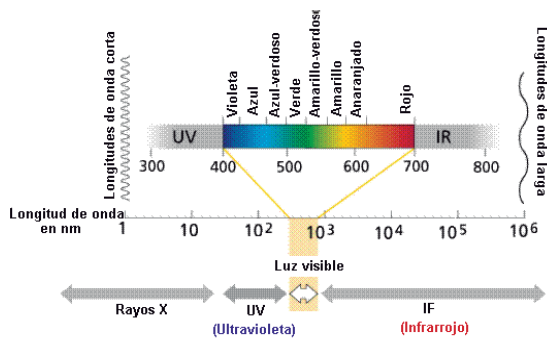


# Tema 08

## Naturaleza de la luz



IES Padre Manjón  
Prof: Eduardo Eisman

### 08. Naturaleza de la luz: Índice

<b>CONTENIDOS</b>	
1. La controvertida naturaleza de la luz · 2. Velocidad de propagación de la luz · 3. La luz y las ondas electromagnéticas · 4. Fenómenos ondulatorios de la luz · 5. Interacción luz-materia · 6. Sistemas de transmisión y almacenamiento de la información	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
8. Emplear las leyes de Snell para explicar los fenómenos de reflexión y refracción.	8.1. Experimenta y justifica, aplicando la ley de Snell, el comportamiento de la luz al cambiar de medio, conocidos los índices de refracción.
9. Relacionar los índices de refracción de dos materiales con el caso concreto de reflexión total.	9.1. Obtiene el coeficiente de refracción de un medio a partir del ángulo formado por la onda reflejada y refractada. 9.2. Considera el fenómeno de reflexión total como el principio físico subyacente a la propagación de la luz en las fibras ópticas y en las telecomunicaciones.
14. Establecer las propiedades de la radiación electromagnética como consecuencia de la unificación de la electricidad, el magnetismo y la óptica .	14.1. Representa esquemáticamente la propagación de una onda electromagnética incluyendo los vectores del campo eléctrico y magnético.
15. Comprender las características y propiedades de las ondas electromagnéticas, como su longitud de onda, polarización o energía, en fenómenos de la vida cotidiana.	15.1. Polarización de las ondas electromagnéticas a partir de experiencias de la vida cotidiana. 15.2. Clasifica casos concretos de ondas electromagnéticas presentes en la vida cotidiana en función de su longitud de onda y su energía.

## 08. Naturaleza de la luz: Índice

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
16. Identificar el color de los cuerpos como la interacción de la luz con los mismos.	16.1. Justifica el color de un objeto en función de la luz absorbida y reflejada.
17. Reconocer los fenómenos ondulatorios estudiados en fenómenos relacionados con la luz.	17.1. Analiza los efectos de refracción, difracción e interferencia en casos prácticos sencillos.
18. Determinar las principales características de la radiación a partir de su situación en el espectro electromagnético.	18.1. Establece las características de una onda electromagnética dada su situación en el espectro. 18.2. Relaciona la energía de una onda electromagnética. con su frecuencia, longitud de onda y la velocidad de la luz en el vacío.
19. Conocer las aplicaciones de las ondas electromagnéticas del espectro no visible.	19.1. Reconoce aplicaciones tecnológicas de diferentes tipos de radiaciones, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas.
19. Conocer las aplicaciones de las ondas electromagnéticas del espectro no visible.	19.2. Diseña un circuito eléctrico sencillo capaz de generar ondas electromagnéticas formado por un generador, una bobina y un condensador
20. Reconocer que la información se transmite mediante ondas, a través de diferentes soportes.	20.1. Explica esquemáticamente el funcionamiento de dispositivos de almacenamiento y transmisión de la información.

## 1.1 La controvertida naturaleza de la luz

### • Las primeras ideas sobre la Naturaleza de la Luz aparecen en la antigüedad.

- **Euclides, filósofo griego s.III a.C.** vivió en Alejandría entre el 330 y el 270 a.C.
- Su obra más importante es un tratado de geometría "**Los Elementos**", que ha sido la piedra angular de la Geometría durante miles de años. Aún hoy es fundamental.
- Sus estudios sobre la óptica geométrica: **la Óptica y la Catóptrica (teoría de los espejos)** tienen vigencia hasta el siglo XVII.
- En ellos recogió las leyes fundamentales que gobiernan la reflexión de la luz en los espejos planos.



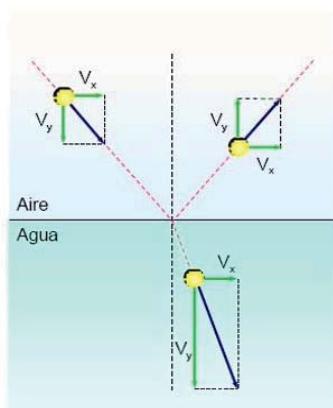
Euclides  
Filósofo griego s.III a.C..

- **En sus escritos aparece el concepto de rayo luminoso como trayectoria que sigue la luz en su propagación.**

## 1.2 La controvertida naturaleza de la luz

- **La Luz tiene Naturaleza Corpuscular**, las fuentes luminosas emiten pequeños corpúsculos materiales, que propagándose a través del medio, impresionan nuestros sentidos.

- **Isaac Newton, físico, matemático, astrónomo**, inglés Lincolnshire, 1642 - Londres, 1727.
- Su obra más importante, **Principios matemáticos de la filosofía natural, Los Principia**, en la que establece la **Teoría de la Gravitación Universal**.



- Newton desarrolla su **Teoría corpuscular de la luz**: las fuentes luminosas emiten pequeños corpúsculos materiales, que propagándose a través del medio, impresionan nuestros sentidos.
- La emisión corpuscular explica correctamente la reflexión, la refracción y la propagación rectilínea de la luz.



Isaac Newton  
Físico, matemático y  
astrónomo británico.  
S.XVII-XVIII

- **El prestigio de Newton hizo que su teoría se aceptase hasta finales del s-XVIII pese a las ideas de Christian Huygens que postulaba el Carácter Ondulatorio de la Luz.**

### 1.3 La controvertida naturaleza de la luz

- **La Luz tiene Naturaleza Ondulatoria**, es una onda longitudinal semejante al sonido, que necesita un medio material para propagarse.

- **Christian Huygens**, en 1678, propuso la idea de que la luz consistía en un movimiento ondulatorio que se propaga desde el foco de luz hasta el observador.
- **La luz tiene naturaleza ondulatoria**: es una onda longitudinal semejante al sonido, que necesita un medio material para propagarse.
- Explica la reflexión, refracción, interferencias y propagación rectilínea de la luz.



**Christian Huygens**  
Mat, Fís, y Astr. holandés  
La Haya 1629-1695

- **La teoría de Huygens no tuvo éxito, fue olvidada durante más de 100 años:**
  - En primer lugar porque **todas las ondas que se conocían necesitaban un medio material** y la luz viaja desde el Sol surcando el espacio vacío (se tuvo que inventar el éter).
  - En segundo lugar si la luz era una onda, como el sonido, **debía rodear los obstáculos** (difracción), este fenómeno en aquella época no se podía observar debido a que la ondas luminosas son de longitud de onda muy pequeña.
  - En tercer lugar por la **solidez de la “ciencia establecida” defendida por Newton**.

### 1.4 La controvertida naturaleza de la luz

- **La Teoría Ondulatoria de la Luz es aceptada Universalmente.**

- **Thomas Young**, físico inglés, Milverton, Somerset 1773 – Londres 1829.
- En 1801 realiza experiencias sobre interferencias luminosas.
- Es célebre por su experimento de la doble rendija que mostraba la naturaleza ondulatoria de la luz (se estudia más adelante).



**Thomas Young**  
Físico inglés



**Augustin Fresnel**  
Físico francés

- **Augustin Jean Fresnel** (Broglie, Normandía, 1788 – Ville d'Avray, 1827).
  - En 1815 realiza experiencias sobre fenómenos de difracción que demuestran la naturaleza ondulatoria de la luz.
  - Y sobre fenómenos de polarización que indican que la luz es una onda transversal.
- **Estas y otras experiencias hacen que la teoría ondulatoria de la luz sea aceptada universalmente. Sin embargo, aún se mantenía la necesidad de la existencia del éter, para que las ondas pudieran propagarse.**

## 1.5 La controvertida naturaleza de la luz

- **La luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío.**

- **James Clerk Maxwell** (Edimburgo, 1831 – Cambridge, 1879) publicó en 1865 su teoría matemática del electromagnetismo que **unificó la electricidad, el magnetismo y la óptica.**
- Predijo la existencia de ondas electromagnéticas, producidas y detectadas por **Hertz** en 1887.
- **Demostó que la luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío sin necesidad de soporte material.**
- **La luz viaja, en el vacío, a la velocidad de  $3 \cdot 10^8$  m/s como el resto de las ondas electromagnéticas.**
- Sólo se diferencia de las demás en la frecuencia.
- La luz, como el resto de las ondas electromagnéticas tiene su origen en vibraciones eléctricas y magnéticas.



James Clerk Maxwell  
Físico británico (escocés)  
Edimburgo, 1831 Cambridge,  
1879

- **Por fin, la teoría ondulatoria parece triunfar.....**

## 1.6 La controvertida naturaleza de la luz

- **Se descubren ondas electromagnéticas de baja frecuencia: Ondas Hertzianas**

- **Heinrich Rudolph Hertz** (Hamburgo, 1857 – Bonn, 1894) a finales del s-XIX descubrió las ondas electromagnéticas de baja frecuencia (ondas hertzianas) que confirmaron la Teoría Electromagnética de Maxwell.
- Probó experimentalmente que las señales eléctricas pueden viajar a través del aire, como habían predicho James Clerk Maxwell y Michel Faraday.
- Así abrió el camino para el desarrollo de la radio y la telefonía sin hilos.
- Sin embargo, otros experimentos de Hertz, como el **Efecto Fotoeléctrico**, hacen dudar de la teoría ondulatoria.
- **La Teoría Ondulatoria habrá que rectificarla mediante la Teoría Cuántica de Max Planck y las Ideas de Albert Einstein**



Heinrich Rudolph Hertz  
Físico alemán

- **Hoy sabemos que la luz tiene Naturaleza Corpuscular y Ondulatoria**

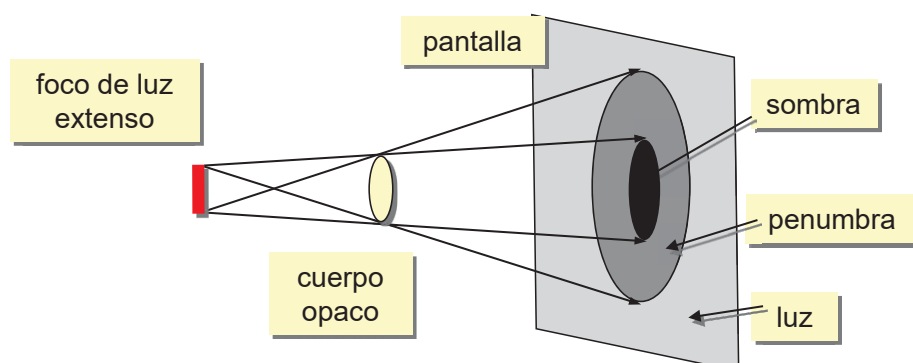
## 1.7 La doble naturaleza de la luz

- **La Teoría Ondulatoria** explica fenómenos de reflexión, refracción, difracción, interferencias de la luz.
- **La Teoría Corpuscular** explica fenómenos de emisión y absorción de la luz, como son la radiación del cuerpo negro y el efecto fotoeléctrico.
- **Radiación del cuerpo negro:** los cuerpos emiten energía electromagnética debido a su temperatura que recibe el nombre de radiación térmica.
- Un cuerpo negro es el es capaz de absorber todas las radiaciones que llegan a él y, por tanto, emitir todas las longitudes de onda. La energía emitida no es continua.
- **Efecto fotoeléctrico:** cuando la luz incide sobre la superficie de ciertos metales, puede arrancar electrones. El efecto fotoeléctrico (s-xx) es un fenómeno físico en el que la luz, presenta un comportamiento corpuscular que se explica cómo un simple choque entre electrones y **“paquetes de energía”, “cuantos” o “fotones”**.

