



## UNIDAD DIDÁCTICA Nº 8. ÓPTICA FÍSICA.

### 1 ÓPTICA FÍSICA.

Se conoce como Óptica a la rama de la física que se ocupa de la propagación y el comportamiento de la luz.

El estudio de la óptica se divide en dos ramas, la **Óptica Física** y la **Óptica Geométrica**.

La Óptica Física estudia los fenómenos luminosos describiendo a la luz como una onda. Mediante este planteamiento se pueden explicar fenómenos como la polarización, difracción interferencias, consecuencia de la interacción de la luz consigo mismo o bien otros como dispersión, consecuencia de la interacción de la luz con la materia.

La Óptica Geométrica se ocupa de los cambios de dirección que experimenta la luz cuando atraviesa un medio material.

### 2 NATURALEZA DE LA LUZ.

Desde tiempos muy remotos ha existido una gran controversia acerca del carácter de la luz y sobre como tenían lugar los fenómenos ópticos. Nos vamos a centrar en dos importantes: los denominados **modelos corpuscular y ondulatorio de la luz**.

El modelo corpuscular defendido por **Isaac Newton** en su obra "Óptica" en 1704. Según este modelo, la luz está formada por partículas materiales a las que denominó corpúsculos. Estas partículas se mueven a gran velocidad, siendo lanzadas por los cuerpos que emiten luz y al chocar con nuestros ojos producen la sensación luminosa. Estos corpúsculos son capaces de atravesar los medios transparentes y son reflejados por los cuerpos opacos.



Isaac Newton

Mediante este modelo, se podían explicar los siguientes fenómenos:

- Propagación rectilínea de la luz.
- Ley de la reflexión
- Justificaba la ley de la refracción aunque suponiendo que la luz se mueve más rápida en otros medios que en el vacío cosa que se demostró que no era cierto.

El segundo modelo es el denominado modelo ondulatorio. Defendido por **Robert Hooke y Christian Huygens**. Este último, en su obra "**Tratado de la luz**", publicada en 1690 suponía que la luz no está formada por partículas, sino que tiene naturaleza ondulatoria.

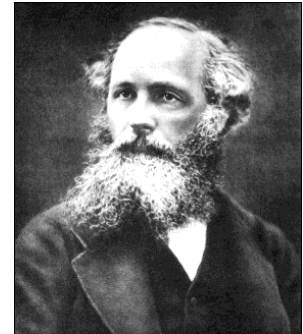
Este modelo podía explicar fácilmente los siguientes hechos experimentales:

- La luz se propaga tridimensionalmente.
- La reflexión
- La refracción

Sin embargo, como Newton tenía más reconocimiento académico, la teoría ondulatoria de la luz fue rechazada y se admitió su naturaleza corpuscular.

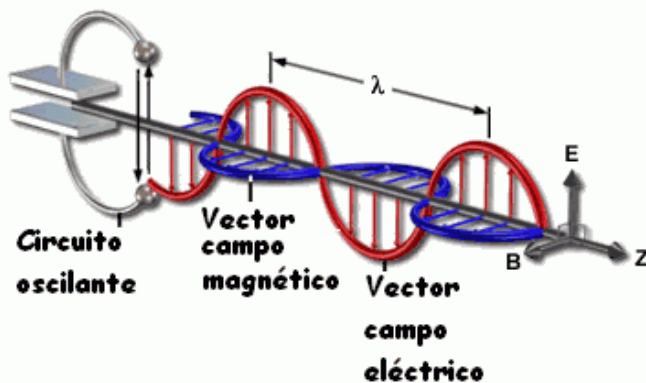
No fue hasta el siglo XIX cuando nuevos descubrimientos sobre la luz, como la interferencia luminosa (**Thomas Young 1773-1829**), la difracción (**J. A. Fresnel 1788 - 1827**) o la polarización, hicieron que se rechazara la teoría de Newton sobre la naturaleza de la luz y se aceptase de nuevo el modelo ondulatorio de Huygens. Fresnel sugirió que la luz es una onda transversal.

