y la ondulación llega hasta el otro extremo.

¿Y qué los diferencia del movimiento de un coche, o una piedra?

Tanto en los ejemplos mencionados, como en el coche, diríamos que hay “algo que se mueve”. Pero existe una diferencia. El automóvil, o la piedra, se mueven realmente, se desplazan de un sitio a otro.

Sin embargo, en el caso de las olas, el agua sólo sube y baja. En la cuerda, una vez que ha vibrado un punto de la cuerda, se queda en su sitio. El caso más claro lo vemos en “la ola” del fútbol. Cada persona se levanta y se vuelve a sentar cuando le toca, pero no se mueve de su sitio. Pero nos da la impresión de que “algo” se desplaza por la grada.

Por ejemplo, si dejamos caer una piedrecita sobre la superficie de un charco, producimos un desplazamiento en las partículas de agua de la superficie. Originamos un movimiento de subida y bajada (una ola) que se va propagando al resto del agua. La perturbación que hemos introducido es ese movimiento, que se puede estudiar a partir de su desplazamiento, su cantidad de movimiento, su energía cinética...

Si seguimos con el ejemplo, vemos que el movimiento que siguen las partículas del agua es sólo de subida y bajada (un movimiento vertical), mientras que la onda se propaga en dirección horizontal, a través de la superficie del agua. Al final, las partículas quedan de nuevo en la posición en la que estaban, no ha habido un desplazamiento neto. Sin embargo, la energía del movimiento (la perturbación) que hemos introducido sí se ha ido transmitiendo de una partícula del medio a otra, hasta llegar a los bordes del charco. En eso consiste el movimiento ondulatorio, en una transmisión de energía, sin desplazamiento de materia.

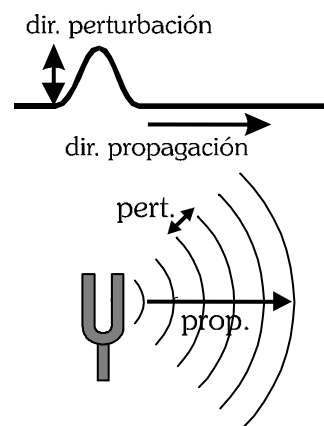
Algo similar ocurre con el sonido. Un sonido intenso puede hacer vibrar los cristales, y el de una explosión puede romperlos. Es una prueba de que el sonido transmite energía mediante una vibración.

Como consecuencia de estos ejemplos, podemos concluir que un movimiento ondulatorio (una onda) *consiste en la propagación de una perturbación por un medio. Se transmite energía sin desplazamiento de materia.*

Dirección de propagación y dirección de perturbación (vibración):

Dirección de perturbación: Dirección en la que se ha producido la perturbación (en el ejemplo del agua, la dirección en la que se mueven las partículas del agua).

Dirección de propagación: Dirección en la que se propaga la energía que transmite la onda.



Diferencias entre ondas y partículas:

Sabemos ya que existen dos formas diferentes de transportar energía por un medio: mediante partículas o mediante ondas. Estas son las características que los diferencian:

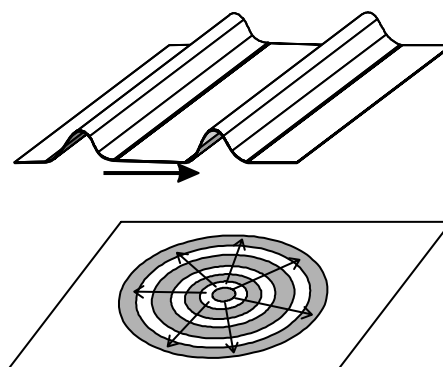
- Transporte de materia: Las partículas transportan materia.
Las ondas no transportan materia, las partículas del medio sólo vibran alrededor de su posición de equilibrio, quedando al final en la misma posición que al principio.
- Localización: Una partícula está localizada en el espacio, ocupa un lugar concreto en un determinado instante.
Una onda está deslocalizada. La onda afecta a múltiples puntos del espacio al mismo tiempo.
- Transmisión de energía: Las partículas transmiten la energía de forma discreta (discontinua).
Las ondas transmiten la energía de forma continua.

Foco y frente de ondas:

El foco de una onda es el punto en el que se origina la perturbación (el altavoz o las cuerdas vocales para el sonido, el filamento de la bombilla, el punto del agua donde cae la piedra, el hipocentro del terremoto). A partir de ese punto se transmite la energía por el espacio.

