

# LA LUZ



*"En el principio creó Dios los cielos y la tierra. Y la tierra estaba desordenada y vacía, y las tinieblas moraban sobre la faz del abismo, y el espíritu de Dios se movía sobre las aguas. Y dijo Dios: Haya luz; y hubo luz. Y Dios vio que la luz era buena; y apartó Dios la luz de las tinieblas. Y llamó Dios a la luz día, y a las tinieblas llamó noche. Y fue la tarde y la mañana del primer día"*

**(Libro de Génesis, Capítulo 1)**

Se llama luz (del latín *lux, lucis*) a la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. En física, el término Luz se usa en un sentido más amplio e incluye todo el campo de la radiación conocido como espectro electromagnético, mientras que la expresión *luz* visible señala específicamente la radiación en el espectro visible. El estudio de la luz revela una serie de características y efectos al interactuar con la materia, que permiten desarrollar algunas teorías sobre su naturaleza. La luz es una radiación emitida por una fuente o reflejada por una superficie y que origina una sensación visual. El estudio de la luz ha atraído la atención de muchos hombres de ciencia de todas las épocas, quienes no han podido escapar al interés por conocer su naturaleza, su modo de propagarse, su velocidad, el mecanismo por el que se origina, su forma de interactuar con la materia, la visión, etc.



De todas las interrogantes que pueden plantearse, esta unidad desarrolla actividades cuyo objetivo general es proporcionar algunos antecedentes para responder a la pregunta: ¿Cómo se comporta la luz durante su propagación? La luz viaja de un lugar a otro siguiendo un determinado esquema de comportamiento. Existen fenómenos los cuales se logran explicar mediante un conjunto de leyes, ejemplos de estos fenómenos son la Reflexión, la Refracción, la Difracción, la Interferencia, entre otros. ¿Cuáles son esas leyes que permiten explicar los eclipses, el arco iris, el funcionamiento de la cámara fotográfica?

La óptica es una rama de la Física que estudia los fenómenos que impresionan nuestro sentido visual y que reciben el nombre de fenómenos luminosos.

En especial la óptica tiene por objeto estudiar la luz, visión de objetos, colores de los cuerpos y construir aparatos tales como microscopios, telescopios, anteojos astronómicos, etc. que permitan observar cuerpos que a simple vista no son visibles por un observador.

## NATURALEZA DE LA LUZ

Desde tiempos inmemoriales los seres humanos se preguntaban, ¿qué será la luz? ¿Por qué vemos los objetos que nos rodean? ¿Cómo vemos esos objetos? ¿Cuándo no podemos verlos? ¿Por qué vemos diversos colores?

Algunos Individuos se interesaron por averiguar acerca de esas interrogantes y fue así como por ejemplo, Platón suponía que de nuestros ojos eran emitidas pequeñas partículas que al chocar contra los objetos los hacían visibles.

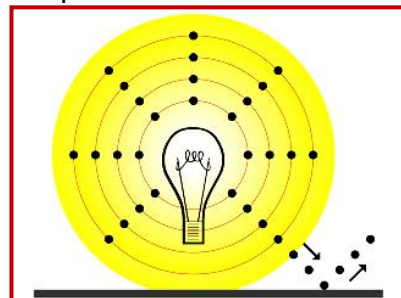
Aristóteles consideraba a la luz como "algo" material que había en el espacio entre el ojo de un ser y el objeto que se veía.

### TEORÍA CORPUSCULAR



Sir Isaac Newton trató de interpretar los fenómenos luminosos basado en principios de la mecánica clásica, cuyas bases él mismo estableció. De esa manera, supuso que la luz estaba formada por unas partículas (que llamó "corpúsculos") emitidas por los cuerpos luminosos: "La luz está formada por pequeños corpúsculos que salen del cuerpo luminoso y que al llegar a otro cuerpo se reflejan (rebotan) para luego viajar al ojo, permitiendo así la observación de los objetos". Por tanto, la reflexión de la luz quedaría explicada como el "rebote" de estos corpúsculos sobre las superficies de los materiales.

Newton supuso que habría tantas clases de corpúsculos como colores en las luces comúnmente observadas. Gracias al respaldo del científico inglés, quien gozaba de gran prestigio en la sociedad científica de aquel tiempo, esta "teoría corpuscular de la luz" prevaleció y fue generalmente aceptada hasta la mitad del siglo XVII, aunque dicha teoría, acerca de la naturaleza de la luz, logra explicar la propagación rectilínea de la luz y algunos fenómenos luminosos como la reflexión, la refracción, la presión luminosa, etc., pero no lograba explicar otros, por lo cual en parte, fue desechada.



### TEORÍA ONDULATORIA

**"La luz está formada por ondas similares a las ondas del sonido, es decir ondas longitudinales".**



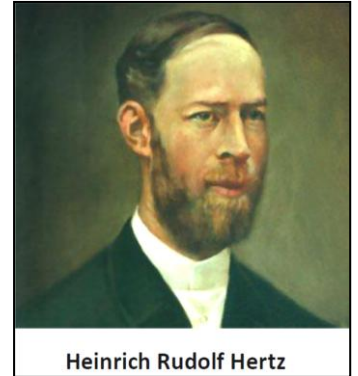
Anteriormente a Newton, el físico holandés Cristian Huygens había dado a conocer una teoría para tratar de explicar la naturaleza de la luz. Fue la que conocemos como teoría ondulatoria de Huyghens, en la cual se considera a la luz formada por vibraciones transversales producidas en una sustancia, propagándose con una rapidez de  $3 \times 10^8$  (m/s). Aun cuando esta hipótesis explicaba muchísimos fenómenos luminosos como la interferencia, difracción, polarización de la luz, etc. Esta hipótesis fue criticada encontrándosele muchas objeciones, por lo cual también en parte, se le descartó. Ambos científicos, Newton y Huygens, contaban con pruebas a favor y en contra de sus teorías. A finales del siglo XIX se sabía ya que la velocidad de la luz en el agua era menor que la velocidad de la luz en el aire contrariamente a las hipótesis de la teoría corpuscular de Newton.



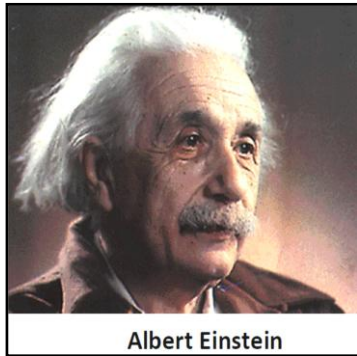
James Clerk Maxwell

La teoría ondulatoria fue confirmada hacia la mitad del siglo XIX, y a finales de este siglo MAXWELL establece que la luz es una onda electromagnética y logra integrar las teorías de la electricidad, el magnetismo y la óptica, lo que pareció que podía terminar con el debate histórico sobre la naturaleza de la luz.

No hubo que esperar mucho para que ese debate se reabriera. Mientras Hertz trabajaba en el experimento que produjo y detectó por primera vez ondas electromagnéticas, se observó el efecto fotoeléctrico, para cuya explicación EINSTEIN necesitó volver al modelo corpuscular de la luz. Sólo a comienzos del siglo XX se llegó a tener más claridad con respecto a la naturaleza de la luz, cuando Albert Einstein propuso que la luz es un "campo electromagnético" que se propaga en el vacío con una velocidad finita, El planteó una versión moderna de la teoría corpuscular de la luz, diciendo que la luz está formada por pequeños paquetes de energía luminosa, que llamó "cuantos de luz" y actualmente "Fotones".

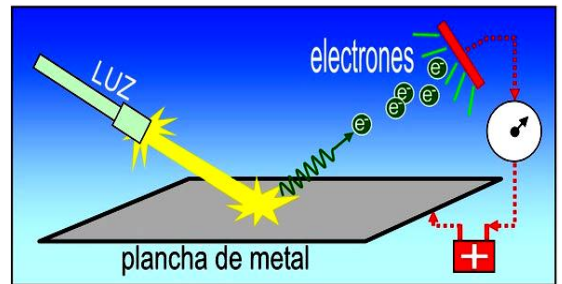


Heinrich Rudolf Hertz



Albert Einstein

El estudio de fenómenos como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y los espectros atómicos puso de manifiesto la impotencia de la teoría ondulatoria para explicarlos. En 1905, basándose en la teoría cuántica de Planck, Einstein explicó el efecto fotoeléctrico por medio de corpúsculos de luz que él llamó fotones. Bohr en 1912 explicó el espectro de emisión del átomo de hidrógeno, utilizando los fotones, y Compton en 1922 el efecto que lleva su nombre apoyándose en la teoría corpuscular de la luz.



de manifiesto la impotencia de la teoría ondulatoria para explicarlos. En 1905, basándose en la teoría cuántica de Planck, Einstein explicó el efecto fotoeléctrico por medio de corpúsculos de luz que él llamó fotones. Bohr en 1912 explicó el espectro de emisión del átomo de hidrógeno, utilizando los fotones, y Compton en 1922 el efecto que lleva su nombre apoyándose en la teoría corpuscular de la luz.



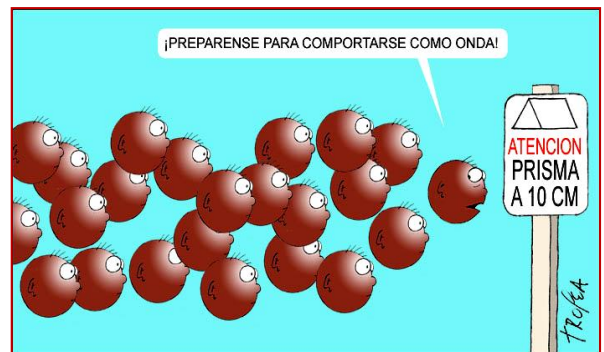
La luz como un fenómeno ondulatorio

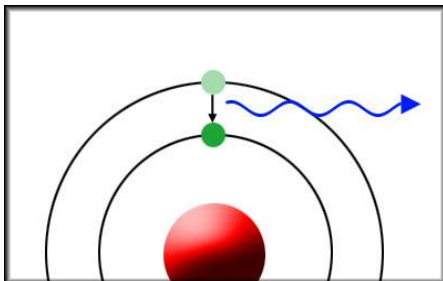
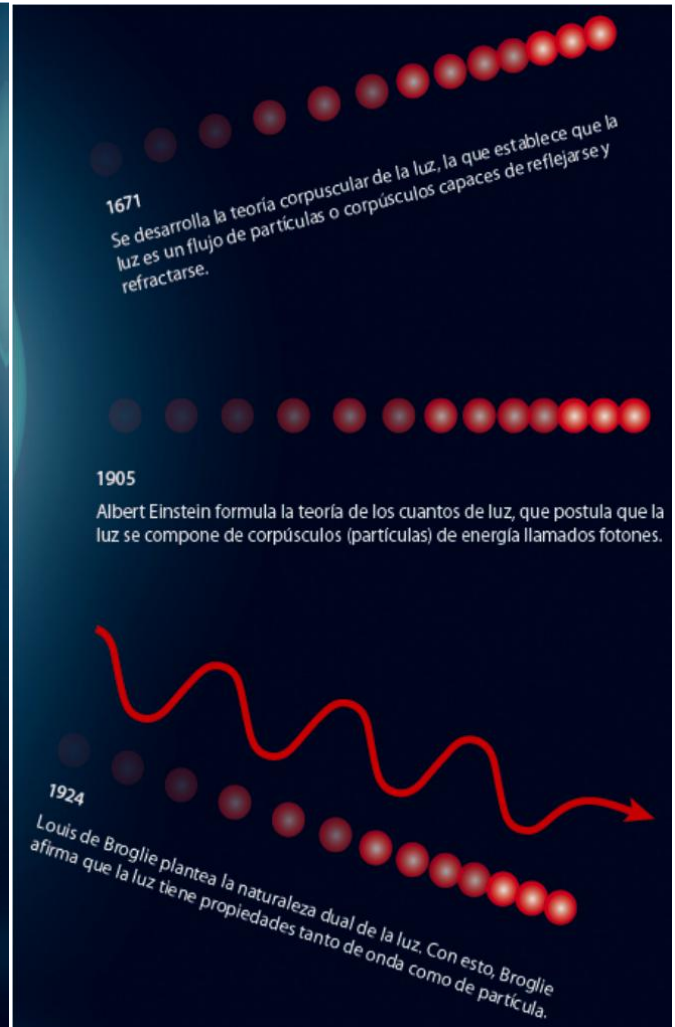
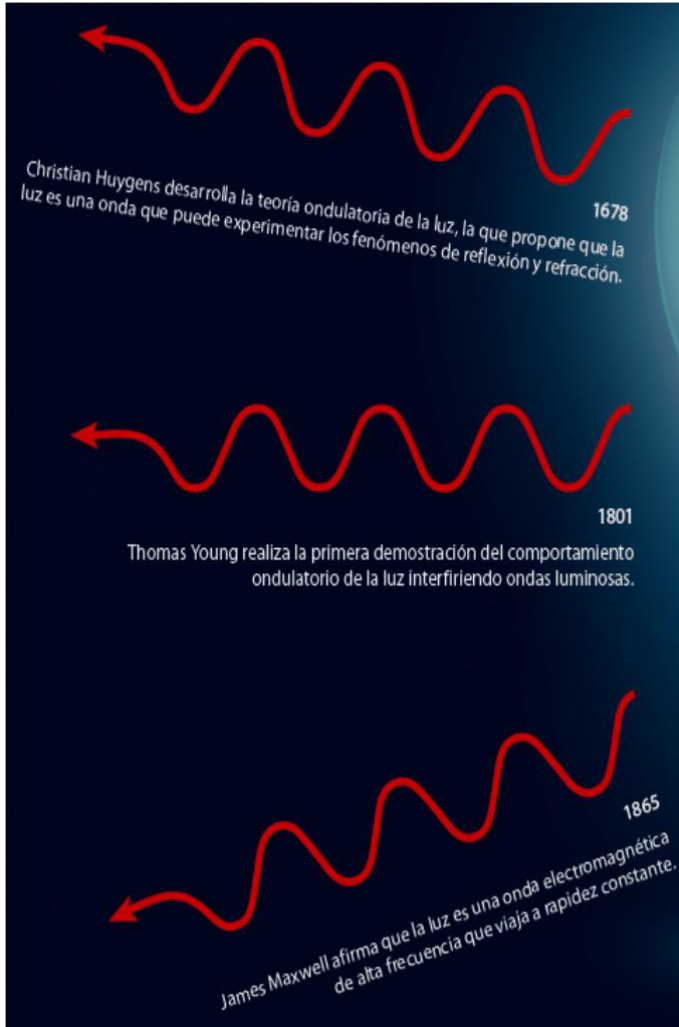
La luz como un haz de fotones

Apareció un grave estado de incomodidad al encontrar que la luz se comporta como onda electromagnética en los fenómenos de propagación, interferencias y difracción y como corpúsculo en la interacción con la materia.

Hoy día se acepta para explicar la naturaleza de la luz, ambas teorías, es decir, que la luz presenta un doble aspecto: **Corpuscular** (Newton) y **Ondulatoria** (Huygens).

La luz presenta aspecto corpuscular cuando es emitida por un cuerpo y absorbida por otro, en tanto que presenta aspecto ondulatorio mientras se propaga, ya que lo hace mediante un sistema doble de ondas transversales, una ligada al campo eléctrico y otra al campo magnético, estas dos ondas oscilan en planos perpendiculares, el conjunto formada por estas dos ondas dan origen a las ondas electromagnéticas.





En la teoría moderna o cuántica de la luz, el "quantum" energético que es emitido por un átomo se llama "**fotón**" y corresponde a la energía emitida, esta energía toma valores diferentes y discretos, dependiendo del estado de excitación de los electrones del átomo.

**En la figura se muestra la liberación de energía de parte del electrón y la emisión de la energía en un fotón.**

No hay por qué aferrarse a la idea de incompatibilidad entre las ondas y los corpúsculos, se trata de dos aspectos diferentes de la misma cuestión que no solo no se excluyen, sino que se complementan.

## LA FÍSICA DEL COLOR

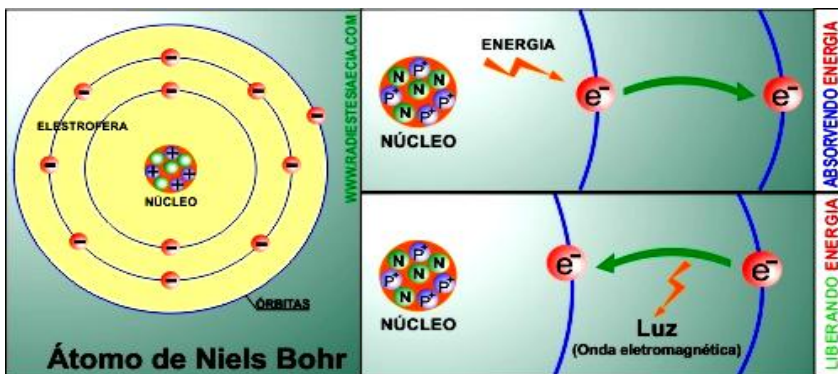
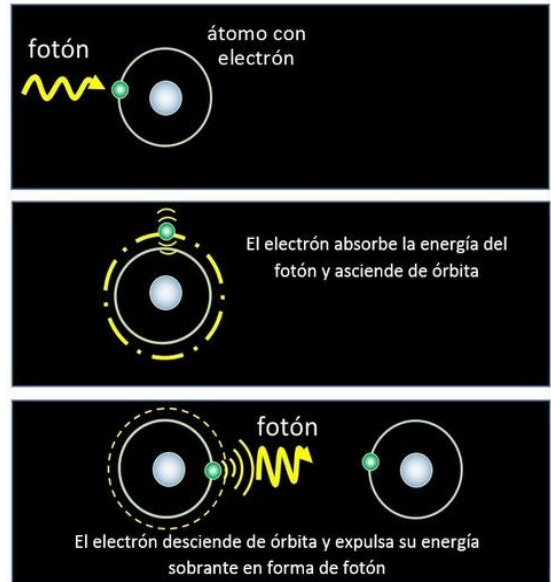
Sin lugar una de los aspectos llamativo de la luz como onda, es su relación con fenómenos asociados al color. ¿Pero qué es el color?, ¿cuál es su fundamento Físico?

Cuando un cuerpo está expuesto a la luz presenta un determinado color, pero en la oscuridad no se percibe color, excepto el negro. Es decir, el color se fundamenta en la interacción entre materia y radiación. En este aspecto se debe señalar que la materia está compuesta por átomos, los cuales están constan de un núcleo y a su alrededor giran electrones.

Los electrones son los encargados de otorgar color a las cosas. Para tal efecto se necesita de energía, en este caso la luminosa, mediante fotones.

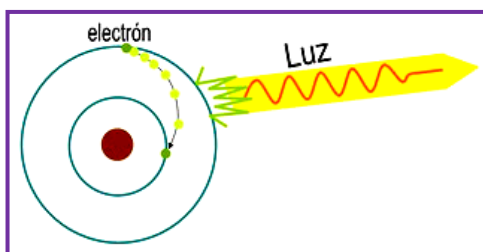
Cuando el fotón choca contra el electrón en su órbita estable, le suministra una energía que hace que salte a otra órbita. Pero no puede ser cualquier órbita, tiene que ser una que cumpla el segundo postulado de Bohr, es decir esté cuantizada.

