

## BIOFÍSICA DE LA PERCEPCIÓN: LUZ

### 1. ¿Qué es la luz?

La **luz** es una onda electromagnética capaz de ser percibida por el ojo humano y cuya longitud de onda determina su color.

La luz visible está formada por vibraciones electromagnéticas con longitudes de onda que van aproximadamente de 350 a 750 nanómetros (1 nm = 1 milmillonésima de metro).

En un sentido más amplio, el término luz incluye el rango entero de radiación conocido como el espectro electromagnético.

#### Conceptos que hay que diferenciar:

- **Luz visible:** La luz visible es una forma de propagación de la energía. Y es una radiación electromagnética (EM). La luz visible es tan sólo uno de los muchos tipos de radiación EM y ocupa un pequeño rango de la totalidad del espectro electromagnético.
- **Luz blanca:** luz policromática, puede ser descompuesta en todos los colores del espectro, por medio de un prisma. En la naturaleza esta descomposición da lugar al arco iris. La **luz blanca** se produce cuando todas las longitudes de onda del espectro visible están presentes en proporciones e intensidades iguales.
- **Luz monocromática:** luz de un solo color, de una sola longitudes de onda



### 2. ¿Dónde y cómo se origina?

La luz se forma por saltos de los electrones en los orbitales de los átomos. Los electrones poseen la extraña cualidad de moverse en determinados orbitales sin consumir energía, pero cuando caen a un orbital inferior de menor energía (más próximo al núcleo) emiten energía en forma de radiación. Algunos de esos saltos producen radiación visible que llamamos luz, radiación que ven nuestros ojos en su manifestación de color.



En un mol de materia (por ejemplo en 23 gramos de sodio) tenemos  $6,023 \cdot 10^{23}$  átomos, con muchos electrones girando. Si millones de estos electrones externos caen de nivel, se emite radiación suficiente para ser vista. Cada elemento químico emite luz de determinados colores, su espectro, porque los electrones saltan en todos los átomos de ese elemento entre los mismos niveles permitidos.

La frecuencia ( $f$ ) de la luz emitida depende de la diferencia de energía de los niveles

entre los que salta el electrón ( $E_1 - E_0$ ):

$$E_1 - E_0 = h \cdot f$$

Siendo:

**h (constante de Planck):  $6,62 \times 10^{-34}$  J.s**

**f (frecuencia): 1/s**

### 3. Principales características y propiedades de la luz

- ✓ **La luz viaja, en el vacío, a la increíble velocidad de 299.792.458 m/s como valor exacto aceptado (aproximadamente 300.000 km/s)**

A esta increíble velocidad ¡la luz podría girar más de siete veces alrededor de la Tierra en cada segundo, o bien, podría recorrer el espacio entre la Tierra y la Luna en alrededor de 1,2 segundos!

Todas las formas de ondas electromagnéticas, incluyendo los rayos X y las ondas de radio, y todas las demás frecuencias a lo largo del espectro EM, también viajan a la misma velocidad de la luz. La luz viaja más rápidamente en el vacío, y se mueve más lentamente en materiales como agua o vidrio.



- ✓ **Se propaga a partir de la fuente emisora en todas las direcciones posibles y en forma de ondas perpendiculares a la dirección del desplazamiento.**

Distintas longitudes de onda proporcionan a nuestros ojos distintas sensaciones de color. La luz se propaga, *sin detenerse*, a través de la atmósfera y aun donde no hay atmósfera, y se sigue propagando indefinidamente mientras no encuentre un obstáculo que impida su paso

- ✓ **La luz viaja en línea recta dentro de una sustancia de composición uniforme mientras no haya nada que la desvíe y mientras no cambie el medio a través del cual se está propagando**
- ✓ **La luz está compuesta por partículas de energía – llamados fotones – que originan cambios químicos y reacciones eléctricas.**

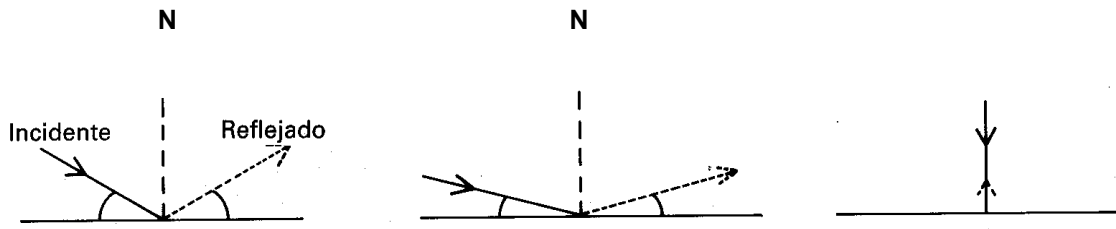
Obviamente, cuanto más intensa es la luz, más fotones contiene. Estas partículas de energía son las que hacen posible la grabación de imágenes en soportes fotosensibles.

### 4. Comportamiento de la luz

#### 4.1) Fenómeno de Reflexión

Al incidir la luz en un cuerpo, la materia de la que está constituido **retiene** unos instantes su energía y a continuación la **reemite** en mayor o menor proporción según sus propias características, en todas las direcciones. Este fenómeno es denominado **reflexión** y gracias a él podemos ver las cosas.

La reflexión de la luz se representa por medio de dos rayos: el que llega a una superficie, **rayo incidente**, y el que sale "rebotado" después de reflejarse, **rayo reflejado**. Si se traza una recta perpendicular a la superficie (que se denomina normal **N**) el rayo incidente forma un ángulo con dicha recta, que se llama **ángulo de incidencia**.



La reflexión de la luz es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar contra la superficie de los cuerpos. La luz reflejada sigue propagándose por el **mismo medio** que la incidente.

No todos los cuerpos se comportan de la misma manera frente a la luz que les llega. Por ejemplo, en algunos cuerpos como los espejos o los metales pulidos podemos ver nuestra imagen pero no podemos "mirarnos" en una hoja de papel.

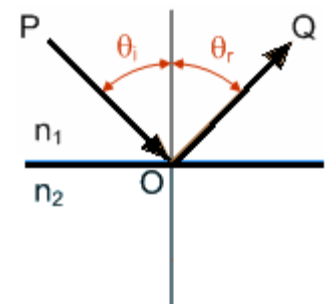
Esto se debe a que existen dos tipos de reflexión: la **reflexión especular** y la **reflexión difusa**.

	<p>A la izquierda hay un esquema de <b>reflexión especular</b>.                  Al tratarse de una superficie lisa, los rayos reflejados son paralelos, es decir tienen la misma dirección.</p>
	<p>En el caso de la <b>reflexión difusa</b> los rayos son reflejados en distintas direcciones debido a la rugosidad de la superficie</p>

La reflexión de la luz cumple dos leyes:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal están en un mismo plano perpendicular a la superficie
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión

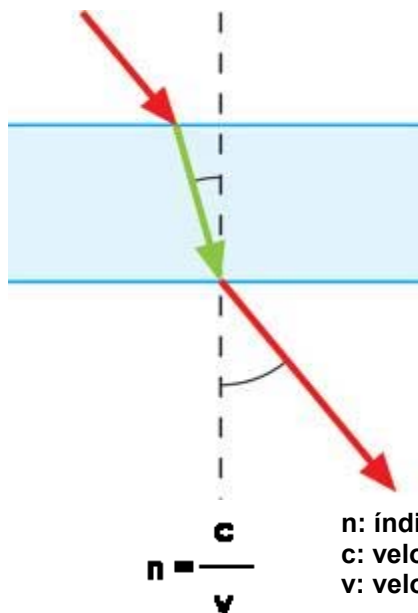
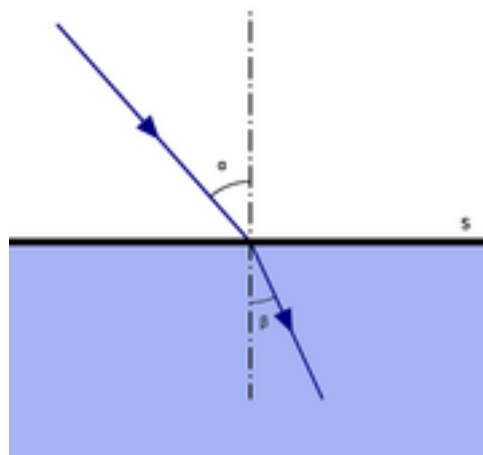
$$\theta_i = \theta_r$$



#### 4.2) Fenómeno de Refracción

La **refracción** es el *cambio brusco de dirección* que sufre la luz al cambiar de un medio transparente a otro. Este fenómeno se debe al hecho de que la luz se propaga a diferentes velocidades según el medio por el que viaja. El cambio de dirección es mayor, cuanto mayor es el cambio de velocidad, ya que la luz prefiere recorrer las mayores distancias en su desplazamiento por el medio que vaya más rápido.