Frente de ondas: Líneas (o superficies) que nos indican cómo se propaga la energía de la onda por el medio. Por ejemplo, en las ondas que se propagan en el agua, serían las circunferencias que observamos, y que se van haciendo cada vez mayores.

Al hacerse mayor el frente de onda, la energía que se propaga debe repartirse cada vez entre un mayor número de puntos. Como consecuencia, a cada punto le corresponde menos energía (menos intensidad). Decimos que la onda sufre **atenuación**. (Es la causa de algo tan natural como que la intensidad del sonido o de la luz disminuye cuanto más nos alejamos del foco).



2. TIPOS DE ONDAS

Los movimientos ondulatorios pueden clasificarse atendiendo a diversos factores:

Según el medio por el que se puedan propagar:

- **Ondas mecánicas:** Necesitan un medio material para propagarse. No se pueden propagar por el vacío (ej: sonido, ondas sísmicas, ondas en cuerdas y muelles)
- **Ondas electromagnéticas:** No necesitan de un medio material para propagarse (pueden hacerlo por el vacío, aunque también pueden propagarse por medios materiales). Ej: luz, ondas de radio, microondas, R-UVA, R-X.

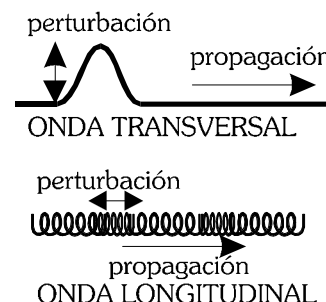
Según el número de dimensiones por las que se propaguen:

- **Monodimensionales:** se propagan en una única dirección: ondas en cuerdas, muelles.
- **Bidimensionales:** se propagan por una superficie plana (las olas en la superficie del charco).
- **Tridimensionales:** se propagan por todo el espacio. Luz, sonido, ondas sísmicas.

Según la dirección de vibración (perturbación):

Otra clasificación puede establecerse según la relación que exista entre la dirección de perturbación y la dirección de propagación. Distinguiremos:

- **Ondas longitudinales:** La dirección de perturbación es paralela a la dirección de propagación (ejemplos: sonido, ondas sísmicas de tipo p, algunas ondas producidas en muelles).
- **Ondas transversales:** La dirección de perturbación es perpendicular a la dirección de propagación. Por ejemplo, las ondas producidas en cuerdas, las ondas electromagnéticas, las ondas sísmicas tipo s.



3. MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS

Ya sabemos que una onda consiste en una vibración que se transmite de un punto a otro del medio. Para estudiar esta transmisión de energía medimos determinadas magnitudes:

Elongación (y):

Valor de la perturbación (desplazamiento desde la posición de equilibrio) en un punto del medio en un instante determinado. En el caso de una ola, es la altura del agua en ese punto y en ese instante. Para el sonido, es el valor de la presión del aire en un punto determinado.

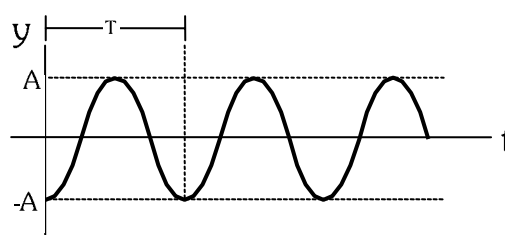
Las unidades de la elongación dependen del tipo de onda.

Amplitud (A):

Valor máximo de la elongación. Corresponde al desplazamiento máximo que sufre una partícula del medio. En el caso de una ola, sería la altura máxima que alcanza la ola.

Todos los puntos del medio alcanzan antes o después ese valor de elongación máxima.

Un punto que tenga en un instante el valor de amplitud positiva será una *cresta de la onda*. Si está en amplitud negativa, será un *seno o valle de la onda*.



Movimiento de un punto del medio con el tiempo

Periodo de vibración (T):

Tiempo que emplea una partícula del medio en describir una oscilación completa. Una vibración muy rápida tendrá un periodo pequeño.

Unidades de T en el S.I: segundos (s)

Frecuencia de vibración (ν , también se usa f)

Es la magnitud inversa del periodo. Nos indica el número de oscilaciones que efectúa una partícula en la unidad de tiempo. Una mayor frecuencia indica una vibración muy rápida.