El electrón en la nueva órbita no puede permanecer para siempre si no se le sigue suministrando energía, por lo tanto volverá a saltar a su órbita inicial. El problema es que la órbita inicial tenía menos energía que la final, por lo que para volver a esa órbita tiene que desprenderse de la energía sobrante para ello emite un nuevo fotón cuya energía es la diferencia de las energías de las órbitas inicial y final. Ese nuevo fotón tendrá una longitud de onda que depende de la energía y por lo tanto tendrá un color determinado.



Es precisamente ese fotón el que llega a los ojos y hace que ver las cosas de un cierto color. Ese color depende de la diferencia de energía entre las órbitas entre la que saltó el electrón. Los fotones pueden provenir de la luz del Sol, de ampolletas, de un fuego encendido, entre otros. Es por eso que en la oscuridad no se observa el color de las cosas,

porque al no haber luz, no hay fotones que hagan saltar al electrón de su órbita (En estricto rigor pueden haber fotones llegando continuamente e incidiendo sobre los electrones, sólo que no tienen la energía suficiente como para hacer que el electrón salte a una órbita que haga que emita otro fotón de un color.

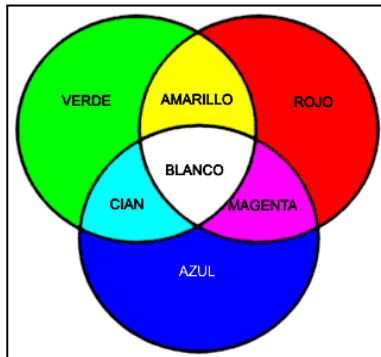


Por lo tanto los fotones tienen una determinada energía que depende de su longitud de onda, es decir del color de la luz. Si la luz tiene poca energía, su longitud de onda estará cerca del color rojo y si tiene mucha energía, su longitud de onda estará cerca del color azul. O sea, desde el punto de vista de la Física se debe señalar que el color de los cuerpos no es una propiedad intrínseca de ellos, sino que depende de la naturaleza de la luz que reciben.

Los colores se pueden clasificar en:

## - COLORES PRIMARIOS ADITIVOS

Si utilizamos solo fuentes de luz de color, cada color de luz contiene una mezcla de longitudes de onda, las cuales son percibidas por el ojo como información de color; la mezcla de todas las longitudes de onda da como resultado el blanco.



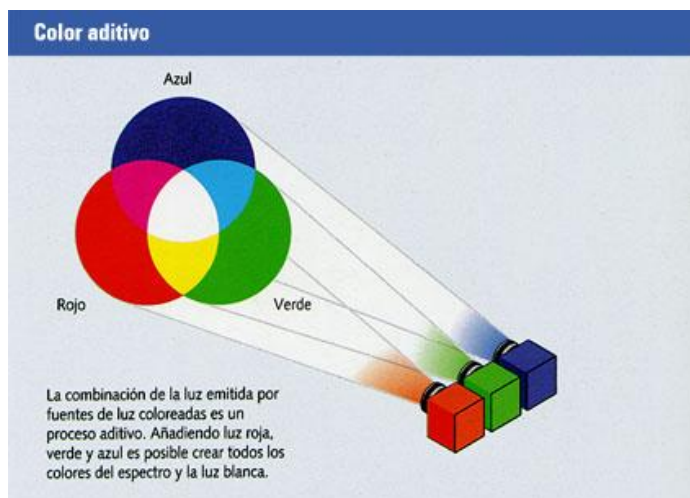
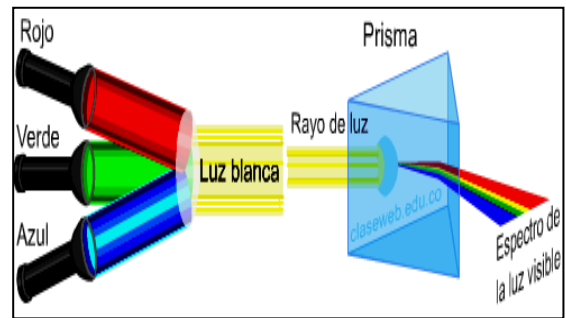
Este modelo, consistente en la adición de longitudes de onda para obtener colores, se conoce como modelo aditivo de color.

El trío de colores, rojo - verde - azul, se considera idealmente como el conjunto de colores primarios de la luz, ya que con ellos se puede representar una gama muy amplia de colores visibles; la mezcla de los tres en iguales intensidades (adición)

resulta en grises claros, que tienden idealmente al blanco.

En la síntesis aditiva, la mezcla de los colores primarios ideales da los siguientes resultados:

- Verde + azul = Cian
- Rojo + azul = Magenta
- Rojo + verde = Amarillo
- Rojo + azul + verde = Blanco



Los colores primarios aditivos son los tres colores de la luz (rojo, verde y azul), que producen todos los colores del espectro visible al unirse en distintas combinaciones. Al sumar partes iguales de rojo, azul y verde, se obtiene el color blanco. La total ausencia de rojo, azul y verde da como resultado el color negro. Los monitores de ordenador son dispositivos que emplean colores primarios aditivos para crear color.

## - COLORES PRIMARIOS SUSTRATIVOS

Casi todos los objetos deben su color a los pigmentos o pinturas, que absorben determinadas longitudes de onda de la luz blanca y reflejan el resto, de manera que lo que nos llega a nosotros es el conjunto de longitudes de onda que han sido reflejadas y son éstas las que producen la sensación de color, que se denomina color pigmento. Los colores pigmento que absorben la luz de los colores primarios aditivos se llaman colores primarios sustractivos.

Entonces, si se mezclan pigmentos, se trata de una mezcla sustractiva ya que con cada pigmento que se añade lo que hacemos es absorber más partes del espectro; es decir, más colores primarios, y el resultado final será la ausencia de luz: el negro.

Así, el magenta, el cian y el amarillo son colores pigmento, su fusión da el negro. Son los colores utilizados en la imprenta, las tintas y el papel. Su mezcla se llama síntesis sustractiva y es común en todos los sistemas de impresión, pinturas, tintes y colorantes.

En la síntesis sustractiva, los tres colores primarios son cian - magenta - amarillo, su mezcla en partes iguales (sustracción) da origen a tonalidades grises oscuras, las cuales tienden -en el modelo ideal- al negro.

La mezcla de estos colores primarios da los siguientes resultados ideales en la síntesis sustractiva:

- Magenta + amarillo = Rojo
- Cian + amarillo = Verde
- Cian + magenta = Azul
- Cian + magenta + amarillo = Negro
- 

Los colores primarios sustractivos son pigmentos que crean un espectro de colores en diferentes combinaciones. A diferencia de los monitores, las impresoras emplean colores primarios sustractivos (pigmentos cian, magenta, amarillos y negros) para producir los colores mediante mezclas sustractivas. Se usa el término "sustractivo" porque los colores primarios son puros hasta que se empiezan a mezclar entre ellos; el resultado son unos colores que son versiones menos puras de los primarios. Por ejemplo, el color naranja se crea mediante la mezcla sustractiva de magenta y amarillo.

En el caso de los pigmentos usados en las pinturas, rotuladores, etc. se utilizan como colores básicos para realizar las mezclas el amarillo, el magenta y el cian.

El pigmento cian tiene ese color porque absorbe toda la radiación roja y refleja la verde y la azul. El pigmento amarillo absorbe todo el azul y refleja el rojo y el verde.

Si mezclamos cian y amarillo el color resultante refleja el doble de verde que de rojo o azul y por lo tanto se ve verde. Si a esta mezcla le añadimos el magenta, que absorbe todo el verde, el resultado será el negro.

Todos los procedimientos para imprimir colores sobre una superficie como papel, fotos, etc. se basan en la mezcla sustractiva.

## ¿POR QUÉ PERCIBIMOS LOS OBJETOS DE DIFERENTES COLORES?



Una de las características más llamativas de la luz, es la rica y variada gama de colores que podemos percibir en nuestro entorno. Los colores de todos los cuerpos de la naturaleza se deben sencillamente al hecho de que reflejan la luz de cierto color en mayor cantidad que la de otros colores.

Esto significa que un cuerpo opaco verde iluminado con luz blanca, se ve de tal color porque absorbe gran parte de los demás colores que constituyen la luz blanca, y refleja preferentemente la luz verde. De esta forma, la mayor parte de las veces percibimos el color por Reflexión. Cuando un cuerpo refleja todos los colores lo

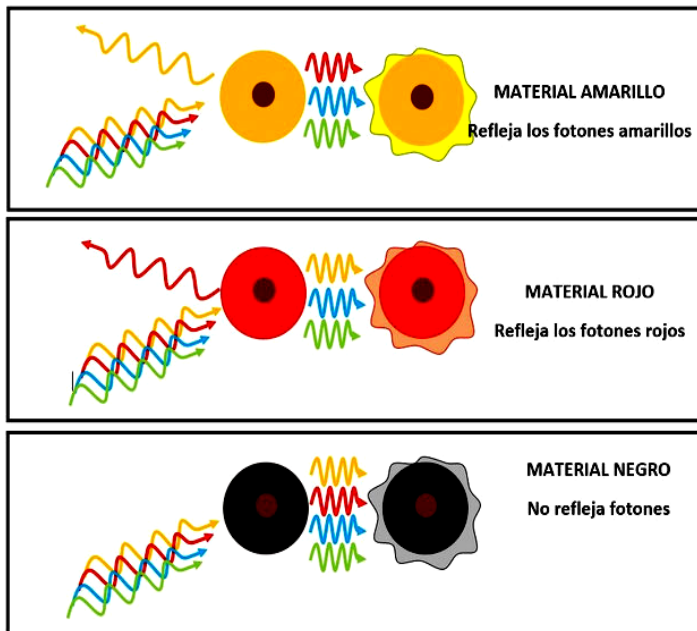
vemos "blanco" y si no refleja ninguno lo vemos "negro".

## COLOR POR TRANSMISIÓN

Decimos que un objeto tiene un color cuando, con preferencia, refleja o transmite las radiaciones correspondientes a tal color. Por ejemplo, un cuerpo es rojo por reflexión o transparencia cuando absorbe en casi su totalidad, todas las radiaciones menos las rojas, las cuales refleja o se deja atravesar por ellas.

El color de los cuerpos no es una propiedad intrínseca de ellos, sino que va ligado a la naturaleza de la luz que reciben.

La luz blanca es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda diferentes, que se extienden desde la luz roja, que tiene la longitud de onda más larga hasta la luz violeta,



que tiene la longitud de onda más corta. Un trozo de vidrio rojo se ve rojo porque absorbe todos los colores que componen la luz blanca excepto el rojo, el cual transmite. Análogamente, un trozo de vidrio azul se ve azul porque transmite principalmente el azul y absorbe los otros colores que lo iluminan. El material en el vidrio que absorbe selectivamente la luz de distintos colores se conoce como pigmento.

Como se ha comentado, los colores de las cosas que vemos mediante la luz reflejada dependen del tipo de luz que cae sobre ellas y también depende de la naturaleza de sus superficies. Si una superficie refleja toda la luz que cae sobre ella, el color de la superficie será blanco cuando lo ilumine la luz blanca, rojo cuando lo ilumine la luz roja y así sucesivamente. Una superficie

que refleja únicamente la luz verde, por ejemplo, se verá verde únicamente cuando la luz que está iluminándola contiene el color verde; si no es así, se verá negra. Una superficie que absorbe toda la luz que le llega, se verá de color negro.

En esta iluminación el Pigmento absorbe en gran parte a todos los colores, excepto al rojo. Los cuerpos elevan su temperatura debido a que absorben la energía de las frecuencias de ondas de los distintos colores.

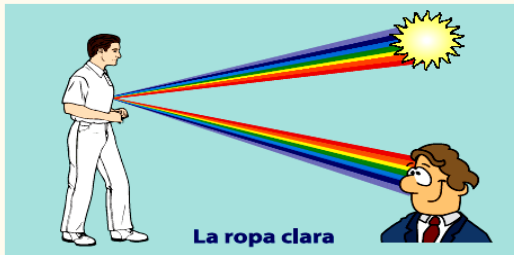
Una vasija que se ve verde al ser iluminada con luz blanca, se ve oscura cuando se la ilumina con luz roja.





## El color de las cosas

En el verano, se prefiere usar ropa clara y no oscura; en el invierno es preferible usar ropa oscura ya que el frío se hace menos intenso.



En una prenda blanca, los rayos que llegan del Sol se reflejan en un 100%, llegando al observador todos los rayos; la combinación de los siete colores nos dará el "blanco".

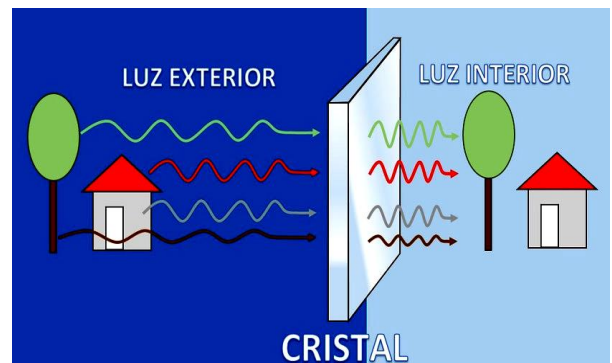


En una prenda negra, los rayos que del Sol son absorbidos en un 100% por la ropa; el observador sólo verá la vecindad, motivo por el cual notará la prenda oscura (negra).

## ¿Por qué los vidrios de ventana son transparentes?

Respuesta: Porque no transmiten colores.

Lo que sucede que la luz que incide sobre un material transparente y plano, como el cristal de una ventana, atraviesa el material átomo a átomo y sale por el extremo opuesto con idéntica frecuencia y longitud de onda que antes de llegar a él. Cada fotón de un determinado color es reflejado en el extremo opuesto con ese mismo color, ya que los materiales transparentes emiten fotones de idéntica frecuencia a los que absorben y además, cuando el cristal tiene sus caras paralelas, pero perpendiculares a la luz incidente, los rayos lo atraviesan sin cambios de dirección.



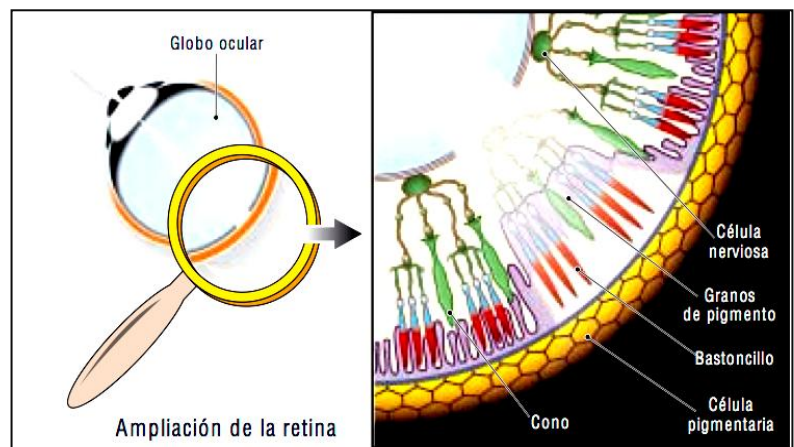
## LA VISIÓN CROMÁTICA EN LOS ANIMALES

La parte trasera del ojo está cubierta por la retina, que contiene los sensores de luz que están conectados a través del nervio óptico con el cerebro. En el centro de la retina está la Fovea.

La Retina contiene dos tipos de células diferentes: los Bastones y los Conos.

La vista de algunos animales abarca longitudes de onda que sobrepasan ligeramente el espectro visible para los seres humanos, pero se encuentra dentro de los límites generales, por ejemplo, las abejas son sensibles a la luz ultravioleta que no es percibida por el ojo humano.

No todas las especies animales ven de la misma forma. Ello depende, entre otros factores de la complejidad del sistema visual, lo cual se ha ido desarrollando durante los procesos evolutivos.



De acuerdo con la estructura que existe a nivel de la retina ocular, tanto en los animales como en el hombre, existen dos tipos de células especializadas en la fotorrecepción: los conos y los bastones, los cuales contienen fotopigmentos que producen energía química ante la exposición de la luz. Dicha energía se transmite a través de la vía óptica hasta la corteza visual para ser interpretada. Ya que los fotorreceptores tienen funciones diferentes, los pigmentos de cada uno también son diferentes y varían entre las especies.

Los conos son los que poseen los pigmentos que son sensibles selectivamente a las diferentes longitudes de onda que tiene cada color (el rojo, el verde y el azul que constituyen los colores primarios). Cada uno de estos pigmentos absorbe un rango de longitud de onda que tiene un peak de absorción (absorción máxima) que es particular. De la mezcla o superposición entre ellos resultan las distintas gamas de colores. La estimulación completa de todos los conos da la sensación del blanco.

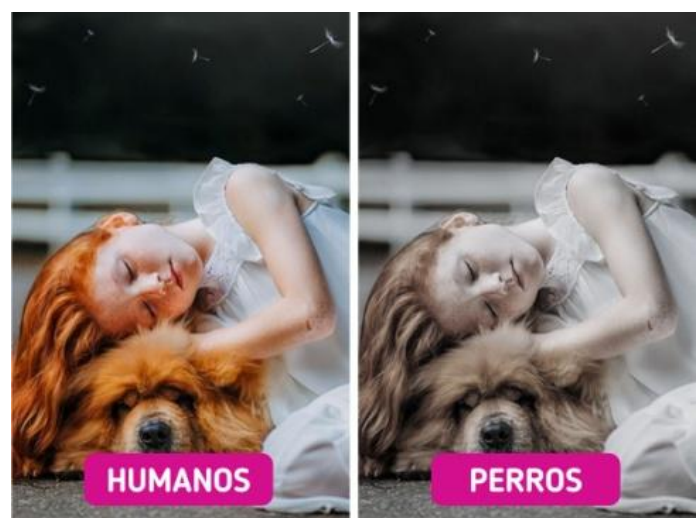
En dependencia del número de pigmentos visuales que posea la especie, su visión se clasifica como:

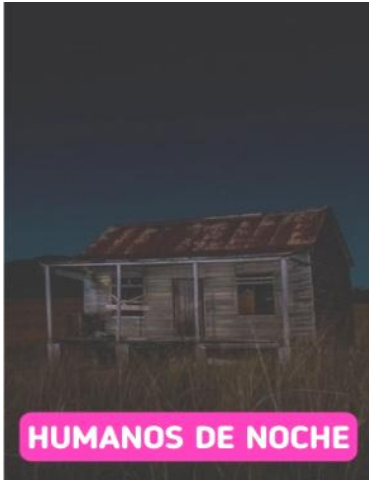
- Monocromática: 1 tipo de cono. Ej.: Mapaches y salamandras
- Dicromática: 2 tipos de conos. Incluye la inmensa mayoría de los animales.
- Tricromática: 3 tipos de conos. Es el caso del hombre y los primates.
- Tetracromática: 4 o más conos. Entre los que están las aves, reptiles y peces. Ven el ultravioleta.

Se ha demostrado que la retina humana y la de los animales diurnos está conformada por una mayor cantidad de conos que de bastones. Algunos poseen los llamados conos dobles que les permiten ver más colores, como sucede en las lagartijas. En los animales nocturnos, por el contrario, predominarán los bastones, lo cual les permite ver con mayor claridad y divisar los matices del gris durante la noche, pero en sentido general perciben muy pocos colores.

Aunque los animales no lo distinguen todos los colores, se puede afirmar que los animales ven los colores.