- En la actualidad se considera que **la naturaleza de la luz es dual:** su naturaleza ondulatoria se pone de manifiesto al propagarse, en los fenómenos de difracción e interferencia, y su naturaleza corpuscular se evidencia al interactuar con la materia.

## 2.1 Velocidad de propagación de la luz

- Aunque la luz es una onda electromagnética, decimos que se propaga según unas líneas rectas, que llamamos rayos.
- Un rayo es la línea imaginaria trazada en la dirección en la que se propaga la onda y perpendicular a los frentes de onda.
- En un medio transparente, homogéneo (iguales propiedades en todos sus puntos), e isótropo (iguales propiedades en todas las direcciones), **la luz se propaga en línea recta y con velocidad constante, que depende de cada medio.**
- La luz viaja en el vacío/aire a la velocidad de 300.000 km/s y en el vidrio a 200.000 km/s.



- La propagación rectilínea de la luz da lugar a la formación de **sombras y penumbras**. Como ejemplos muy interesantes, son los eclipses de Sol y de Luna.

## 2.2 Velocidad de propagación de la luz

- La velocidad de la luz, depende del medio transparente en el que se propaga, por esta razón se define el índice de refracción de un medio.
- **Índice de refracción absoluto (n)** de un medio transparente es el cociente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío y la velocidad de propagación de la luz en ese medio:

$$n_{\text{vidrio}} = \frac{c}{v_{\text{vidrio}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}}{2 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}} = 1,5 \Rightarrow \text{siempre } n \geq 1$$

- La velocidad de la luz en el vacío es  $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  y es la velocidad máxima que se puede alcanzar.
- El índice de refracción del aire se puede tomar como 1 ya que la velocidad de la luz en el aire es aproximadamente igual que en el vacío.
- Un medio es más refringente que otro cuando su índice de refracción es mayor y por tanto la velocidad de propagación de la luz en ese medio es menor.

- **Índice de refracción relativo** de un medio respecto de otro medio, es el cociente entre sus respectivos índices de refracciones absolutos  $n_1$  y  $n_2$ .

$$n_{1-2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{c}{v_1} : \frac{c}{v_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

## 3.1 La luz y las ondas electromagnéticas: síntesis electromagnética

### • Ecuaciones o leyes de Maxwell

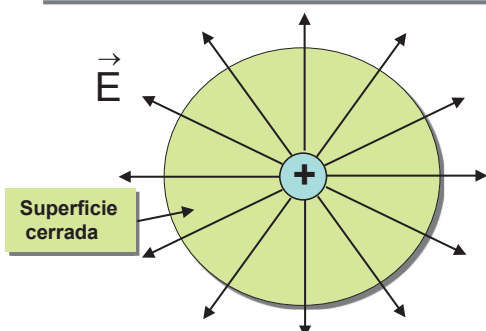
- **James Clerk Maxwell** publicó en 1865 su teoría del electromagnetismo que unificó la electricidad, el magnetismo y la óptica, y predijo la existencia de ondas electromagnéticas, de baja frecuencia, producidas y detectadas por **Hertz** en 1887.
- Relacionan los campos eléctricos y magnéticos con sus causas, que son las cargas eléctricas, las corrientes eléctricas y los campos variables.



James Clerk Maxwell.  
Físico británico  
Edimburgo, 1831  
Cambridge, 1879

### • Primera ecuación de Maxwell:

- El flujo de campo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual al cociente entre la carga eléctrica encerrada en esa superficie y la permitividad eléctrica del medio. Es la ley de Gauss para el campo eléctrico.



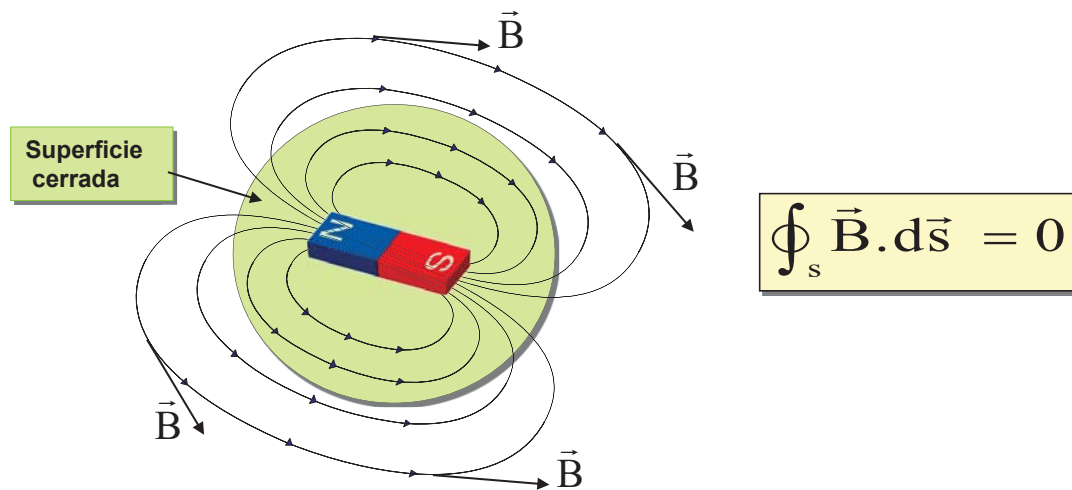
$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_{\text{interior}}}{\epsilon_0}$$

- Esta ley permite deducir la ley de Coulomb, base de la electrostática.
- Describe cómo las líneas de fuerza son abiertas, salen de las cargas positivas y entran en las negativas.

### 3.2 Síntesis electromagnética. Ecuaciones de Maxwell

- Segunda ecuación de Maxwell:**

- El flujo de campo magnético a través de cualquier superficie cerrada es siempre igual a cero. Es decir, el flujo magnético entrante es igual al flujo magnético saliente. Es la ley de Gauss para el magnetismo.

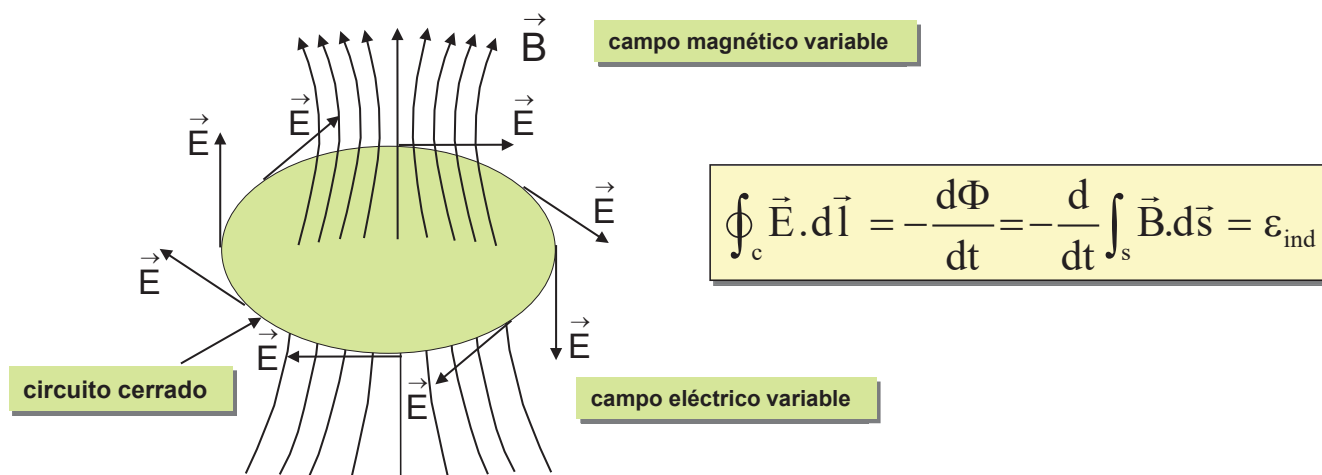


- No existen polos magnéticos aislados.
- Las líneas de campo magnético son cerradas, salen del polo norte y entran por el polo sur.

### 3.3 Síntesis electromagnética. Ecuaciones de Maxwell

- Tercera ecuación de Maxwell:**

- Toda variación de flujo magnético que atraviesa un circuito cerrado produce en él una corriente eléctrica inducida. Es la ley de Faraday de la Inducción electromagnética.



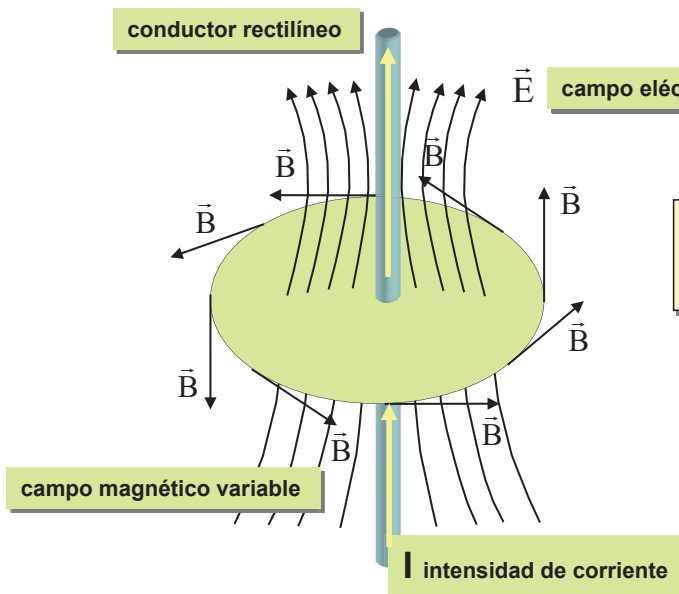
- Los campo magnéticos variables producen, a su alrededor, campo eléctricos también variables.



### 3.4 Síntesis electromagnética. Ecuaciones de Maxwell

- **Cuarta ecuación de Maxwell:**

- Podemos obtener un campo magnético a partir de una corriente eléctrica o por medio de un campo eléctrico variable. Es la ley de Ampère – Maxwell.



$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_s \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = I_{\text{desplazamiento}}$$

- A esta expresión Maxwell la llamé corriente de desplazamiento.

- Las corrientes eléctricas y los campos eléctricos variables producen, a su alrededor, campos magnéticos también variables.