Velocidad de la luz en distintos medios:	
Medio	v (km/s)
Vacio	300.000
Aire	299.910
Agua	225.564
Etanol	220.588
Cuarzo	205.479
Vidrio crown	197.368
Vidrio flint	186.335
Diamante	123.967



Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la onda.

Si dividimos la velocidad de la luz en el vacío entre la que tiene en un medio transparente obtenemos un valor que llamamos índice de refracción de ese medio.

**n:** índice de refracción  
**c:** velocidad de la luz en el vacío  
**v:** velocidad de la luz en el medio material

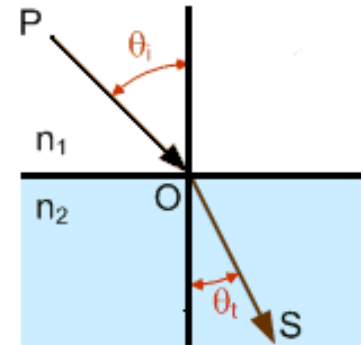
El índice de refracción es precisamente la relación entre la velocidad de la onda en un medio de referencia (el vacío para las ondas electromagnéticas) y su velocidad en el medio de que se trate.

Si el índice de refracción del agua es  $n = 1,33$ , quiere decir que la luz es 1,33 veces más rápida en el vacío que en el agua.

- Si la luz pasa de un medio **más rápido** a otro más lento (por ejemplo del aire al vidrio flint), el ángulo de refracción **es menor** que el de incidencia. Se **acerca a** la Normal

- Si pasa de un medio de **mayor índice** de refracción a otro con menor índice de refracción (por ejemplo del diamante al agua), el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia. **Se aleja** de la Normal

La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es igual a la razón entre la velocidad de la onda en el primer medio y la velocidad de la onda en el segundo medio, o bien puede entenderse como *el producto del índice de refracción del primer medio por el seno del ángulo de incidencia es igual al producto del índice de refracción del segundo medio por el seno del ángulo de refracción*. **Este fenómeno de la refracción se rige por la llamada ley de la refracción o ley de Snell:**



$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$$

$n_1$  = índice de refracción del medio del que procede.

$\theta_1$  = ángulo de incidencia

$n_2$  = índice de refracción del medio en el que se refracta.

$\theta_2$  = ángulo de refracción

Por lo general cuando la luz llega a la superficie de separación entre los dos medios se producen simultáneamente la **reflexión** y la refracción.

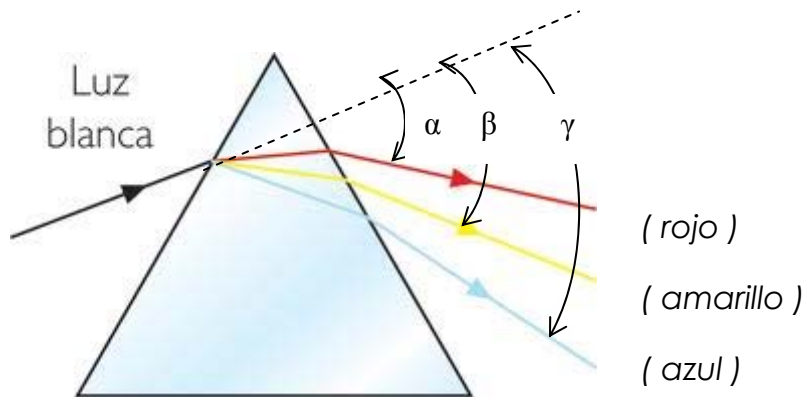
#### 4.3) Fenómeno de Dispersión

La luz que procede del sol la llamamos **luz blanca**. En realidad la luz blanca es una mezcla de luces de diferentes colores. Cuando observamos el arco iris podemos ver los colores que componen la luz blanca. En este caso del arco iris, la luz se dispersa al atravesar las gotas de agua

En Física se denomina dispersión al **fenómeno de separación** de las ondas de distinta longitud de onda al atravesar un material, por ejemplo un prisma.

Cuando un haz de luz blanca procedente del sol atraviesa un prisma de cristal, las distintas radiaciones monocromáticas son tanto más desviadas por la refracción cuanto menor es su longitud de onda. De esta manera, los rayos rojos son menos desviados que los violáceos y el haz primitivo de luz blanca, así ensanchado por el prisma, se convierte en un espectro electromagnético en el cual las radiaciones coloreadas se hallan expuestas sin solución de continuidad, en el orden de su longitud de onda, que es el de los siete colores ya propuestos por Isaac Newton: violeta, índigo, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo . Así como, en ambos extremos del espectro, el ultravioleta y el infrarrojo, que no son directamente visibles por el ojo humano, pero que impresionan las placas fotográficas.

Aumento de la longitud de onda →  
Menor desviación



#### 4.4) Efectos químicos

Algunas sustancias al absorber luz, sufren cambios químicos; utilizan la energía que la luz les transfiere para alcanzar los niveles energéticos necesarios para reaccionar, para obtener una conformación estructural más adecuada para llevar a cabo una reacción o para romper algún enlace de su estructura (fotólisis).

La fotosíntesis en las plantas, que generan azúcares a partir de dióxido de carbono, agua y luz; la síntesis de vitamina D en la piel; la ruptura de dihalógenos con luz en las reacciones radicalarias o el proceso de visión en el ojo, producido por la isomerización del retinol con la luz, son ejemplos de reacciones fotoquímicas. El área de la química encargada del estudio de estos fenómenos es la fotoquímica.

#### A considerar:

La **fotoquímica**, una subdisciplina de la química, es el estudio de las interacciones entre átomos, moléculas pequeñas, y la luz (o radiación electromagnética). Las leyes de la fotoquímica, establecen que la luz debe ser absorbida por una sustancia química para que dé lugar a una reacción fotoquímica y que para cada fotón de luz absorbido por un sistema químico, solamente una molécula es activada para una reacción fotoquímica. Normalmente, una reacción fotoquímica ocurre cuando una molécula gana la energía de activación en forma de luz necesaria para experimentar cambios, en la que una o más moléculas o especies químicas se transforman en otras.

En la **reacción fotoquímica** o reacción inducida por la luz, generalmente la luz actúa produciendo radicales libres en las moléculas, como HO o CH.

Veremos la aplicación odontológica de este tema, en unidad fotopolimerizante.



## 5. Aproximación histórica

A principios del siglo XVIII (**1704**) era creencia generalizada que la luz estaba compuesta por *pequeñas partículas o corpúsculos*, que como verdaderos proyectiles, viajaban con gran rapidez y en línea recta. Fenómenos como la reflexión, la refracción y las sombras de los cuerpos, se podían esperar de torrentes de partículas. *Isaac Newton*, sostenía prestigiosamente esta idea, por lo que se la llamo "*teoría corpuscular*" de la luz. Sin embargo, no quedaba explicado, como podían cruzarse los rayos de luz, sin que las partículas chocasen entre si (fenómeno de interferencia). Estas dificultades sumadas a otras situaciones como el que la luz no transportara masa siendo una partícula, hizo renacer una antigua teoría propugnada por el físico y astrónomo holandés Cristian Huygens (**1629 – 1695**).



El modelo propuesto por *Huygens* consideraba a la luz como *una onda* que podía propagarse en el espacio de la misma forma que lo hacían las ondas conocidas hasta el momento, es decir, sin transporte de materia, con lo que este modelo parecía ser más completo que el propuesto por Newton. Sin embargo, un solo detalle hacía tambalear el naciente modelo ondulatorio: los científicos se preguntaban... si la luz fuese una onda... ¿cómo podía viajar en el vacío? Esto era de vital importancia, ya que todas las ondas conocidas hasta el momento eran ondas mecánicas, es decir, que requerían un medio de propagación. Huygens trató de superar el problema postulando la existencia de una sustancia que llenaba todo el Universo a la que llamó Eter. Esta idea, aunque ingeniosa no dejó conforme a los científicos, a quienes el gran prestigio de Newton les hizo terminar aceptando el modelo corpuscular.

Sin embargo, al correr de los años ocurrieron diversos hechos que hicieron cambiar la mirada de los científicos paulatinamente. En las primeras **décadas del siglo XIX**, el médico *Thomas Young* descubre la interferencia y la difracción de la luz (fenómenos ondulatorios), lo que le hace revitalizar la teoría de Huygens. Sin embargo no es capaz de establecer porqué la luz viaja en el vacío. Años más tarde, *James Clero Maxwell*, un destacado ingeniero y físico en **1865** logra establecer un modelo matemático para el electromagnetismo de Michael Faraday y postula la existencia de ondas electromagnéticas, es decir ondas producidas por perturbaciones electromagnéticas y que viajan a través de la superposición de campos eléctricos y magnéticos, sin necesidad de medio alguno, es decir, pueden propagarse en el vacío.

Los estudios de Maxwell, que dan origen al modelo electromagnético de la luz, en **1888** son confirmados de manera experimental por *Hertz*, quien produce ondas electromagnéticas.