- Los perros no ven el rojo y el verde, un objeto que para un humano tiene esas tonalidades, el perro lo verá amarillo o dentro de la gama de los grises respectivamente. Lo que parece rojo para el ser humano absolutamente oscuro para los perros.





- Los gatos tienen más bastones que conos, y los bastones captan mucha más luminosidad, pero se saturan cuando hay demasiada luz, y no son sensibles al color. Esa es la razón por la que los gatos ven mucho mejor en la oscuridad, pero también ven todo exageradamente claro (como si el mundo tuviera una película blanca) a plena luz del día. Se considera que los bastones y el resto de características del ojo del gato hace que capte seis veces más luz en la oscuridad que los seres humanos.



**Arriba, visión humana**



**Abajo, Visión felina**



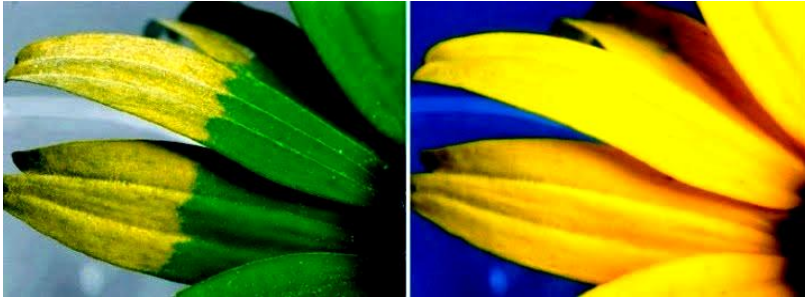
**Arriba, visión de la ardilla**



**Abajo, visión humana**

- Los hámsteres distinguen solamente el blanco y el negro. Las jicoteas tienen una vista bien desarrollada, pueden distinguir formas y colores, como el anaranjado del azul, el azul del verde y del gris. Las ardillas tienen sólo dos tipos de células fotosensibles, por eso ven menos colores que nosotros, posee también sólo dos tipos diferentes de conos. Su visión únicamente sirve para integrarse en su entorno, pero no para comunicación compleja. Para ello, se bastan con su muy desarrollado sentido del olfato.

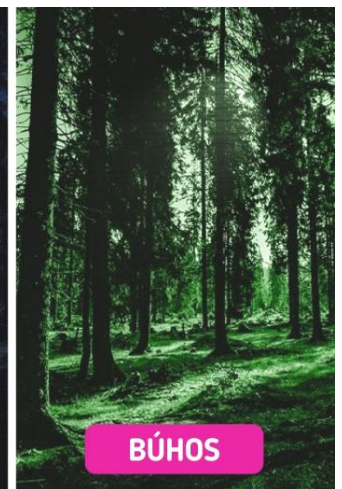
- Las abejas al igual que los humanos tienen un sistema visual basado en tres colores primarios pero se diferencian en que las abejas son ciegas al color rojo pero si ven parte del espectro que para nosotros resulta invisible. La visión humana es sensible al verde, azul y rojo y la abeja distingue verde, azul y ultravioleta. Con solo tres colores, ambos creamos una imagen de color completo.



**Izquierda, visión de las abejas Derecha, visión humana**



- Las aves, que emplean los colores para el reconocimiento sexual y la reproducción, ven en colores. Las que son de presa y las rapaces, en especial las águilas y los halcones, son las que tienen mejor sentido de la visión. La visión de las aves diurnas es de cuatro colores pudiendo ver algunos que no son visibles para otras especies, transitando la capacidad de ver colores desde el rojo, naranja, amarillo, verde, azul y sus tonos hasta incluir por último los colores reflejados por la luz ultravioleta radiada por el sol; mientras que las nocturnas como los búhos y las lechuzas solo ven en blanco y negro, no obstante tienen con una gran agudeza visual en horas crepusculares de poca iluminación, por tener un elevado número de bastones -células especializadas en este tipo de visión en la retina.



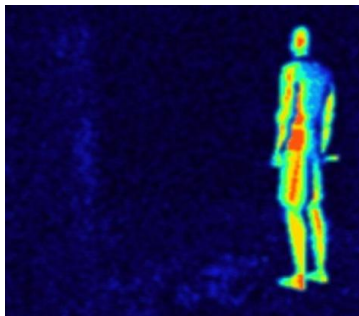
- Bovinos, ovinos y caprinos tienen visión dicromática, con conos de máxima sensibilidad a la luz amarillo-verdosa y azul-purpúreo. La mayoría de estas especies ven una gama completa de dos colores, por lo general toda la gama que va del verde al azul. La creencia difundida de que el toro se enfurece con el rojo del capote es incierta; lo que le llama la atención es el movimiento del mismo.

- En los peces la visión cromática depende de la profundidad o la turbulencia de las aguas. En ellos puede haber especies monocromáticas, dicromáticas -peces de aguas turbias-, tricromática -peces de arrecifes coralinos- y tetracromática -peces de agua cristalina dulce- que captan el ultravioleta. Sin embargo, los animales que viven en las profundidades

oceánicas, carecen de visión en colores, habiendo en ellos solamente bastones a nivel de la retina. Los pulpos no ven los colores, sólo poseen un tipo de cono y se necesitan dos como mínimo para distinguir los colores.

- Las mariposas poseen cuatro tipos diferentes de conos. Pueden ver una amplia gama de colores.

- El camarón mantis tiene por lo menos 12 clases de células sensibles al color y probablemente sea el animal que más colores perciba.



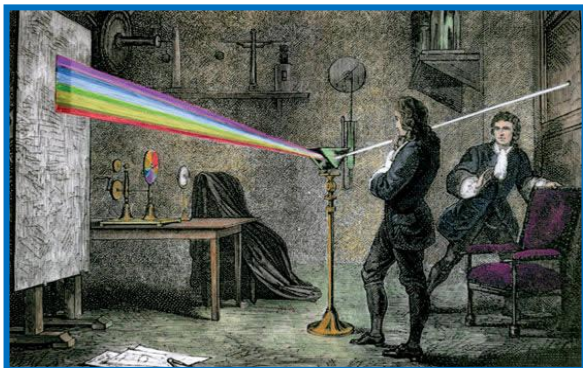
- Las serpientes tienen dos juegos de ojos. Uno de ellos son los ojos normales visibles, que detectan bastante bien el color. Simultáneamente tienen un segundo juego con el que son capaces de detectar el calor y ver los seres vivos gracias a su detector de infrarrojos. No hay manera de escapar de una serpiente una vez que te ha visto, ni siquiera escondiéndote detrás de una puerta. Por suerte, la mayoría de las serpientes son más proclives a escapar que a atacar.



**Lo que para los seres humanos son los colores habituales del mundo, los siete colores del arco iris y sus miles de mezclas, tonos y matices, no existe realmente en el mundo real, sino que es una interpretación particular de nuestros sentidos: la vista y el área del cerebro encargada de procesar los datos que esta recibe.**

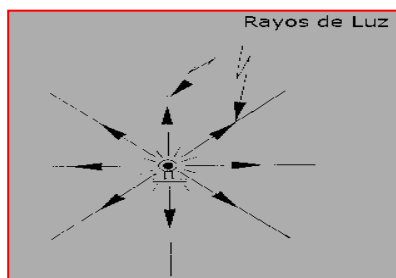
Una flor de un indiscutible amarillo intenso para el ojo humano es para una abeja un collage puntillista de blancos y púrpuras; para un gato, una forma en tonos verdosos (aunque repleta de información olfativa) y para un pájaro, una vibrante superficie de colores, incluyendo el rango ultravioleta, invisible para nosotros. **En definitiva, el mundo depende del color del ojo con que se mire.**

## PROPAGACIÓN DE LA LUZ



Al observar los cuerpos que nos rodean comprobamos que algunos de ellos emiten luz; es decir, son "fuentes de luz", como el Sol, una lámpara encendida, la llama de una vela, un trozo de acero incandescente, las estrellas, etc. Otros no son luminosos, pero pueden verse porque son iluminados por la luz que proviene de alguna fuente, es decir, reflejan la luz, como los planetas. Uno de los hechos que podemos observar fácilmente en relación con el comportamiento de la luz, es que cuando se transmite en un medio

homogéneo (aquellos en los cuales la densidad de la sustancia no varía), su "propagación es rectilínea". Esto puede comprobarse cuando la luz del Sol pasa por el orificio de una ventana y penetra en una habitación a oscuras. Esta propiedad de propagación rectilínea la luz es frecuentemente usada por las personas, generalmente sin saberlo. Es lo que hace cuando se quiere verificar, por medio de la visión, si el borde de una regla o una varilla es recto. Consideremos una fuente que emite luz en todas direcciones. Las direcciones en que se propaga pueden indicarse mediante rectas, como se indica en las figuras.



Dichas líneas se denominan "rayos de luz", los cuales permiten describir muchos fenómenos ópticos por medio de la geometría.

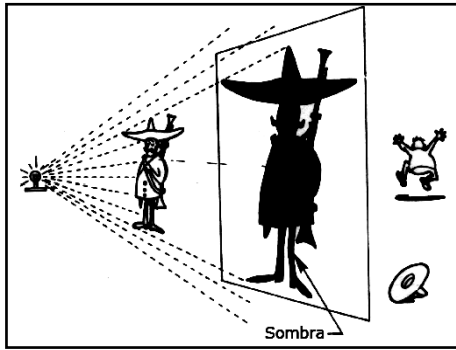
## SOMBRAS



Aprovechando la propagación rectilínea de la luz, se estudia el fenómeno de las sombras, el cual se produce cuando la luz que proviene de una fuente puntual o de una extrema se encuentra con un objeto opaco.

Para el caso de una fuente puntual, los rayos que emite la fuente luminosa, se interponen con el cuerpo opaco y se forma la sombra.





Una fuente luminosa pequeña y cercana o una fuente más grande y algo más alejada producen sombras nítidas. Sin embargo, la mayoría de las sombras son borrosas. En general, constan de una parte interior oscura y borde más claros. La

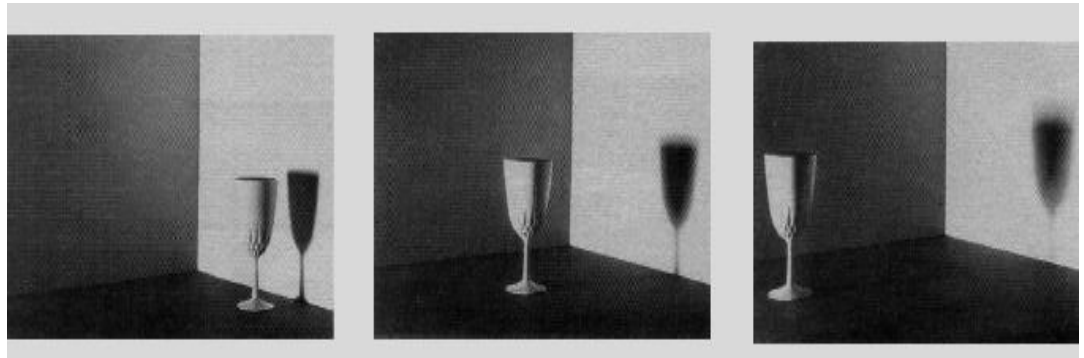


La zona de sombra total se llama umbra, en cambio la de sombra parcial se denomina penumbra.

Un objeto próximo a una pared proyecta una sombra nítida porque la luz no puede colarse hacia la parte posterior para formar una penumbra. Conforme el objeto se aleja de la pared se van formando penumbras que recortan la umbra. Cuando este se encuentra muy alejado no se ven

sombras porque las penumbras se juntan en un gran borrón.

Lo anterior nos permite explicar la formación de los Eclipses, tanto de Sol como de Luna.



## ECLIPSES



En un eclipse solar, cuando la Luna pasa entre el Sol y la Tierra; debido al gran tamaño del Sol, los rayos convergen y forman una umbra rodeada de una penumbra. La sombra de la Luna apenas llega a la Tierra.

Un eclipse lunar es un evento astronómico que sucede cuando el planeta Tierra se interpone entre el Sol y la Luna, es decir, cuando la Luna entra en la zona de sombra de la Tierra. Esto sólo puede ocurrir en la fase de Luna llena.



## VELOCIDAD DE LA LUZ



Hasta la época de Galileo (1564-1642) se consideraba que la propagación de la luz era instantánea.

El propio Galileo realizó un experimento para determinar la velocidad de la luz que consistía en realizar señales con linternas desde dos colinas que se encontraban a 1 km de distancia. Su idea consistía en medir el tiempo que tarda la luz en recorrer dos veces la distancia entre los experimentadores situados en las colinas. Uno de ellos destapaba su linterna y cuando el otro veía la luz, destapaba la suya. El tiempo transcurrido desde que el

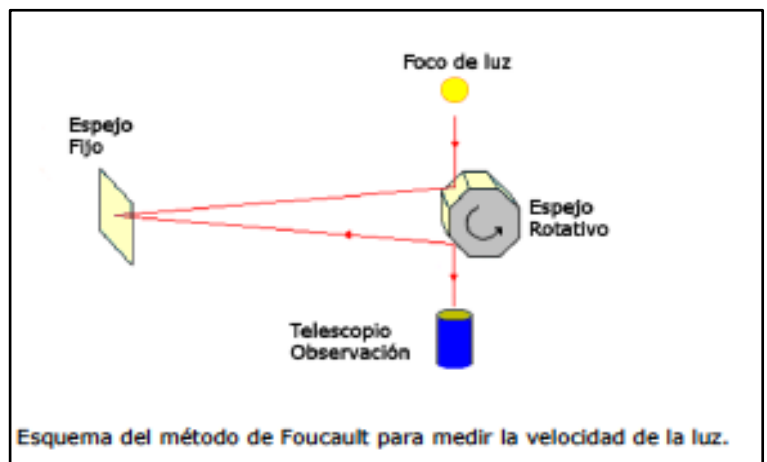
experimentador A destapaba su linterna hasta que veía la luz procedente de B era el tiempo que tardaba la luz en recorrer ida y vuelta la distancia entre los dos experimentadores.

Aunque el método es correcto, la velocidad de la luz es muy alta y el tiempo a medir era incluso más pequeño que las fluctuaciones de la respuesta humana.

Galileo no pudo obtener un valor razonable para la velocidad de la luz.

A partir de Galileo, se sucedieron muchos experimentos para determinar la velocidad de la luz. En la figura se representa un esquema simplificado del método de Foucault.

Cuando el espejo rotativo da un octavo de vuelta durante el tiempo que la luz emplea para ir al espejo fijo y volver, la siguiente cara del espejo está en la posición adecuada para reflejar la luz hacia el telescopio de observación.



En tabla se muestran algunos de los resultados obtenidos para la velocidad de la luz

| Fecha | Investigador  | País       | Velocidad (km/s) | Fecha | Investigador | País       | Velocidad (km/s) |
|-------|---------------|------------|------------------|-------|--------------|------------|------------------|
| 1676  | Römer         | Francia    | 200.000          | 1923  | Mercier      | Francia    | 299.782          |
| 1729  | Bradley       | Inglaterra | 304.000          | 1926  | Michelson    | EE.UU.     | 299.796          |
| 1849  | Fizeau        | Francia    | 313.300          | 1940  | Huettel      | Alemania   | 299.768          |
| 1862  | Foucault      | Francia    | 293.000          | 1950  | Bergstrand   | Suecia     | 299.792          |
| 1876  | Cornu         | Francia    | 299.990          | 1950  | Essen        | Inglaterra | 299.792          |
| 1880  | Michelson     | EE.UU.     | 299.910          | 1951  | Aslaxson     | EE.UU.     | 299.794          |
| 1883  | Newcomb       | Inglaterra | 299.860          | 1952  | Froome       | Inglaterra | 299.792          |
| 1906  | Rosa y Dorsey | EE.UU.     | 299.781          | 1956  | Edge         | Suecia     | 299.792          |

Actualmente se acepta el valor de 299.792,458 km/s para la velocidad de la luz en el vacío.

Durante los siglos XVIII y XIX, se demostró que la velocidad de propagación de la luz es muy grande, pero no infinita. Depende exclusivamente del medio por el que se propaga, especialmente de la densidad de éste.

En base a mediciones actuales, el valor de la



velocidad de la luz (valor que generalmente se representa por la letra minúscula "c", alcanza su mayor magnitud aproximada en el vacío  $c = 300.000$  [km/s]. Para tener una idea del significado de esta magnitud, podemos destacar que si un objeto tuviera esa velocidad, podría dar casi 7,5 vueltas alrededor de la Tierra en solamente un segundo. Por otra parte, debemos observar que de acuerdo con la Teoría de la Relatividad de Einstein, este valor representa un límite superior para la velocidad de los cuerpos; es decir, ningún objeto material puede alcanzar una velocidad igual (o superior) a la velocidad de la luz. En los demás medios, la velocidad de la luz es siempre un valor inferior a "c" y disminuye en la medida que la densidad del medio transparente aumenta.

### La velocidad de la luz: límite de las velocidades



Casi todo el mundo sabe que ningún cuerpo puede alcanzar la velocidad de la luz. Esto es difícil de explicar con las leyes de la física clásica ya que comunicando la energía adecuada a un cuerpo podemos hacer que aumente su velocidad y no parece haber ninguna razón que nos impida acercarnos a la velocidad de la luz o incluso superarla.

Sin embargo, Einstein, en la teoría de la relatividad, plantea que la masa de los cuerpos puede considerarse una forma de energía. Si a una partícula que se desplaza a velocidades próximas a la de la luz le comunicamos energía, ésta se traduce en un aumento de masa de la partícula y no en un aumento de velocidad, por eso decimos que no es posible que un cuerpo alcance la velocidad de la luz.

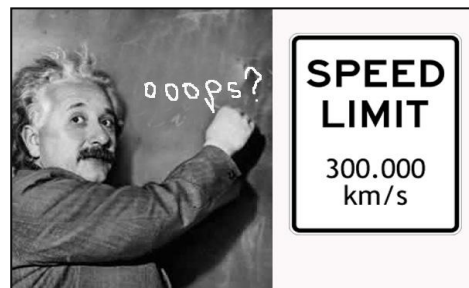
Según los cálculos de Einstein, si pudiéramos ver un cuerpo que se moviera a unos 260.000 km/s observaríamos que su masa se ha duplicado con respecto a la que tenía en reposo. Cuando la velocidad del cuerpo es baja (comparada con la de la luz), el aumento de masa que sufre si se le comunica energía es tan pequeño que no lo podemos medir. En este caso, tal como hacemos en la física clásica, podemos considerar que la masa de los cuerpos es constante.

Según los cálculos de Einstein, si pudiéramos ver un cuerpo que se moviera a unos 260.000 km/s observaríamos que su masa se ha duplicado con respecto a la que tenía en reposo.

Cuando la velocidad del cuerpo es baja (comparada con la de la luz), el aumento de masa que sufre si se le comunica energía es tan pequeño que no lo podemos medir. En este caso, tal como hacemos en la física clásica, podemos considerar que la masa de los cuerpos es constante.

Algunos ejemplos de la velocidad de la luz, en [km/s] son:

|                  |         |
|------------------|---------|
| En el aire a 0 C | 299.000 |
| En el agua       | 220.000 |
| En el cuarzo     | 206.000 |
| En el vidrio     | 198.000 |
| En el diamante   | 120.000 |



| Velocidad de la luz en distintos medios. |          |              |          |
|--|----------|--------------|----------|
| Medio                                    | v (Km/s) | Medio        | v (Km/s) |
| Vacío                                    | 300 000  | Cuarzo       | 205 479  |
| Aire                                     | 299 910  | Vidrio crown | 197 368  |
| Agua                                     | 225 564  | Vidrio Flint | 186 335  |
| Etanol                                   | 220 588  | Diamante     | 123 967  |

Si comparamos la velocidad de propagación del sonido con la de la luz, se deduce que el primero recorre 340 metros en un segundo mientras que la luz recorre 300.000.000 metros en ese tiempo.