### 3.5 Naturaleza de las ondas electromagnéticas

- Maxwell dedujo una ecuación de onda para el campo eléctrico y otra para el campo magnético y mostró que **la propagación de campos eléctricos y magnéticos tenía todas las características propias de una onda:** reflexión, refracción, difracción e interferencias.

$$E = E_0 \sin 2\pi \left[ \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right] = E_0 \sin [\omega t - kx]$$

$$B = B_0 \sin 2\pi \left[ \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right] = B_0 \sin [\omega t - kx]$$

- Los parámetros: período, longitud de onda, pulsaciones y número de onda tienen el mismo significado que el estudiado en las ondas armónicas.
- **Maxwell calculó la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío:**

$$V_{\text{OEM}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Siendo  $\epsilon_0$  la constante dieléctrica y  $\mu_0$  la permitividad magnética del vacío, cuyos valores son:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2} \Leftrightarrow \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

### 3.6 Naturaleza de las ondas electromagnéticas

- **Maxwell calculó la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío:**
- Las fuerzas eléctricas y magnéticas no son independientes, Maxwell, pensó que sus constantes tenían que estar relacionadas, así que dividiendo una por otra:

$$\frac{K_e}{K_m} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}}{\frac{\mu_0}{4\pi}} = \frac{1}{\epsilon_0\mu_0} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}}{10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}} = 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

- Obtuvo el cuadrado de una velocidad; ¿pero de qué velocidad?
- ¡Asombroso descubrimiento!. ¡No era casualidad!
- Se trataba del cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

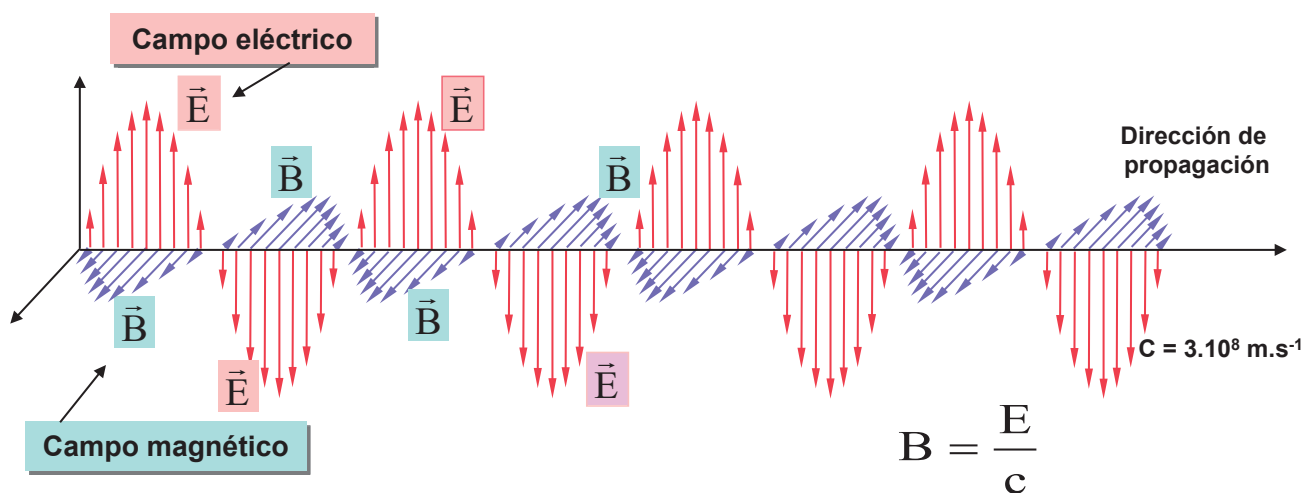
$$V_{\text{OEM}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz en el vacío.**

- La velocidad de las ondas electromagnéticas resultaba ser igual a la velocidad de la luz, por lo que Maxwell **supuso que la luz era una onda electromagnética** y Hertz lo confirmó experimentalmente.
- Las ondas electromagnéticas corresponden a la propagación en el espacio de campos eléctricos y magnéticos variables, **que viajan juntos, hasta la eternidad, a la velocidad de la luz** :  $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 3.7 Naturaleza de las ondas electromagnéticas

- Las ondas electromagnéticas están formadas por un campo eléctrico y otro magnético variables que vibran en planos perpendiculares entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

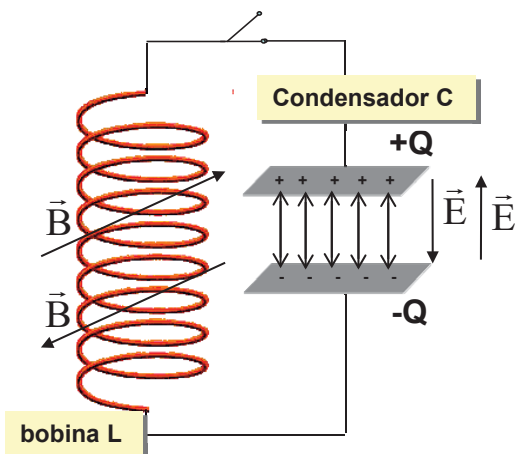


- El valor del campo magnético es igual al del campo eléctrico en la misma posición y tiempo, dividido por la velocidad de la luz.
- Las ondas electromagnéticas **se propagan en el vacío sin necesidad de soporte material**. El paso de estas ondas por un punto produce en él una variación de los campos eléctrico y magnético.

### 3.8 Origen de las ondas electromagnéticas

- Toda carga eléctrica acelerada emite energía en forma de onda electromagnética. Si una carga eléctrica oscila con una determinada frecuencia genera ondas electromagnéticas de esa misma frecuencia.

• **Un circuito oscilante, formado por una bobina y un condensador, genera ondas electromagnéticas (OEM)**

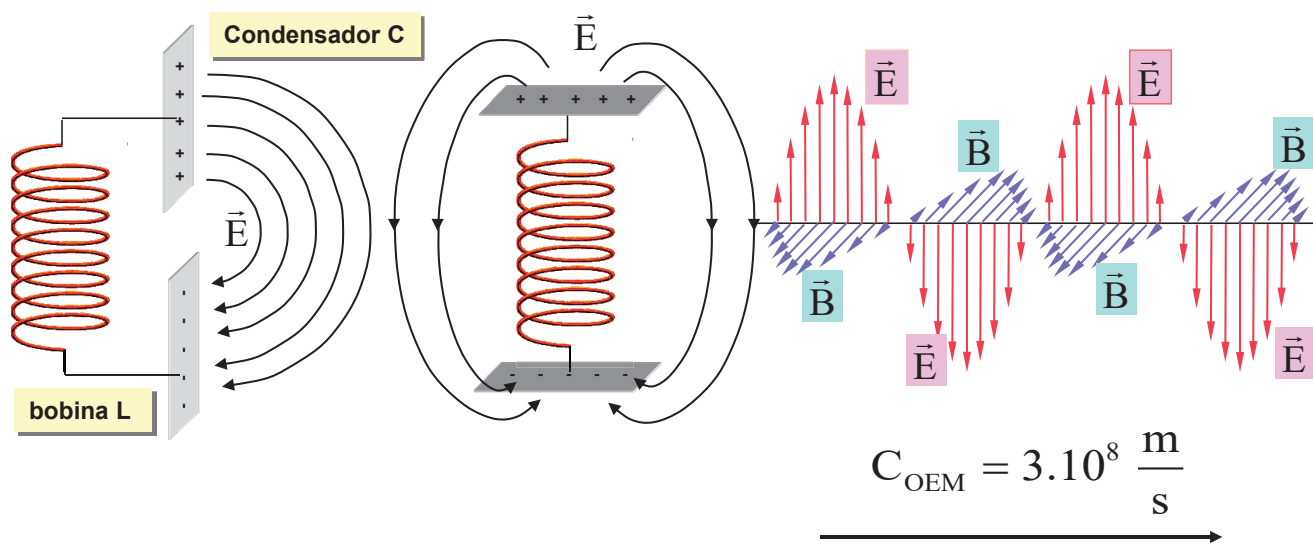


- Inicialmente el condensador se encuentra cargado.
- Entre sus armaduras existe un campo eléctrico y una diferencia de potencial que hará circular una corriente eléctrica por la bobina al cerrar el circuito.
- A medida que el condensador se descarga, la corriente eléctrica variable induce un campo magnético variable en la bobina.
- En el instante en que el condensador se ha descargado, la fem inducida en la bobina es máxima, originando una corriente en sentido contrario que carga de nuevo el condensador.
- El proceso se repite de manera periódica.

• **En este circuito la energía electromagnética queda almacenada en el propio circuito sin irradiarla al exterior**

### 3.9 Origen de las ondas electromagnéticas

- Al separar las armaduras del condensador, el campo eléctrico ocupa un espacio cada vez mayor.
- Cuando la separación es máxima se ha formado una antena emisora de Ondas Electromagnéticas de Baja Frecuencia, Ondas Hertzianas.

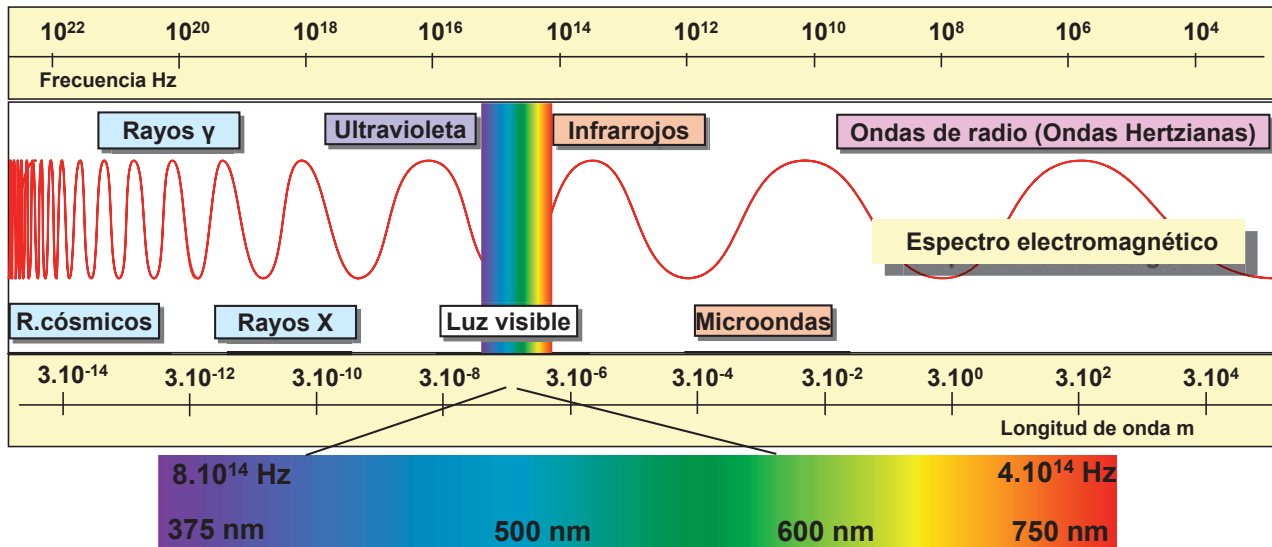


**Antena de emisión de ondas hertzianas**

**$3 \cdot 10^8$  Hz (300 MHz) –  $10^3$  Hz**

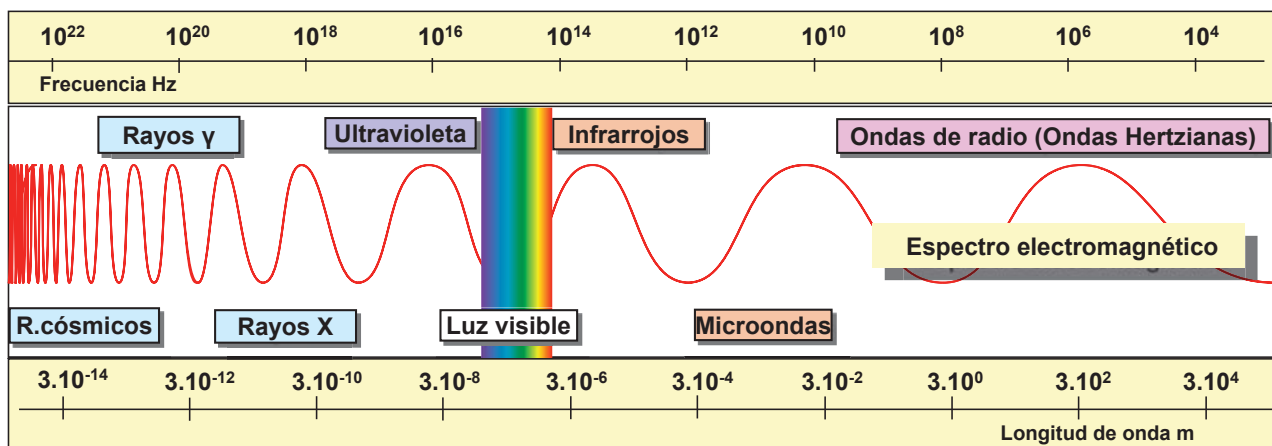
### 3.10 Espectro de radiaciones electromagnéticas

- **Espectro de radiaciones electromagnéticas** es el conjunto de todas las radiaciones de distinta frecuencia que componen la radiación electromagnética.
- Todas las OEM tiene la misma naturaleza. Son ondas transversales originadas por un campo eléctrico y otro magnético oscilantes que vibran en planos perpendiculares entre sí. Sólo se diferencian en su frecuencia y longitud de onda.
- **La energía de O.E.M depende de su frecuencia:**  $E = h \cdot f \Rightarrow h_{\text{cte Planck}} = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$



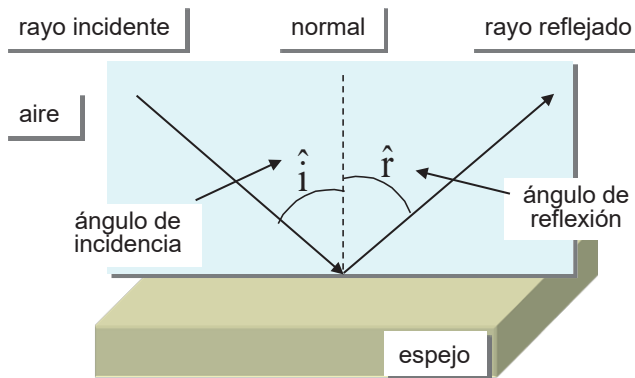
- **Todas viajan a la velocidad de la luz en el vacío/aire:**  $C = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

### 3.11 Espectro de radiaciones electromagnéticas



## 4.1 Reflexión de la luz

- **Reflexión de la luz** es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso cuando propagándose por un medio, llega a la superficie de separación de otro medio y continúa propagándose por el mismo medio.