Las posteriores aportaciones del Físico **James C. Maxwell**, establecieron en 1864 que la luz no era una onda mecánica sino que era electromagnética. Las ondas luminosas representan la propagación de dos campos simultáneamente. Un campo eléctrico y otro magnético, que varían periódicamente con el tiempo y la posición y que además son perpendiculares entre si y al mismo tiempo perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

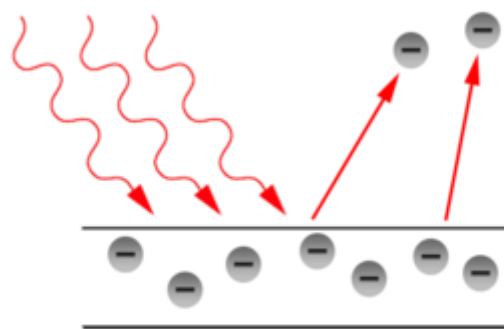


James Clerk Maxwell (1831 - 1909)

### Propagación de una onda electromagnética

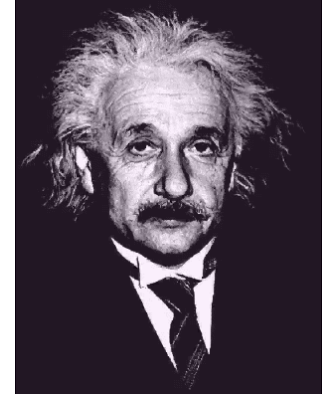


Pero el descubrimiento en 1887 del efecto fotoeléctrico por **H. Hertz**, no podía ser explicado mediante la teoría ondulatoria.



Una onda electromagnética podía producir la expulsión de electrones de la superficie de determinados metales. El aumento de la intensidad de la onda producía mayor número de electrones, pero no aumentaba la energía de éstos. En cambio, si se usaba una onda electromagnética de frecuencia superior y de igual intensidad, si aumentaba la energía cinética de los electrones.

Fue **Albert Einstein**, quien propuso en 1905 una explicación de este fenómeno acudiendo de nuevo a la Teoría Corpuscular de la luz. Según Einstein, la luz está formada por cuantos de luz o fotones donde se concentra la energía de una onda. Estos fotones son los que interaccionan con la materia.



Albert Einstein (1879 - 1955)

### La naturaleza de la luz en la actualidad.

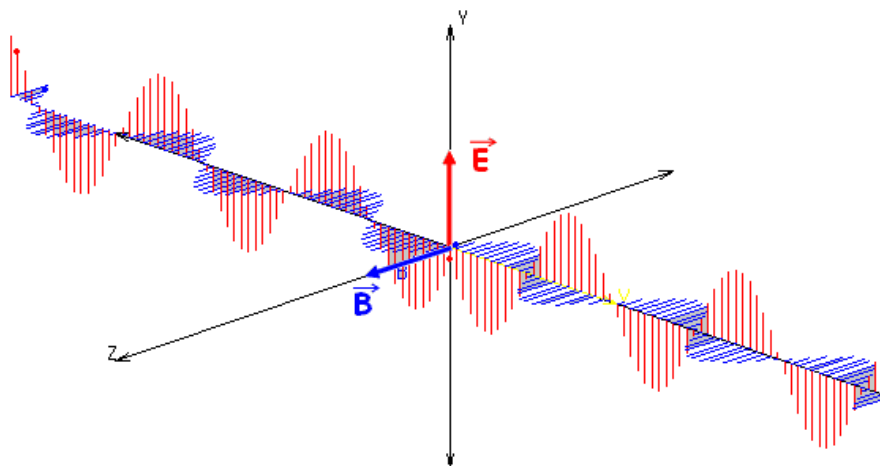
Actualmente se acepta que la luz tiene una doble naturaleza (corpuscular y ondulatoria), comportándose como onda al propagarse y como corpúsculo al interaccionar con la materia.

## 3 LA LUZ ES UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

### 3.1.- Características de las ondas electromagnéticas.

La Teoría de Maxwell amplía la concepción ondulatoria de la luz estableciendo que una onda electromagnética posee las siguientes características:

- 1.- Se originan por cargas eléctricas aceleradas (por ejemplo una carga que oscile).
- 2.- Consisten en un campo eléctrico variable y un campo magnético variable que se propagan simultáneamente. (El campo eléctrico variable origina un campo magnético variable y viceversa).