Sin embargo los descubrimientos de Maxwell y Hertz, aunque muy acabados, establecen un modelo para la luz que a principios del siglo XX no es capaz de explicar diversos fenómenos como la emisión de cuerpos incandescentes (estudiado por Max Planck) y el efecto fotoeléctrico (estudiado por Albert Einstein), lo que hizo necesario volver a revisar el modelo corpuscular. Este último esfuerzo dio por resultado un modelo (aceptado hasta hoy) **que señala que la luz tiene una naturaleza dual**

**Resumen:**

<p style="text-align: center;"><b>Newton:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>LA TEORÍA CORPUSCULAR</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Huygens:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>LA TEORÍA ONDULATORIA</b></p>
	
<p>Al iniciarse el siglo XVIII, Newton propone que la luz está compuesta por partículas luminosas, de distinto tamaño según el color, que son emitidas por los cuerpos luminosos y que producen la visión al llegar a nuestros ojos.</p> <p>Newton se apoyaba en los siguientes hechos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La trayectoria seguida por los corpúsculos es rectilínea y por ello la luz se propaga en línea recta.</li> <li>• Cuando se interpone un obstáculo, los corpúsculos no pueden atravesarlo y así se produce la sombra.</li> <li>• La reflexión se debe al rebote de los corpúsculos sobre la superficie reflectora.</li> </ul> <p>Sin embargo no se podía explicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cuerpos, al emitir corpúsculos, debían perder masa y esto no se había observado.</li> <li>• Ya se conocía el fenómeno de la refracción y no podía explicarse por qué algunos corpúsculos se reflejaban y otros se refractaban. Según Newton, la refracción se debía a un aumento de velocidad de los corpúsculos de luz.</li> </ul>	<p>Huygens, en la misma época, propone que la luz es una onda basándose en las observaciones siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La masa de los cuerpos que emiten luz no cambia.</li> <li>• La propagación rectilínea y la reflexión se pueden explicar ondulatoriamente</li> <li>• La refracción es un fenómeno típico de las ondas.</li> </ul> <p>No obstante quedaban cosas sin explicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontraba una explicación para la propagación de la luz en el vacío, ya que se pensaba que todas las ondas necesitaban un medio material para propagarse.</li> <li>• No se habían observado en la luz los fenómenos de interferencia y de difracción que ya se conocían para las ondas.</li> </ul>

**6. Naturaleza de la luz**

La luz presenta una naturaleza compleja: depende de como la observemos se manifestará como una onda o como una partícula. Estos dos estados no se excluyen, sino que son complementarios.



Que la luz tenga naturaleza dual, no significa que sea onda o partícula a la vez, sino que puede comportarse como una corriente de partículas o bien como una onda electromagnética, dependiendo de las circunstancias. Esta idea fue bastante resistida al principio ya que en esencia plantea una nueva forma de entender la naturaleza, donde el observador determina en gran medida lo que quiere ver. Así por ejemplo, si hacemos un experimento para demostrar que la luz es una onda electromagnética, ésta se comporta como tal. Por otra parte, si hacemos un experimento para demostrar que la luz es una corriente de partículas, la luz congruentemente se comportará como una corriente de partículas.

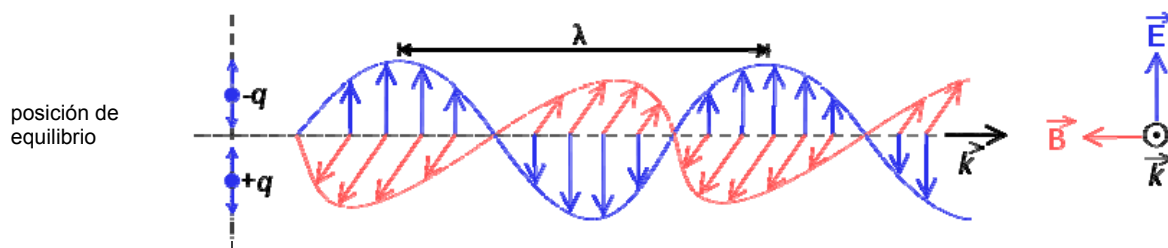
Es importante en este caso el lenguaje, porque la naturaleza dual significa que la luz se puede comportar como una onda o como una corriente de partículas, pero no como ambas cosas al mismo tiempo (no es onda y partícula, sino que onda o partícula). En el siglo XX aceptamos que la luz se comporta como onda y **como partícula**.

## ▪ La luz como onda: "Teoría ondulatoria"

### a) Descripción

Esta teoría considera que la luz es una **onda electromagnética**, no necesitan un medio material para propagarse, por lo que pueden hacerlo en el vacío.

Estas ondas electromagnéticas son sinusoidales, con los campos eléctrico y magnético perpendiculares entre sí y respecto a la dirección de propagación ( $\vec{k}$ ).



De color rojo se representa el campo magnético y de azul el eléctrico

Para poder describir una onda electromagnética podemos utilizar los parámetros habituales de cualquier onda:

- **Amplitud (A):** Es la longitud máxima respecto a la posición de equilibrio que alcanza la onda en su desplazamiento.
- **Periodo (T):** Es el tiempo necesario para el paso de dos máximos o mínimos sucesivos por un punto fijo en el espacio.
- **Frecuencia (f):** Número de de oscilaciones del campo por unidad de tiempo. Es una cantidad inversa al periodo.
- **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** Es la distancia lineal entre dos puntos equivalentes de ondas sucesivas.
- **Velocidad de propagación (V):** Es la distancia que recorre la onda en una unidad de tiempo. En el caso de la velocidad de propagación de la luz en el vacío, se representa con la letra c.

La velocidad, la frecuencia, el periodo y la longitud de onda están relacionados por las siguientes ecuaciones:

$$c = \lambda \cdot f$$

o bien

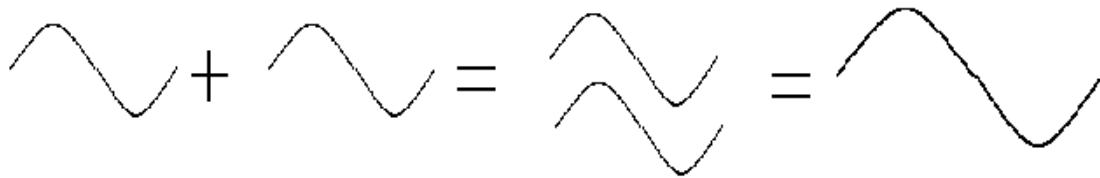
$$c = \lambda / T$$

## b) Fenómenos ondulatorios

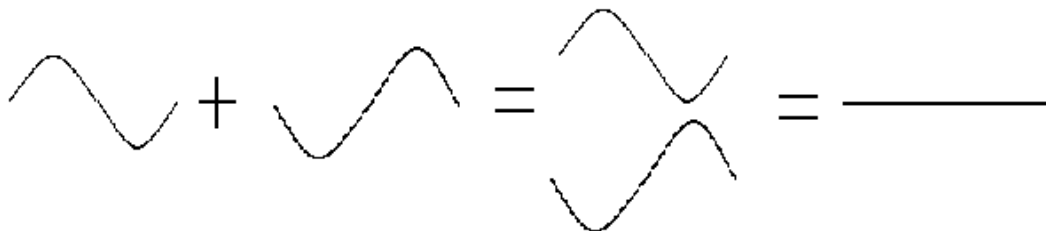
Algunos de los fenómenos más importantes de la luz se pueden comprender fácilmente si se considera que tiene un comportamiento ondulatorio.

El principio de superposición de ondas nos permite explicar el fenómeno de la **interferencia**: si juntamos en el mismo lugar dos ondas con la misma longitud de onda y amplitud, si están en fase (las crestas de las ondas coinciden) formarán una interferencia constructiva y la intensidad de la onda resultante será máxima e igual a dos veces la amplitud de las ondas que la conforman. Si están desfasadas, habrá un punto donde el desfase sea máximo (la cresta de la onda coincide exactamente con un valle) formándose una interferencia destructiva, anulándose la onda.

### **Interferencia constructiva:**



### **Interferencia destructiva:**



## ▪ La luz como partícula: "Teoría corpuscular "

### a) Descripción

Aunque la teoría ondulatoria es generalmente correcta cuando *describe la propagación de la luz*, falla a la hora de explicar otras propiedades como la interacción de la luz con la materia.

La teoría corpuscular estudia la luz como si se tratase de un torrente de partículas sin carga y sin masa llamadas **fotones**, capaces de portar todas las formas de radiación electromagnética. Esta interpretación resurgió debido a que, la luz, en sus interacciones con la materia, intercambia energía sólo en cantidades discretas (múltiplas de un valor mínimo) de energía denominadas *cuantos*. Este hecho es difícil de combinar con la idea de que la energía de la luz se emita en forma de ondas, pero es fácilmente visualizado en términos de corpúsculos de luz o fotones.

Einstein ha contribuido enormemente a nuestro conocimiento sobre la luz. No sólo demostró que la velocidad de la luz en el vacío (aproximadamente 300.000 km/s) no puede ser superada, sino que introdujo la idea del **cuanto de luz**.