### Elementos de la reflexión:

- **Rayo incidente:** es el rayo luminoso que llega al espejo.
- **Rayo reflejado:** es el rayo devuelto por el espejo.
- **Normal:** recta perpendicular al espejo en el punto de incidencia.
- **Ángulo de incidencia:** es el ángulo que forma el RI con la N.
- **Ángulo de reflexión:** es el ángulo que forma el RR con la N.

### Leyes de Snell para la reflexión:

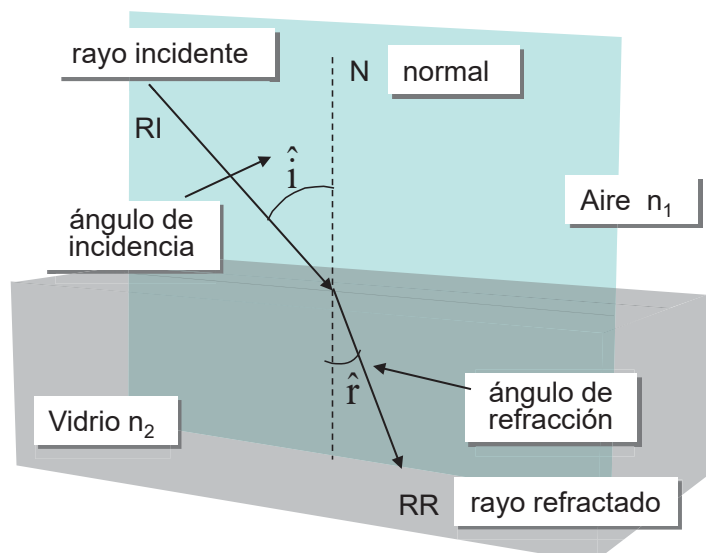
- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado, están en un mismo plano.
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

## 4.2 Refracción de la luz

- **Refracción de la luz** el cambio de velocidad y dirección que experimenta un rayo luminoso al pasar de un medio transparente a otro medio también transparente de distinto índice de refracción.
- La deformación aparente de objetos sumergidos en agua, o la profundidad aparente menor del fondo de un estanque se explica mediante la refracción de la luz.

### Elementos de la refracción:

- **Rayo incidente:** es el rayo que se propaga por el primer medio.
- **Rayo refractado:** es el rayo que se propaga por el segundo medio.
- **Normal:** recta perpendicular a la superficie de separación de ambos medios.
- **Ángulo de incidencia:** es el ángulo que forma el rayo incidente con la normal.
- **Ángulo de refracción:** es el ángulo que forma el rayo refractado con la normal.



### 4.3 Refracción de la luz

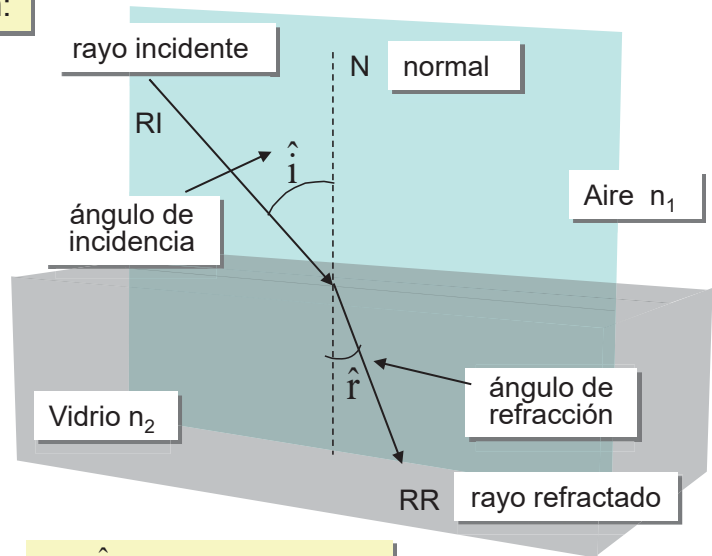
- **Refracción de la luz** el cambio de velocidad y dirección que experimenta un rayo luminoso al pasar de un medio transparente a otro medio también transparente de distinto índice de refracción.

#### Leyes de Snell para la refracción:

- El rayo incidente, la normal y el rayo refractado, están en un mismo plano.
- El índice de refracción del primer medio por el seno del ángulo de incidencia es igual al índice de refracción del segundo medio por el seno del ángulo de refracción:

$$n_1 \operatorname{sen} \hat{i} = n_2 \operatorname{sen} \hat{r}$$

- La relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción es igual a la relación entre las velocidades de la luz en ambos medios e inversamente proporcional a sus respectivos índices de refracción absolutos.



$$\frac{\operatorname{sen} \hat{i}}{\operatorname{sen} \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

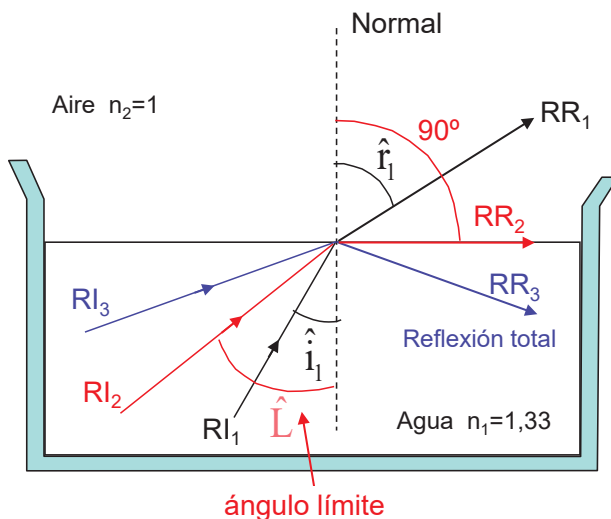
- Cuando la luz pasa de un medio menos refringente a otro más refringente se acerca a la normal. Cuando la luz pasa de un medio a otro, su frecuencia (y por tanto su color) no cambia.

### 4.4 Refracción de la luz. Ángulo límite y reflexión total

- Cuando la luz pasa de un medio como el agua, ( $n_{\text{agua}}=1,33$ ) a otro medio de menor índice de refracción ( $n_{\text{aire}}=1$ ), el aire, se aleja de la normal.
- **Ley de Snell**, al aumentar el ángulo de incidencia, aumenta también el ángulo de refracción, hasta que llega un momento en que **para un ángulo de incidencia L llamado ángulo límite le corresponde un ángulo de refracción de 90°**.

- Ángulo límite cuando la luz pasa del agua al aire:

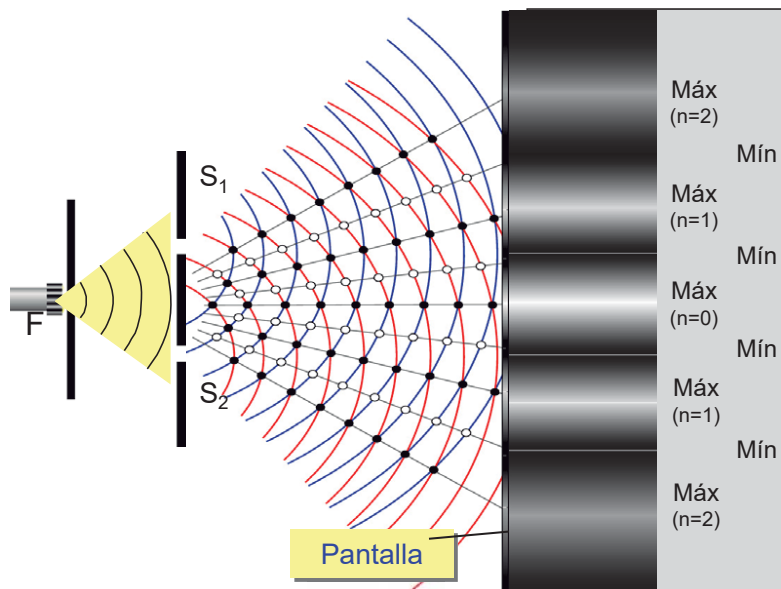
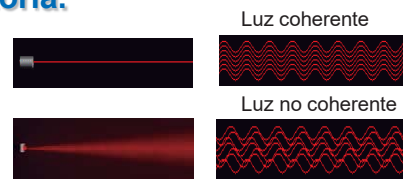
$$n_{\text{agua}} \cdot \operatorname{sen} \hat{L} = n_{\text{aire}} \cdot \operatorname{sen} 90^\circ \Rightarrow \hat{L} = 48,59^\circ$$



- Para ángulos superiores al ángulo límite, la luz no se refracta, sino que se refleja: fenómeno llamado **reflexión total**.
- El fenómeno de reflexión total origina los **espejismos**.
- También permite conducir la luz mediante reflexiones sucesivas, a lo largo de una varilla de vidrio muy delgada: **fibra óptica**.
- Se utiliza en medicina para observar órganos internos: **endoscopio**.
- También en **comunicaciones** para enviar pulsos de luz.

## 4.5 Fenómenos de Interferencias

- **Thomas Young** en 1801 realizó experiencias, a partir de las ondas luminosas procedentes de dos fuentes, que daban lugar a fenómenos de interferencias, lo que demostraba que la **luz tiene naturaleza ondulatoria**.
- Para que se produzca interferencia observable entre las luces procedentes de focos distintos, **deben ser coherentes**, es decir, deben tener la misma longitud de onda y una diferencia de fase constante.