- 3.- No necesitan ningún soporte material para propagarse, pudiendo propagarse en el vacío.
- 4.- Tanto el campo eléctrico como el campo magnético son funciones periódicas del tiempo y la posición. De esta forma los podemos representar mediante la ecuación para una onda armónica:

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_0 \cdot \text{sen}(\omega t - kx)$$

$$\vec{B}(t) = \vec{B}_0 \cdot \text{sen}(\omega t - kx)$$

Donde  $E_0$  y  $B_0$  representan los valores máximos del campo eléctrico y magnético respectivamente.

- 5.- La velocidad de la onda electromagnética se puede calcular mediante el cociente en un momento determinado de:

$$c = \frac{E}{B}$$

- 6.- La velocidad de una onda electromagnética depende del medio de propagación. Su valor puede

calcularse mediante la expresión:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

Donde:  $\epsilon$  = constante dieléctrica del medio. Si es el vacío  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .

$\mu$  = permeabilidad magnética del medio. Si es el vacío  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$ .

7.- Cualquier onda electromagnética posee por tanto una frecuencia y periodo. Se cumple siempre que:

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad c = \lambda \cdot f$$

### 3.2.- Tipos de ondas electromagnéticas.

Existen distintos tipos de ondas electromagnéticas. Todas ellas se distinguen entre sí por los distintos valores que toman su frecuencia y su longitud de onda. La luz visible no es más que una pequeña fracción de ellas.

De menor a mayor frecuencia las clasificamos en:

1.- **Ondas de radio** (largas, medias, cortas, VHF, UHF). Se producen mediante la oscilación de cargas eléctricas en movimiento en un conductor. Se usan en comunicaciones. Tienen una frecuencia comprendida entre  $10^4$  y  $10^{10}$  Hz.

2.- **Microondas**. En los microondas domésticos se utilizan las longitudes de onda mayores. Longitudes de onda menores se utilizan en radares. También se utilizan en radioastronomía. Tienen una frecuencia comprendidas entre  $10^{10}$  y  $10^{12}$  Hz.

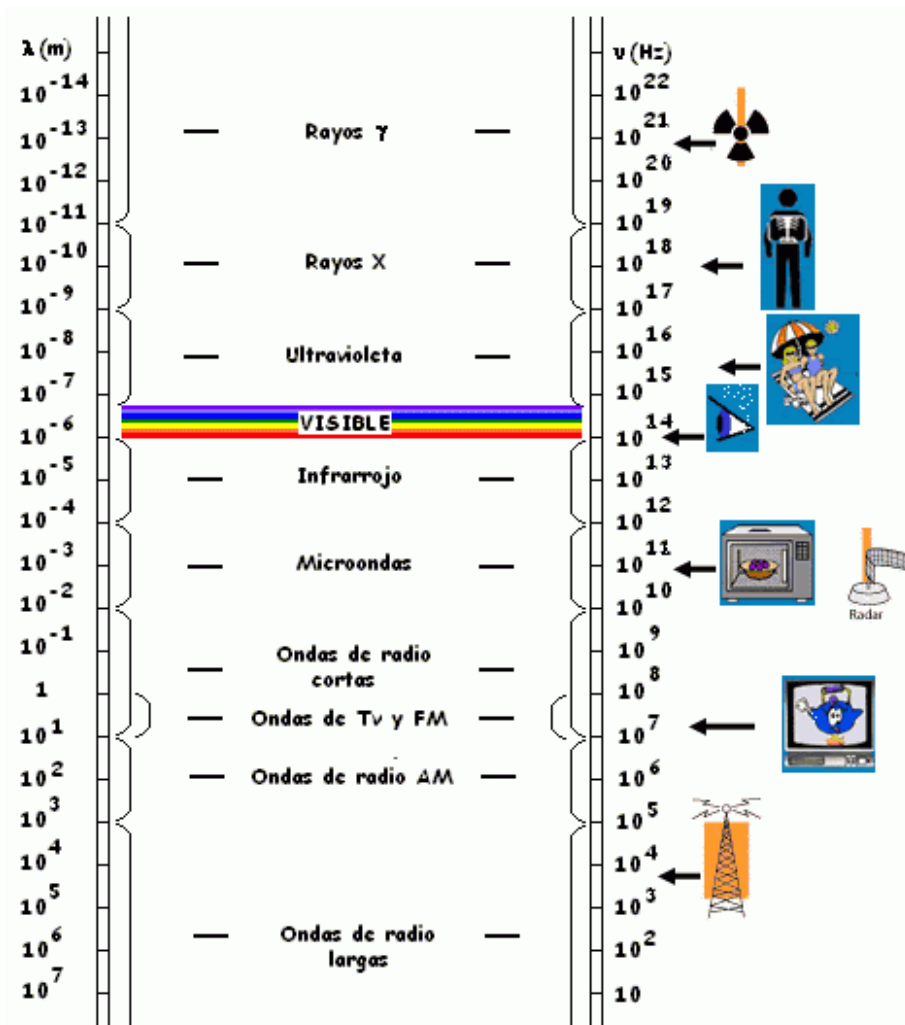
3.- **Radiación infrarroja**. Se producen al calentarse y vibrar las moléculas de los cuerpos. Se usan en los controles remotos muy conocidos por todos. Su frecuencia está comprendida entre  $10^{12}$  y  $10^{14}$  Hz.