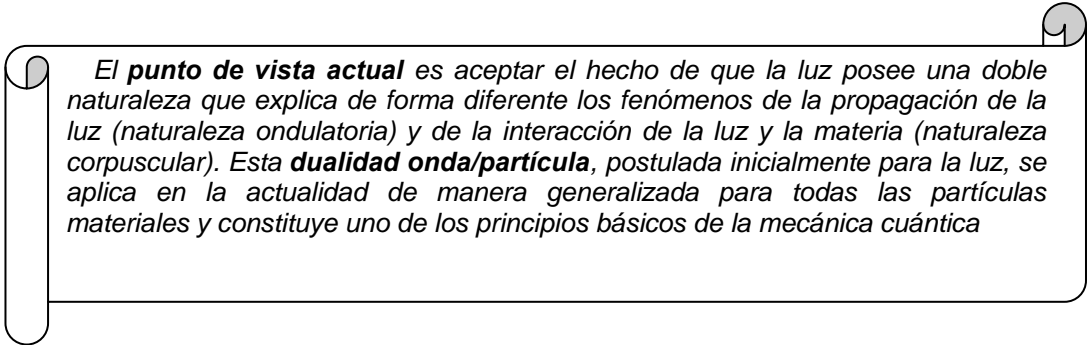
En esencia la idea de Einstein consiste en considerar que la luz está formada por partículas ya que los cuantos son pequeños "paquetes" indivisibles de energía, a los que llamó **fotones**. Recuerda que Newton planteó la idea de la luz compuesta de partículas, a las que llamó corpúsculos.

Los fotones pueden tener diferente energía dependiendo de su frecuencia, así una radiación de frecuencia elevada está compuesta de fotones de alta energía. La relación entre la frecuencia y la energía es la ya analizada Ecuación de Planck:

$$E = h \cdot f$$

Donde E = energía , h = constante de Planck y f = frecuencia.

Esta idea de Einstein explica por qué algunas radiaciones como la ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma son perjudiciales para los seres vivos. Recuerda que todas estas radiaciones se encuentran en la zona de mayor frecuencia del espectro electromagnético, y por tanto tienen asociada una energía muy alta que puede producir alteraciones en nuestras células e incluso en nuestro ADN.



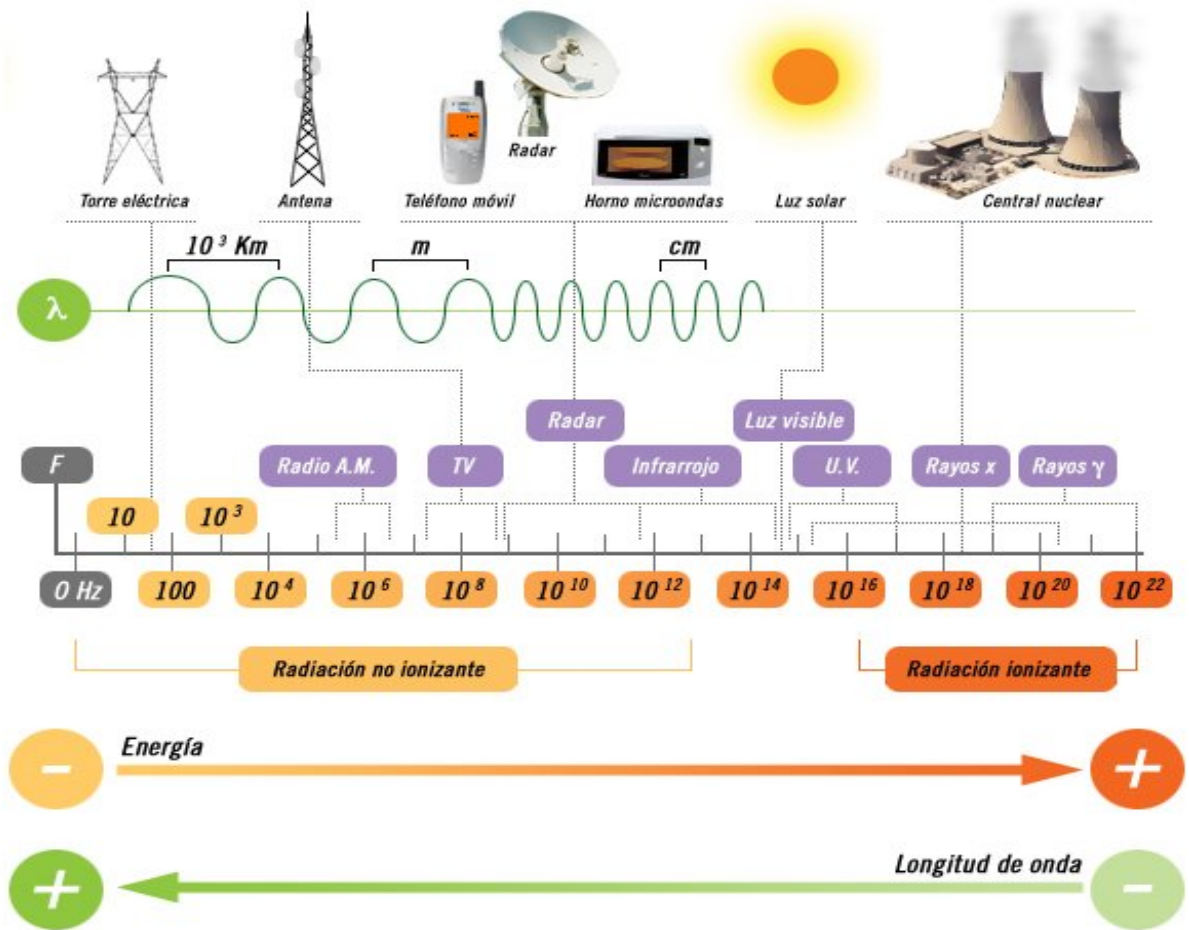
*El **punto de vista actual** es aceptar el hecho de que la luz posee una doble naturaleza que explica de forma diferente los fenómenos de la propagación de la luz (naturaleza ondulatoria) y de la interacción de la luz y la materia (naturaleza corpuscular). Esta **dualidad onda/partícula**, postulada inicialmente para la luz, se aplica en la actualidad de manera generalizada para todas las partículas materiales y constituye uno de los principios básicos de la mecánica cuántica*

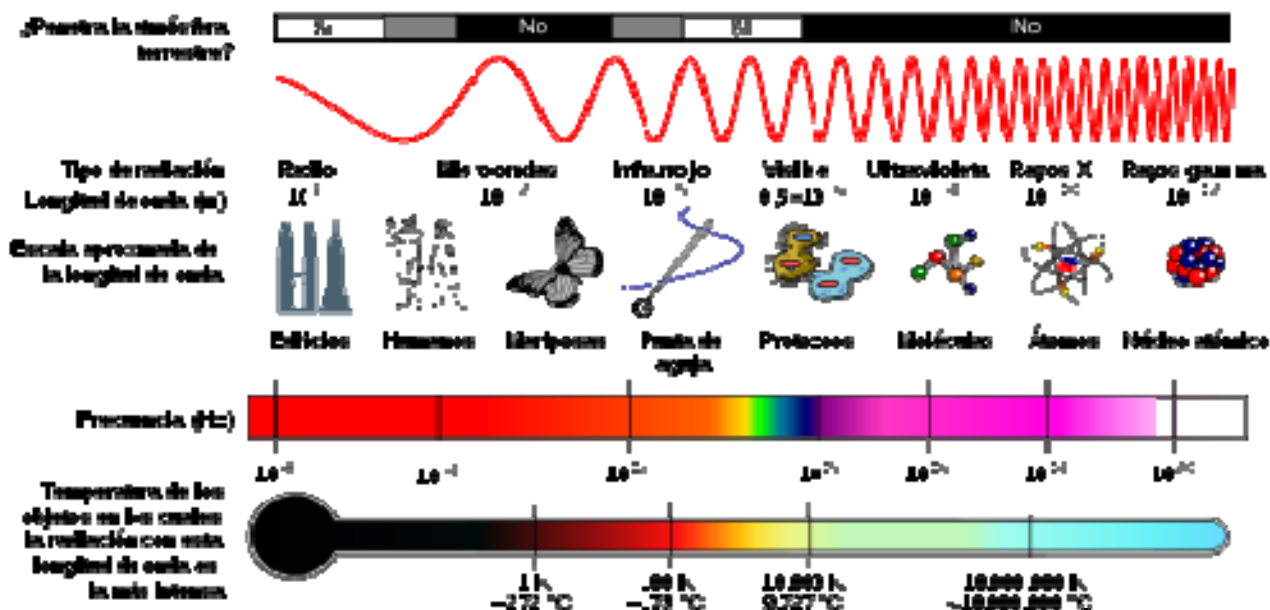
## 7. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético está constituido por *todos los posibles niveles de energía* que la luz puede tomar. Hablar de energía es equivalente a hablar de longitud de onda; el espectro electromagnético abarca, también, todas las longitudes de onda que la luz pueda tener, desde miles de kilómetros hasta femtómetros.