- En el **experimento de Young, de la doble rendija**, se utiliza una fuente de luz monocromática, la luz pasa por una primera rendija y después por una pantalla que tiene dos pequeñas rendijas  $S_1$  y  $S_2$  que actúan como fuentes de luz coherente.
- Cada una de las dos rendijas se convierten en foco de emisión de ondas, en la pantalla se observa, **serie de bandas brillantes y oscuras, son las franjas de interferencias**.
- **Se observa que luz más luz puede dar oscuridad.**

## 4.6 Fenómenos de interferencias: interpretación geométrica

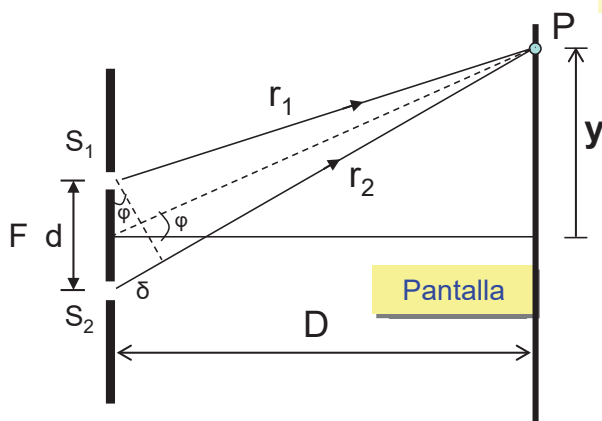
- En la interpretación geométrica de la **experiencia de Thomas Young** se supone que  $D \gg d$ , y que las ondas que proceden de  $S_1$  y  $S_2$  hasta llegar al punto P, tienen que recorrer las distancias  $r_1$  y  $r_2$  distintas.

- La diferencia de camino recorrido viene dado por:

$$\delta = r_2 - r_1 = d \cdot \sin \vartheta$$

- Si las ondas llegan a P en fase, se obtiene una **franja brillante o interferencia constructiva**:

$$\delta = d \cdot \sin \vartheta = n \lambda \Rightarrow [n=0, \pm 1, \pm 2 \dots]$$



- $n$  se llama número de orden; la franja brillante central es el máximo de orden cero.
- El siguiente máximo a cada lado, es el máximo de primer orden, y así sucesivamente.

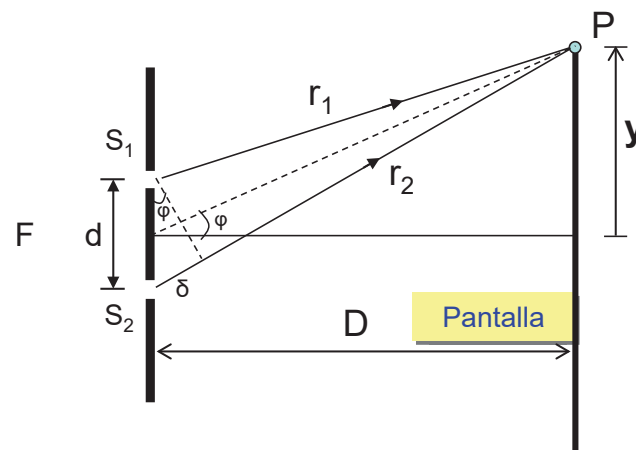
- Si las ondas llegan a P en fase opuesta, se obtiene una **franja oscura o interferencia destructiva**:

$$\delta = d \cdot \sin \vartheta = [n + 1/2] \lambda \Rightarrow [n=0, \pm 1, \pm 2 \dots]$$

## 4.7 Fenómenos de interferencias: cálculo de longitudes de onda

- **La posición de las franjas de interferencias de Thomas Young, brillantes y oscuras, nos permite determinar la longitud de onda, de la luz incidente.**
- Midiendo distancias verticales,  $y$ , con las condiciones:  $D \gg d$ , y  $d \gg \lambda$ , que en la práctica se cumplen, podemos escribir:

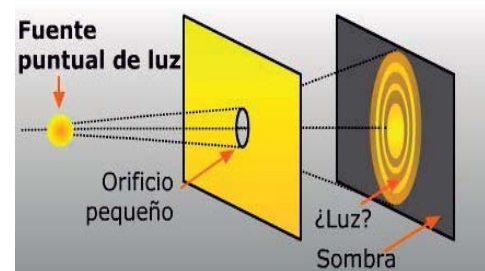
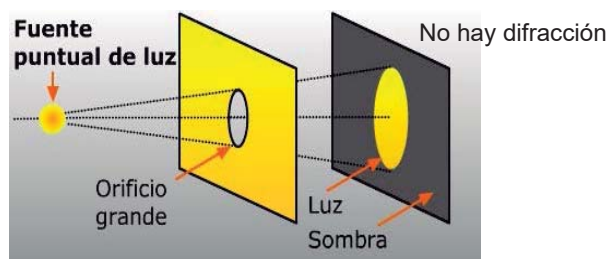
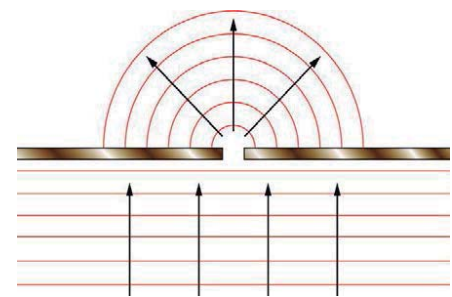
$$\text{sen } \vartheta \approx \tan \vartheta = \frac{y}{D} \Rightarrow y_{\text{brillante}} = \frac{\lambda \cdot D}{d} n \Rightarrow y_{\text{oscura}} = \frac{\lambda \cdot D}{d} \left[ n + \frac{1}{2} \right]$$



## 4.8 Fenómenos ondulatorios de la luz. Difracción

- **Difracción de la luz** es el cambio en la dirección de propagación que sufre la luz, sin cambiar de medio, cuando se encuentra un obstáculo en su camino .
- Para poder observar este fenómeno, las dimensiones del objeto deben ser del mismo orden o menor que la longitud de onda.
- La experiencia de Young explica cómo las ondas sobrepasan obstáculos o atraviesan rendijas, alcanzando puntos detrás de ellas: **difracción**.

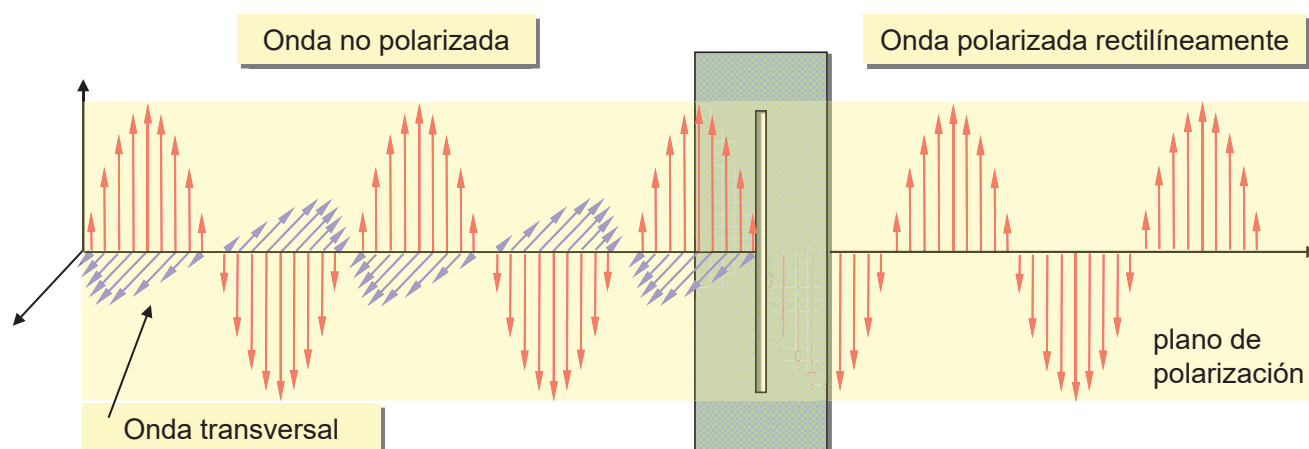
Difracción a través de un orificio      Difracción a través de una rendija





## 4.9 Fenómenos ondulatorios de la luz. Polarización

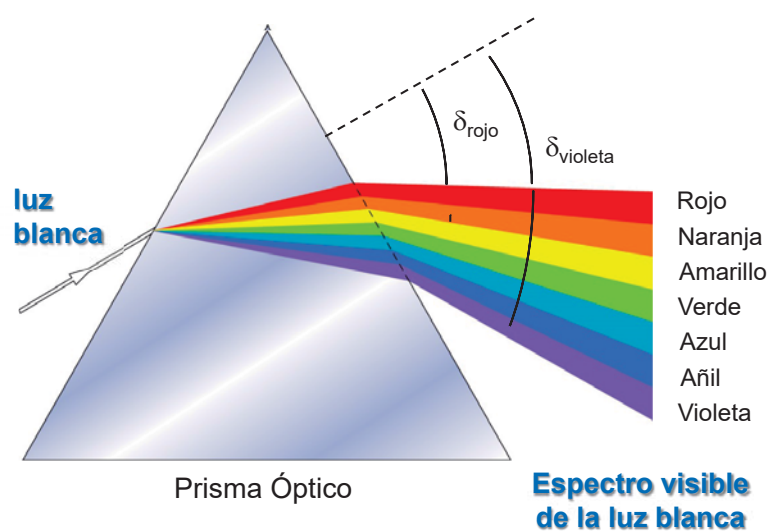
- **Ondas transversales:** las partículas pueden vibrar en cualquier plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda.
- Si hacemos que las vibraciones se produzcan en un único plano, tenemos una **onda polarizada plana**. Ese plano se llama plano de polarización, que estará definido por la dirección de propagación y la dirección de vibración.



- En las ondas longitudinales, las partículas vibran en la dirección de propagación de la onda, por lo que no tiene sentido hablar de polarización. **Sólo las ondas transversales pueden polarizarse.**

## 5.1 Interacción luz-materia. Dispersión de la luz blanca

- **La luz blanca es luz compuesta** de radiaciones de distintas frecuencias, que se descompone o dispersa cuando pasa a través de un prisma triangular.
- Se obtienen los siete colores del arco iris: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta.



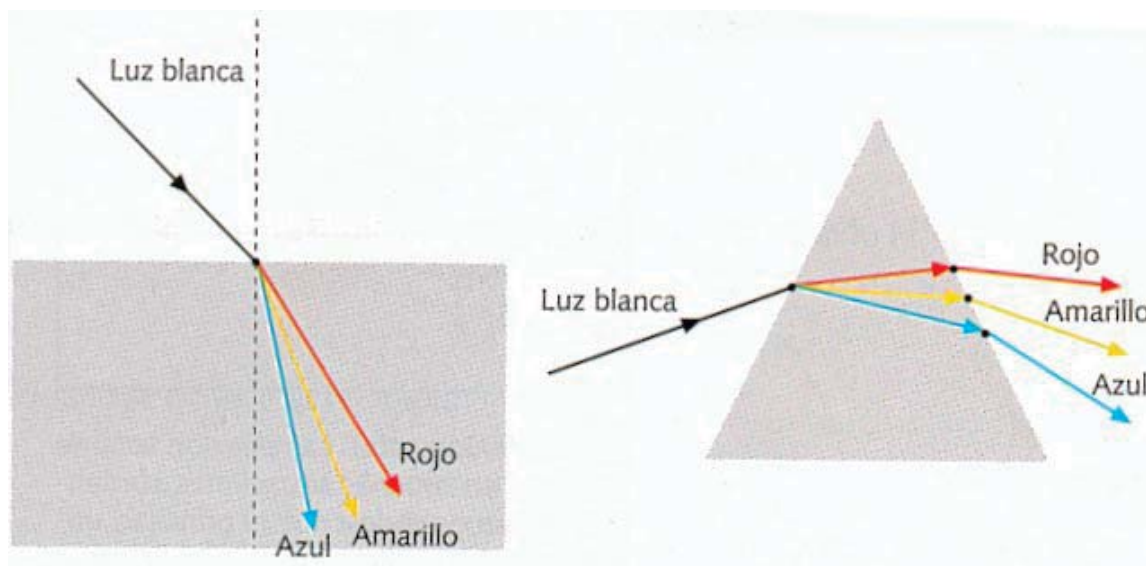
- El fenómeno de dispersión se debe a que las radiaciones que componen la luz blanca se propagan a través del prisma con distintas velocidades.
- Cuanto menor sea la longitud de onda, menor será su velocidad de propagación, mayor el índice de refracción del medio, y mayor es la desviación al atravesar el prisma.
- La radiación roja es la que menos se desvía y la radiación violeta la que más se desviará.