4.- **Luz visible**. Corresponde a las frecuencias que podemos percibir. Su longitud de onda está comprendida entre 400 y 750 nm. (Frecuencia entre  $4 \cdot 10^{14}$  y  $7 \cdot 10^{14}$  Hz). Se producen por saltos electrónicos entre distintos niveles de energía en átomos y moléculas.

5.- **Ultravioleta**. Estos rayos se dividen en 3 grupos: Cercano, Lejano y Extremo que se diferencian a parte de su frecuencia por la cantidad de energía que transmiten. Tienen frecuencia comprendida entre  $7 \cdot 10^{14}$  y  $10^{17}$  Hz. Se producen en los saltos electrónicos entre átomos y moléculas excitados. Es responsable del bronceado de la piel. Es peligroso para los ojos y para la piel en dosis excesivas.

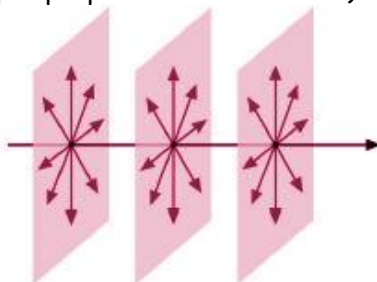
6.- **Rayos X**. Poseen frecuencia comprendida entre  $10^{17}$  y  $10^{19}$  Hz. Estos rayos de menor longitud de onda que los rayos ultravioleta tienen más energía. Se producen en saltos electrónicos en electrones próximos al núcleo. Son muy utilizados en el área de la medicina ya que las diferentes partes del cuerpo por su diferente densidad absorben más o menos esta radiación, pudiendo verse un ejemplo en las placas de rayos X. Es muy peligroso exponerse a estas radiaciones.

7.- **Rayos  $\gamma$** . De frecuencias superiores a  $10^{19}$  Hz. Estas ondas son generadas por átomos radiactivos y en explosiones nucleares. Son extremadamente peligrosas. Estos rayos pueden matar las células y en medicina son utilizadas para matar células cancerosas.



## 4 POLARIZACIÓN DE LA LUZ.

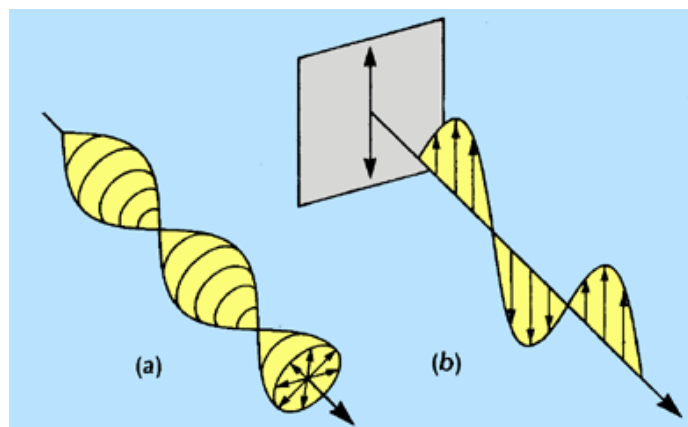
Cuando se produce una onda electromagnética, los vectores campo eléctrico y magnético pueden oscilar en cualquier dirección (siempre perpendiculares entre sí). La luz no está polarizada.