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

Unidades de frecuencia en el S.I: $s^{-1} = \text{Hz}$ (hertzio)

Se suelen usar múltiplos, como $\text{kHz} = 10^3 \text{ Hz}$

$1 \text{ Hz} = 1 \text{ oscilación por cada segundo.}$

$\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$

$\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$

Velocidad de propagación: (v) Velocidad a la que se transmite la energía de una partícula a otra del medio.

Recordemos que las partículas del medio no se desplazan, sólo vibran.

Las unidades de v son las de velocidad (m/s, km/h)

Si las características del medio se mantienen constantes, también la velocidad de propagación será una constante (p.ej: la velocidad del sonido en el aire es de unos 340 m/s, aunque depende de la temperatura y la presión atmosférica; la velocidad de la luz en el vacío es de $3 \cdot 10^8$ m/s, y en el agua de $2,25 \cdot 10^8$ m/s.)

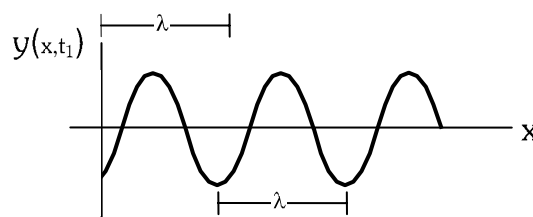
Estudiaremos la transmisión de energía como un movimiento rectilíneo uniforme.

Para una cuerda tensa (de una guitarra, p.ej.) la velocidad depende de la tensión de la misma y de su densidad.

Longitud de onda: (λ) Distancia más corta entre dos puntos del medio que tienen el mismo valor de la perturbación. Es decir, es la distancia a la que se repite el valor de la perturbación. En el S.I. se mide en m.

La longitud de onda está relacionada con la velocidad de propagación mediante las expresiones:

$$\lambda = v \cdot T \qquad \lambda = \frac{v}{\nu}$$



Elongación de todos los puntos del medio para un instante dado de tiempo

Durante un tiempo igual a un periodo, la energía de la onda se transmite hasta una distancia igual a la longitud de onda.

4. SONIDO. ACÚSTICA.

La acústica es el estudio de la propagación del sonido.

¿En qué consiste el sonido?

Al golpear un diapasón, o un tambor, o al hablar, se produce sonido. ¿Qué hay en común en las tres experiencias? En todas hemos producido una vibración (del metal del diapasón, de la membrana del tambor, de las cuerdas vocales). Al vibrar, el diapasón empuja a las partículas del aire (o del medio en que se encuentre), comprimiéndolo y expandiéndolo sucesivamente. Esta vibración se transmite a través del medio. En eso consiste el sonido.

La onda sonora tiene las siguientes características:

- Es una onda mecánica, necesita un medio material (partículas que vibren) para propagarse. No podrá transmitirse en el vacío.
- Es longitudinal. La dirección de vibración es paralela a la dirección de propagación.

Velocidad de propagación del sonido

La onda sonora necesita un medio material para poder propagarse (es una onda mecánica). Dependiendo del medio, se propagará con mayor o menor rapidez. Incluso en un mismo medio, como el aire, la velocidad de transmisión depende de la temperatura.

Velocidad del sonido en distintos medios (20°C)

Aire	344 m/s
Etanol	1200 m/s
Agua	1498 m/s
Vidrio	5170 m/s
Aluminio	5000 m/s
Hierro	5120 m/s

Reflexión del sonido: Eco y reverberación.

El sonido, como toda onda, puede sufrir reflexión cuando encuentra un obstáculo. Esto hace que a nuestro oído puedan llegar varias veces los mismos sonidos (el "original" y las reflexiones con las paredes de la habitación). Esto se conoce como reverberación. Puede resultar molesto en habitaciones grandes (decimos que la voz "retumba")

Nuestro oído sólo puede distinguir dos sonidos como diferentes si los oímos separados al menos una décima de segundo. En ese tiempo el sonido puede recorrer 34 metros. Si el obstáculo está situado a más de 17 m, cuando el sonido reflejado llegue a nuestro oído, lo entenderá como un sonido diferente a nuestra voz. Decimos entonces que hay eco.

Tono y timbre de un sonido:

El **tono** es la característica del sonido que nos indica si éste es agudo (tono alto) o grave (tono bajo). La

magnitud física que determina el tono es la frecuencia (ν) del sonido. Una frecuencia alta significa un sonido agudo. Una frecuencia baja, un sonido grave.