- El conjunto de todas las radiaciones que se obtiene en la dispersión de la luz blanca, se puede recoger en una pantalla, y constituye el **espectro de la luz visible**.
- **Es un espectro continuo** que va desde el rojo  $f_{\text{rojo}} = 4,3 \cdot 10^{14}$  Hz, hasta el violeta  $f_{\text{violeta}} = 7,5 \cdot 10^{14}$  Hz.

## 5.2 Interacción luz-materia. Dispersión de la luz blanca

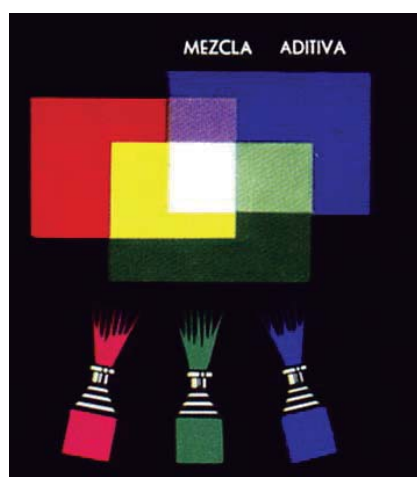
- Un haz de luz es una mezcla de ondas de frecuencias (colores) muy variables.
- En el vacío, la velocidad de propagación es la misma, independientemente de la frecuencia.
- **Medios dispersivos** son aquellos en los que la velocidad de propagación de la luz es función de la frecuencia.

- **El índice de refracción aumenta ligeramente con la frecuencia**



## 5.3 Interacción luz-materia. Colores de las cosas

- Mecanismos de observación del color: **reflexión y transmisión.**
- El color de un objeto se debe a la **absorción selectiva**: si es iluminado con luz blanca, absorbe todas las radiaciones menos la correspondiente al color del objeto que es reflejada.
- Un objeto se verá negro si absorbe todas las radiaciones y se verá blanco si las refleja.



## 5.4 Interacción luz-materia. Color

---

### Los colores de las cosas

## 5.5 Interacción luz-materia. Color

---

### Los colores de las cosas

## 5.6 Interacción luz-materia. El color del cielo

- **Esparcimiento de la luz:** cuando el tamaño de las moléculas del aire es inferior a la longitud de onda de la luz incidente y la separación de las moléculas es grande en comparación con dicha longitud de onda, se produce el fenómeno denominado **esparcimiento de Rayleigh**.
- El color rojizo de los amaneceres y atardeceres se debe a que la luz solar que atraviesa la atmósfera, ha experimentado el mayor esparcimiento de la luz azul, mientras que la luz roja no y recorre, por tanto, mas distancia atmosférica.



### Amanecer/atardecer

Los rayos del Sol llegan casi paralelos a la superficie. Cada rayo atraviesa una gruesa capa de gases atmosféricos. Estos filtran la radiación solar, y solo dejan pasar luz roja. El color rojo del cielo se intensifica si hay mucha humedad en el aire o se avecinan lluvias.



### Cielo azul

La reflexión de la luz en la atmósfera hace que el cielo sea azul de día. Las longitudes de onda que más se desvían al chocar contra la atmósfera son la azul y la violeta. El cielo no se **violeta** y si se ve **azul** por la sensibilidad del ojo. La luz llega de forma dispersa, como si viniera de todo el cielo.

## 5.7 Interacción luz-materia. El color del cielo

- Las nubes se ven blancas debido al crecimiento del tamaño de las partículas, semejante a la longitud de onda.
- En este caso todos los colores se esparcen por igual.



### Arco iris

Se produce cuando llueve y aparece un rayo de Sol que atraviesa las gotas de lluvia. Estas descomponen la luz blanca en los siete colores básicos que la forman. Normalmente se pueden ver un arco iris primario y uno secundario, mucho más difuso que el primero.

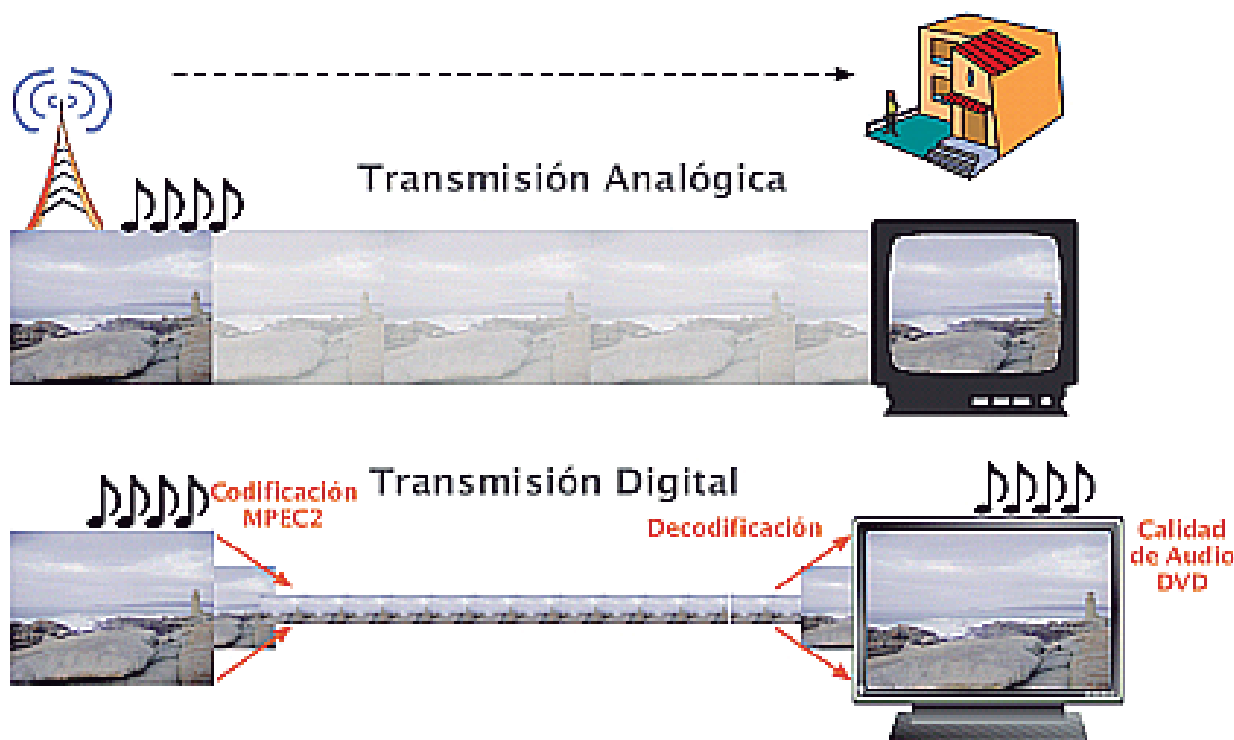


### Nubes

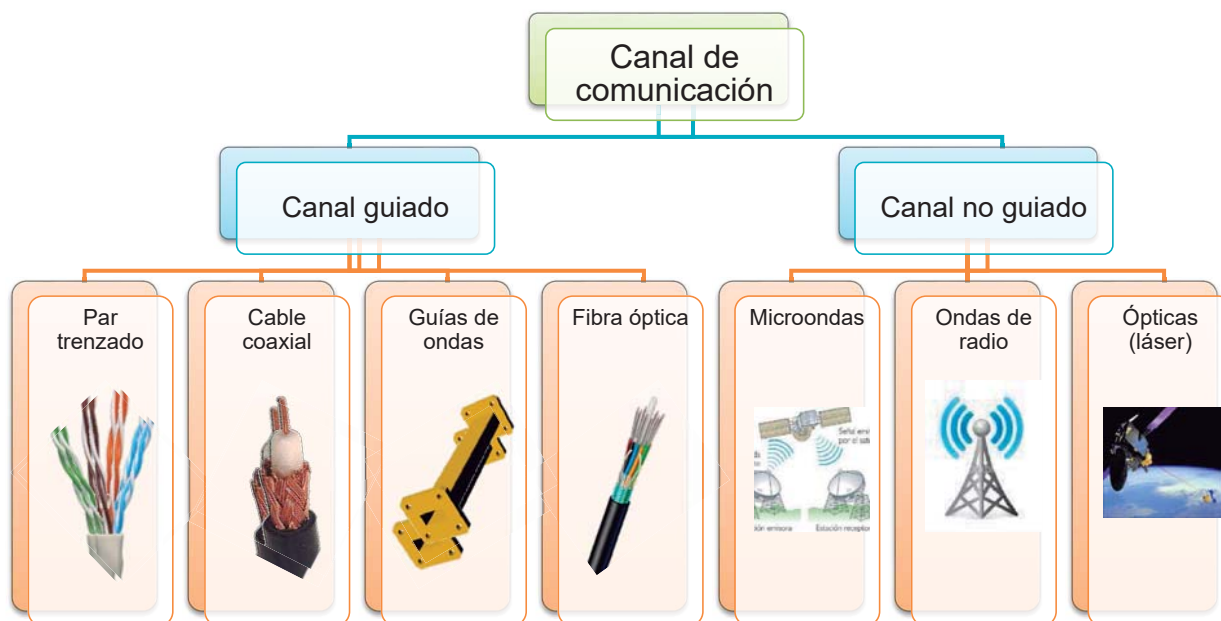
El color blanco de la parte superior de las nubes se debe a que reflejan la luz del Sol. En la parte baja, el tono de las nubes es de sombra atenuada por la luz que las atraviesa. Las nubes grises tienen ese color porque ocultan la luz del Sol, ya que por arriba también son blancas.

## 6.1 Sistemas de transmisión de la información

- Es un sistema constituido básicamente por tres elementos: emisor, canal de transmisión y receptor.



## 6.2 Sistemas de transmisión de la información





### 7.1 Ejercicios sobre naturaleza de la luz

1. Cuando un rayo de luz se propaga a través del agua ( $n = 1,33$ ) emerge hacia el aire para ciertos valores del ángulo de incidencia y para otros no. a) Explique este fenómeno e indique para que valores del ángulo de incidencia emerge el rayo. b) ¿Cabría esperar un hecho similar si la luz pasara del aire al agua?.

- Cuando la luz pasa de un medio más refringente (agua) a otro medio menos refringente (aire), se aleja de la normal; a partir de un cierto ángulo, llamado ángulo límite  $L$ , la luz ya no se refracta sino que se refleja: reflexión total. Ver apuntes.

$$\text{sen } \hat{L} \cdot n_{\text{agua}} = \text{sen } 90 \cdot n_{\text{aire}} \Rightarrow \text{sen } \hat{L} = \frac{1}{1,33} = 0,752 \Rightarrow \hat{L} = 48,75^\circ$$

- Si la luz pasa del aire al agua, no aparece el fenómeno de reflexión total, puesto que el rayo se acerca a la normal.

2. a) Explique en que consiste el fenómeno de refracción de la luz y enuncie sus leyes. b) Un haz de luz pasa del aire al agua. Razone cómo cambian su frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.

- Ver refracción de la luz y sus leyes. Cuando un haz de luz pasa del aire al agua, la frecuencia permanece constante. La frecuencia es la del foco emisor de la onda luminosa.
- El índice de refracción de cualquier medio es siempre mayor que el índice de refracción del aire, por tanto la luz viaja más lentamente en el agua:

$$v_{\text{agua}} < v_{\text{aire}} \text{ y como } v = f \cdot \lambda \Rightarrow \lambda_{\text{agua}} < \lambda_{\text{aire}}$$

## 7.2. Ejercicios sobre naturaleza de la luz

3. La luz procedente de una fuente luminosa atraviesa dos rendijas separadas entre sí 0,08 mm e incide sobre una pantalla situada a 4 m de distancia. La franja brillante de primer orden ( $n=1$ ) dista 3 cm de la línea central. Hallar: a) Longitud de onda de la luz. b) Distancia entre dos franjas brillantes consecutivas.