Lo anterior permite explicar lo que ocurre en días de tormenta al producirse descargas eléctricas (rayos). Primero vemos el "relámpago" (luz emitida por el rayo) y unos segundos después podemos oír el "trueno" (sonido que provoca la descarga). La diferencia de tiempo entre ellos nos permite incluso saber la distancia del rayo y si la tormenta se acerca o se aleja.

Sabemos que las distancias entre las estrellas y nuestro planeta son inmensamente grandes, por lo que la luz emplea, a veces hasta millones de años en viajar entre ellas o entre cada una de ellas y la Tierra.

Considerando esto es que en Astronomía se usa como unidad de longitud el "AÑO LUZ", que es la distancia que la luz recorre en un año viajando por el vacío a la velocidad ya señalada (300.000 [km/s]).

Se sabe que  $v = d / t$

es decir  $d = v \cdot t$

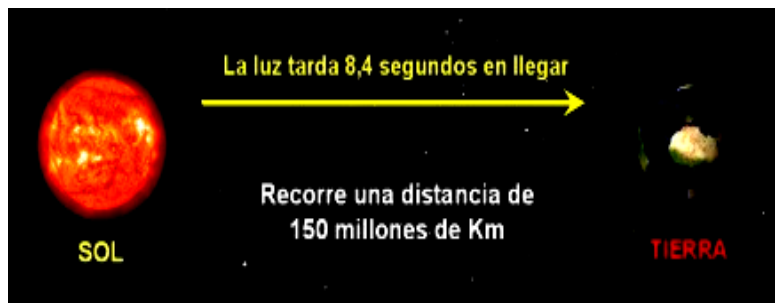
$$d = 300.000 \text{ [km/s]} \cdot 1 \text{ [año]}$$

Por la técnica del análisis dimensional, convertimos 1 año en segundos.

$$d = 300.000 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ [km]}$$

$$\text{luego: } \mathbf{1 \text{ año-luz} = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ [km]}}$$

La estrella más cercana a la Tierra, próxima a alfa centauro, está a 4,3 años luz y las estrellas lejanas a 250.000.000 años-luz. Cabe destacar que cuando en las noches contemplamos las estrellas, ya sea a simple vista o por medio de un telescopio, lo que vemos en la actualidad es el pasado del universo, porque esa luz pudo ser emitida hace millones de años.



## ESPECTRO VISIBLE Y ELECTROMAGNÉTICO

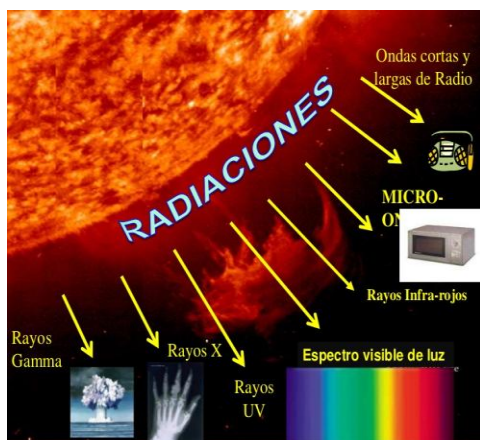
Análogo a lo que ocurre con nuestro sentido de la audición, que no detecta todos los sonidos que pueden producirse en la naturaleza, nuestro sentido de la vista posee una limitación semejante.

Existen radiaciones que están a nuestro alrededor, pero que no podemos detectarlas, como los rayos infrarrojos y ultravioleta, los rayos X, ondas de radio y T.V., las microondas y los rayos gamma. Todas ellas son de la misma naturaleza que el "espectro visible" y sólo difieren en la frecuencia (o en la longitud de onda), denominadas **ondas electromagnéticas**.

Hoy en día sabemos que La luz (natural) es la porción visible de las radiaciones electromagnéticas que nos llegan del sol



**Todas las ondas electromagnéticas se propagan por el vacío a la velocidad de 300.000 km/s, que se conoce como velocidad de la luz en el vacío (c)**

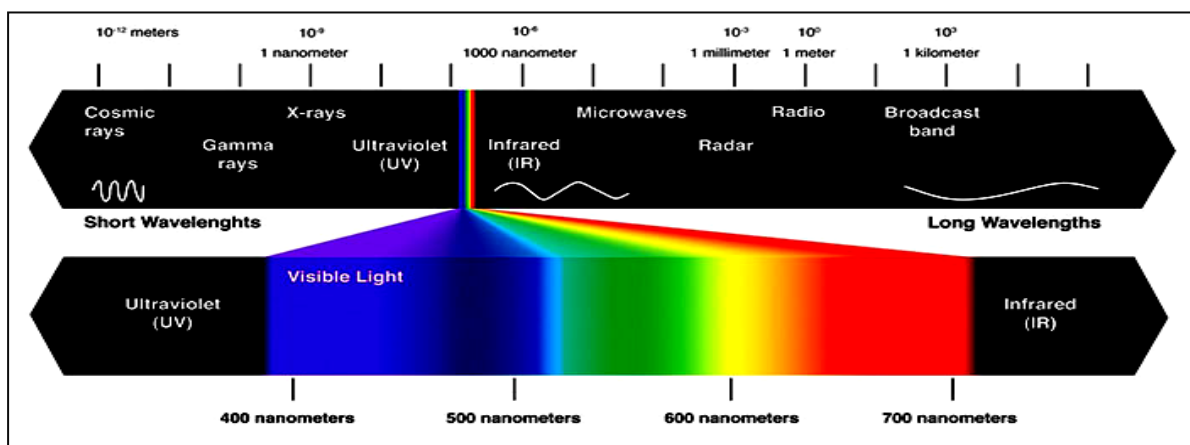
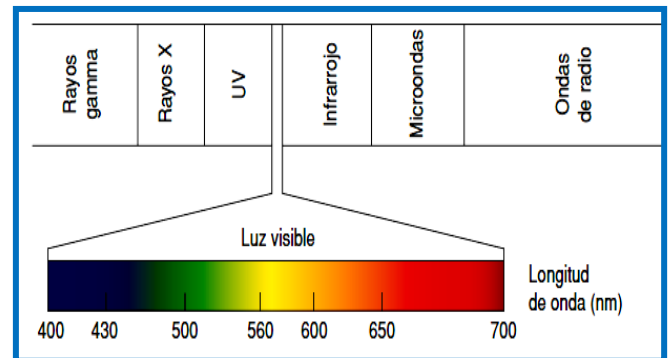


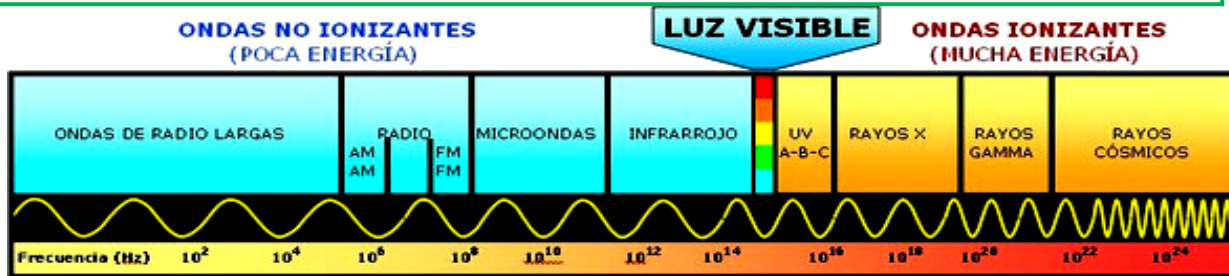
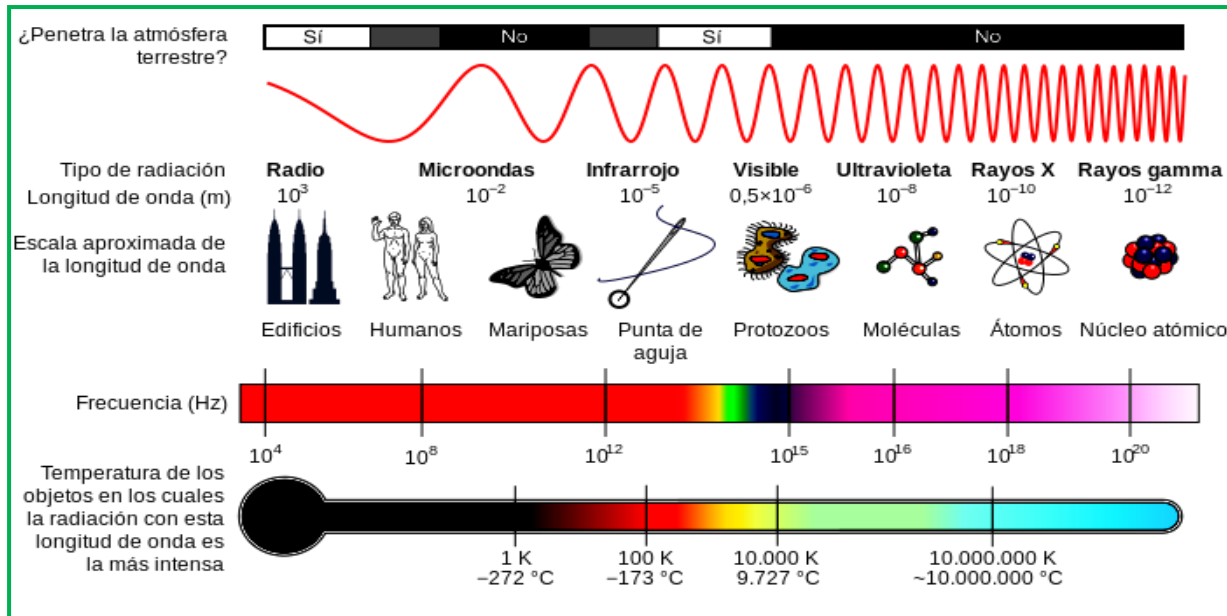
Se llama "espectro de la luz blanca" a la gama de colores de diferente frecuencia que componen la luz blanca proveniente del Sol o de una lámpara común.

Este espectro consta básicamente de los colores: rojo, amarillo, verde, azul y violeta. A cada color le corresponde una longitud de onda determinada.

Nuestro sentido de la vista es sensible a las radiaciones electromagnéticas

de ciertas longitudes de onda. El ser humano es capaz de percibir las radiaciones comprendidas entre 400 y 700 nanómetros, extensión que comprende los colores que van del violeta al rojo. Pero también existen radiaciones de longitudes de ondas inferiores a 400 nanómetros y superiores a 700 nanómetros. Las radiaciones de longitudes de onda inferiores a 400 nanómetros reciben el nombre de Radiaciones Ultravioletas (**UV**) y se extienden hasta unos 100 nanómetros; en cambio la radiaciones con longitudes de onda superiores a 700 nanómetros se denominan radiaciones infrarrojas (**IR**)





La luz normal (a la izquierda) apenas consigue llegar a la superficie de la mano, a través de la cual no se puede ver nada, porque la carne resulta opaca para ella. Pero la luz de los Rayos X (a la derecha), es capaz de atravesar la carne, haciendo que ésta se vuelva casi transparente, llegando a verse incluso los huesos de la mano.



## ESPECTRO VISIBLE E INVISIBLE

Si se tiene buen oído, se puede oír tonos muy altos. El oído de los niños generalmente es mejor que el de los adultos. De ahí que quizás sean capaces de oír sonidos que los padres no logran percibir.

Aun así, no se puede oír todo. De hecho, los tonos demasiado altos no se pueden oír, pero un perro sí. Los perros no solo tienen narices muy eficientes, sino también muy buenos oídos, que les permiten responder al sonido de silbatos especiales para perros que los humanos no pueden oír. Por lo tanto, en el mundo hay más sonidos que lo que pueden captar los oídos. Lo mismo sucede con la luz: hay más luz que lo que pueden ver con los ojos.

Además se pueden ver todo tipo de colores. La luz roja es la onda de luz más larga que los ojos logran detectar. Luego vienen las luces naranja, amarilla, verde, azul, índigo y, por último, violeta, que tiene las ondas más cortas que pueden ver los humanos.

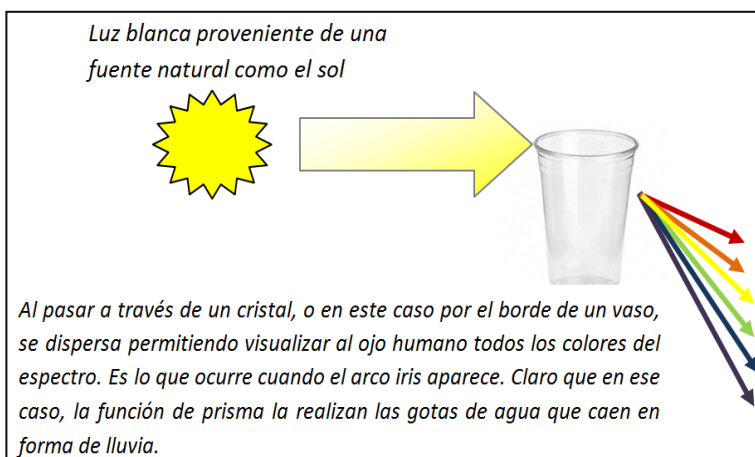
Pero hay otros colores invisibles para la gente, tales como el infrarrojo y el ultravioleta. Las ondas de luz infrarroja son más largas que las ondas rojas, y las ondas de luz ultravioleta son más cortas que las ondas violetas. Algunos animales pueden ver estos colores "invisibles". De hecho, las serpientes pueden ver la luz infrarroja y las abejas son capaces de ver la luz ultravioleta.

Hay muchos otros tipos de ondas de luz, o rayos. Al llamar a alguien con el teléfono celular, se usan ondas de radio. Un dentista puede mirar a través de la mejilla para sacar fotografías de los dientes usando rayos X. Y también hay rayos gamma, ondas milimétricas y ondas submilimétricas. Estos son tipos de luz que nuestros ojos no pueden ver. ¡Es una lástima que solo podamos ver luz "visible"! Es como acudir a un concierto teniendo problemas de audición y solo poder escuchar parte de la música, sin los tonos más bajos y más altos.

Las estrellas, nebulosas y galaxias emiten todo tipo de luz. La luz visible del Universo puede verse con un telescopio normal. Pero para estudiar otros tipos de luz se necesitan instrumentos especiales. Para captar ondas de radio, ondas milimétricas y ondas submilimétricas provenientes del cielo los astrónomos usan grandes antenas, llamadas generalmente radiotelescopios o radioantenas.

EL observatorio ALMA tiene 66 antenas que captan las ondas milimétricas y submilimétricas del Universo. Son ondas más largas que las de la luz infrarroja y nuestros ojos no pueden verlas. Pero existen, y ALMA es capaz de captarlas, lo que es bueno porque al estudiar las ondas milimétricas y submilimétricas, los astrónomos pueden aprender nuevas cosas sobre el Universo. Cosas que nunca sabríamos si solo observáramos la luz visible.

## DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ BLANCA

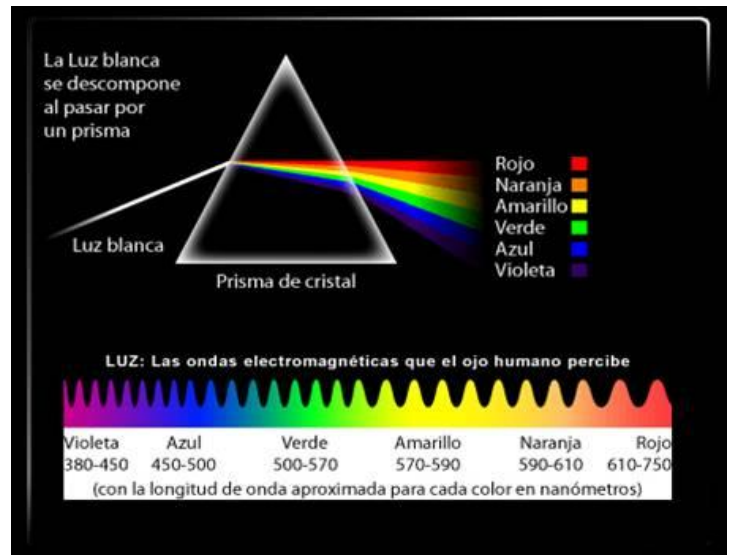


La descomposición de la luz en colores por efecto de la refracción se conoce como "**Dispersión cromática**".

Este fenómeno de la dispersión o descomposición de la luz se da con la luz policromática, que está formada por una mezcla de ondas, cuyas longitudes comprenden el espectro visible, e incluso otros fuera de éste. Si consideramos un rayo de luz policromático (luz blanca) que incide sobre un prisma como se indica en la figura.

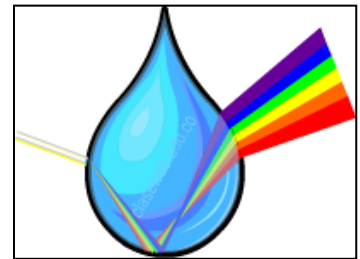
La geometría del prisma permite una doble refracción que favorece la separación de los colores. La transición de un color a otro es gradual en la realidad. En el fenómeno de dispersión de la luz, el ángulo de desviación del color es inversamente proporcional a su longitud de onda.

1 nanómetro equivale a 0,000000001 metro, lo que significa que un metro se ha dividido en 1000 millones. Según lo anterior el color violeta es el que más se desvía ya que posee la menor longitud de onda, en el ejemplo citado.



### EL ARCO IRIS

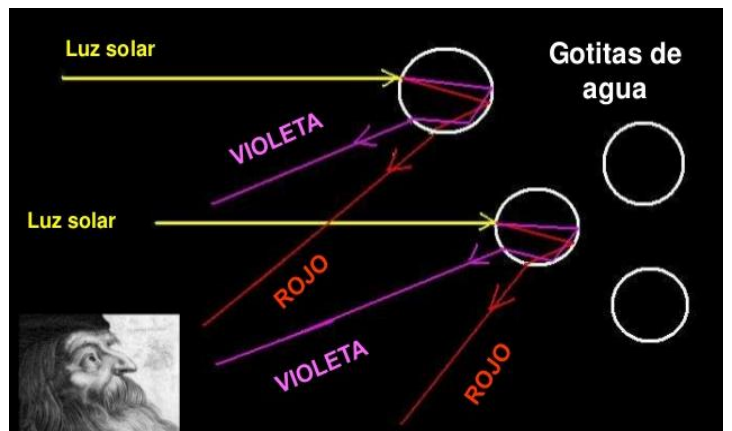
Cuando la luz del sol es interceptada por gotas de lluvia, cada uno de los colores que componen la luz blanca se refracta en diferentes direcciones en el interior de cada gota. Como consecuencia de la primera refracción se origina una dispersión cromática en el interior de la gota. La luz que se refleja en el interior opuesto, experimenta una segunda refracción al emerger al exterior abriéndose en un espectro de colores.



El espectro acumulativo de millones de gotas produce finalmente el arco de colores que se extiende en el cielo cuando el sol se encuentra detrás de nosotros.