Representación del campo eléctrico de la luz sin polarizar. Se producen oscilaciones en todas las direcciones del espacio perpendiculares a la de propagación.

Pero si en la trayectoria de la luz intercalamos un polarizador, es decir, una sustancia que solo permite pasar a la luz cuyos campos eléctrico y magnético oscilan en una o unas determinadas direcciones, la luz que sale estará polarizada.

Si el polarizador es tal que hace que obtengamos luz que oscila en una única dirección tendremos una polarización lineal. Igualmente existen polarizadores que dan como resultado una luz circular o bien elípticamente polarizada.



Representación de una onda sin polarizar (a) y linealmente polarizada (b). Sólo se representan los campos eléctricos.

Únicamente pueden polarizarse las ondas transversales.

## 5 INTERFERENCIAS. DIFRACCIÓN DE LA LUZ.

Cuando dos movimientos ondulatorios coinciden en un punto, puede producirse también interferencia al igual que ocurre con cualquier onda.

Para que el fenómeno de la interferencia se produzca hacen falta dos condiciones:

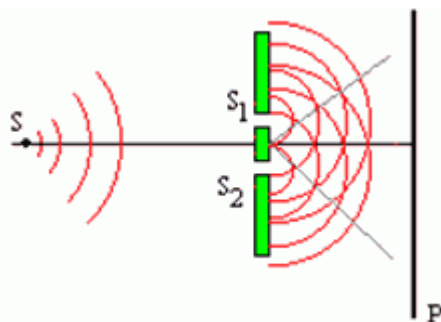
- Las ondas que se superponen deben ser coherentes. La diferencia de fase entre las ondas que interfieren debe ser constante a lo largo del tiempo en cualquier punto.
- Las ondas que interfieren deben poseer la misma amplitud y frecuencia (deben ser ondas monocromáticas) y además, las amplitudes de estas ondas deben tener direcciones paralelas. (En caso contrario puede no apreciarse la interferencia).

La forma más fácil de producir interferencias es mediante las **rendijas de Young**. Para ello se deja pasar la misma luz a través de dos rendijas estrechas, paralelas entre sí y muy próximas. De esta forma se producen dos frentes de onda idénticos que interfieren entre sí.

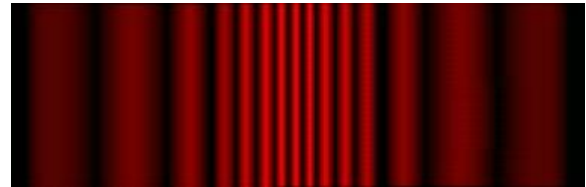
### Experiencia de Young.

Esta experiencia permite confirmar el carácter ondulatorio de la luz, permitiendo al mismo tiempo medir la longitud de onda de ésta.

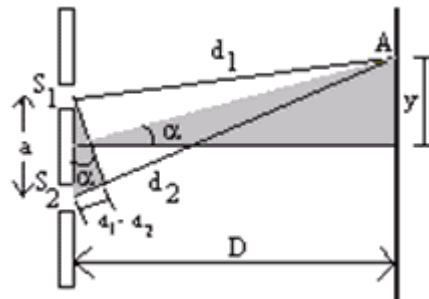
El dispositivo experimental consiste en una fuente emisora de luz  $S$  que ilumina una pantalla  $P$ ; en el trayecto de  $S$  a  $P$  se intercala una pantalla con dos pequeñas rendijas  $S_1$  y  $S_2$  muy próximas, tal como se aprecia en la figura.



Cuando la onda luminosa alcanza las rendijas, éstas, de acuerdo con el principio de Huygens se comportan como nuevas fuentes emisoras de ondas secundarias coherentes; es decir:  $S_1$  y  $S_2$  generan ondas en fase de la misma frecuencia. Estas ondas interfieren en la pantalla P. Sobre ella deben aparecer zonas con interferencia constructiva (zonas iluminadas) y zonas con interferencia destructiva (zonas oscuras).



Interferencia obtenida mediante el experimento de Young. La fuente de luz utilizada es luz roja.



Según lo que sabes de la interferencia, si la diferencia entre las distancias que hay del punto A a los focos  $S_1$  y  $S_2$  cumple que  $d_2 - d_1 = n\lambda$ , (interferencia constructiva) en la pantalla se recogerá una franja iluminada. En cambio se recogerá una franja oscura si  $d_2 - d_1 = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$  (interferencia destructiva).

Esto es posible simplificarlo para este caso en particular. Para ello: En el dibujo se aprecia que:

$$d_2 - d_1 = a \cdot \text{sen } \alpha$$

y si  $D \gg a$ , entonces se cumplirá que:  $\text{sen } \alpha = \tan \alpha = \frac{y}{D}$

Por tanto los puntos que presentan iluminación máxima son aquellos en los que se cumple :

$a \frac{y}{D} = n\lambda$  situados por tanto a una distancia y del centro de la pantalla :

$$y = \frac{n \cdot D \cdot \lambda}{a}$$

Dando valores enteros a n obtendremos la distancia que hay entre las sucesivas zonas iluminadas, empezando por la del centro.

Igualmente puede obtenerse una expresión para las zonas oscuras.

**Un ejemplo de interferencia: los colores de las manchas de aceite en el agua.**

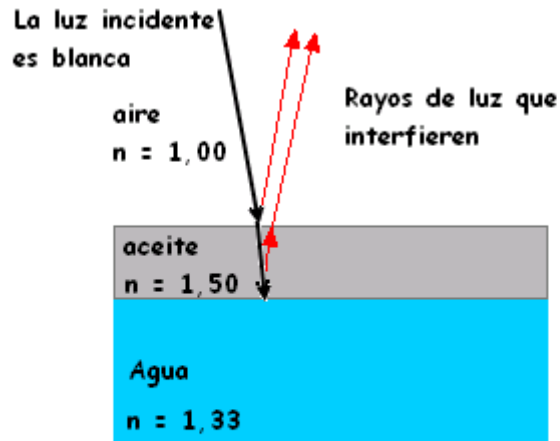
Seguro que alguna vez has visto una mancha de aceite en el agua y habrás notado que aparece con irisaciones. Lo mismo sucede en las pompas de jabón. La explicación está en la **interferencia**.



Cuando la luz blanca incide sobre la capa de aceite desde el aire, parte de la luz se refleja en la



superficie y otra parte se refracta, llegando hasta la superficie de separación del aceite y el agua. Ahí se produce una nueva división. Parte de la luz pasa al agua y otra parte se refleja, volviendo de nuevo al aire (donde experimenta una nueva refracción). Así la luz reflejada inicialmente interfiere con la que vuelve dando lugar a un patrón de interferencia. Como la luz blanca está formada por varios colores, realmente lo que se produce es un patrón de interferencia para cada color, obteniéndose así el aspecto irisado de la mancha de aceite.



La luz que se refleja desde el aceite no cambia de fase pero viaja una distancia extra. Al salir del aceite interfiere bien constructiva o destructivamente. Por eso según la zona de la mancha se observa un color u otro.

Algo similar sucede con las pompas de jabón, excepto que no hay tres medios (aire - aceite - agua) sino solamente dos medios. Agua y aire dentro y fuera de la burbuja.

En la naturaleza también se da este fenómeno. Por ejemplo en las escamas de los peces. Estas escamas están recubiertas de un tejido transparente que produce reflexiones y refracciones produciéndose interferencias.

## 5 DIFRACCIÓN DE LA LUZ.

Descubierto en el siglo XVII por el italiano **Francesco María Grimaldi (1618 - 1663)**. Se pone de manifiesto cuando al iluminar una pantalla se interpone en la trayectoria de la luz un obstáculo con una abertura muy pequeña. De esta forma se observan franjas claras y oscuras en la pantalla que se deben a la difracción.

Un ejemplo de difracción, es el halo coloreado que se observa alrededor de la luz de las farolas cuando hay niebla espesa debido a la difracción de la luz en las pequeñas gotas de agua de la niebla.



Difracción de la luz en un CD.

### Justificación de la difracción.

Fresnel logró explicar la difracción mediante el denominado **principio de Huygens-Fresnel**. Según este principio, cada punto de la abertura actúa como nuevo foco emisor de ondas elementales secundarias y la figura que se observa en la pantalla es el resultado de la interferencia entre las ondas que se mueven por el interior de la abertura y las ondas secundarias emitidas por los bordes del diafragma.

Además para que se produzca la difracción es necesario, tal y como sucede con las ondas, que la



abertura del diafragma tenga unas dimensiones comparables a la longitud de onda de la luz empleada.

## 6 DISPERSIÓN RAYLEIGH DE LA LUZ.

La dispersión de Rayleigh (nombre dado en honor a Lord Rayleigh) consiste en la dispersión de la luz (o cualquier otra radiación electromagnética) cuando esta atraviesa un medio cuyas partículas son mucho menores que la longitud de onda. Ocurre cuando la luz atraviesa sólidos y líquidos transparentes, pero sobre todo se ve en los gases.

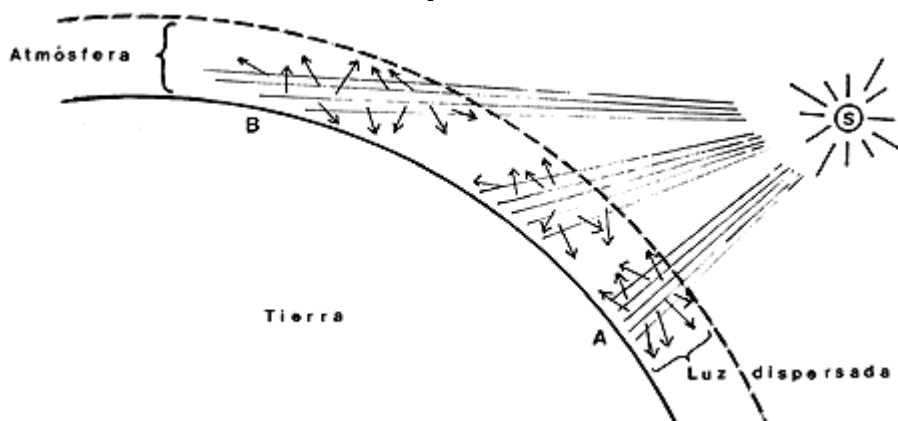
El color del cielo se debe a la dispersión de la luz solar por la atmósfera. Cuando un haz de luz atraviesa un gas, las moléculas desvían parte de la luz en todas las direcciones.

Para hacerte una idea, imagina que la luz está formada por un chorro de partículas. Al chocar con las moléculas del gas, las partículas se dispersan. Mientras más moléculas de gas haya, mayor será la dispersión de la luz.

Lo mismo sucede cuando la luz atraviesa un medio transparente. Parte de la luz se dispersa, sobre todo si hay impurezas en el medio. (Por ejemplo en los vidrios translúcidos).

Sin embargo, no todos los colores se dispersan por igual. Si el tamaño de las partículas es similar o menor que la longitud de onda la luz se dispersará. En la atmósfera, los colores que mejor se dispersan son el azul, el violeta y después el verde. Por este motivo, cuando la luz del sol llega a la atmósfera, la luz azul se reparte por ella y así la atmósfera toma un color azul. El sol en lugar de ser blanco es amarillento, porque si la luz blanca pierde parte del color azul, lo que queda se vuelve amarillento.

El fenómeno es más intenso al amanecer o en el ocaso. En estos momentos, la luz del sol debe recorrer un espesor de atmósfera mayor con lo que la luz azul se difunde más, e incluso el verde se difunde en parte, predominando en la luz que nos llega, los colores que van desde el amarillo al rojo. Por este motivo el sol se ve más rojo.



La dispersión de la luz solar por la atmósfera. Un observador en A ve un Sol amarillento; el observador B lo ve rojizo. La luz indirecta (dispersada) es azul.

La presencia de partículas más grandes, como vapor de agua, niebla o polvo afecta a todos los colores por igual (Dispersión de Mie). Por este motivo, el cielo se ve blanquecino. Si además estas partículas absorben luz, el color del cielo se torna más gris.