Sin embargo, cuando escuchamos la misma nota musical (el mismo tono) emitida por dos instrumentos musicales diferentes (un piano y un violín, por ejemplo), suenan de forma distinta, y podemos distinguir a qué instrumento pertenecen. Esto se debe a que todo instrumento musical, al vibrar, produce muchas ondas al mismo tiempo, de múltiples frecuencias, llamadas armónicos. El armónico fundamental es el que nos da la nota musical, y el resto de los armónicos le dan al sonido las características propias del instrumento. Estos armónicos secundarios constituyen el **timbre** del sonido

Ultrasonidos e infrasonidos:

El oído humano es capaz de percibir sonidos comprendidos entre 16 Hz y 20000 Hz de frecuencia.

Por debajo de la frecuencia mínima (infrasonidos), no somos capaces de oír las vibraciones. Pueden producirse infrasonidos intensos por el viento, o en los momentos previos a un terremoto. Si bien no los oímos, estas vibraciones pueden afectar a órganos internos y a terminaciones nerviosas, lo que origina malestar e irritabilidad.

Por encima de 20 kHz se sitúan los ultrasonidos. Existen especies animales (perros, murciélagos, delfines, por ejemplo) que son capaces de distinguir frecuencias más elevadas que el hombre. Los ultrasonidos de muy alta frecuencia transmiten mucha energía y pueden concentrarse en un punto con mucha facilidad, por lo que son utilizados en comunicaciones, en medicina (para romper cálculos de riñón), etc.

Intensidad de una onda sonora. Escala de decibelios (dB):

La intensidad de una onda es la energía que propaga el frente de onda por cada unidad de superficie. En el S.I se mide en $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2} = \text{W}/\text{m}^2$. Ya hemos estudiado que, al ampliarse el frente de onda, la energía se reparte y, por tanto, la intensidad disminuye. La intensidad depende de la amplitud de la onda. Mayor amplitud significa mayor intensidad.

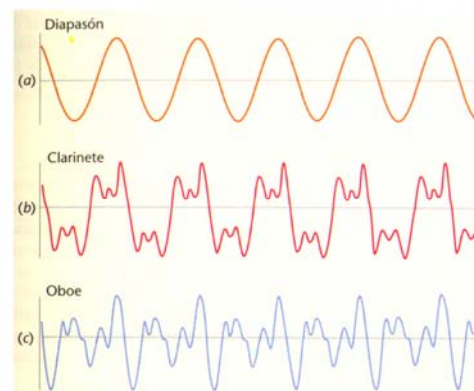
Para medir la intensidad se usa una magnitud, el nivel de intensidad (β). La unidad de β es el *decibelio (dB)*, en honor a A.G. Bell, inventor del teléfono.

En la escala decibélica que aparece en la tabla, cada aumento de 10 decibelios supone un sonido 10 veces más intenso. Un aumento de 20 decibelios será un sonido 100 veces más intenso, y así.

Contaminación sonora:

Está comprobado que el ruido afecta al oído y al sistema nervioso. Es causa de sordera, trastornos psicológicos, irritabilidad, estrés, bajo rendimiento, dificultades para dormir... cuando en una zona el nivel de intensidad del ruido es tal que afecta a la salud, se habla de que padece *contaminación sonora*.

El tráfico, las obras, bares, discotecas, son focos de contaminación sonora. Una exposición continuada a un sonido de intensidad superior a 80 dB produce daños a la salud. Existe una legislación sobre contaminación sonora que pretende disminuir el efecto del ruido. Por ejemplo, el horario de cierre de locales de ocio, la insonorización de los mismos con materiales absorbentes (no debe salir al exterior una intensidad mayor de 65 dB), regulación del nivel de vehículos, etc.



La misma nota producida por diferentes instrumentos.

Fuente sonora	Intensidad (dB)
	0 (Umbral de audición)
Respiración	10
Murmullo de hojas	20
Susurros a 5 m	30
Casa tranquila	40
Oficina tranquila	50
Voz humana a 1 m	60
Tráfico intenso	70
Fábrica, compresor	80 (molestias auditivas)
Ferrocarril	100
Grandes altavoces a 2 m	120 (Umbral de dolor)
Avión despegando	140

5. LUZ Y ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS (o.e.m).

5.1 Introducción histórica

A lo largo de la Historia las ideas sobre la naturaleza de la luz y de las distintas radiaciones ha ido cambiando. En la antigüedad (Grecia), apenas se describen los fenómenos, dando explicaciones a veces místicas, nada científicas. Los árabes (**Al-Hazen**, sobre el s. XI), describen los fenómenos de reflexión y refracción, pero poco más. En la primera mitad del s. XVII se describen las leyes experimentales (refracción, por **Snell**, en 1621). **Descartes** publica su *Dióptrica* en 1637.

Hay que esperar hasta finales del S. XVII para encontrar teorías científicas que expliquen la naturaleza de la luz. **Huygens**, en 1690, y **Newton**, en 1704, exponen teorías contrapuestas:

♦ **Huygens** propone la **Teoría ondulatoria**: según esta, la luz consiste en una onda mecánica longitudinal, como el sonido. Sería la vibración de un medio ideal, el éter.

♦ **Newton**, por su parte, propone la **Teoría corpuscular**: La luz está formada por partículas materiales de masa muy pequeña y velocidad muy grande.

Cada una de estas teorías tenía sus ventajas y sus inconvenientes, y en la época no podían realizarse experiencias que permitieran decantarse por una u otra. Sin embargo, por razones de prestigio científico, prevaleció la teoría de Newton, dejando olvidada la de Huygens. Hasta que las experiencias de **Young** (1801), **Fresnel** (1815), y **Foucault**, en 1855, comprueban que la luz se comporta como una onda transversal, dando de nuevo la razón a Huygens. Maxwell, en 1865, muestra que la luz es una onda electromagnética, como las de radio (descubiertas más tarde).

Parecía, a finales del siglo XIX, que la cuestión sobre la naturaleza de la luz quedaba zanjada. Sin embargo, **Albert Einstein**, en 1905, al explicar el efecto fotoeléctrico, demuestra que la luz puede transmitirse y comportarse en ciertos experimentos como partículas, llamadas *fotoes*. Parece que el comportamiento que observemos como onda o como partícula depende de la experiencia que realicemos con la luz.

5.2. Características de la luz y las ondas electromagnéticas.

Estudiando las características ondulatorias de la luz, conocemos las siguientes características:

- Es un Onda electromagnética: no necesita un medio material, pudiendo propagarse por el vacío.
- Es transversal: la perturbación (campo electromagnético) es perpendicular a la dirección de propagación.
- Su velocidad de propagación en el vacío es una constante universal, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Todas las ondas electromagnéticas (radio, microondas, UVA, RX...) transmiten energía a la misma velocidad.

En cualquier otro medio transparente, la velocidad de propagación de la luz, v , es menor que en el vacío (de hecho, nada en el universo puede viajar a una velocidad superior a c , como demostró Einstein).

- Índice de refracción de un medio transparente (n): Se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y en dicho medio (v).

$$n = \frac{c}{v} \quad n \geq 1$$

Vemos que en cualquier medio transparente, al ser la velocidad de la luz menor que en el vacío, su índice de refracción será mayor que 1 siempre.

Algunos n :	
Vacío	1
Aire	~ 1
Agua:	1,33
Etanol:	1,362
Cuarzo:	1,544
Vidrio:	1,5 - 2
Diamante:	2,42

5.3 Espectro electromagnético:

La luz visible es una más de las diferentes ondas electromagnéticas, entre las que se encuentran las ondas de radio, las microondas o los rayos X. Sólo se diferencian en su frecuencia, y en el hecho de que puedan ser captadas por el ojo, o no.

Las ondas electromagnéticas se clasifican según su frecuencia ν (o su longitud de onda λ).

Esta clasificación es totalmente subjetiva. La división entre un tipo de o.e.m. y otro es artificial, basada en los efectos que se aprecian o los posibles usos que tienen para el ser humano.

En la siguiente tabla están clasificados los distintos tipos en orden creciente de frecuencias (orden decreciente de λ). Hay que tener en cuenta que ν y λ son inversamente proporcionales $\nu = \frac{c}{\lambda}$.

ν (Hz)	Radiación	λ (m)
10^{22}	Rayos γ	10^{-14}
10^{21}		10^{-13}
10^{20}		10^{-12}
10^{19}	Rayos X	10^{-11}
10^{18}		10^{-10}
10^{17}	Rayos UVA, UVB	10^{-9}
10^{16}		10^{-8}
10^{15}		10^{-7}
10^{14}	Luz visible	10^{-6}
10^{13}	Infrarrojo	10^{-5}
10^{12}		10^{-4}
10^{11}	microondas	10^{-3}
10^{10}	Telecomunicaciones, microondas	10^{-2}
10^9		10^{-1}
10^8	Radio FM, Televisión, Telefonía	1
10^7		10^1
10^6	Ondas de radio AM	10^2
10^5		10^3
10^4	Ondas de radio largas	10^4
10^3		10^5
$< 10^3$	Ruido eléctrico	$> 10^5$

ESPECTRO VISIBLE

ν (Hz)	Color	λ (m)
$7,7 - 6,6 \cdot 10^{14}$	Violeta	$3,9 - 4,6 \cdot 10^{-7}$
$6,6 - 6,1 \cdot 10^{14}$	Azul	$4,6 - 4,9 \cdot 10^{-7}$
$6,1 - 5,2 \cdot 10^{14}$	Verde	$4,9 - 5,8 \cdot 10^{-7}$
$5,2 - 5,0 \cdot 10^{14}$	Amarillo	$5,8 - 6,0 \cdot 10^{-7}$
$5,0 - 4,8 \cdot 10^{14}$	Anaranjado	$6,0 - 6,2 \cdot 10^{-7}$
$4,8 - 3,8 \cdot 10^{14}$	Rojo	$6,2 - 7,8 \cdot 10^{-7}$

Fuente: M.Alonso , E.J. Finn. *Física*. Edit. Pearson, 2000

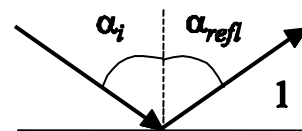
La energía que transporta la onda es proporcional a la frecuencia (a mayor frecuencia, mayor energía)

6. REFLEXIÓN, REFRACCIÓN Y ABSORCIÓN DE LA LUZ:

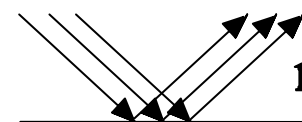
Cuando la luz se propaga por un medio y se encuentra con otro (incide sobre un objeto), pueden darse tres fenómenos:

6.1 REFLEXIÓN:

Parte de la energía de la luz incidente vuelve a transmitirse por el mismo medio inicial. Se produce una *onda reflejada*, que tiene las mismas características que la onda incidente. El ángulo que forma la dirección con la perpendicular a la frontera es igual al de la onda incidente.



Reflexión Nítida: Se da cuando la superficie es totalmente plana (pulimentada). Entonces, rayos que lleguen paralelos producirán rayos reflejados también paralelos. (Ejemplo: espejo)



Reflexión Difusa: Se da cuando la superficie es rugosa. Los rayos que llegan paralelos salen reflejados en todas direcciones. (ejemplo: superficie blanca). Esta reflexión difusa es la que hace que podamos ver a los cuerpos desde cualquier lado.



Espejos:

Un espejo consta de un medio que refleja de forma nítida toda la luz que incide sobre él. Si la superficie del espejo es plana, los rayos se reflejarán de la misma forma que han incidido, y formarán una imagen igual al objeto que se refleja. Por el contrario, si el espejo es curvo (como pasa en una cuchara, los espejos de los coches, o una bola del árbol de navidad), puede producir imágenes deformadas, e incluso al revés.

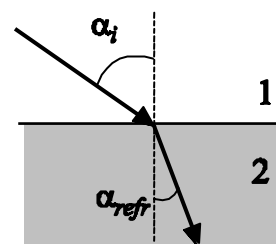
6.2 REFRACCIÓN:

Al llegar la luz, parte de la energía se transmite por el nuevo medio. Se habla de luz refractada o transmitida.

La onda refractada tiene igual frecuencia que la onda incidente (igual color), pero se propaga a distinta velocidad. Para el caso de la luz, la velocidad en el vacío (o en el aire) es la mayor posible ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). En cualquier otro medio será menor. Por lo

tanto la λ será mayor.

$$\lambda = \frac{v}{\nu}$$



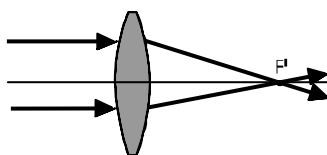
Ángulo de refracción: Ley de Snell: Los ángulos de la onda incidente y refractada, y los índices de refracción de los medios están relacionados por la denominada ley de Snell

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{\text{refr}}$$

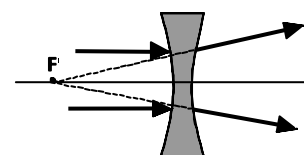
Lentes:

Las lentes son sistemas ópticos que, gracias a su forma curvada y al medio transparente del que están hechas, desvían los rayos de luz, haciéndolos coincidir en un punto o separarse: Tendremos:

- Lentes convergentes: Los rayos de luz, al pasar por la lente, convergen (se juntan). Estas lentes son más gruesas por el centro que por los extremos. Existe un punto, llamado *punto focal*, en el que se juntan rayos que lleguen paralelos. La distancia de la lente a ese punto, se llama *distancia focal*.
- Lentes divergentes: Los rayos de luz, al pasar por la lente, divergen (se separan). Son más gruesas por los extremos que por el centro. También existe un punto, llamado punto focal, del que parece que salen los rayos que se separan.



Lente convergente



Lente divergente

Con combinaciones de lentes convergentes, divergentes y/o espejos se construyen instrumentos ópticos como el microscopio, el telescopio, el proyector, etc.

6.3 ABSORCIÓN:

El nuevo medio puede absorber una parte (o toda) de la energía de la luz que incide sobre él, aumentando entonces su temperatura (se calienta)

Este fenómeno se aprovecha, por ejemplo, con las microondas (absorbidas por las moléculas de agua en el horno microondas) o los rayos X (absorbidos por los huesos en las radiografías). Al ponernos al sol nos calentamos por la absorción de rayos infrarrojos, y podemos sufrir quemaduras (incluso cáncer) por la absorción de rayos UVA.

Color:

En cuanto a la luz visible, la absorción y la reflexión son responsables del **color** de los objetos.

Lo que entendemos por luz blanca es en realidad una mezcla de todos los colores que componen la luz visible (el arco iris). De hecho, podemos conseguir luz de cualquier color mezclando sólo tres colores de luz primarios: rojo, verde y azul.

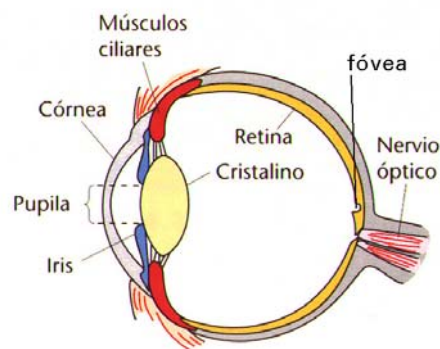
Un objeto se verá de un color u otro según absorba o refleje unos tipos de luz u otros.

- Blanco cuando no absorbe ningún color, refleja toda la luz que recibe.
- Negro cuando absorbe toda la luz que recibe, no refleja nada (o muy poco)
- Rojo (o verde, o azul), si absorbe todos los colores menos el rojo (verde, azul), que es reflejado.

7. EL OJO. DEFECTOS DE LA VISIÓN.

El ojo funciona como un sistema compuesto de dos lentes convergentes (la córnea y el cristalino) y varios medios líquidos (el humor acuoso y el humor vítreo), que hacen converger los rayos de luz que entran por la pupila en una zona de la retina conocida como *fóvea* o *mancha amarilla*. Allí, una serie de células especializadas (bastones, que captan el clarooscuro, y conos, que captan el color) envían la información al cerebro a través del nervio óptico.

El ojo consigue enfocar la imagen cambiando la forma del cristalino (abombándolo o estirándolo), modificando de este modo su distancia focal.



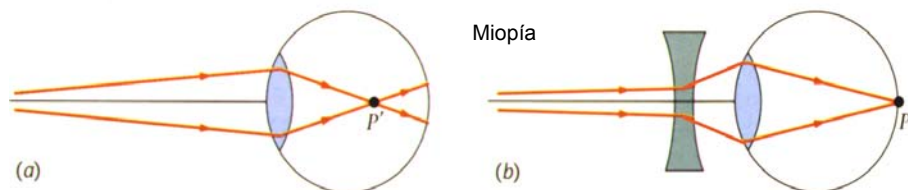
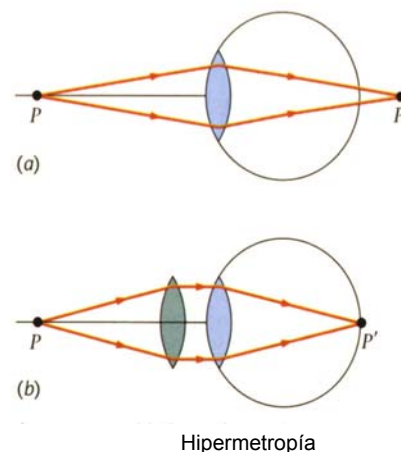
Defectos de la visión:

Un ojo normal consigue enfocar correctamente (hacer converger los rayos de luz para formar la imagen sobre la retina). Si por un defecto de la anatomía del ojo, éste enfoca los rayos de luz detrás o delante de la retina, la visión se vuelve borrosa.

Si enfoca detrás de la retina, se habla de *hipermetropía*. Se corrige usando una lente convergente, como indica la figura.

Si enfoca por delante de la retina, se habla de *miopía*. Se corrige usando lentes divergentes.

El *astigmatismo* consiste en un defecto en la esfericidad del cristalino, lo que hace que el enfoque varíe según la dirección en la que llegan los rayos. De este modo los rayos convergen en puntos distintos, haciendo la imagen borrosa.



CUESTIONES Y PROBLEMAS:

CUESTIONES:

- C1.** ¿Por qué en los medios sólidos se propaga el sonido con mayor rapidez que en los gases?
- C2.** ¿Qué diferencias hay entre una onda mecánica y una electromagnética?
- C3.** Dibuja dos ondas:
- La segunda con doble longitud de onda que la primera.
 - La segunda con doble periodo de onda que la primera.
 - La segunda con doble amplitud de onda que la primera.
 - La segunda con doble frecuencia de onda que la primera.
- C4.** Si te sitúas 10 m por delante de un muro y das una palmada ¿podrás escuchar el eco producido?
- C5.** Suponiendo la misma intensidad, ¿qué tendrá mayor energía, un rayo de luz azul o de luz amarilla?
- C6.** “Un sonido grave siempre es menos intenso que uno agudo”. ¿Verdadero o falso? ¿Por qué?
- C7.** Ordena las siguientes ondas electromagnéticas por orden creciente de longitud de onda: radio FM, R-X, luz verde, microondas, luz roja, R-UVA.

C8. ¿Puede un medio transparente tener $n = 0,5$?

C9. Un rayo de luz incide perpendicularmente sobre el agua. ¿Qué ángulo formará el rayo refractado que se transmite por el agua?

PROBLEMAS:

P1. Por un muelle tenso se propaga una onda longitudinal de 20 Hz a 4 m/s. Calcular su longitud de onda y su periodo.

P2. A una playa llegan 15 olas por minuto, propagándose con una rapidez de 3 m/s. Calcula periodo, frecuencia y longitud de onda de ese movimiento ondulatorio.

P3. Calcular la longitud de onda de la nota musical "LA" (440 Hz) a) en el aire b) en agua c) en hierro

P4. Una onda cuyo periodo es 0,05 s. y de 3 m de longitud de onda se propaga por un cierto medio. Calcular la velocidad de propagación y la frecuencia de la onda.

P5. Por una cuerda tensa de 10 m se propaga una onda de 50 Hz. La perturbación tarda 0,1 s en llegar de un extremo a otro. Calcular λ , v y T de la onda.

P6. En una tormenta, oímos el trueno 4 segundos después de ver el relámpago ¿A qué distancia se encuentra la tormenta?

P7. Un cazador en la montaña efectúa un disparo y una persona del pueblo más cercano tarda 7 segundos en escucharlo. Calcula la distancia a la que está del pueblo.

P8. El periodo de una onda sonora es de $8 \cdot 10^{-5}$ s. ¿La podrá percibir el oído humano?

P9. Un rayo de luz roja de $4 \cdot 10^{14}$ Hz que se propaga por el aire, incide sobre el agua formando 30° con la perpendicular. Calcula : a) longitud de onda en el aire, b) ángulo que forma el rayo refractado. c) longitud de onda en el agua (busca los datos necesarios en las tablas del tema)

P10. Repite el problema anterior suponiendo que el rayo pasa del agua al aire, con los mismos datos.

P11. Un rayo de luz pasa del vacío a un cristal, refractándose. Sabiendo que la velocidad se reduce a $\frac{3}{4}$ de c , calcula el índice de refracción del cristal.

P12. Calcula la velocidad de la luz en un plástico transparente, sabiendo que $n = 1,4$