El brillante arco iris primario tiene el color rojo en el borde exterior y azul dentro de sí mismo. En la parte superior de la atmósfera, siempre hay otro arco iris menos brillante, con los colores en orden inverso.

Si las condiciones atmosféricas y el sitio de observación son perfectos, entonces la lluvia y el Sol trabajan juntos para crear un anillo de luz completo, denominado arcoíris circular. En los arcoíris normales el rojo es el color exterior, y el violeta el interior, pero en los circulares la variación es la contraria.



**En la imagen, se observa la luz violeta más alta y la de color rojo más baja.**

## PELIGROS DE LAS RADIACIONES ULTRAVIOLETAS

En primer lugar se debe tener presente que **la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda, es decir a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa**

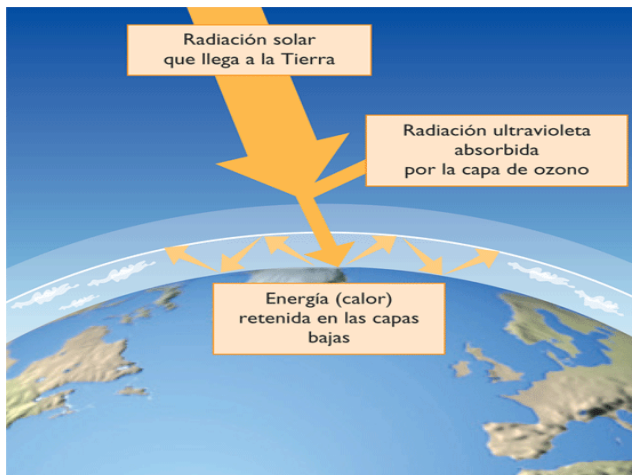
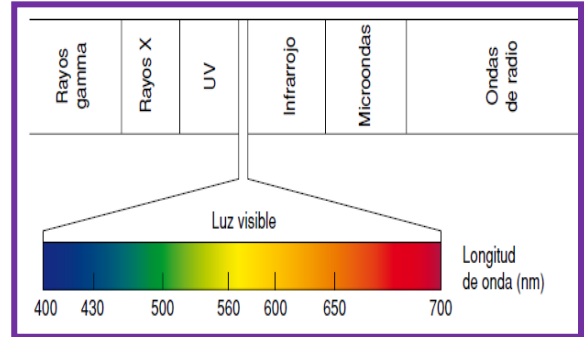
Los rayos UV son los más dañinos del espectro visible, porque tienen menor longitud de onda y por lo tanto mayor frecuencia, lo que se traduce en mayor energía.

La fuente de radiación más importante y peligrosa para la salud es el sol. Las quemaduras solares, el envejecimiento prematuro de la piel y también el cáncer cutáneo, son consecuencias de la exposición excesiva a la radiación solar ultravioleta.

El ozono es un gas cuyas moléculas están constituidas por una combinación de tres átomos de oxígeno.

La capa de ozono de la atmósfera terrestre intercepta parte de las radiaciones UV más perjudiciales, pero en los últimos años se ha detectado un descenso periódico de los niveles de ozono sobre la Antártida y el hemisferio Sur, que alcanza los niveles más bajos durante la primavera.

Esta disminución se debería esencialmente a la acción de compuestos químicos liberados a la atmósfera, denominados "Clorofluorocarbonos"

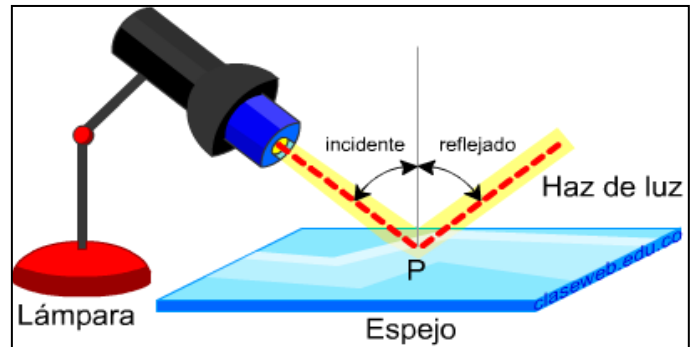
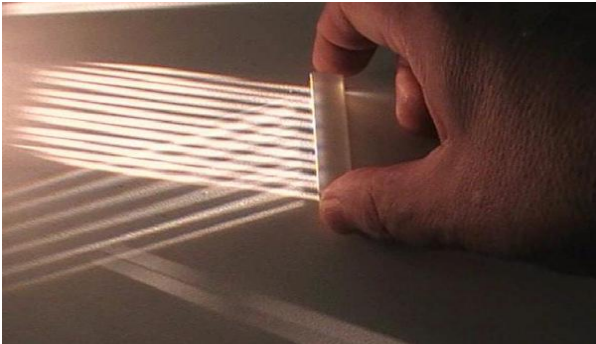


## TRANSMISION DE LA LUZ

La luz es capaz de atravesar diversos objetos, algunos con mayor eficacia que otros. En la transmisión de la luz pueden ocurrir diversos fenómenos tales como: reflexión, refracción y absorción.

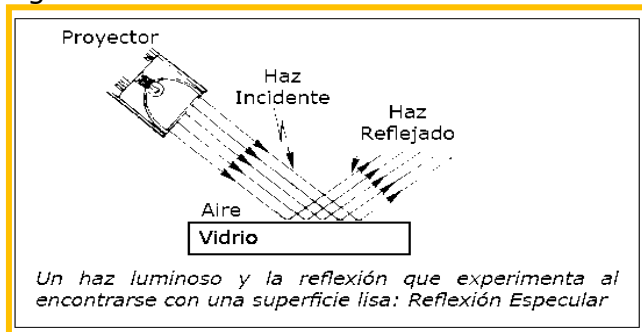
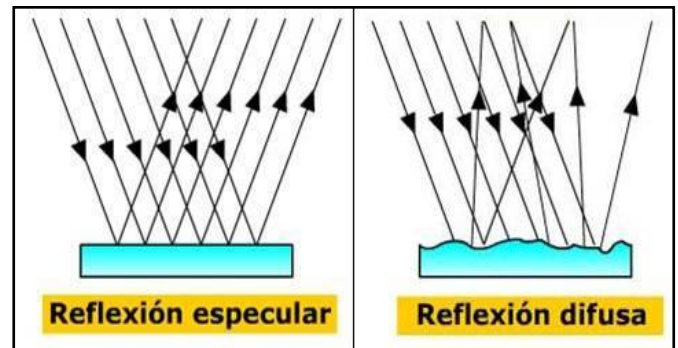
### REFLEXION DE LA LUZ

Consiste en el rechazo y cambio de dirección que sufren los rayos luminosos al incidir sobre una superficie.



Dependiendo de las irregularidades o rugosidades de la superficie, la Reflexión puede producirse en forma Especular o en forma Difusa.

Cuando el haz incidente encuentra una superficie pulida o lisa, el haz reflejado está muy bien definido, como se indica en la figura.



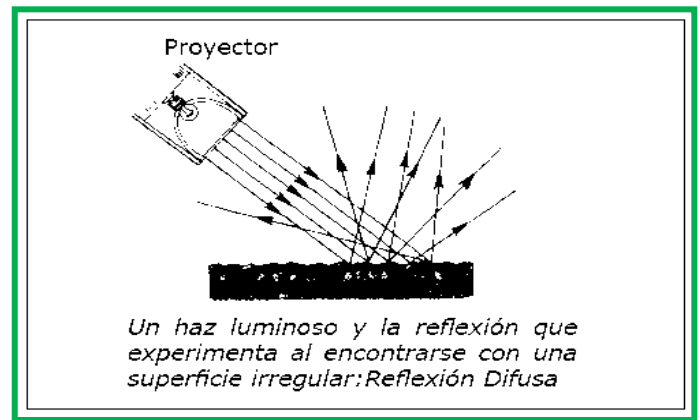
Cuando esto sucede decimos que la reflexión es "especular"; dicho fenómeno se observa cuando la luz se refleja en un espejo, en un lago en calma o en un vidrio con fondo oscuro





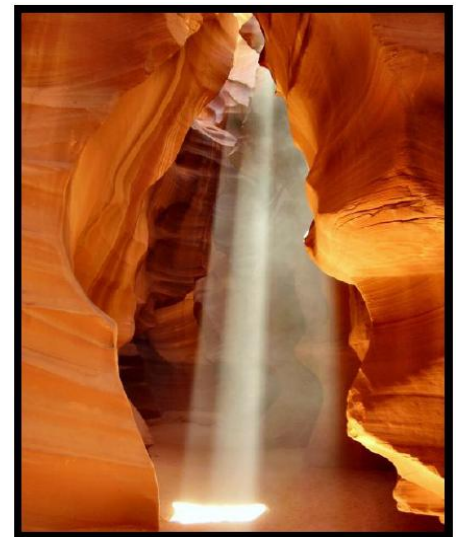


Supongamos que un haz de la luz incide en una superficie irregular. En este caso, cada pequeña porción saliente de la superficie refleja la luz en determinada dirección, y por consiguiente, el haz reflejado no queda bien definido observándose el esparcimiento o dispersión de la luz en todas direcciones. Decimos, entonces, que se produce una "reflexión difusa" o bien una "difusión" de la luz por parte de la superficie áspera.



La mayoría de los cuerpos reflejan difusamente la luz que incide sobre ellos. Así, esta hoja de papel, una pared, un mueble, nuestra piel, etc., son objetos que difunden la luz que

reciben esparciéndola en todas direcciones; por esta razón varias personas pueden observar un mismo objeto, a pesar de estar situadas en diferentes sitios a su alrededor.



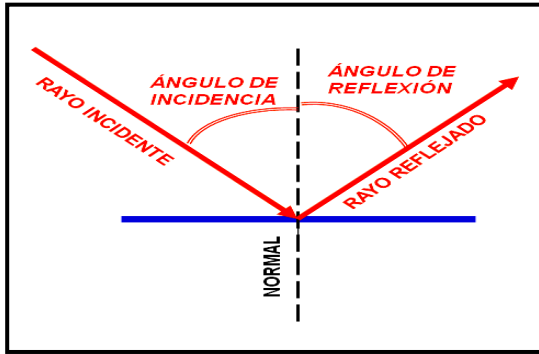
Rayo de luz solar dispersado por partículas de polvo en el cañón del Antilope, en Estados Unidos.

Otro ejemplo de difusión de la luz puede hallarse cuando encendemos una linterna en un cuarto oscuro. La trayectoria del haz luminoso que sale de la linterna no podrá ser percibida a menos que haya humo o polvo suspendido en el aire. En este caso, las partículas de humo o polvo, al difundir la luz, nos permite percibir el haz cuando nuestros ojos reciben la luz esparcida.

Un hecho similar ocurre con la luz solar, la cual difunden las partículas de la atmósfera terrestre. El cielo se muestra absolutamente claro durante el día debido a esa difusión.

Si la Tierra no tuviera atmósfera el cielo se vería totalmente negro, excepto en los sitios ocupados por el Sol y las estrellas.

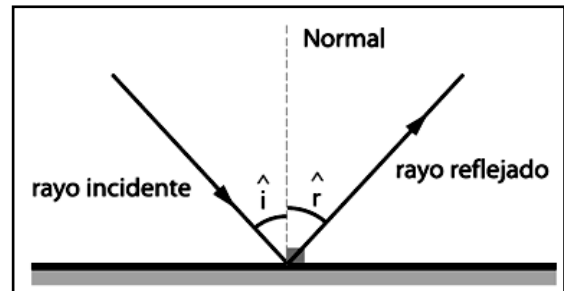
## LEYES DE LA REFLEXION



Consideremos un rayo luminoso que incide en el punto de una superficie reflectante. Si se traza la normal (perpendicular) a esta superficie en dicho punto, se observa que dicha línea y el rayo incidente determinan un plano. La reflexión se produce de manera que el rayo reflejado siempre se halla contenido en este mismo plano. Por tanto, el rayo reflejado, el rayo incidente y la normal están situados todos en el mismo plano; esta observación se conoce como "Primera ley de Reflexión".

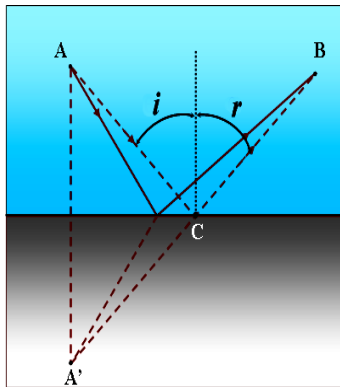
El ángulo "i", que el rayo incidente forma con la normal, se denomina "ángulo de incidencia", y el ángulo "r", formado por la normal y por el rayo reflejado, es el "ángulo de reflexión". La medida de estos ángulos es igual  $i = r$  y corresponde a la "Segunda ley de la Reflexión".

Estas leyes se emplean en el estudio de la formación de imágenes en los espejos planos y curvos.



## PRINCIPIO DE FERMAT

Pierre Fermat estableció en 1650, que la luz siempre viaja, con velocidad constante, por aquella trayectoria que **le tome el menor tiempo posible**. A velocidad constante, en un medio homogéneo, el menor tiempo corresponde al camino más corto recorrido por la luz.



En la figura, se aprecia que el camino más corto es AOB, suponiendo que el rayo de luz sale de A, se refleja en el espejo en el punto O y, finalmente llega a B. Todas las demás posibles trayectorias involucran recorrer mayor distancia. Aplicando entonces el principio de Fermat el problema consiste en encontrar la **longitud de camino óptico**, que recorre un rayo luminoso que, partiendo del punto **A**, llega al punto **B**, luego de reflejarse en la interface reflectante. Como en este caso, el rayo sólo se propagará en el primer medio se entiende que su velocidad permanecerá constante durante todo el recorrido, por lo cual, si nos atenemos al principio de Fermat, el tiempo mínimo en este caso corresponde exactamente al camino más corto entre **A** y **B**, luego de reflejarse en algún punto de la interface.

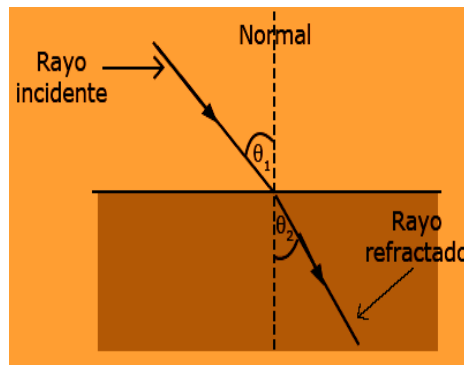
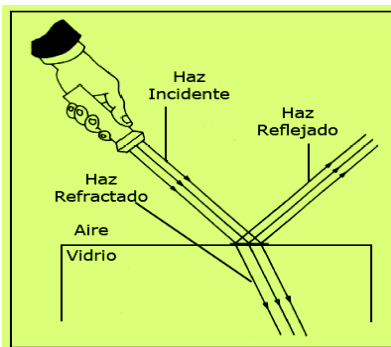
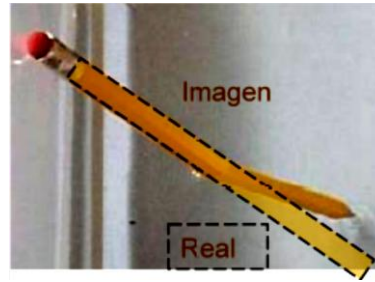
El esquema de la figura sirve para verificar que tal punto es **C** ya que la trayectoria **ACB** es precisamente la distancia más corta que puede recorrer la luz. Como se aprecia el punto **A'**, equidistante de la interface respecto a **A**, sugiere que las distancias **ACB** y **A'CB** son exactamente iguales, si a esto agregamos que la distancia más corta entre dos puntos es precisamente una línea recta, se concluye que la luz se refleja en **C**, y por tanto, el ángulo de incidencia  $i$  es justamente igual al ángulo de reflexión  $r$  es decir:

$$\angle i = \angle r \quad \text{ley de la reflexión}$$

## REFRACCIÓN DE LA LUZ

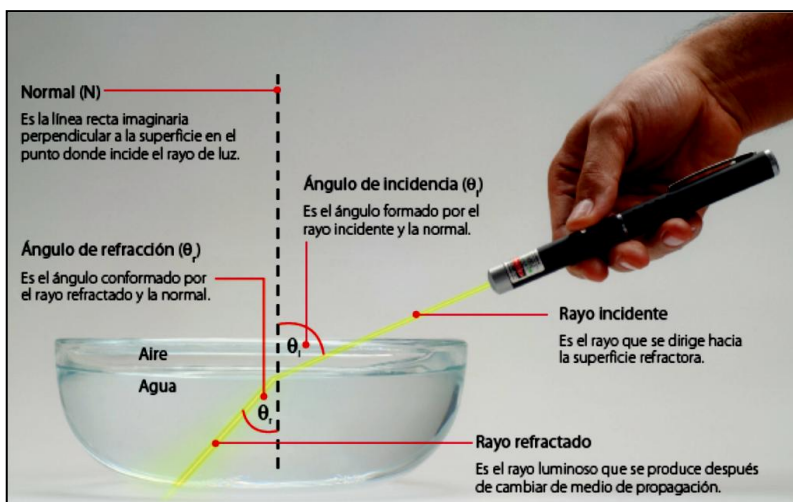
Consiste en el cambio de la velocidad de propagación de un haz de luz al pasar de un medio transparente a otro (agua, aire, vidrio, etc.) Esto sólo puede suceder cuando la luz se propaga con velocidades distintas en ambos medios. Por lo tanto en la refracción **cambia la velocidad, la longitud de onda, pero la frecuencia se mantiene constante**, eso sí cabe señalar que la velocidad con la longitud de onda son directamente proporcionales.

Cuando observamos una varilla parcialmente introducida en un vaso transparente con agua, aparentemente la varilla se quiebra en la superficie de separación entre el aire y el agua.



Cuando un rayo de luz incide sobre la superficie de un medio transparente, como el vidrio, parte del rayo se refleja y parte entra en el vidrio formando el rayo refractado.

Al trazar la recta normal en el punto de incidencia vemos el ángulo de incidencia ( $\theta_1$ ) y el de refracción ( $\theta_2$ )



El fenómeno de refracción hace que los rayos de luz parezcan provenir de un lugar en que realmente no están, "engañando" a nuestro sistema visual que percibe los objetos en una posición aparente. Estamos acostumbrados "a ver" sin considerar la refracción, y esa es la causa común de accidentes en piscinas, pues el fondo "se eleva" y zonas profundas nos parecen "casi una tercera parte menos profundas" de lo

que efectivamente son.

El fenómeno de refracción explica lo que sucede en un hermoso amanecer en donde vemos la luz del Sol antes que llegue a la línea del horizonte o en un atardecer seguimos viendo la luz solar después de haber traspasado la línea del horizonte.

Debido a la desviación que experimenta la luz en las refracciones, muchas de las cosas que observamos con nuestros ojos no están realmente allí donde las vemos.





Por ejemplo, el fondo de las piscinas con agua, paisajes que vemos a través del vidrio de una ventana, las cumbres nevadas de las montañas; la luz de las estrellas, del Sol y de la Luna, observados a través de la atmósfera terrestre.

Si bien la rapidez de la luz en el aire es sólo 0,03 % inferior a su valor en el vacío, la refracción atmosférica es muy notable en ciertas circunstancias.

### ÍNDICE DE REFRACCIÓN, $n$

Para estudiar la refracción de la luz, es necesario antes conocer una propiedad muy importante de los medios transparentes. La luz no viaja a la misma velocidad en cada medio transparente como el aire, agua, vidrio, etc. Se ha encontrado experimentalmente, que la luz siempre viaja a una velocidad menor en diferentes medios respecto a la velocidad de la luz en el vacío.

Al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ) y la velocidad de la luz en un medio determinado ( $v_{\text{medio}}$ ) se le denomina **índice de refracción** y se simboliza con la letra  $n$  y se trata de un valor adimensional.

Donde:

$$n = \frac{c}{v}$$

$c$ : la velocidad de la luz en el vacío  
 $v$ : velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula (agua, vidrio, entre otros)

La letra "n" representa el índice de refracción del medio.

Según la tabla de índice de refracción, se cumple que la velocidad de la luz ( $v$ ) en un determinado medio es inversamente proporcional a su índice de refracción ( $n$ )

| SUSTANCIAS | $n$  |
|------------|------|
| Aceite     | 1,51 |
| Agua       | 1,33 |
| Aire       | 1,00 |
| Cuarzo     | 1,54 |
| Diamante   | 2,42 |
| Glicerina  | 1,47 |
| Hielo      | 1,31 |

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.

En la imagen se observa un rayo de luz cambiando de medio, de uno menos denso a otro más denso. Es decir entre dos medios con diferentes índices de refracción ( $n_2 > n_1$ ). Como la velocidad de fase es menor en el segundo medio ( $v_2 < v_1$ ), el ángulo de refracción  $\theta_2$  es menor que el ángulo de incidencia  $\theta_1$ ; esto es, el rayo en el medio de índice mayor es más cercano a la línea normal.

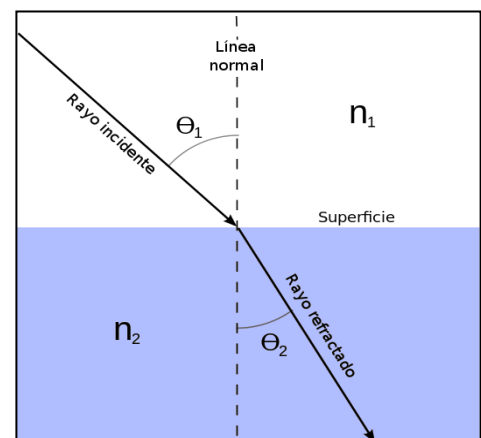
**OBSERVACIONES**

- Si un rayo de luz pasa de un medio, a otro más denso, el rayo refractado se acerca a la normal.

Densidad II > Densidad I

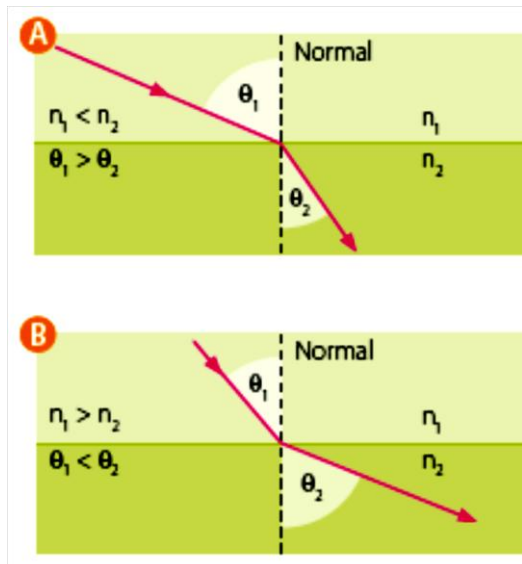
- Si un rayo de luz pasa de un medio, a otro menos denso, el rayo refractado se aleja de la normal.

Densidad II < Densidad I



Como:  $v_2 < v_1$ , entonces  $\lambda_2 < \lambda_1$  y  $f_2 = f_1$   
 $f$  = frecuencia  $\lambda$  = Longitud de onda

El índice de refracción de un medio es una medida para saber cuánto se reduce la velocidad de la luz dentro del medio.



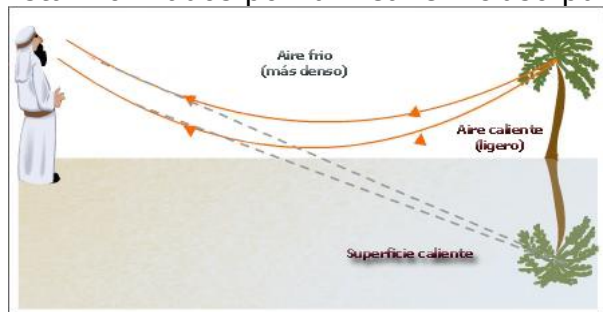
### ESPEJISMOS

Un ejemplo Cuando hace aire muy caliente moléculas del las ondas de luz de esta capa que menor de aquella parte cerca del suelo curven imagen invertida superficie de un reflejando, sino

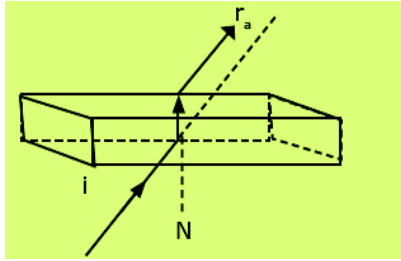


interesante es el espejismo. calor puede haber una capa de en contacto con el suelo. Como las aire caliente están más separadas, se desplazan más aprisa a través en la capa superior de aire, a temperatura. El apresuramiento de la onda que se encuentra más hace que los rayos de luz se gradualmente. Esto produce una como si se reflejase en la estanque. Pero la luz no se está refractando.

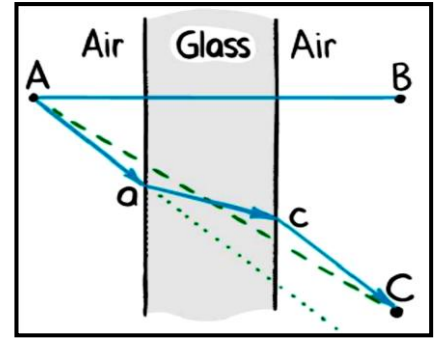
Los espejismos no son "trucos de la mente", como creen erróneamente muchas personas. Están formados por luz real e incluso pueden ser fotografiados.



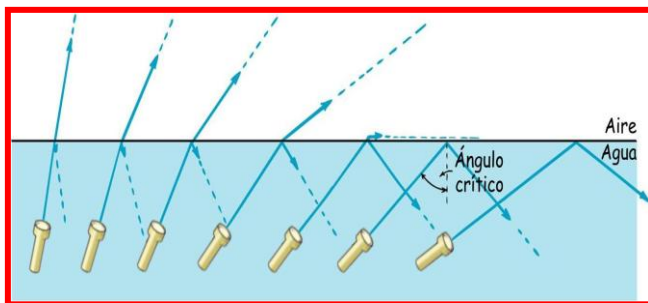
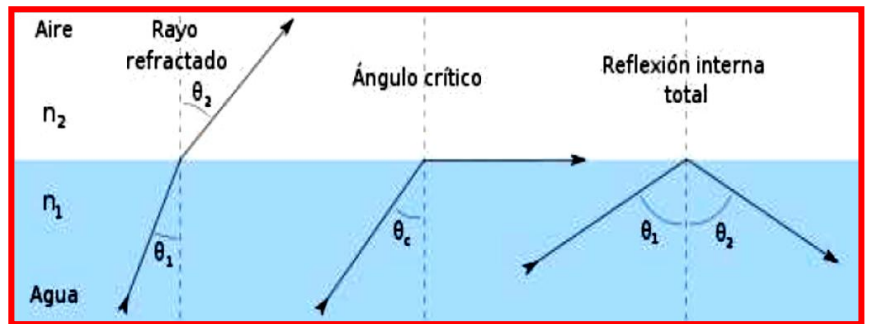
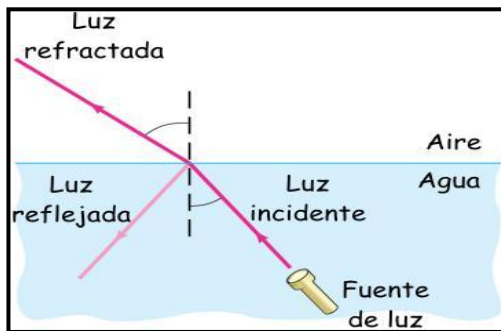
**Refracciones en prisma de caras paralelas:** Un Prisma es un cuerpo transparente con superficies planas y pulidas que se cortan entre sí. Supongamos que tenemos un prisma de caras paralelas. Si un rayo de luz incide sobre él, experimenta



“dos refracciones”: la primera al pasar del aire al prisma y la segunda, al pasar del prisma al aire. En ambos cambios de medio, el rayo modifica su dirección de propagación de modo tal que el rayo que emerge es paralelo al incidente.



**Reflexión Total de la Luz:** Cuando la luz pasa de un medio a otro cambia de dirección debido a que cambia de velocidad. Esto se llama refracción. Si hacemos incidir la luz de forma oblicua desde el agua (un medio más denso) al aire (que es otro medio menos denso), la luz refractada se “dobla” hacia la superficie.



A medida que inclinamos más la luz incidente, la luz refractada tiende a “doblar” aún más hacia la superficie. A medida que el ángulo de incidencia se hace cada vez mayor, el ángulo de refracción crece hasta cierto límite en el cual el rayo refractado sale por la superficie de separación de ambos medios formando un ángulo de 90° con la Normal. De este modo existe un determinado ángulo para el cual la

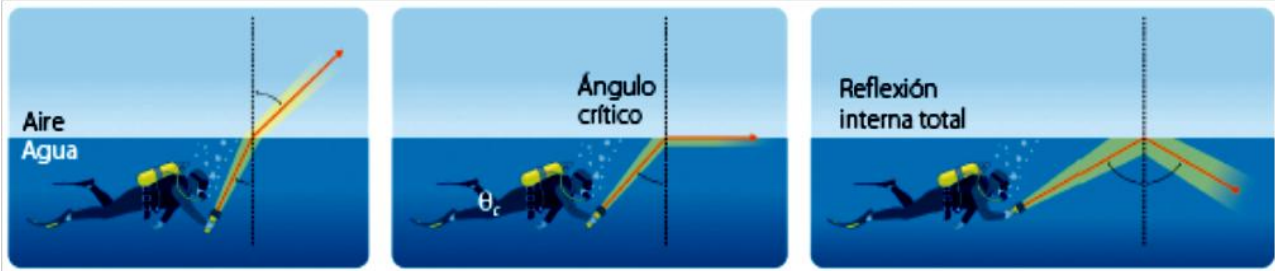
luz refractada es paralela a la superficie. Este es el ángulo crítico. Este ángulo recibe el nombre de “Ángulo Límite” y es característico de cada sustancia. Por ejemplo, para el agua es 48°; para el vidrio, 42°; para el diamante, 24° (todos medidos con respecto al aire).

Para todos los ángulos de incidencia superiores al “ángulo límite”, la luz ya no se refracta, sino que se refleja en la superficie de separación de ambos medios, como si esta fuera un espejo. Este fenómeno es conocido como **Reflexión Total** y sólo ocurre cuando la luz incide desde un medio de mayor Índice de Refracción a otro menor.

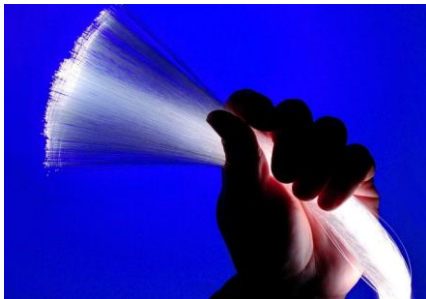
Por encima del ángulo crítico no hay luz refractada, sólo reflejada, fenómeno que se conoce con el nombre de reflexión total interna.

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. Si por el contrario, 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. En éste último

caso, si el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite no se produce refracción, sino lo que se denomina reflexión total.



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



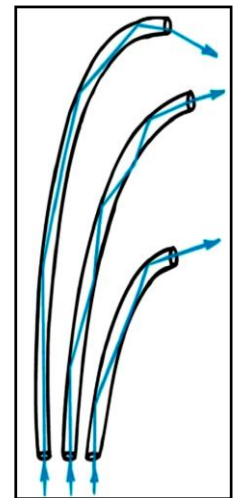
La reflexión total interna constituye el principio en el que se basan las fibras ópticas. De este modo, la luz puede ser transmitida a lo largo de la fibra óptica incluso cuando la fibra está curvada.

La **fibra óptica** es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a

transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede provenir de un láser o un diodo led.

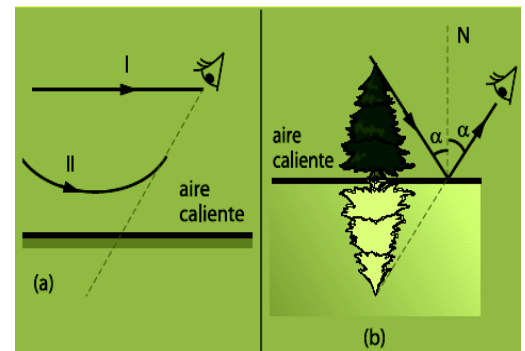
Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de la radio y superiores a las de un cable convencional. Son el medio de transmisión por cable más avanzado, al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, y también se utilizan para redes locales donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

Las fibras ópticas son muy importantes en las comunicaciones, ya que pueden llevar miles de mensajes telefónicos simultáneamente. También se usan con mucho éxito en medicina, en el diagnóstico, tratamiento de diferentes enfermedades y cirugía con láser.



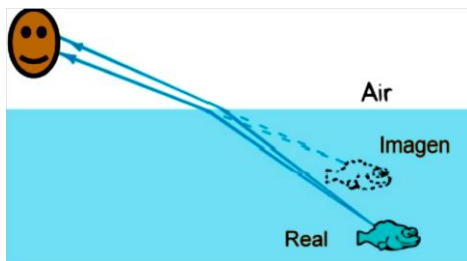
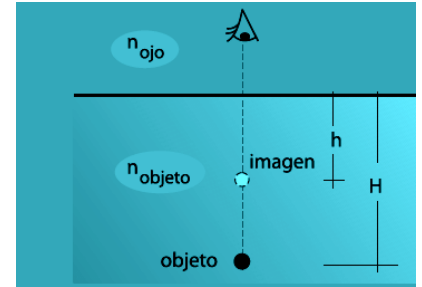
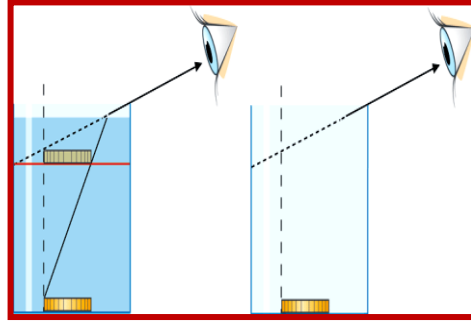
### ¿Por qué en días calientes se ve la calle como si estuviese mojada?

Esto es a consecuencia de la reflexión total. En la figura (a), la luz del cielo llega directamente a los ojos del observador (rayo I); pero la luz cercana al suelo como la del rayo II, pasa de capas de aire superiores más frías hacia las capas más calientes, (la densidad del aire caliente es mayor que la densidad del aire frío o menos caliente); el rayo luminoso se va alejando de la normal hasta que experimenta reflexión total, de este modo la luz penetra a los ojos del observador como si viniera de un punto bajo de la calle, en dirección a la línea punteada como en las figuras a y b.



## PROFUNDIDAD APARENTE

Cuando una persona observa un objeto localizado en otro medio de diferente densidad, lo que ve, no es realmente la posición exacta del cuerpo, sino más bien su imagen, formada por las prolongaciones de los rayos refractados.



## ABSORCIÓN DE LA LUZ

Es la disminución paulatina de la intensidad luminosa a medida que el rayo de luz avanza en un medio transparente.

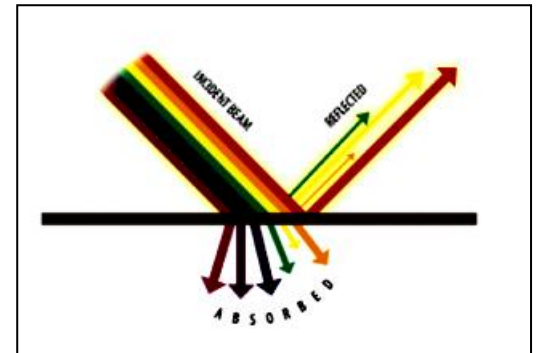
Los materiales absorben la luz dependiendo de la longitud de onda de ésta. Esta selectividad (unas longitudes de onda sí y otras no) radica en la naturaleza y disposición de los átomos que componen el material. Por lo tanto, la luz que traspasa un objeto es en parte absorbida por él, en una proporción que depende del material de que está hecho el objeto.

Mientras menos luz refleje un medio, más absorbe y mientras más luz refleje, menos absorbe. La mayor absorción de luz involucra un aumento de la temperatura del material pues, la luz transporta energía.

Cuerpos transparentes son los que se dejan atravesar por la luz, permitiendo reconocer los objetos observados a través de ellos, por ejemplo, el aire, el vidrio común, el agua y ciertos plásticos.

Cuerpos traslúcidos son los que se dejan atravesar por la luz sin permitir reconocer la forma de los cuerpos observados a través de ellos, es decir, una parte de la luz es transmitida, otra es reflejada de manera difusa y otra parte es absorbida por el material, por ejemplo, el vidrio "empavonado", la porcelana, el papel y algunos plásticos.

Cuerpos opacos son los que no se dejan atravesar por la luz, por ejemplo, los metales, las piedras, etc.



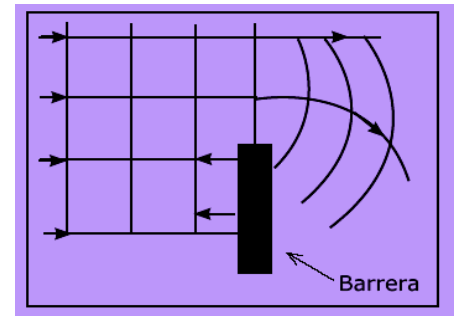


## DIFRACCIÓN DE LA LUZ

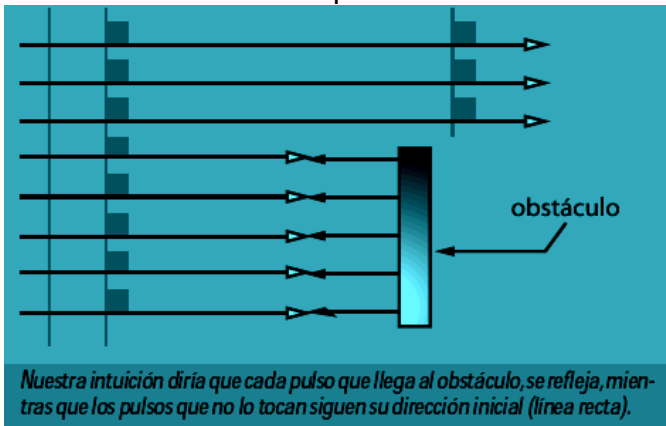
Consideremos una onda que se propaga en la superficie de un líquido y encuentra una barrera que interrumpe la propagación de una parte de dicha onda.

En la figura se observa que la parte de la onda que no se interrumpió no conserva su dirección inicial de propagación, pues los pulsos al pasar por la barrera, rodean el obstáculo.

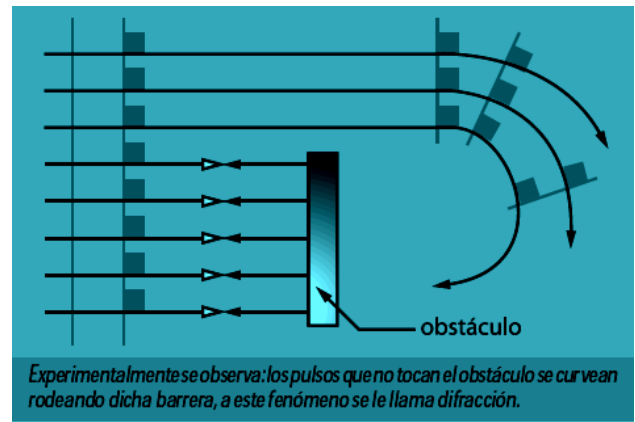
La Difracción es la propiedad que posee una onda de rodear obstáculos al ser interrumpida su propagación parcialmente por ellos. La Difracción es un fenómeno que ocurre en cualquier tipo de onda.



Cuando la luz se hace pasar a través de un orificio, la difracción es notable.



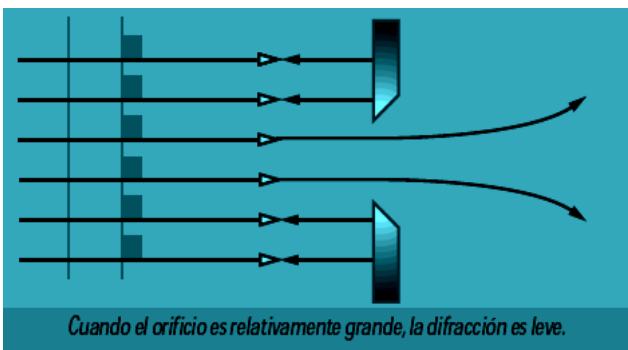
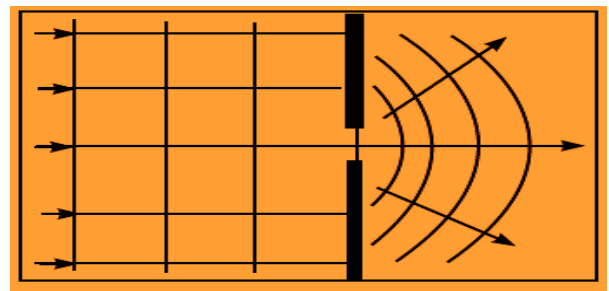
*Nuestra intuición diría que cada pulso que llega al obstáculo, se refleja, mientras que los pulsos que no lo tocan siguen su dirección inicial (línea recta).*



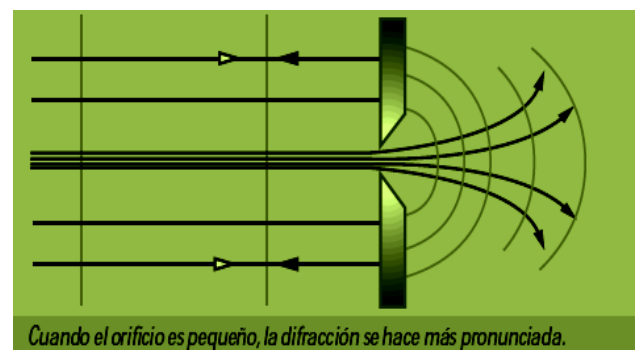
*Experimentalmente se observa: los pulsos que no tocan el obstáculo se curvan rodeando dicha barrera, a este fenómeno se le llama difracción.*

**Difracción por un orificio:** Si una onda se propaga en dirección a un orificio o abertura situada entre dos barreras, la difracción es importante pues la onda rodea ambos obstáculos.

El fenómeno de Difracción permite concluir, para la luz, que ésta es un movimiento ondulatorio **cuya longitud de onda es muy pequeña, ya que es posible apreciarlo sólo con aberturas extremadamente pequeñas.**

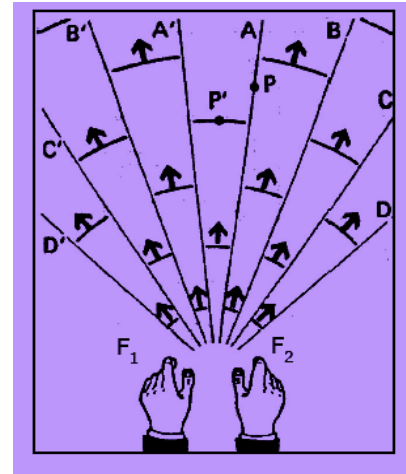


*Cuando el orificio es relativamente grande, la difracción es leve.*



*Cuando el orificio es pequeño, la difracción se hace más pronunciada.*

Las ondas de luz se superponen como las del sonido, formando zonas donde se refuerzan (interferencia constructiva) y zonas donde se anulan (interferencia destructiva). En una figura de interferencia se observan líneas nodales (A, A', B, B', etc.), constituidas por puntos P permanentemente en reposo (interferencia destructiva), y crestas dobles y valles dobles (interferencia constructiva), se propagan entre las líneas nodales P'. Para que se produzca el fenómeno de Interferencia, las ondas que se superponen, deben estar en "fase", es decir, en el momento en que una produce una cresta, la otra también genera la suya, y cuando una produce un valle, la otra también lo hace. Esto es posible de realizar, por ejemplo al perturbar el agua o con el sonido, con dos parlantes.

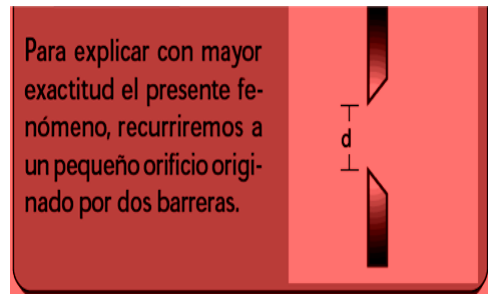


Pero con la luz no es tan fácil de obtener la Interferencia, para lograrlo se recurre al llamado "experimento de Young".

### EXPERIMENTO DE YOUNG DE LA DOBLE RENDIJA

Young hizo pasar la luz procedente de un único foco luminoso por dos rendijas estrechas (de grosor muy pequeño en comparación con la longitud de onda), separadas entre sí una distancia  $a$ . Consiguió dos focos coherentes, ya que la luz provenía de un único foco real. Observó así un patrón de franjas claras y oscuras alternadas, es decir un patrón de interferencias.

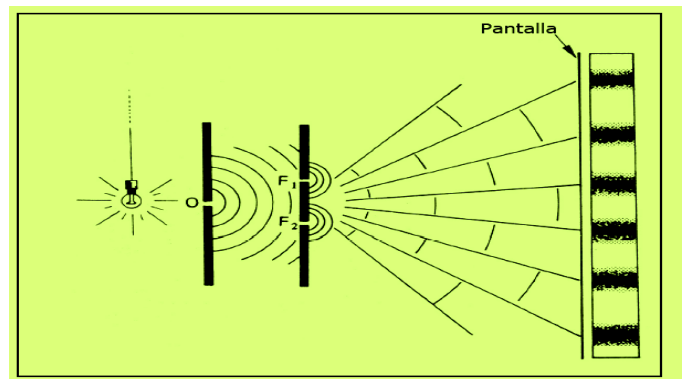
Se sabe que una interferencia es **constructiva** cuando las ondas están en fase. En este caso la amplitud resultante es la suma de las amplitudes de las ondas y su intensidad, proporcional al cuadrado de la amplitud, es máxima. Se observa una intensificación de las ondas. Una interferencia es **destructiva** si las ondas están en oposición de fase. La amplitud de fase es la diferencia de las amplitudes de las ondas y la intensidad es mínima. Se observa debilitación o anulación de las ondas.

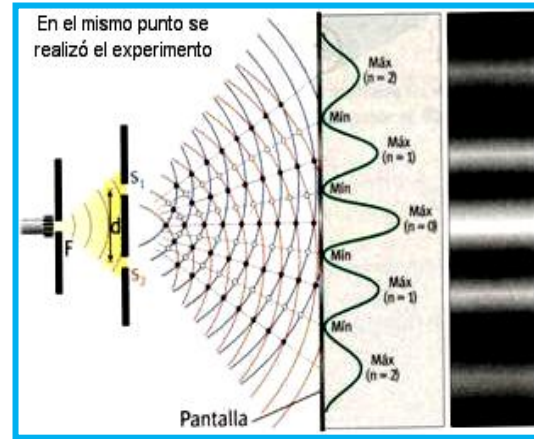
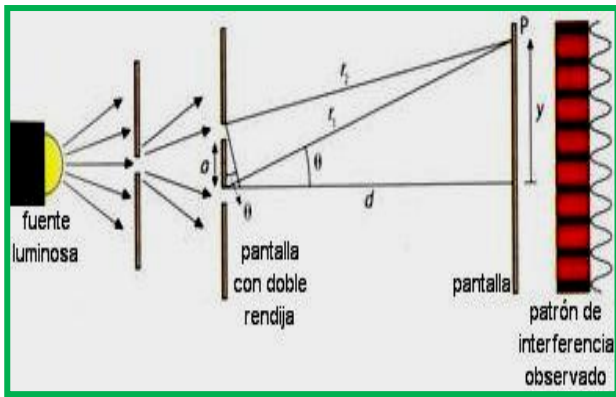


### En el experimento:

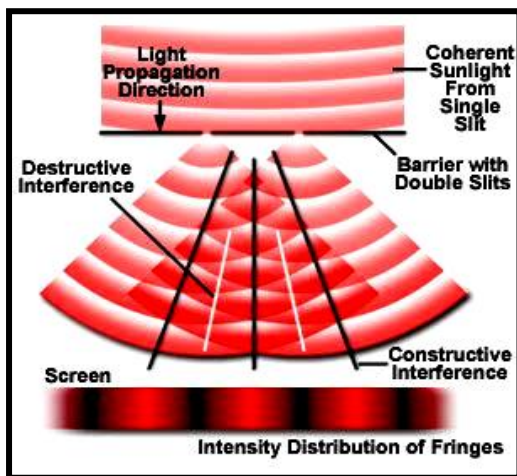
- La distancia entre las pantallas es grande en comparación con la distancia entre las rendijas ( $a$ ).
- Los ángulos correspondientes a los máximos  $\theta$  son muy pequeños, por lo que el patrón de interferencia se produce en las proximidades del centro de la pantalla.

Si se interpone en el camino de la luz un obstáculo y se examina la sombra, su contorno no es perfectamente nítido. Se aprecian franjas claras y oscuras que contradicen el principio de propagación rectilínea de la luz. Este fenómeno se conoce como difracción. Las ondas luminosas rodean los obstáculos y llegan a unos situados detrás de ellos y ocultos al foco. La difracción es básicamente un fenómeno de interferencia.





Supongamos un haz de rayos paralelos de luz que atraviesan una estrecha rendija paralela al frente de onda incidente. En la pantalla debería aparecer una zona iluminada semejante a la rendija.

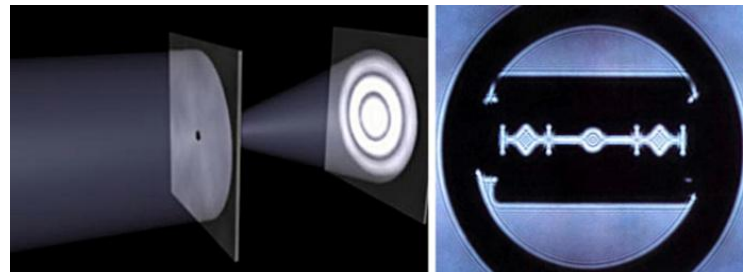


Sin embargo aparece una ancha franja central brillante y a los lados otras franjas más estrechas y no tan brillantes y alternadas con franjas oscuras.

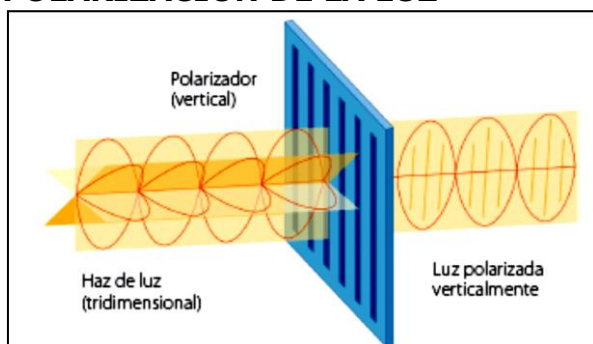
Esto puede interpretarse a partir del principio de Huygens: cada punto de la rendija se convierte en emisor de ondas elementales en fase que interfieren entre sí. De aquí la semejanza entre los fenómenos de interferencia y difracción.

Esto es lo que permite a movimientos ondulatorios con longitudes de onda grandes como el sonido (longitud de onda puede coincidir con el tamaño de una puerta) sortear obstáculos

y por eso podemos oír música al otro lado de una puerta. Sin embargo las ondas luminosas tienen poca longitud de onda (visible entre 380 y 780 nm) y las rendijas u obstáculos han de ser muy pequeños para que se produzca el fenómeno.



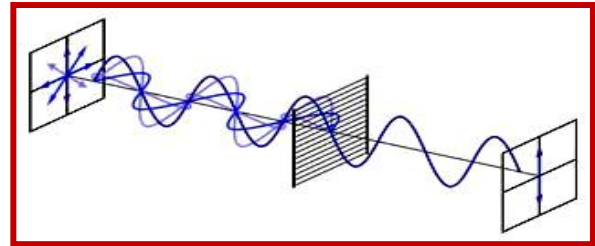
## POLARIZACIÓN DE LA LUZ



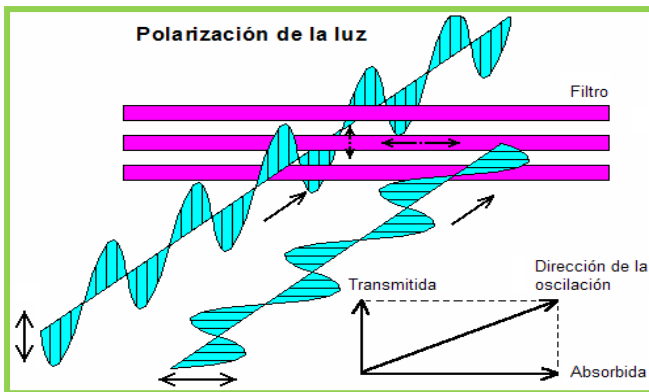
En la ilustración se ve un haz de luz que viaja tridimensionalmente. En su camino se ubica un polarizador, que en este caso es una rendija vertical. Al encontrarse con el polarizador, solo la componente vertical de la luz puede continuar su viaje, mientras el resto es absorbido por el polarizador. Así, en el proceso de polarización, la luz pasa de vibrar en múltiples planos a solo uno.

La polarización es una propiedad exclusiva de las ondas transversales consistente en la vibración del campo eléctrico y del magnético en una dirección preferente sobre las demás.

En general, las ondas electromagnéticas no están polarizadas, lo que quiere decir que el campo magnético y el campo eléctrico pueden



vibrar en cualquiera de las infinitas direcciones que son perpendiculares a la dirección de propagación de las ondas. Se produce el fenómeno de la polarización cuando se consigue que la vibración de las ondas se realice en una dirección determinada.

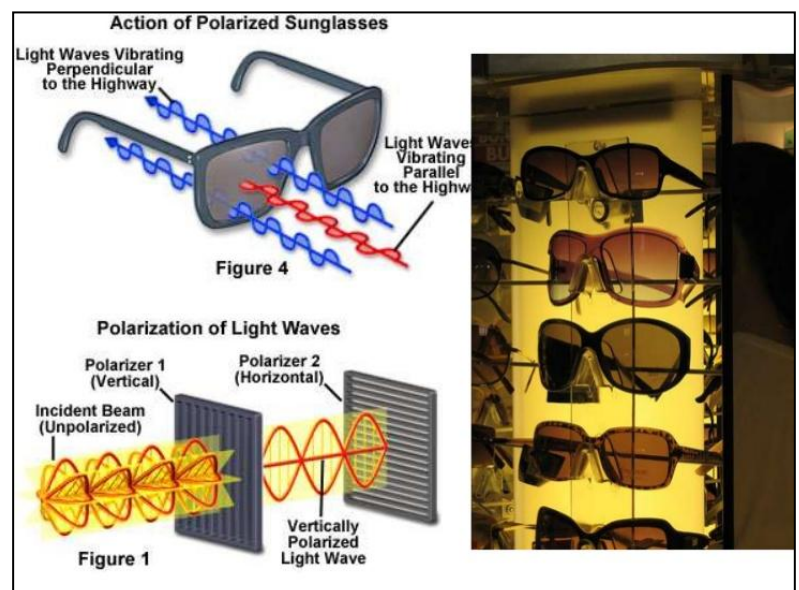


La luz emitida por el sol, por una lámpara en el salón de clase, o por la llama de una vela, es una luz no polarizada. Tales ondas son creadas por cargas eléctricas que vibran en diferentes direcciones. Este concepto de luz no polarizada es difícil de visualizar; en general, es de mucha ayuda dibujar una luz no polarizada como una onda la cual tiene la mitad del promedio de sus vibraciones en un plano horizontal y la otra mitad en un plano vertical.



El método más común de polarización involucra el llamado filtro Polaroid, estos están hechos de un material especial que es capaz de bloquear uno de los dos planos de vibración de la onda electromagnética (Recuerde, la noción de dos planos o direcciones de vibración es simplemente un modelo que nos ayuda a visualizar la onda), En este sentido un Polaroid sirve como un instrumento que filtra uno de las mitades de las vibraciones que trasmite la luz a través del filtro, esta emerge con la mitad de la intensidad y con las vibraciones en un plano simple, emerge como una luz polarizada.

En 1938, el inventor americano Land descubrió un material formado por finas láminas que contienen moléculas de hidrocarburos alineadas en largas cadenas. Se llamó polaroid o polarizador. Cuando el campo eléctrico de la luz tiene la dirección de estas moléculas se generan corrientes de electrones libres a lo largo de ella y la luz es absorbida. Si la luz del campo eléctrico oscila en la dirección perpendicular a la alineación de las moléculas no sufre apenas variación y atraviesa el filtro. A esta dirección se le denomina eje de transmisión del filtro.



Gafas de sol polaroid: La luz solar que se refleja sobre superficies lisas como la nieve, el agua o el asfalto y que provoca un deslumbramiento muy molesto a la vista está polarizada horizontalmente. Las gafas polaroid contienen sucesiones de cristales microscópicos alineados que son capaces de absorber esta luz polarizada horizontalmente evitando el deslumbramiento asociado a la luz reflejada.

Efecto de un filtro polarizador sobre la imagen del cielo en una fotografía en color. La imagen de la derecha se ha realizado utilizando un filtro polarizador.



## EFFECTO DOOPLER EN ONDAS LUMINOSAS

La Teoría Especial de la Relatividad nos dice que dos personas medirán para un rayo de luz exactamente la misma velocidad. Pero no nos dice que la frecuencia relativa de las ondas electromagnéticas que forman a dicho rayo de luz se mantendrá igual independientemente de que el rayo de luz sea enviado por alguien que se esté alejando o acercando de nosotros. Gracias a un fenómeno conocido como el efecto Doppler, podemos saber si la persona que nos envió un rayo de luz se está acercando o alejando de nosotros siempre y cuando conozcamos el color de la luz (que depende directamente de la frecuencia de la onda electromagnética del haz que nos está llegando). Si esperamos que alguien situado en una parte remota de la galaxia nos envíe un rayo de luz de cierto color, y el rayo de luz que recibimos es exactamente del mismo color que esperábamos, entonces aquella persona está estacionaria con respecto a nosotros (o por lo menos se encontraba estacionaria con respecto a nosotros cuando nos envió el rayo de luz). Pero si el color que nos llega es diferente, si el color aparece corrido hacia un extremo de la gama de colores como la que obtendríamos de un prisma de vidrio, entonces podemos concluir que tal persona se está moviendo o alejando de nosotros dependiendo de la magnitud del desplazamiento del color.

## LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

En las primeras décadas del siglo XX ya se conocían muy bien los espectros de emisión de los diferentes elementos. Un espectro de emisión es el conjunto de longitudes de onda que emite un elemento cuando uno de sus electrones disminuye de orbital.

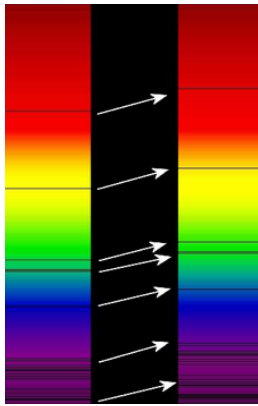
Podemos imaginar que un electrón de un átomo es un libro. Podemos subirlo de estante o bajarlo, y al hacerlo, emite o absorbe energía.

Como el Sol está formado por diversos elementos, si descomponemos su luz en colores podremos obtener en qué longitudes emite y por tanto sus elementos constituyentes, ya que cada elemento emite unas longitudes de onda correspondientes y bien definidas, tal y como establece el modelo atómico de Bohr.

Lo que hizo Edwin Hubble en la primera mitad del siglo XX es comparar el espectro del Sol (el Sol ni se aleja ni se acerca de nosotros) con el de un tipo especial de estrellas llamadas cefeidas. Estas estrellas tienen un brillo característico y regular, como un faro.

Si conocemos su brillo, podemos saber la distancia a la que se encuentra, porque cuanto más lejos esté, menos brillará.

En la imagen espectral, la luz que emite el Sol es la de la izquierda, y la de una cefeida, la de la derecha. Se puede observar que las líneas negras están más hacia arriba en la cefeida que en el Sol, el conocido corrimiento al rojo. Esto significa que esa cefeida se aleja de nosotros, al igual que la galaxia que la contiene. Como se aleja, las ondas que nos llegan de ella cada vez recorren más espacio, lo que se traduce como un aumento de la longitud de onda, que es lo que vemos comparando los espectros.



Hubble comparó el espectro de muchas cefeidas con el del Sol, y desarrolló la famosa ley de Hubble. Esta ley dice que cuanto más lejos está una galaxia, más rápidamente se aleja de nosotros. La desarrolló viendo cómo cambiaban los espectros entre unas cefeidas más cercanas y otras más lejanas, ya que el grado de corrimiento al rojo es proporcional a la distancia que nos separa de la cefeida.

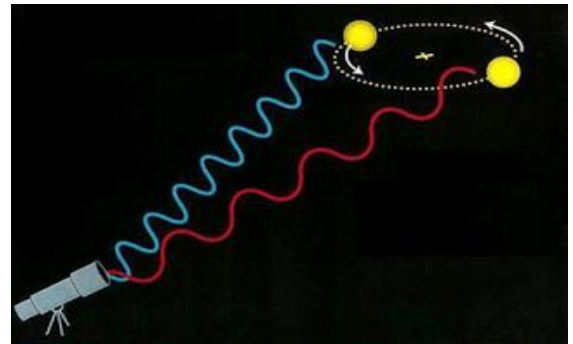
En términos matemáticos, la ley dice que  $D = v/H$ , donde  $D$  es la distancia,  $v$  la velocidad de alejamiento y  $H$  es la constante de Hubble ( $H = 2,5 \cdot 10^{-18}$  Hz). Esa fórmula implica que cuanto más lejos está la galaxia, más rápido se aleja.

Y lo más importante es que todas las galaxias se alejan las unas de las otras entre sí, igual que los puntitos del globo cuando la niña lo infla:

Cuando Hubble descubrió que el Universo se expandía, surgieron bastantes cuestiones: ¿Qué hace que se expanda? Y si cada vez es más grande, antes debió ser más pequeño. ¿Qué hubo al principio? ¿Cómo será el fin de nuestro Universo?

## EL EFECTO DOPPLER EN ASTRONOMÍA

En el caso de la radiación electromagnética emitida por un objeto en movimiento también se presenta el Efecto Doppler. La radiación emitida por un objeto que se mueve hacia un observador se comprime; su frecuencia se percibe aumentada y se dice que la frecuencia "se desplaza hacia el azul". Por el contrario, la radiación emitida por un objeto que se aleja se estira, "se desplaza hacia el rojo". Los desplazamientos hacia el azul o hacia el rojo que exhiben las estrellas, galaxias y nebulosas indican su movimiento con respecto a la Tierra.



En Astronomía, el Efecto Doppler fue estudiado originalmente en la parte visible del espectro electromagnético. Hoy, el "desplazamiento Doppler", como también se lo conoce, se estudia en todo el espectro de ondas. Debido a la relación inversa que existe entre frecuencia y longitud de onda, podemos describir el desplazamiento Doppler en términos de longitudes de onda. La radiación se corre hacia el rojo cuando la longitud de onda aumenta y se corre hacia el azul cuando la longitud de onda disminuye.

Los astrónomos se basan en el desplazamiento Doppler para calcular con precisión la velocidad de las estrellas y otros cuerpos celestes con respecto a la Tierra y para determinar si se acercan o se alejan. Por ejemplo, las líneas espectrales del gas hidrógeno en galaxias lejanas es frecuentemente observada con un corrimiento hacia el rojo considerable. La línea del espectro de emisión, que normalmente (en la Tierra) se encuentra en una longitud de onda de 21



centímetros, puede ser observada a 21,1 centímetros. Este milímetro de corrimiento hacia el rojo indicaría que el gas se está alejando de la Tierra a 1400 kilómetros por segundo. Más aún, estudiando el Efecto Doppler, se puede obtener información acerca de estrellas específicas. Las galaxias son grupos de estrellas que en general rotan alrededor de su centro de masa. La radiación electromagnética emitida por cada estrella de una galaxia distante aparecerá desplazada hacia el rojo si la estrella al rotar se aleja de la Tierra. En el caso contrario aparecerá desplazada hacia el azul. Pero debe tomarse en cuenta lo siguiente: Los desplazamientos de frecuencia pueden ser el resultado de



otros fenómenos, no del movimiento relativo del observador y la fuente. Otros dos fenómenos pueden estar involucrados: la existencia de campos gravitacionales muy fuertes que dan origen al "desplazamiento gravitacional hacia el rojo"; y el llamado "desplazamiento cosmológico hacia el rojo", debido a la expansión del espacio producto de la Gran Explosión.

## APLICANDO LO APRENDIDO



### I.- PROBLEMAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE

1.- ¿Cuál de las siguientes ondas corresponde a la que tiene menor longitud de onda?

- A) Ondas correspondientes al azul.
- B) Ondas infrarrojas.
- C) Ondas de rayos X.
- D) Luz ultravioleta.
- E) Ondas correspondientes al amarillo.

2.- El fenómeno llamado arco iris se debe a

- A) la Humedad del ambiente.
- B) la velocidad de la luz.
- C) la reflexión de la luz.
- D) la dispersión de la luz.
- E) la refracción de la luz.

3.- Al realizar las siguientes afirmaciones

- I) la luz viaja en línea recta.
- II) la luz es una onda tridimensional.
- III) la luz es una onda electromagnética.

Es (son) verdadera(s)

- A) solo I.
- B) solo II.
- C) solo III.
- D) solo I y II.
- E) I, II y III.

4.-Las ondas electromagnéticas se clasifican de acuerdo a su frecuencia y energía en el espectro electromagnético. De acuerdo a esto, si las ordenamos de menor a mayor energía, la alternativa correcta es

- A) ondas de radio, rayos X, infrarrojas, luz visible, ultravioletas.
- B) rayos X, infrarrojas, luz visible, ultravioletas, ondas de radio.
- C) ondas de radio, infrarrojas, luz visible, ultravioletas, rayos gamma.
- D) infrarrojas, luz visible, ultravioletas, ondas de radio, ondas de TV, rayos X.
- E) rayos X, infrarrojas, luz visible, ondas de radio, ondas supersónicas.

5.- Una pareja de novios decide ir a ver una romántica puesta de sol en su playa favorita. Mientras el sol se pone, la pareja puede ver el sol por algunos minutos, incluso cuando éste está bajo la línea del horizonte. Este fenómeno físico es explicado por la

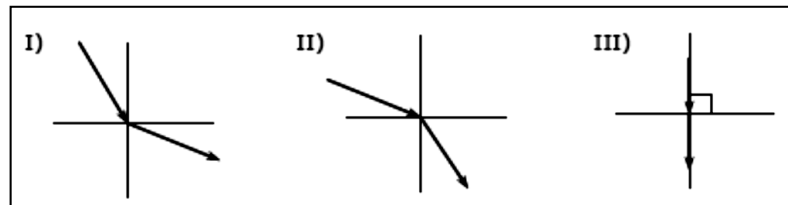
- A) reflexión.
- B) refracción.
- C) difracción.
- D) interferencia.
- E) polarización.

6.- Un haz de luz blanca pasa a través de un filtro rojo e incide sobre una superficie verde. La superficie se verá de color:

- A) Verde
- B) Rojo
- C) Amarillo
- D) Negro
- E) Azul

7.- Un haz de luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor índice, entonces, de las siguientes situaciones mostradas en las figuras, es (son) posible (s)

- A) solo I.
- B) solo II.
- C) solo III.
- D) solo I y III.
- E) solo II y III.



8.- El fenómeno que muestra que la luz, sin lugar a dudas, se comportaba como onda es

- A) la reflexión.
- B) la refracción.
- C) la difracción.
- D) la polarización.
- E) la dispersión.

9.- Respecto a la rapidez de las ondas electromagnéticas que se encuentran en el espectro visible, es correcto decir que

- A) la luz roja siempre viaja más rápido que la luz azul.
- B) la luz azul siempre viaja más rápido que la luz roja.
- C) siempre la luz roja y luz azul viajan con la misma rapidez.
- D) en el vacío todos los colores viajan con la misma rapidez.
- E) en un prisma la luz azul viaja más rápido que la luz roja.



10.- Al realizar las siguientes afirmaciones:

I) La velocidad de propagación de la luz en el agua es mayor que en el aire.

II) La velocidad de la luz en el vacío es de 300000 km/h.

III) La luz es energía y está compuesta por fotones.

Es (son) verdadera(s)

A) Sólo I

B) Sólo II

C) Sólo III

D) Sólo I y II

E) Sólo I y III

11.- Se emite un haz de luz blanca que incide en un prisma. Al otro lado del prisma se observa que emergen rayos luminosos de diferentes colores. Si P, Q y R representan los valores de las frecuencias de los rayos luminosos respectivos, se cumple que

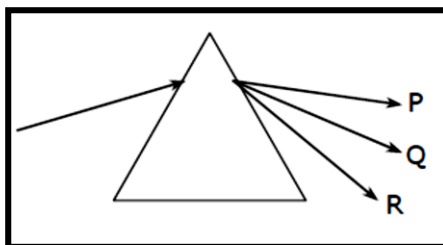
A)  $P < Q < R$

B)  $P > Q > R$

C)  $P > Q < R$

D)  $P < Q > R$

E)  $P = Q = R$



12.- Según la teoría ondulatoria, el color está asociado a

A) dirección de propagación de onda.

B) la longitud de onda.

C) el índice de refracción.

D) la velocidad de la luz.

E) la velocidad de la luz en un prisma.

13.- Un rayo de luz monocromático correspondiente al rojo, viaja del agua al aceite, como muestra la imagen. De esto es correcto afirmar que el haz de luz rojo al pasar al aceite, considerando que este tiene mayor índice de refracción,

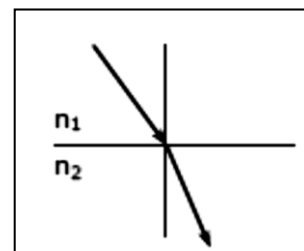
A) cambia de color.

B) aumenta su frecuencia.

C) aumenta su longitud de onda.

D) mantiene su velocidad.

E) su periodo permanece constante.



14.- Se sabe que en determinado vidrio, la longitud de onda para el rojo es de  $6560 \cdot 10^{-10}$  m y

$4860 \cdot 10^{-10}$  m para el azul. ¿Cuál tiene mayor índice de refracción en el vidrio?

A) El rojo

B) El azul

C) Son iguales

D) Son diferentes

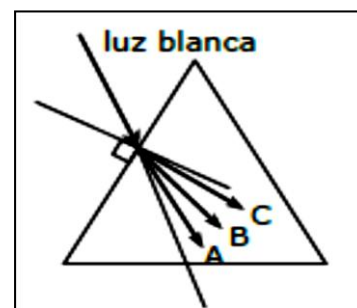
E) Faltan datos

15.- Es **incorrecto** afirmar respecto de las ondas electromagnéticas que  
A) el microondas usado para calentar la comida emite ondas electromagnéticas.  
B) un celular emite ondas electromagnéticas.  
C) las centrales nucleares emiten ondas electromagnéticas.  
D) los cables de alta tensión ubicados en la ciudad emiten ondas electromagnéticas.  
E) ninguna de ellas se puede propagar a través de un sólido.

16.- Un pedazo de vidrio de color rojo tiene dicho color debido, principalmente a  
A) la reflexión de la luz roja.  
B) la refracción de la luz roja.  
C) la absorción de la luz roja.  
D) la transmisión de la luz roja.  
E) la difracción de la luz roja.

17.- Se hace incidir sobre un prisma un rayo de luz blanca, de tal forma que el rayo inicial se separa en los distintos colores que componen la luz blanca, tal como se aprecia en la figura. Respecto a los rayos A, B y C, provenientes de esta separación se afirma que al compararlos entre ellos

A) no es posible saber si A, B o C es el de menor longitud de onda.  
B) la luz roja corresponde al rayo C.  
C) A, B Y C poseen la misma longitud de onda.  
D) la longitud de onda correspondiente al rayo B es la del color violeta.  
E) el de mayor longitud de onda es A.



18.- Alrededor de 1920 los astrónomos detectaron por primera vez que todas las estrellas parecen estar alejándose del planeta Tierra. El fenómeno físico que sustenta esta conclusión es

A) Reflexión.  
B) Efecto Doppler.  
C) Angulo límite.  
D) Reflexión total.  
E) Polarización.

19.- Un rayo de luz atraviesa un vidrio. Respecto a su velocidad al salir del vidrio, se puede afirmar que es

A) mayor que antes de incidir en el vidrio.  
B) igual que antes de incidir en el vidrio.  
C) menor que antes de incidir en el vidrio.  
D) menor o igual que antes de incidir en el vidrio.  
E) No se puede determinar.

20.- El vestido azul de una niña, que se encuentra en una habitación iluminada con luz roja, se ve de color

A) blanco.  
B) amarillo.  
C) azul.  
D) rojo.  
E) negro.

21.-\_Diga cuál de los siguientes hechos **no puede ser explicado por el fenómeno de refracción**:

- A) Un niño que va a tomar una limonada. Al colocar la cuchara en el vaso tiene la impresión de que ésta se dobla.
- B) La Luna no tiene luz propia. Brilla debido a la luz solar.
- C) Se observa que las estrellas titilan.
- D) Al encontrarse sobre un lago se observa que los objetos que se localizan en el fondo del mismo parecen estar más próximos a la superficie.
- E) Un niño consigue encender un fósforo empleando una lente al enfocar la luz solar sobre él.

## **II. DESARROLLAR**

1. Explique la naturaleza de la luz

2. Explique el fenómeno de difracción

3. Nombre los colores del espectro visible

4. Si un objeto se ve verde a la luz natural es principalmente porque.....

5. Describa el espectro electromagnético

6. Explique cómo se origina la luz en el interior del átomo

7. Explique:

a) Reflexión especular

b) Reflexión difusa

8. Explique el principio de Fermat

9. El sonido no se propaga en el vacío; ¿cómo se puede saber que la luz si lo hace?

10. ¿Cuál es el rango de las longitudes de onda, desde la más corta hasta la más larga que el ojo humano puede detectar?

11. ¿Qué color de la luz visible tiene la longitud de onda más corta?

12. ¿De qué colores consta la luz blanca?

13. ¿Es el negro un color? ¿Por qué un objeto se ve negro?

14. Nombre cada uno de los colores primarios, así como sus correspondientes secundarios.

15. ¿Qué sucede a la longitud de onda de la luz cuando se incrementa su frecuencia?

16. ¿Cuánto tiempo tarda la luz en recorrer una distancia de un año luz?

17. ¿El espectro de los colores es sólo un pequeño segmento del espectro electromagnético? Justifica.
18. ¿Por qué es de esperarse que la rapidez de la luz sea ligeramente menor en la atmósfera que en el vacío?
19. Señala la diferencia que existe entre un eclipse solar y uno lunar. ¿Cuál de los dos tipos de eclipse es dañino para la vista si lo observas directamente?
20. ¿Por qué un objeto tiene un color distinto cuando lo iluminamos por medio de una lámpara fluorescente que cuando lo iluminamos con una lámpara incandescente?
21. ¿Qué color (o colores) transmite un objeto transparente rojo?, ¿qué color (o colores) absorbe?
22. ¿Cómo podemos producir un color amarillo sobre una pantalla si sólo disponemos de luz roja y luz verde?
23. ¿Es válida la ley de la reflexión tanto para las ondas sonoras como para las ondas de luz?
24. Señala la diferencia que existe entre la reflexión y la refracción de la luz.
25. Si puedes ver el rostro de una amiga que se encuentra bajo el agua, ¿puede verte ella a ti?

26. Las ondas se abren en abanico al pasar por una abertura. ¿Este efecto es más o menos pronunciado cuanto más angosta sea la abertura?, ¿cómo se llama este efecto?
27. ¿La interferencia es un fenómeno exclusivo de las ondas de luz, u ocurre para otro tipo de ondas? Cite ejemplos para justificar la respuesta.
28. ¿A qué se debe que aparezcan franjas de luz en el experimento de Young?
29. ¿En qué difiere la luz que emite un láser de la luz emitida por una ampollita común?
30. Te puedes broncear al Sol en días soleados y en días nublados. Pero no te puedes broncear si te colocas detrás de un vidrio. Explique por qué sucede esto.
31. Las longitudes de onda más pequeñas de la luz visible interactúan más frecuentemente con los átomos del vidrio que las longitudes de ondas mayores. ¿Qué tipo de luz, según tu parecer, tarda más en atravesar el vidrio: la luz roja o la luz azul?
32. Supón que un rayo de luz incide sobre unos anteojos para leer y unos anteojos de sol. ¿Cuál de los pares de anteojos se calentará más?, ¿por qué?
33. ¿A qué se debe que un avión que vuela a gran altura no proyecte sombra alguna sobre la tierra mientras que uno que vuela bajo proyecta una sombra bien definida?
34. ¿Por qué es negro el espacio fuera de la atmósfera terrestre?
35. ¿De qué color se ve un trozo de la tela amarilla a la luz del Sol?, ¿y si la iluminamos con luz amarilla?, ¿y con luz azul?