Se extiende desde la radiación de **menor longitud de onda**, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de **mayor longitud de onda**, como son las ondas de radio. O bien, desde la radiación de **mayor frecuencia** hacia la de **menor frecuencia**, teniendo en cuenta la proporcionalidad inversa que existe entre ambas magnitudes

**El espectro de frecuencias.**





### 7.1) Bandas del espectro electromagnético

Para su estudio, el espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas, aunque esta división es inexacta. Existen ondas que tienen una frecuencia, pero varios usos, por lo que algunas frecuencias pueden quedar en ocasiones incluidas en dos rangos.

Banda	Longitud de onda	Frecuencia	Energía
<b>Rayos gamma</b>	<b>&lt; 10 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>&gt; 30,0 EHz</b>	<b>&gt; <math>20 \cdot 10^{-15}</math> J</b>
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> $20 \cdot 10^{-18}$ J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> $993 \cdot 10^{-21}$ J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> $523 \cdot 10^{-21}$ J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> $255 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo cercano	< 2,5 $\mu\text{m}$	> 120 THz	> $79 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo medio	< 50 $\mu\text{m}$	> 6,00 THz	> $4 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz	> $200 \cdot 10^{-24}$ J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> $2 \cdot 10^{-24}$ J
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-26}$ J
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Corta - Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> $11.22 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Media - Radio	< 650 m	> 650 kHz	> $42.9 \cdot 10^{-29}$ J
Onda Larga - Radio	< 10 km	> 30 kHz	> $19.8 \cdot 10^{-30}$ J
<b>Muy Baja Frecuencia - Radio</b>	<b>&gt; 10 km</b>	<b>&lt; 30 kHz</b>	<b>&lt; <math>19.8 \cdot 10^{-30}</math> J</b>

## Radio ondas

Son ondas electromagnéticas producidas por circuitos eléctricos, su longitud de onda está comprendida entre los 10 km y 10 cm. Se emplean en radiodifusión y telecomunicaciones.

## Microondas

Son producidas por vibraciones de moléculas, su longitud de onda esta comprendida entre 10 cm y  $10^{-4}$  m. se utilizan en en radioastronomía, comunicaciones (radar y máser).

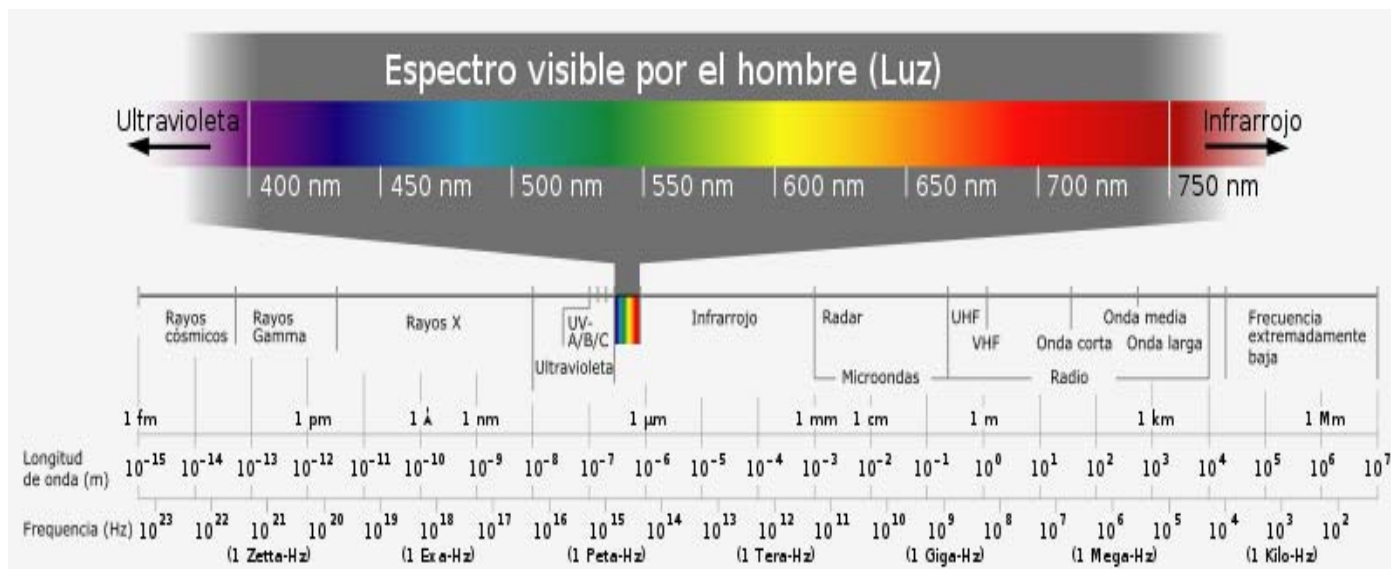
## Infrarrojo

Son producidas por cuerpos calientes y debidas a oscilaciones de átomos. Las ondas infrarrojas están entre el rango de 0,7 a 100 micrómetros. La radiación infrarroja se asocia generalmente con el calor. Estas son producidas por cuerpos que generen calor, aunque a veces pueden ser generadas por algunos diodos emisores de luz y algunos láseres. Se emplean en industria y medicina (termoterapia).

## Espectro visible

Se denomina **espectro visible** a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama **luz visible** o simplemente luz. La luz visible forma parte de una estrecha franja que va desde longitudes de onda de 380 nm (violeta) hasta los 780 nm (rojo). Los colores del espectro se ordenan como en el arco iris, formando el llamado **espectro visible**.

A medida que el arcoiris se llena de matices, nuestros ojos perciben diferentes longitudes de ondas de luz. La luz roja tiene longitudes de onda relativamente largas, aproximadamente 700 nm de largo. La luz azul y la luz morada tienen ondas cortas, aproximadamente 400 nm. Las



ondas más cortas vibran a mayores frecuencias, y tienen energías más elevadas. La luz roja tiene una frecuencia aproximada de 430 terahertz, mientras que la frecuencia de la luz azul es de aproximadamente 750 terahertz. **Los fotones rojos tienen aproximadamente 1.8 electrón-Volt (eV) de energía, mientras que cada fotón azul transmite aproximadamente 3.1 eV.**

Los vecinos de la luz visible en el espectro EM son la radiación infrarroja de un lado, y luz ultravioleta del otro lado. La radiación infrarroja tiene longitudes de ondas más largas que la luz roja, es por esto que oscila a una frecuencia menor y lleva consigo menor energía. La radiación ultravioleta tiene longitudes de ondas más cortas que la luz azul o violeta, por lo que oscila más rápidamente, y porta mayor cantidad de energía por protón que la luz visible.

### Ultravioleta

Son producidas por oscilaciones de electrones mas internos del átomo, se utilizan en medicina por su poder ionizante. La luz ultravioleta cubre el intervalo de 4 a 400 nm. El **sol** es una importante fuente emisora de rayos en esta frecuencia, los cuales causan quemaduras y cáncer de piel a exposiciones prolongadas.

### Rayos X

Producida por oscilaciones de electrones más cercanos al núcleo. La denominación rayos X designa a una radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos y de impresionar las películas fotográficas. La longitud de onda está entre 10 a 0,1 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 3.000 PHz (de 50 a 5.000 veces la frecuencia de la luz visible).

### Rayos gamma

Producidas por oscilaciones nucleares. La radiación gamma es un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. Este tipo de radiación de tal magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia.

Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y alimentos.


## 7.2) Generalidades del ESPECTRO VISIBLE

De todo el espectro, la porción que el ser humano es capaz de ver es muy pequeña en comparación con las otras regiones espectrales. Esta región, denominada espectro visible, comprende longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 780 nm. La luz de cada una de estas longitudes de onda es percibida por el ojo humano como un color diferente, por eso, en la descomposición de la luz blanca en todas sus longitudes de onda, por prismas o por la lluvia en el arco iris, el ojo ve todos los colores

### ➤ Colores del espectro

Los colores del [arco iris](#) en el espectro visible incluye todos esos colores que pueden ser producidos por la luz visible de una simple longitud de onda, los colores del espectro *puro* o *monocromáticos*.

A pesar que el espectro es continuo y por lo tanto no hay cantidades vacías entre uno y otro color, los rangos anteriores podrían ser usados como una aproximación.



violeta	380–450 nm
azul	450–495 nm

verde	495–570 nm
amarillo	570–590 nm
anaranjado	590–620 nm
rojo	620–750 nm

El espectro sin embargo no contiene todos los colores que los ojos humanos y el cerebro puedan distinguir. Café, rosado y magenta están ausentes, por ejemplo, porque se necesita la mezcla de múltiples longitudes de onda, preferiblemente rojos oscuros.

### ➤ **Concepto de COLOR**

La luz se mueve en el vacío aproximadamente a 300.000 km/s, y mientras no interactúa con la materia y llega a nuestros ojos no la vemos. El espacio está lleno de luz y sin embargo lo vemos oscuro.

Cuando una radiación luminosa incide sobre un cuerpo parte de la luz se refleja, parte se transmite a través de él y el resto, correspondiente a determinadas longitudes de ondas, es absorbida por el cuerpo.

Dentro de las sustancias transparentes la luz va a menor velocidad que en el vacío y una parte de ella siempre es absorbida debido a su interacción con los electrones de la materia. Podemos ver la luz difundida por la superficie (luz reflejada) o la transmitida por el cuerpo si es traslúcido. Al interactuar la luz con la materia es cuando se produce el color.

Al conjunto de radiaciones que tienen frecuencias muy próximas le damos el nombre correspondiente al color con que el ojo humano las identifica. Así, a las radiaciones agrupadas en torno a los 600 nm se las denomina color amarillo. Las que rondan el extremo del visible, próximas a 350nm, son las violeta etc. Más pequeñas, y ya no visibles por el ojo, son las ultravioleta que ya no son colores, son sólo radiación.

El **color** es una percepción visual que se genera en el cerebro al interpretar las señales nerviosas que le envían los fotorreceptores de la retina del ojo y que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético.

Es un fenómeno físico-químico asociado a las innumerables combinaciones de la luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético, que perciben las personas y animales a través de los órganos de la visión, como una sensación que nos permite diferenciar los objetos con mayor precisión.

Con poca luz vemos en blanco y negro. El color blanco resulta de la superposición de todos los colores, mientras que el negro es la ausencia de **color**.

La luz blanca puede ser descompuesta en todos los colores (espectro) por medio de un prisma. En la naturaleza esta descomposición da lugar al arco iris.

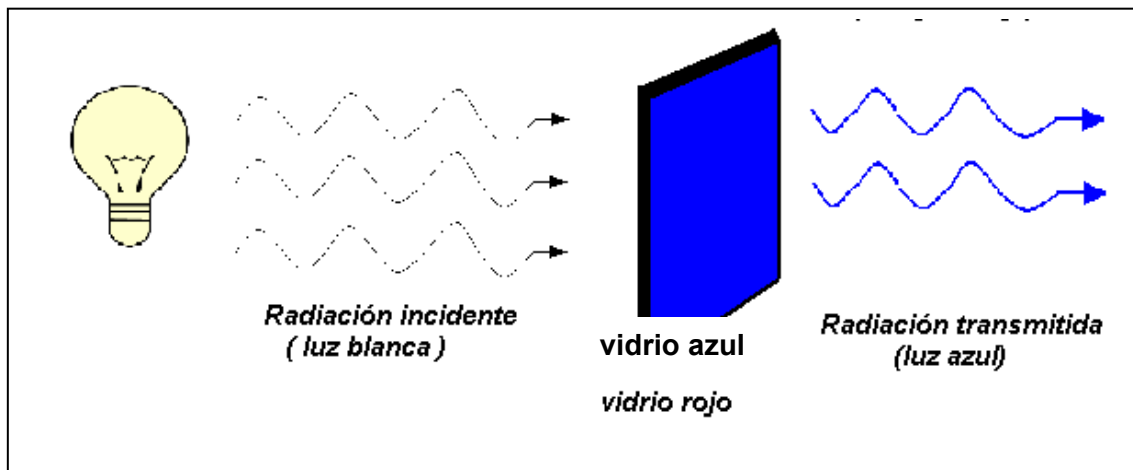
Un objeto sólo se ve con su propio color si se ilumina con luz blanca o con luz de su mismo color.

Por ejemplo, desde el punto de vista de la energía, todos sabemos que los cuerpos de color oscuro se calientan más que los de colores claros cuando reciben luz. Esto se debe a que el color que percibimos de los cuerpos es precisamente la parte de la luz que no han absorbido, es decir si vemos un objeto de color verde significa que el cuerpo refleja el color verde y absorbe los demás. Mientras más energía luminosa absorba un cuerpo, más se calentará

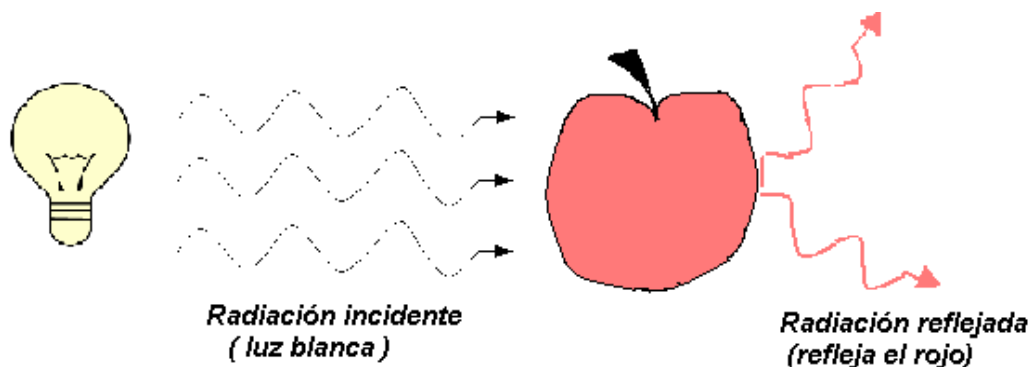


Los colores de los objetos se deben a dos causas distintas:

- **Color por transmisión:** Algunos materiales transparentes absorben toda la gama de colores menos uno, que es el que permiten que se transmita y da color al material transparente. Por ejemplo, un vidrio es rojo porque absorbe todos los colores menos el rojo.



- **Color por reflexión:** La mayor parte de los materiales pueden absorber ciertos colores y reflejar otros. El color o los colores que reflejan son los que percibimos como el color del cuerpo. Por ejemplo, un cuerpo es amarillo porque absorbe todos los colores y sólo refleja el amarillo.



Un cuerpo es blanco cuando refleja todos los colores y negro cuando absorbe todos los colores (Los cuerpos negros se perciben gracias a que reflejan difusamente parte de la luz; de lo contrario no serían visibles).

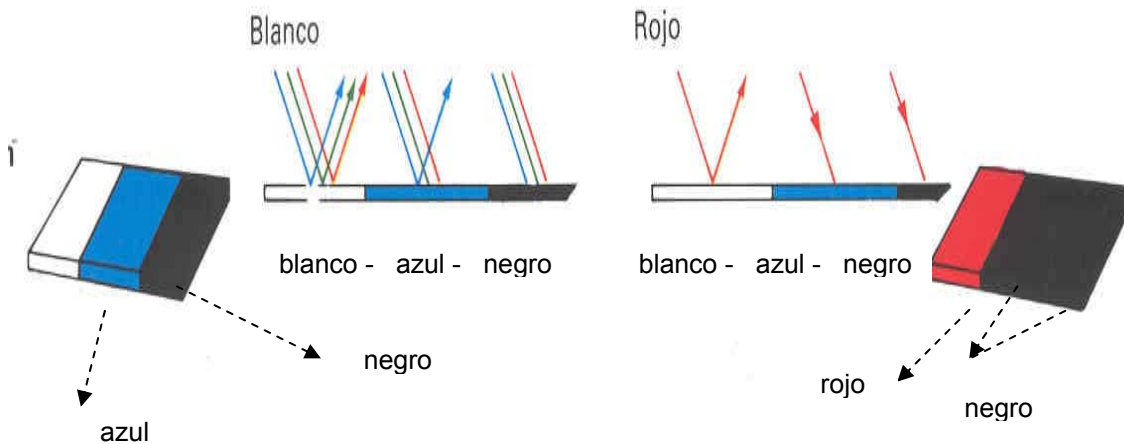
La **Reflexión puede ser selectiva**, con relación a la **calidad** de la luz reflejada, existen dos tipos adicionales de reflexión:

**1. Acromática:** cuando se reflejan *por igual* todas las longitudes de onda. Los tres casos típicos de superficies reflectoras acromáticas son:

- Negras: cuando el porcentaje de reflexión es cero.
- Grises: el porcentaje de reflexión es del 50% en todas las longitudes de onda

- Blancas: el porcentaje de reflexión es del 100% en todas las longitudes de onda

**2. Cromática:** No se reflejan por igual todas las longitudes de onda, hay un predominio de unas sobre otras dando como resultado una radiación cromática. La reflexión siempre es selectiva. Los materiales de color absorben las longitudes de onda de luz blanca de forma selectiva y solo reflejan las de su propio color, el resto las absorben.



#### 7.4) La formación de la visión humana del color

##### ➤ Ojo Humano

El **ojo** es el órgano que detecta la luz siendo la base del sentido de la vista.

Se compone de un sistema sensible a los cambios de luz, capaz de transformar éstos en impulsos eléctricos. Los ojos más sencillos no hacen más que detectar si los alrededores están iluminados u oscuros. Los más complejos sirven para proporcionar el sentido de la vista.

Las partes del ojo son esenciales para la existencia humana porque gracias a ellas captamos, percibimos y encontramos lo que se llama las imágenes percibidas por este sistema.