- Los fenómenos de interferencias permiten determinar longitudes de onda. De acuerdo con la teoría, las posiciones de las franjas brillantes vienen dadas por la ecuación:

$$y_{\text{brillante}} = \frac{\lambda D}{d} n \Rightarrow \lambda = \frac{y_{\text{brill}} d}{n D} = \frac{3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{1 \cdot 4 \text{ m}} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}$$

- La distancia entre dos franjas brillantes consecutivas es:

$$\Delta y_{\text{brillante}} = \frac{\lambda D}{d} (n+1) - \frac{\lambda D}{d} n = \frac{\lambda D}{d} = \frac{6 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot 8 \text{ m}}{8 \cdot 10^{-5} \text{ m}} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

## 7.3 Ejercicios sobre naturaleza de la luz

4. Un haz de láser de 550 nm incide en un bloque de vidrio. a) Describe los fenómenos ópticos que ocurren y represéntalos en un dibujo. b) Si el ángulo de incidencia es de  $40^\circ$  y el de refracción de  $25^\circ$ , ¿cuál es el índice de refracción del vidrio?. c) ¿Sería diferente el valor anterior si la longitud de onda fuese de 710 nm?. d) Razona cómo calcularías el ángulo límite a partir de los datos del apartado b). Considera aproximadamente 1 el valor del índice de refracción en el aire.

- La luz láser que incide en el bloque de vidrio, en parte se refleja y en parte se refracta, de acuerdo con la figura:
- Aplicando la ley de Snell calculamos el índice de refracción del vidrio:

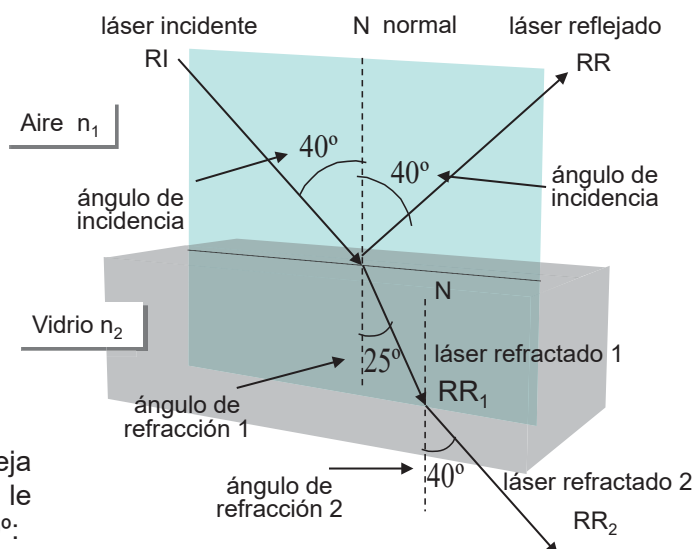
$$n_{\text{aire}} \text{sen } \hat{i} = n_{\text{vidrio}} \text{sen } \hat{r}$$

$$1 \cdot \text{sen } 40^\circ = n_v \text{sen } 25^\circ \Rightarrow n_v = 1,52$$

- No depende de la longitud de onda.
- Cuando la luz pasa del vidrio al aire, se aleja de la normal. Hay un ángulo límite al cual le corresponde un ángulo de refracción de  $90^\circ$ :

$$n_{\text{vid}} \text{sen } \hat{i} = n_{\text{aire}} \text{sen } \hat{r} \Rightarrow 1,52 \cdot \text{sen } \hat{L} = 1 \cdot \text{sen } 90^\circ \Rightarrow \hat{L} = 41,1^\circ$$

- Para ángulos mayores al límite, la luz no se refracta sino que se refleja: reflexión total.



## 7.4 Ejercicios sobre naturaleza de la luz

5. Un rayo de luz monocromática incide sobre una de las caras de un prisma de vidrio de índice de refracción 1,6 con un ángulo de incidencia de  $40^\circ$ . Si el ángulo del prisma es de  $45^\circ$ , calcular el ángulo de emergencia y el ángulo de desviación del rayo.

- El rayo que incide en el prisma sufre dos refracciones.
- Aplicando la ley de Snell a la refracción en la 1ª cara:

$$n_1 \text{sen } \hat{i}_1 = n_2 \text{sen } \hat{r}_1 \Rightarrow 1 \text{sen } 40 = 1,6 \text{sen } \hat{r}_1 \Rightarrow \hat{r}_1 = 23,7^\circ$$

- Geoméricamente se cumple que el ángulo del prisma:
- $$\varphi = r_1 + i_2 \Rightarrow i_2 = 45 - 23,7 = 21,3^\circ$$

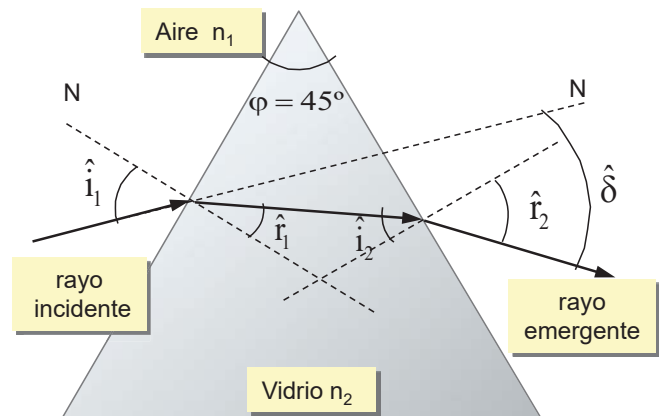
- Ley de Snell refracción en la 2ª cara:

$$n_2 \text{sen } \hat{i}_2 = n_1 \text{sen } \hat{r}_2$$

$$1,6 \text{sen } 21,3 = 1 \text{sen } \hat{r}_2 \Rightarrow \hat{r}_2 = 35,5^\circ$$

- Ya podemos calcular el ángulo de desviación  $\delta$  ya que se cumple:

$$\delta = i_1 + r_2 - \varphi = 40^\circ + 35,5^\circ - 45^\circ = 30,5^\circ$$



## 7.5 Ejercicios sobre naturaleza de la luz

6. Un rayo de luz atraviesa una lámina transparente de plástico de 5 cm de espesor, con un ángulo de incidencia de  $30^\circ$ . A consecuencia de la refracción, el rayo que emerge por la lámina se ha desplazado una distancia paralela a la dirección de incidencia. Si el índice de refracción del plástico es 1,40, calcula esta distancia.

- Cuando la luz atraviesa la lámina sufre una doble refracción: aire-plástico y plástico-aire.
- El rayo que emerge de la lámina sale paralelo al incidente, pero **desplazado una distancia bd**.
- Se comprueba en la figura que el ángulo de incidencia de la 1ª refracción, ( $30^\circ$ ) es igual al ángulo refracción de la 2ª refracción.
- Ley de Snell en a la primera refracción:

$$n_1 \text{sen } \hat{i}_1 = n_2 \text{sen } \hat{r}_1$$

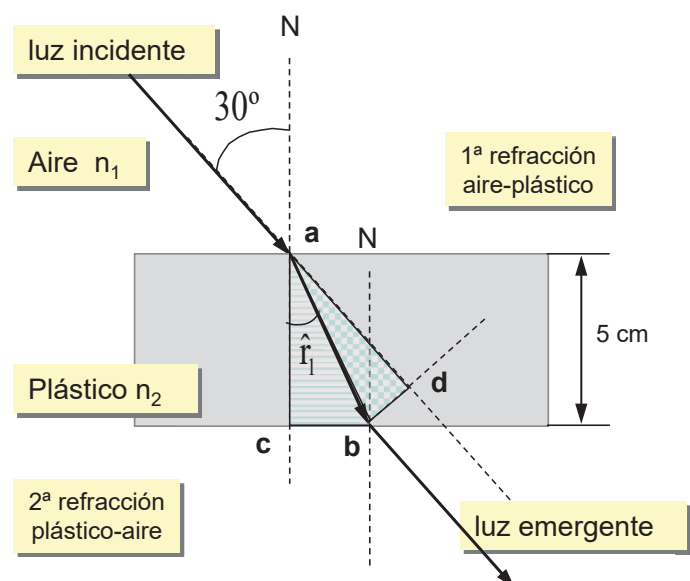
$$1 \text{sen } 30 = 1,4 \text{sen } \hat{r}_1 \Rightarrow \hat{r}_1 = 20,9^\circ$$

- En el triángulo abc se cumple :

$$\cos \hat{r}_1 = \frac{ac}{ab} \Rightarrow ab = \frac{ac}{\cos \hat{r}_1} = \frac{5}{\cos 20,9} = 5,35 \text{ cm}$$

- En el triángulo abd se cumple:

$$bd = ab \cdot \text{sen}(30 - 20,9) = 0,85 \text{ cm}$$





## 7.6 Ejercicios: la luz y las ondas electromagnéticas

1. a) Explique las características de las ondas electromagnéticas. ¿Cómo caracterizaría mejor una onda electromagnética, por su frecuencia o por su longitud de onda?. b) Ordene, según longitudes de onda crecientes, las siguientes regiones del espectro electromagnético: microondas, rayos X, luz verde, luz roja y ondas de radio.

- Las ondas electromagnéticas están formadas por un campo eléctrico y otro magnético, ambos variables, que vibran en planos perpendiculares entre sí y, a su vez perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.
- Se caracterizan mejor por su frecuencia, que no cambia, aunque la onda cambie de medio. Ver apuntes.
- Rayos X, luz verde, luz roja, microondas y ondas de radio.

2. a) ¿Qué es una onda electromagnética?. b) ¿Cambian las magnitudes características de una O.E. que se propaga en el aire al penetrar en un bloque de vidrio?. Si cambia alguna ¿aumenta o disminuye?. ¿Por qué?.

- Las ondas electromagnéticas están formadas por un campo eléctrico y otro magnético variables que vibran en planos perpendiculares entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Ver apuntes.
- Cuando una O.E. pasa del aire al vidrio disminuye su velocidad. Como la frecuencia, (es propia del foco de emisión de onda) no cambia, lo que disminuye es su longitud de onda.

## 7.7 Ejercicios: la luz y las ondas electromagnéticas

3. a) Los rayos X, la luz visible y los rayos infrarrojos son radiaciones electromagnéticas. Ordénala en orden creciente de sus frecuencias e indique algunas diferencias entre ellas. b) ¿Qué es una onda electromagnética?. Explique sus características.

- Rayos infrarrojos, luz visible y rayos X. Ver apuntes.

4. a) Determinar las longitudes de onda de una onda media de radio de frecuencia 800 kHz y de una onda de frecuencia modulada de 100 MHz. b) Las emisiones de TV en la banda UHF emplean longitudes de onda comprendidas entre 10 cm y 1 m. Hallar las frecuencias correspondientes a esta banda.

- Ondas medias de radio: 
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{800 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 375 \text{ m}$$

- Ondas de frecuencia modulada : 
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{100 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 3 \text{ m}$$

- Frecuencias: 
$$f_{\lambda=10\text{cm}} = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{10^{-1} \text{ m}} = 3 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$f_{\lambda=1\text{m}} = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1 \text{ m}} = 3 \cdot 10^8 \text{ Hz}$$

## 7.8 Ejercicios: la luz y las ondas electromagnéticas

5. Un campo electromagnético está descrito por las ecuaciones:

$$E_x = 0; E_y = E_0 \operatorname{sen} 2\pi f \left[ \frac{x}{c} - t \right]; E_z = 0 \quad B_x = 0; B_y = 0; B_z = B_0 \operatorname{sen} 2\pi f \left[ \frac{x}{c} - t \right]$$

Siendo:  $E_x, E_y$  y  $E_z$  las componentes del campo eléctrico;  $B_x, B_y$  y  $B_z$  las componentes del campo magnético;  $f$  la frecuencia;  $c$  la velocidad de la luz;  $E_0$  y  $B_0$  son constantes.