##### ➤ Descripción estructural del ojo

En la Fig. 1 se representa un corte longitudinal esquemático del ojo humano, en el que se puede apreciar su constitución anatómica.

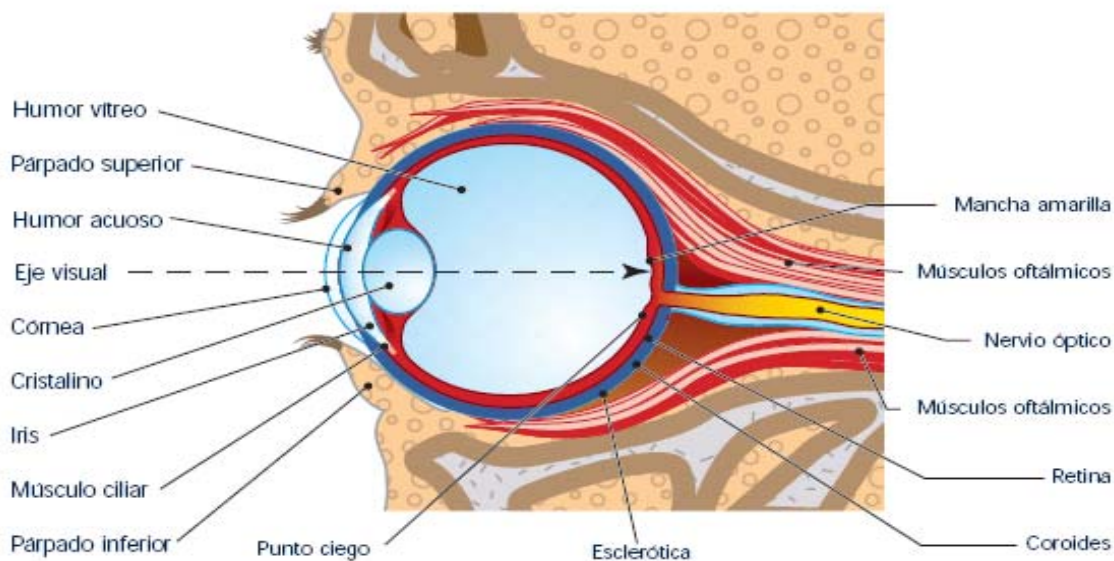


Figura 1. Constitución del ojo humano.

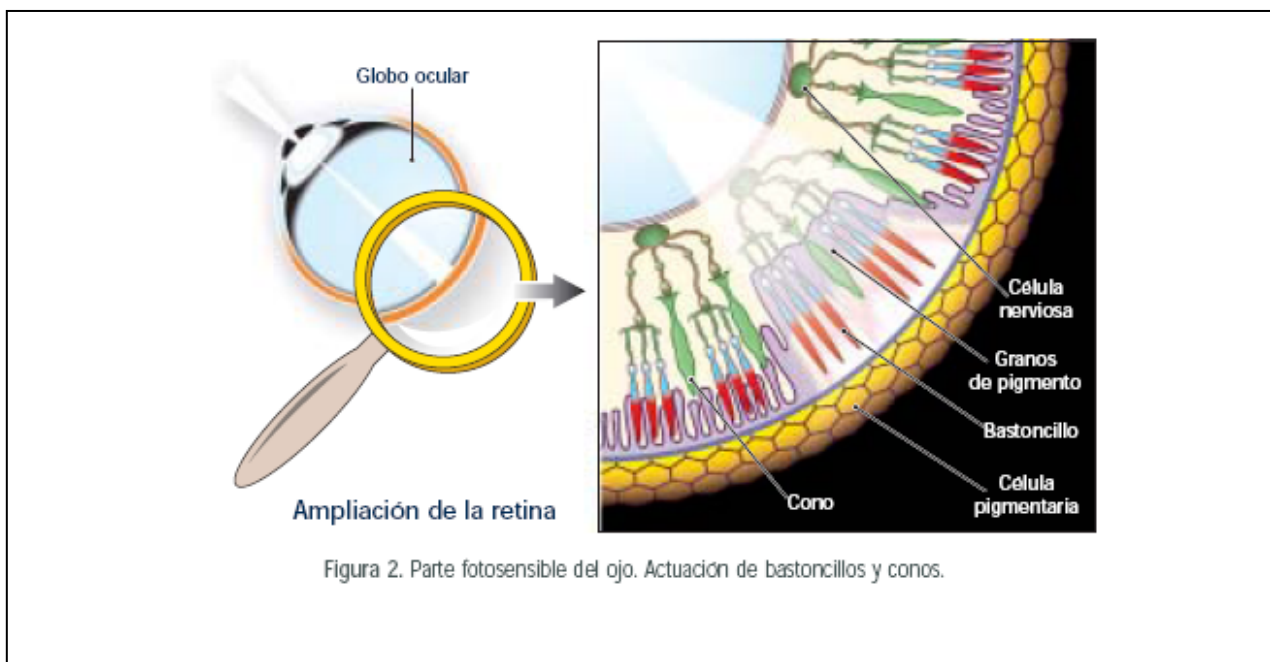
El ojo está constituido principalmente por los siguientes elementos:

- a) **Globo ocular:** Cámara que tiene como función principal la formación de la imagen en la retina.
- b) **Córnea:** Tiene la misión de recibir y transmitir las impresiones visuales y constituye el componente óptico refractor fundamental del ojo.
- c) **Cristalino:** Es una lente biconvexa, transparente e incolora situada tras el iris. Esta membrana elástica cambia su forma para enfocar los objetivos.
- d) **Iris:** Lámina circular situada frente al cristalino y muy pigmentada. Puede contraer la pupila controlando la cantidad de luz que pasa al cristalino.
- e) **Pupila:** Orificio circular situado en el centro del iris y a través del cual pasan los rayos luminosos. La abertura de este orificio la controla el iris y su constricción se llama *miosis* y la dilatación *midriasis*.
- f) **Retina:** Es la película interna posterior del ojo constituida por una membrana nerviosa, expansión del nervio óptico, que tiene la función de recibir y transmitir imágenes o impresiones visuales. Contiene una finísima capa de células fotosensibles, conos y bastones, que divergen del nervio óptico y que están en la parte externa próximas a la capa pigmentada
- g) **Conos:** Células fotosensibles de la retina o fotorreceptores que se encuentran principalmente en la fóvea. Son muy sensibles a los colores y casi insensibles a la luz. De ahí que cumplan la función de discriminar los detalles finos y la de percibir los colores (Fig. 2).
- h) **Bastones o bastoncillos:** Células fotosensibles de la retina o fotorreceptores que se encuentran sólo fuera de la fóvea y más concentrados en la periferia. Son muy sensibles a la luz y al movimiento, y casi insensibles al color. De ahí que la misión de los bastones sea la de percibir la mayor o menor claridad con que están iluminados los objetos (Fig. 2).

i) **Mácula:** Mancha amarilla situada en el polo posterior de la retina, sobre el eje óptico, donde se produce la fijación nítida y precisa de detalles y colores. En su centro se encuentra la fovea, que sólo está formada por conos.

j) **Punto ciego:** Punto de la retina por donde el nervio óptico conduce las imágenes o sensaciones de luz al cerebro. En este punto no hay fotorreceptores.

Figura 2. Parte fotosensible del ojo. Actuación de bastoncillos y conos.



### ➤ Formación de imágenes

El campo visual del hombre está limitado por un ángulo de unos 130° en sentido vertical y de unos 180° en sentido horizontal.

En realidad, para poder "ver" una escena cualquiera, basta con que exista una fuente emisora de radiación electromagnética que "ilumine" la escena; un dispositivo receptor que capte la radiación reflejada por los objetos y un "procesador" que interprete los resultados.

En el anterior párrafo se han omitido intencionadamente las palabras "luz" (radiación electromagnética), "ojo" (dispositivo receptor) y "cerebro" (procesador).

En efecto, podemos "ver" perfectamente un objeto en la más absoluta oscuridad sin más que "iluminarlo" con una fuente emisora de ondas de radio y disponiendo de un sistema que capte las ondas reflejadas en el objeto. La interpretación final de estos datos para "dar forma" al objeto podría realizarla un ordenador.

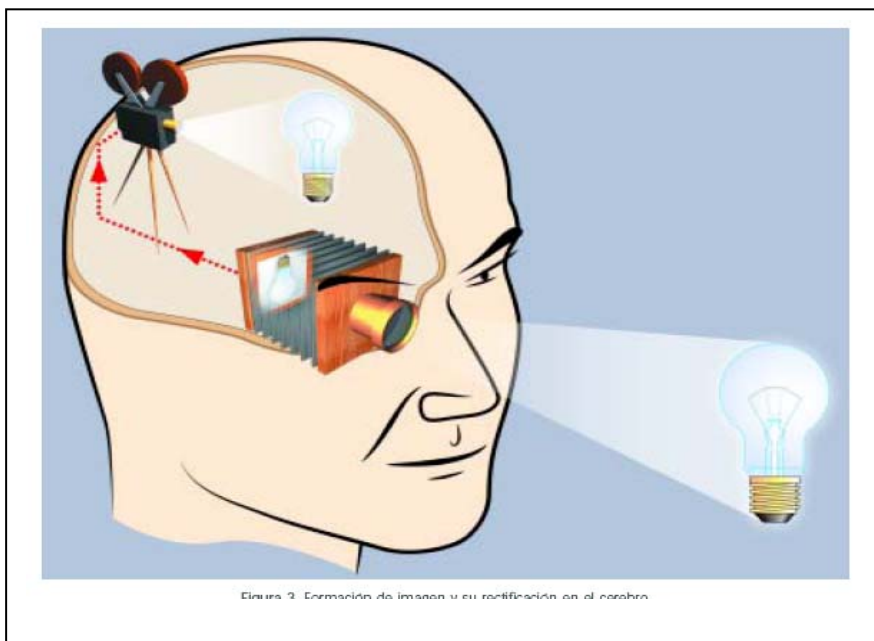
Cuando contemplamos la hierba, lo único que sucede es que la radiación solar (que contiene multitud de ondas, incluyendo rayos X y rayos Gamma) es absorbida por la hierba y las **características eléctricas** del material constituyente de la hierba hacen que se re-emitan sólo aquellas ondas con longitudes de aproximadamente 550 nanómetros.

Estas entran dentro del rango detectable por nuestros fotorreceptores, por lo que al ser excitados enviarán información al cerebro. El cerebro (y sólo él) nos dirá que la radiación

recibida es "verde". El concepto "verde" no puede existir como propiedad física de la hierba. Si en vez de iluminar la hierba con luz solar se hubiera hecho con otra fuente de radiación, podríamos percibirla con un color distinto, por ejemplo "rojo" (de nuevo el concepto "rojo" sólo existiría en nuestro cerebro, no sería evidentemente una propiedad del material hierba).

De los objetos iluminados o con luz propia situados en el campo de visual parten rayos luminosos que atraviesan la córnea y el humor acuoso. El iris, mediante la abertura de la pupila, controla la cantidad de luz que se refracta a través del cristalino (que es un componente del ojo con forma biconvexa el cual constituye el objetivo del ojo) para incidir finalmente en la retina. Al pasar un rayo de luz de una sustancia transparente a otra, su trayectoria se desvía: este fenómeno se conoce con el nombre de refracción. La luz se *refracta* en el cristalino y se *proyecta* sobre la retina.

En la retina están las células visuales, por lo que se puede comparar a una película fotosensible (pigmento fotosensible de los fotorreceptores) La luz se transforma allí en impulsos eléctricos que el nervio óptico transmite al cerebro. Los nervios ópticos de la zona nasal de ambos ojos se entrecruzan antes de entrar en el encéfalo, formando el quiasma óptico, en cambio la zona temporal no se cruza, dejando en un lado del cerebro el sector nasal de un ojo y el temporal del otro. Luego se prolongan por las vías visuales hacia la zona media del cerebro y atravesando el tejido cerebral, alcanzan los centros visuales de los lóbulos occipitales. Se ignora que ocurre con exactitud después, pero los impulsos eléctricos se transforman en imágenes. La imagen llega invertida, mucho mas pequeñas que lo natural y deforme por las irregularidades del ojo a la retina, pero el cerebro la rectifica y podemos percibirla en su posición original.



El ojo humano tiene en la retina 2 tipos de sensores a la radiación electromagnética: los **Bastones** y los **Conos**.

Las células sensoriales de la retina reaccionan de forma distinta a la luz y los colores. Los bastones se activan en la oscuridad, y sólo permiten distinguir el negro, el blanco y los distintos grises. Los conos, en cambio funcionan de día y en ambientes iluminados, por lo que hacen posible la visión en los colores. Los conos están concentrados en el centro de la retina mientras que la frecuencia de los bastones aumenta a medida que nos alejamos de la mácula lútea hacia la periferia. Cada Cono (célula) está conectado individualmente con el centro visual del cerebro, lo que en la práctica permite distinguir a una distancia de 10 metros dos puntos luminosos separados por sólo un milímetro.

Los *bastones*, de los cuales poseemos más de 100 millones, son células que sólo detectan el número de fotones (cuantos de luz) que llegan a ellas, independientemente de la longitud de onda de la radiación (siempre que ésta se encuentre dentro del rango en que son sensibles, es decir, 380 a 760 nanómetros). Con ellas podemos ver detalle muy fino, debido al elevado número de *detectores*, y además, son muy sensibles, por lo que podemos discernir entre variaciones muy pequeñas de intensidad.

Sin embargo, está claro que con estas células sólo obtenemos imágenes "en Blanco y Negro", dada su incapacidad para diferenciar distintas longitudes de onda.

Este es el único tipo de fotorreceptor que se encuentra en la mayoría de los animales, a causa de lo cual sólo pueden percibir el mundo que les rodea en blanco y negro.

Los *conos*, que no llegan a 7 millones, son por su parte células sensoras mucho más especializadas que sólo aparecen en el ojo del hombre y los primates. De la misma forma que los bastones, únicamente detectan el número de fotones que llegan a ellas; pero este número detectado es diferente según la longitud de onda de la radiación. A los especialistas en la materia les gusta decir que los conos son *ciegos al color*, queriendo con ello subrayar que ni siquiera estas células especializadas son capaces de distinguir longitudes de onda diferentes. La información captada por los conos necesita ser **post-procesada** para *deducir* la longitud de onda que las excitó. Esta deducción es materia exclusiva del cerebro, por lo que aquí merece la pena volver a recalcar que es el cerebro y sólo él, el que consigue descifrar la composición espectral (proporción de cada longitud de onda) de la radiación recibida por los fotorreceptores. Como veremos más adelante, tampoco esto es cierto: en realidad el cerebro genera sensaciones especiales para unos pocos pigmentos o tintas a los que "adorna" con cualidades como "brillo" o "saturación".

Pero veamos algo más sobre los conos y su funcionamiento: Existen 3 tipos de conos, los cuales suelen denominarse *L*, *M* y *S*, que corresponden en inglés a las iniciales de Long, Medium y Short. Esto no se refiere al tamaño de los conos, sino a la *longitud de onda* en la cual poseen máxima sensibilidad.

Los *conos L*, aunque son sensibles a todas las longitudes de onda en el rango 380-760 nanómetros, presentan máxima respuesta (captan más fotones) cuando son excitados por radiación de 560 nanómetros, decreciendo esta respuesta para longitudes de onda menores o mayores.

Dado que si una fuente de radiación emite a 560 nm. Nuestro cerebro (tras el post-proceso) la describiría como "roja", a veces; pero de forma muy inapropiada, a los *conos L* se les denomina conos "rojos". Por su parte, los *conos M* poseen máxima sensibilidad a las longitudes de onda en torno a 530 nm, radiación que el cerebro describe como "verde", por lo que también se les llama "conos verdes". Finalmente, los *conos S* tienen respuesta máxima a 420 nm., luz que se nos presenta como azul y de ahí su denominación de "conos azules".

Otra cuestión importante, sobre todo a nivel de aplicaciones, es la del porcentaje y distribución en la retina de los 3 tipos de conos: alrededor del 60% son *rojos*, el 30% *verdes* y sólo el 10% *azules*. Para complicar más las cosas, además su distribución no es uniforme.

Como puede verse (valga la expresión), el sistema fotorreceptor del ojo es bastante complejo, con lo cual no es de extrañar que la información captada por los conos (número de fotones) deba ser convenientemente post-procesada.

Este post-proceso constituye lo que se denominan *mecanismos de 2º nivel* y ocurre exclusivamente a nivel cerebral, lo cual redundará una vez más en la afirmación de que los ojos, o los conos, no pueden ver ni detectar el color: el color es un invento del cerebro. No hay que olvidar que la retina posee, en proporción 15:1, otro tipo de células, los *bastones*, mucho más sensibles que los conos, y que aportan información espacial muy precisa al ser capaces de

distinguir entre puntos muy cercanos de la escena que miramos simplemente porque reflejan intensidades ligeramente distintas.

Para entendernos, nuestra retina obtiene una imagen en blanco y negro de muy alta resolución a la cual superpone otra imagen en color de bastante menor resolución.

En la tabla siguiente se hace un simil con la cámara fotográfica.

Ojo humano	Camara fotografica
Cristalino (controla acomodación)	Objetivo (ajusta distancia entre objetivo y película)
Pupila (controla adaptación)	Diafragma - obturador (adapta exposición y cantidad de luz)
Pigmento de los fotorreceptores	Emulsión de la película
Retina (crea las imágenes)	Película (crea las imágenes)

Tabla 1

### Bibliografía:

- ❖ Física 2000
- ❖ [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos\\_informaticos/concurso1998/1premio/index.htm](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/concurso1998/1premio/index.htm)
- ❖ [http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Fisica\\_interactiva.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Fisica_interactiva.htm)
- ❖ <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=133072>