- Comprobar que las ecuaciones del campo son funciones de onda.
- Calcular la longitud de onda y la amplitud del campo eléctrico y del campo magnético.
- Demostrar que ambos campos son perpendiculares.
- Comprobar que están en fase.
- ¿Cuál es la dirección de propagación del campo electromagnético?
- Representa  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  en un sistema tridimensional de ejes cartesianos.

- a) La función de una onda armónica es:  $x = A \operatorname{sen} [\omega t - k x] = A \operatorname{sen} 2\pi f \left[ t - \frac{x}{v} \right]$
- Por analogía, las ecuaciones que nos plantean son funciones de onda.
- b) Deducimos la longitud de onda y la amplitud de ambos campos:  $\frac{f}{c} = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \text{amplitudes: } E_0 \text{ y } B_0$
- c) Los campos son perpendiculares puesto que su producto escalar es cero:  $\vec{E} \cdot \vec{B} = E_x \cdot B_x + E_y \cdot B_y + E_z \cdot B_z = 0$
- d) Están en fase, puesto que la diferencia de fase vale cero:  $\Delta\varphi = 2\pi f \left[ \frac{x}{c} - t \right] - 2\pi f \left[ \frac{x}{c} - t \right] = 0$
- e) y f) El campo electromagnético se propaga perpendicularmente ...ver figura.

## 7.9 Ejercicios: la luz y las ondas electromagnéticas

6. Una onda senoidal electromagnética plana de 20 MHz de frecuencia se traslada en el vacío en la dirección del eje x. El campo eléctrico tiene la dirección del eje y, y su valor máximo es 510 N/C. Hallar: a) La longitud de onda y el período. b) El valor máximo del campo magnético y su dirección. c) Las expresiones  $E = E(x,t)$  y  $B = B(x,t)$  de los campos eléctrico y magnético correspondientes a dicha onda.

- a) Las ondas electromagnéticas viajan en el vacío a la velocidad  $c$ , luego la longitud de onda  $\lambda$  y el período  $T$ :  

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{20 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 15 \text{ m} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$
- b) Relación entre los valores máximos del campo magnético y el eléctrico:  $B_{\text{máx.}} = \frac{E_{\text{máx.}}}{c} = \frac{510 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}}{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ T}$
- Los campos eléctrico (eje y) y magnético son perpendiculares entre sí, y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda electromagnética (eje x), luego el campo magnético lleva la dirección del eje z
- c) Ecuaciones de ambos campos, que son funciones de ondas armónicas:

$$E = E_0 \operatorname{sen} 2\pi \left[ \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right] = 510 \operatorname{sen} 2\pi \left[ \frac{t}{5 \cdot 10^{-8}} - \frac{x}{15} \right] = 510 \operatorname{sen} [1,26 \cdot 10^8 t - 0,42x] \text{ (SI)}$$

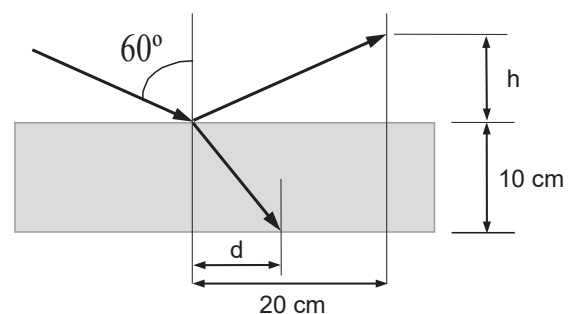
$$B = B_0 \operatorname{sen} 2\pi \left[ \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right] = 1,7 \cdot 10^{-6} \operatorname{sen} 2\pi \left[ \frac{t}{5 \cdot 10^{-8}} - \frac{x}{15} \right] = 1,7 \cdot 10^{-6} \operatorname{sen} [1,26 \cdot 10^8 t - 0,42x] \text{ (SI)}$$

## 8.1 Cuestiones sobre naturaleza de la luz

- 1 a) Enunciar las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz. Explicar la diferencia entre ambos fenómenos. b) Comparar lo que ocurre cuando un haz de luz incide sobre un espejo y sobre un vidrio de ventana.
2. a) Describe brevemente el modelo corpuscular de la luz. ¿Puede explicar dicho modelo los fenómenos de interferencia luminosa?. b) Dos rayos de luz inciden sobre un punto. ¿Pueden producir oscuridad?. Explica razonadamente este hecho.
3. Explicar los fenómenos de reflexión y de la refracción de la luz. b) El índice de refracción del agua respecto del aire es  $n > 1$ . Razonar cuáles de las siguientes magnitudes cambian, y cómo, al pasar un haz de luz del aire al agua: frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.
4. a) ¿En qué consiste la dispersión de la luz?. ¿Depende dicho fenómeno del índice de refracción del medio y/o de la longitud de onda de la luz?. b) Explicar la dispersión de la luz por un prisma, ayudándote de un esquema.
5. a) ¿En qué consiste el fenómeno de polarización de las ondas? b) ¿Se puede polarizar el sonido?. Razone la respuesta.
6. a) Explicar la naturaleza de las ondas electromagnéticas. ¿Cómo caracterizarías mejor una onda electromagnética, por su frecuencia o por su longitud de onda?. b) Ordenar, según longitudes de onda crecientes, las regiones del espectro electromagnético: microondas, rayos X, luz roja y ondas de radio.
7. a) ¿Qué es una onda electromagnética?. b) ¿Cambian las magnitudes características de una onda electromagnética que se propaga en el aire al penetrar en un bloque de vidrio?. Si cambia alguna, ¿aumenta o disminuye?, ¿por qué?.
8. a) Las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío con velocidad  $c$ . ¿Cambia su velocidad de propagación en un medio material?. Definir el índice de refracción de un medio. b) Situar, en orden creciente de frecuencias, las siguientes regiones del espectro electromagnético: infrarrojo, rayos X, ultravioleta y luz visible.
9. Los rayos X, la luz visible y los rayos infrarrojos son radiaciones electromagnéticas. Ordénalas en orden creciente de sus frecuencias e indicar lagunas diferencias entre ellas. b) ¿Qué es una onda electromagnética? Explicar sus características.

## 8.2 Ejercicios sobre naturaleza de la luz. PEBAU

14. Un rayo de luz amarilla, emitida por una lámpara de sodio, tiene una longitud de onda en el vacío de  $580 \cdot 10^{-9}$  m. a) Determinar la velocidad de propagación y la longitud de onda de dicha luz en el interior de una fibra de cuarzo, cuyo índice de refracción es  $n = 1,5$ . b) ¿Pueden existir valores del ángulo de incidencia para los que un haz de luz, que se propague por el interior de una fibra de cuarzo, no salga al exterior?. Explicar el fenómeno y, en su caso, calcular los valores del ángulo de incidencia para los cuales tiene lugar. Dato:  $c = 3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.
15. Un rayo de luz pasa del agua al aire con un ángulo de incidencia de  $30^\circ$  respecto a la normal. a) Dibujar en un esquema los rayos incidente y refractado y calcular el ángulo de refracción. b) ¿Cuál debería ser el ángulo de incidencia para que el rayo refractado fuera paralelo a la superficie de separación agua-aire?. Índice de refracción del agua respecto al aire  $n = 1,3$ .
16. Una lámina de vidrio, de índice de refracción 1,5, de caras paralelas y espesor 10 cm, está colocada en el aire. Sobre una de sus caras incide un rayo de luz, como se muestra la figura. Calcule: a) La altura  $h$  y la distancia  $d$  marcadas en la figura. b) El tiempo que tarda la luz en atravesar la lámina.  $c = 3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.



### 8.3 Ejercicios sobre naturaleza de la luz. PEBAU

17. Un rayo de luz monocromática emerge desde el interior de un bloque de vidrio hacia el aire. Si el ángulo de incidencia es de  $19,5^\circ$  y el de refracción de  $30^\circ$ . a) Determine el índice de refracción y la velocidad de propagación de la luz en el vidrio. b) Como sabe, pueden existir ángulos de incidencia para los que no hay rayo refractado; es decir, no sale luz del vidrio. Explique este fenómeno y calcule los ángulos para los que tiene lugar.  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $n_{\text{aire}} = 1$ .

18. Cuando un rayo de luz se propaga a través del agua ( $n = 1,33$ ) emerge hacia el aire para ciertos valores del ángulo de incidencia y para otros no. a) Explica este fenómeno e indica para qué valores del ángulo de incidencia emerge el rayo. b) ¿Cabría esperar un hecho similar si la luz pasa del aire al agua?

19. Un haz de luz roja penetra en una lámina de vidrio, de 30 cm de espesor, con un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ . a) Explique si cambia el color de la luz al penetrar en el vidrio y determine el ángulo de refracción. b) Determine el ángulo de emergencia (ángulo del rayo que sale de la lámina con la normal). ¿Qué tiempo tarda la luz en atravesar la lámina?  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $n_{\text{vid}} = 1,3$ .

20. a) Un objeto se encuentra frente a un espejo plano a una distancia de 4 m del mismo. Construir gráficamente la imagen y explicar sus características. b) Repetir el apartado anterior si se sustituye el espejo plano por uno cóncavo de 2m de radio.

21. a) Un objeto se encuentra a una distancia de 0,6 m de una lente delgada convergente de 0,2 m de distancia focal. Construir gráficamente la imagen que se forma y explicar sus características. b) Repetir el apartado anterior si el objeto se coloca a 0,1m de la lente.

22. Construya la imagen de un objeto situado a una distancia entre  $f$  y  $2f$  de una lente: a) convergente; b) divergente. Explique en ambos casos las características de las imágenes.

### 8.5 Ejercicios: la luz y las ondas electromagnéticas

23. Una antena emite una onda electromagnética de frecuencia 50 Hz. a) Calcular su longitud de onda. b) Determinar la frecuencia de una onda sonora de la misma longitud de onda. Datos:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $v_s = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

24. El espectro visible en el aire está comprendido entre las longitudes de onda 380 nm (violeta) y 789 nm (rojo). a) Calcular las frecuencias de estas radiaciones extremas. ¿Cuál de ellas se propaga a mayor velocidad?. b) Determinar entre qué longitudes de onda está comprendido el espectro visible del agua, con índice de refracción  $4/3$ . Datos:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

25. Una onda electromagnética armónica de 20 MHz se propaga en el vacío, en el sentido positivo del eje OX. El campo eléctrico de dicha onda tiene la dirección del eje OZ y su amplitud es de  $3 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$ . a) Escriba la expresión del campo eléctrico  $E(x,t)$ , sabiendo que en  $x = 0$  su módulo es máximo cuando  $t = 0$ . b) Represente en una gráfica los campos  $E(t)$  y  $B(t)$  y la dirección de propagación de la onda.  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

26. Una onda electromagnética tiene, en el vacío, una longitud de onda de  $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . a) Determinar la frecuencia y el número de onda. ¿Cuál es la energía de los fotones?. b) Si dicha onda entra en un determinado medio, su velocidad se reduce a  $3c/4$ . Determinar el índice de refracción del medio y la frecuencia y la longitud de onda en el medio. Datos:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

27. El espectro visible tiene frecuencias comprendidas entre  $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  y  $7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . a) Determinar las longitudes de onda correspondientes a dichas frecuencias en el vacío. b) ¿Se modifican estos valores de las frecuencias y de las longitudes de onda cuando la luz se propaga por el agua?. En caso afirmativo, calcular los valores correspondientes. Índice de refracción del agua respecto al aire  $n = 1,3$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .