

# Física II, Ondas

## Ondas Electromagnéticas



Profesor: Pedro Labraña  
Departamento de Física,  
Universidad del Bío-Bío

Carrera: Ingeniería Civil en Informática  
Créditos: 5

# *¿Qué es la Luz?*

## *Una historia y una moraleja*

De nuestros cinco sentidos la vista es nuestro sentido regalón. Pero:

¿Por qué vemos?

¿Qué es la luz?

Por qué vemos en colores (Cual es la motivación y como lo hacemos)

¿Qué son los colores?

¿Por qué tenemos dos ojos y en la ubicación en que están?

¿Es real lo que vemos?

Asumido que es real lo que vemos. ¿Por qué vemos lo que vemos? Es decir, por ejemplo:

¿Por qué el cielo es azul?

¿Por qué el mar es azul?

¿Por qué el atardecer es rojo?



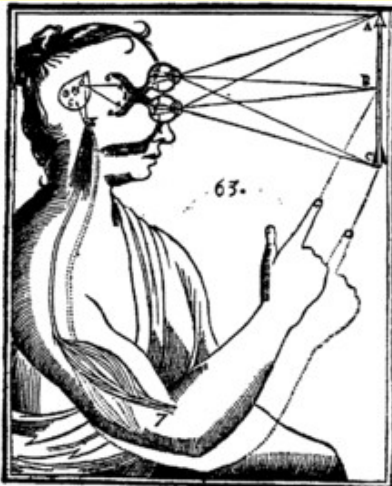
# ¿Por qué vemos?

## Por qué vemos en colores (Cual es la motivación y como lo hacemos)

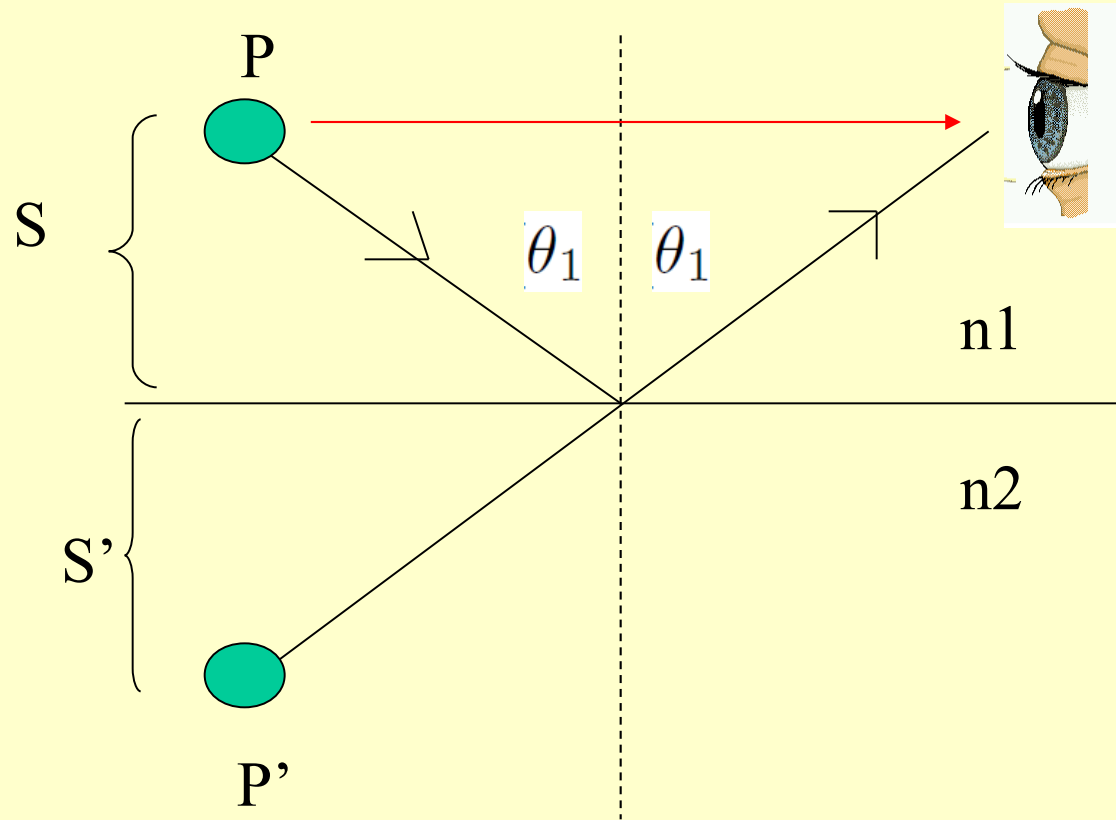
Se llama visión a la capacidad de interpretar nuestro entorno gracias a los rayos de luz que alcanzan el ojo. La visión o sentido de la vista es una de las principales capacidades sensoriales del hombre y de muchos animales.

El ojo es la puerta de entrada por la que penetran los estímulos luminosos que se transforman en impulsos eléctricos gracias a una células especializadas de la retina que son los conos y los bastones.

En la especie humana y en muchos otros primates, existen tres tipos diferentes de conos, cada uno de ellos es sensible de forma selectiva a la luz de una longitud de onda determinada, verde, roja y azul. Los bastones son células fotorreceptoras de la retina responsables de la visión en condiciones de baja luminosidad. Presentan una elevada sensibilidad a la luz aunque se saturan en condiciones de mucha luz y no detectan los colores.



Ej. Reflexión sobre una superficie plana (Vemos dos objetos. Sólo uno es real)



$$S' = S$$

¿Es real lo que vemos?



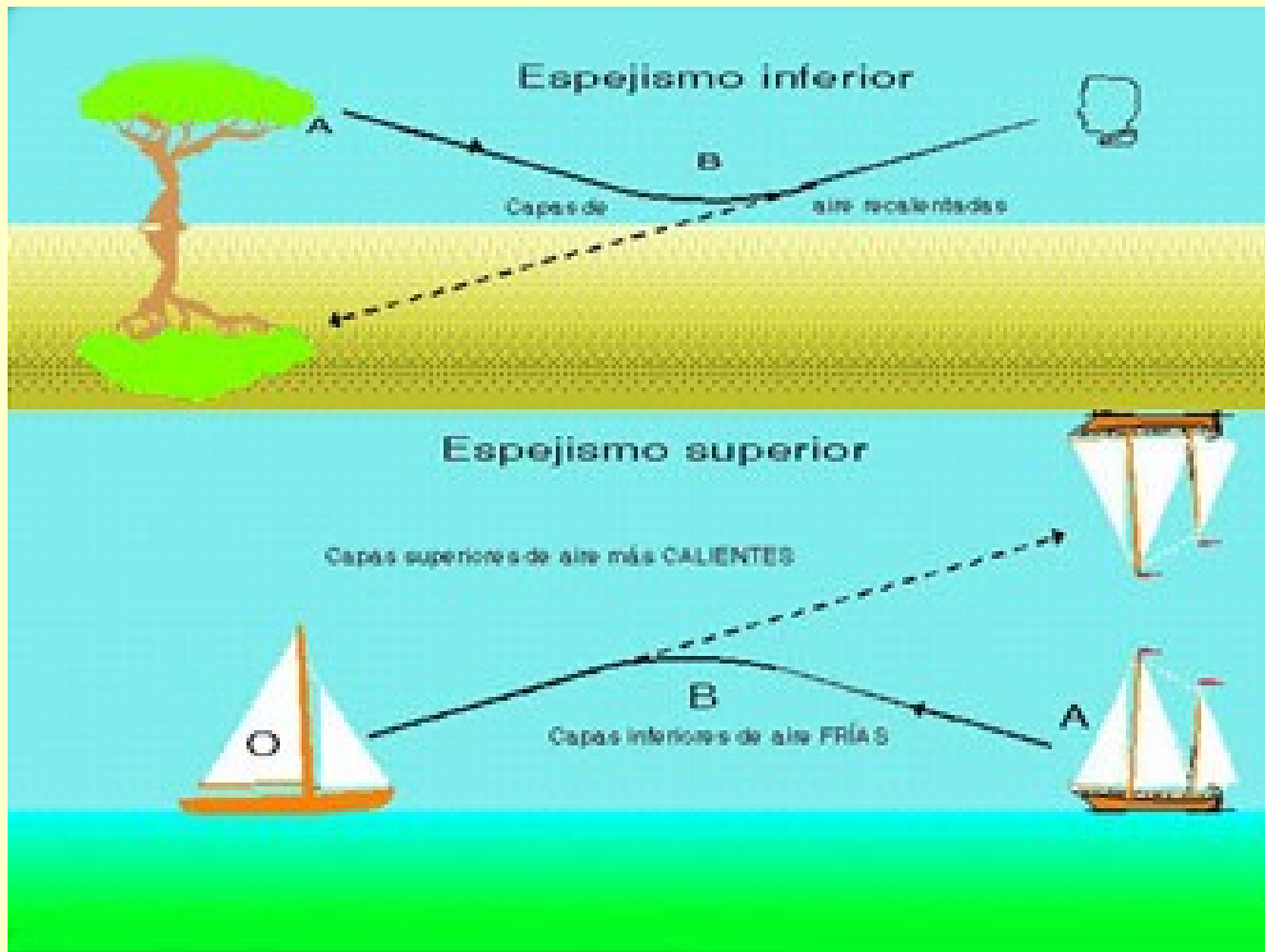
Photos ©Les Cowley





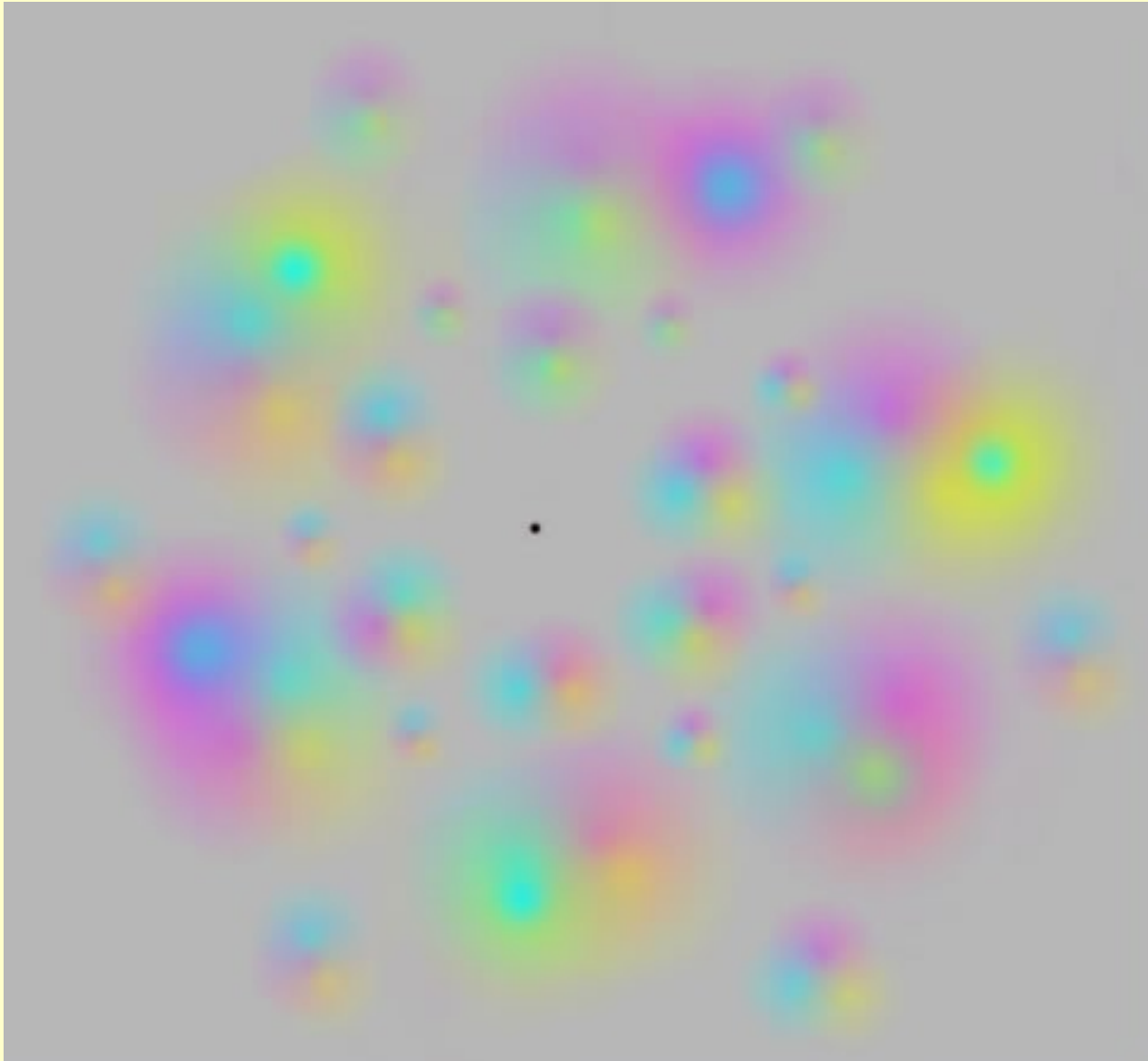


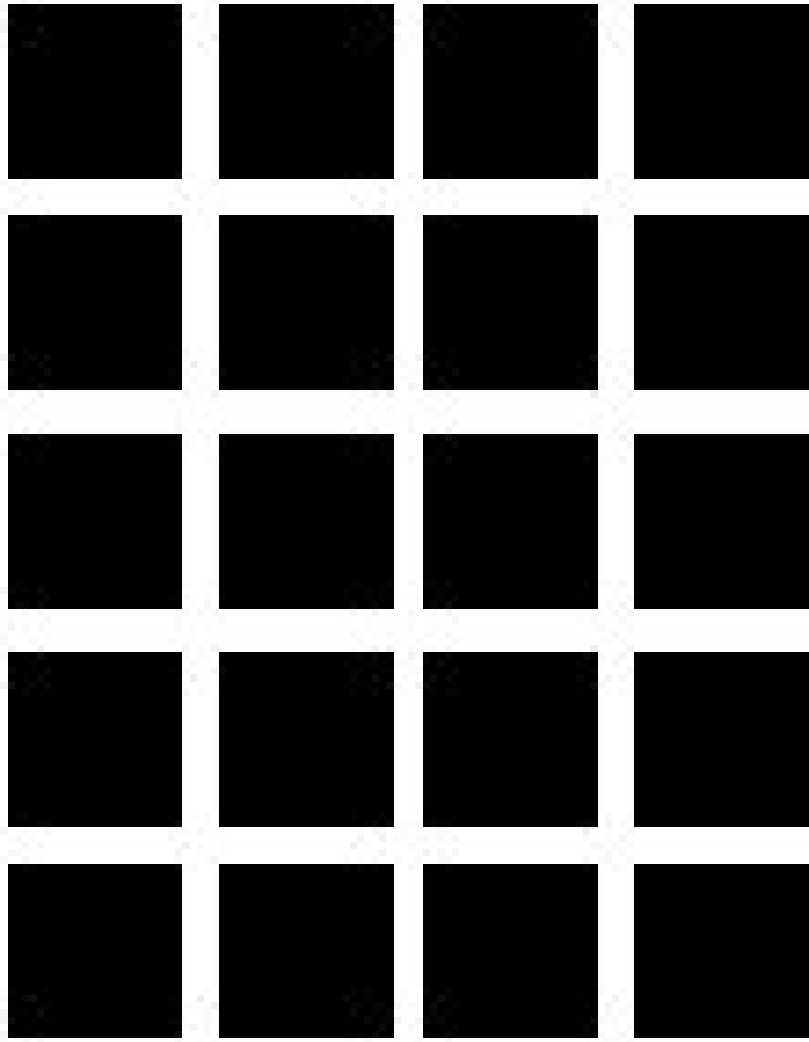
# Espejismos



La explicación de este fenómeno radica en el cambio del índice de refracción de la luz al cambiar la temperatura del aire. “La luz viaja a diferentes velocidades en el aire caliente respecto del aire frío”.

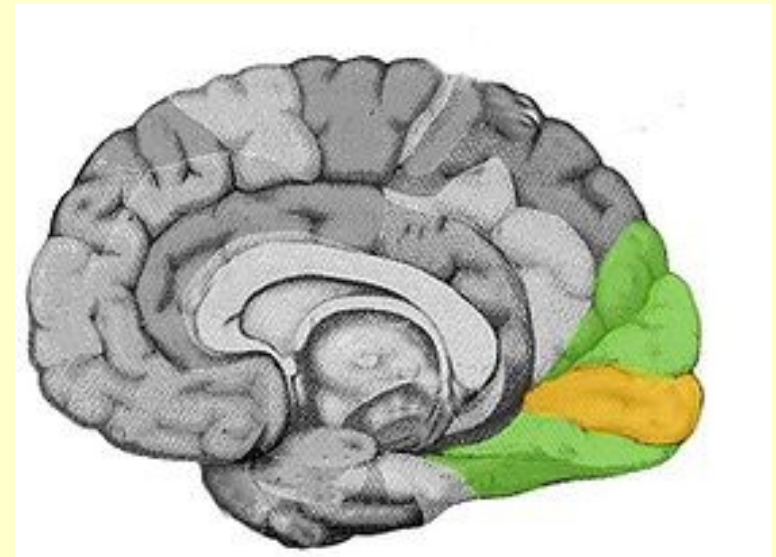
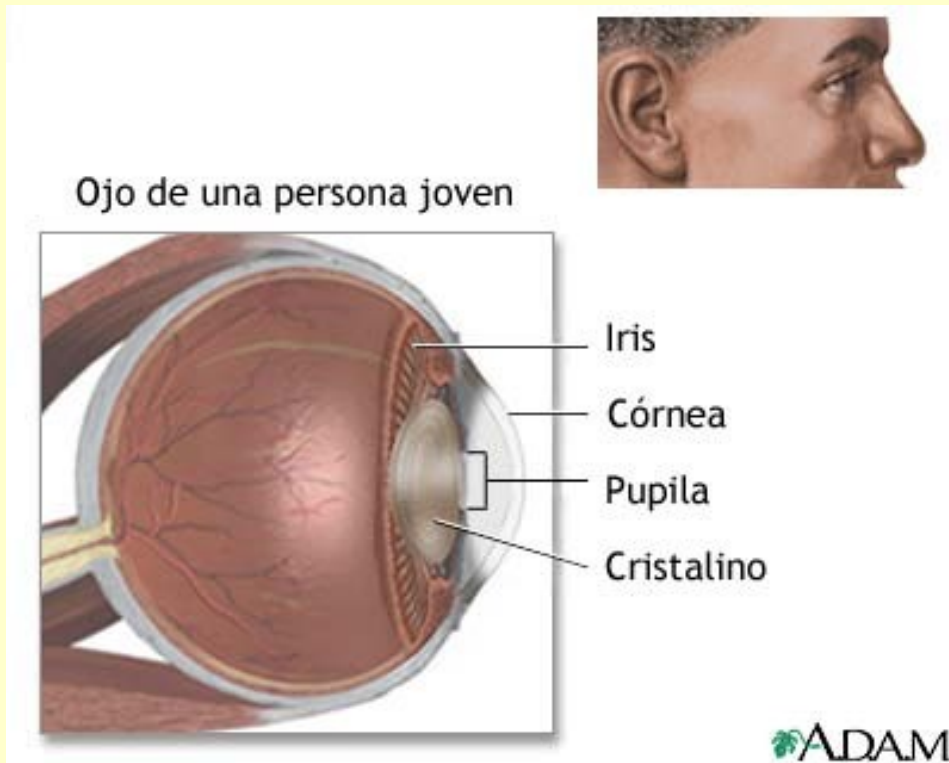
## ¿Es real lo que vemos? II

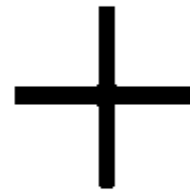




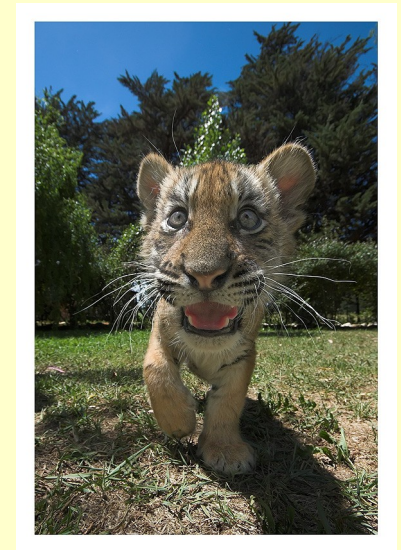
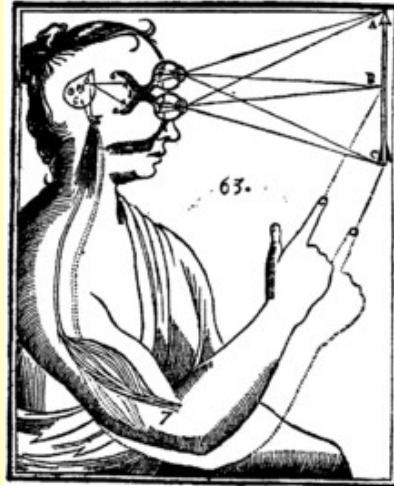
# El punto ciego

Tu cerebro te miente!!!!





¿Por qué tenemos dos ojos?  
¿Por qué están donde están?









# Qué es la luz?

## ¿Qué son los colores?

### Finalmente llegamos a las preguntas

¿Qué es la luz?

¿Qué son los colores?

¿Cuales son las propiedades y características de la luz?

¿Por qué el cielo es azul?

¿Por qué de día no se ven las estrellas?

¿Por qué en la luna sí se ven las estrellas de día?

¿Por qué el mar es azul?

¿Por qué el atardecer es rojo?

Curiosamente la respuesta a estas preguntas está relacionada con la unión entre fenómenos que parecen no tener relación pero que son dos caras de una misma moneda.

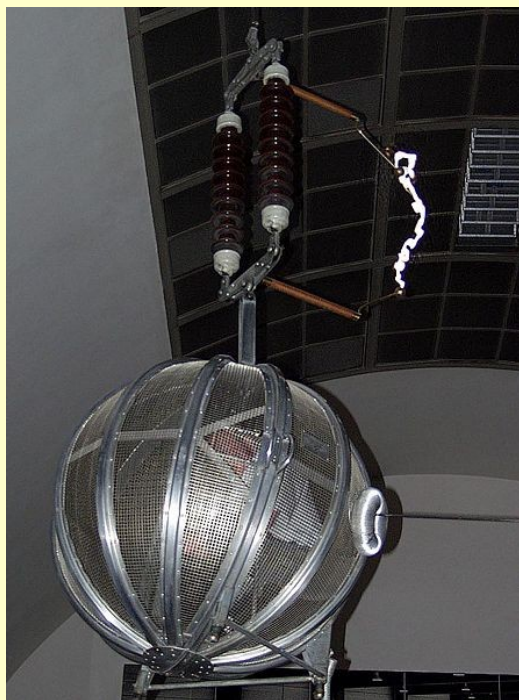
Con esto nos referimos a los fenómenos relacionados con el magnetismo y a los fenómenos relacionados con los objetos cargados eléctricamente

# Magnetismo

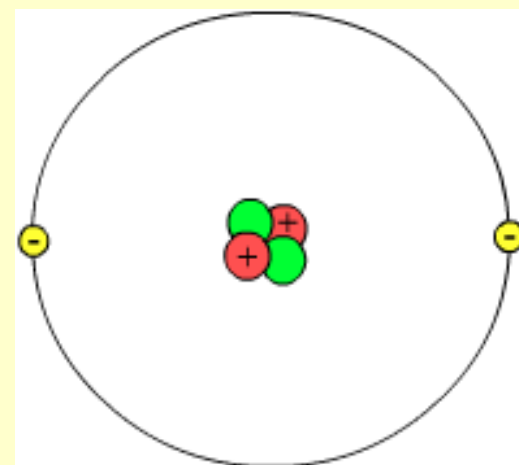


Ver videos

# Fuerza eléctrica



Ver video



# Ecuaciones que rigen al Electromagnetismo

## Ecuaciones de Maxwell

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho_q \\ \nabla \wedge \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \wedge \vec{B} &= \mu_0 \left( \vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)\end{aligned}$$



Ecuaciones que gobiernan la electrodinámica

$$\vec{E} = E_x \hat{x} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z}$$

$$\vec{B} = B_x \hat{x} + B_y \hat{y} + B_z \hat{z}$$



Que se haga la luz



Maxwell descubrió que en el vacío podía describir  
Sus ecuaciones de modo que estas se viera así:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 B_z}{\partial z^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 B_z}{\partial t^2}$$

Ecuación de onda para una onda  
Que viaja con una velocidad C  
dada por

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

¿Que son estas ondas?

$$C = 299.792 \text{ Km/s}$$

En la época de Maxwell ya se “sabía” que la luz es una onda  
o mejor dicho presenta las características de un fenómeno  
ondulatorio (Interferencia, difracción, refracción).

Mediciones de la velocidad de la luz decían que esta viaja a  
 $V = 299.792 \text{ Km/s}$

Conclusión: Las ondas electromagnéticas y la luz son  
representaciones de un un mismo fenómeno. Son el mismo tipo  
de ondas (oscilaciones de los campos eléctricos y magnéticos)

# Algunas propiedades de las Ondas Electromagnéticas

1) Son ondas que se pueden propagar en el vacío

(No son ondas mecánicas)



Ver notas sobre radio astronomía

## 2) Las Ondas Electromagnéticas en el vacío siempre se propagan con velocidad $C = 300.000 \text{ Km/s}$

i) Independiente de la frecuencia (longitud de onda) de la onda

$$c = \frac{\omega}{k}$$

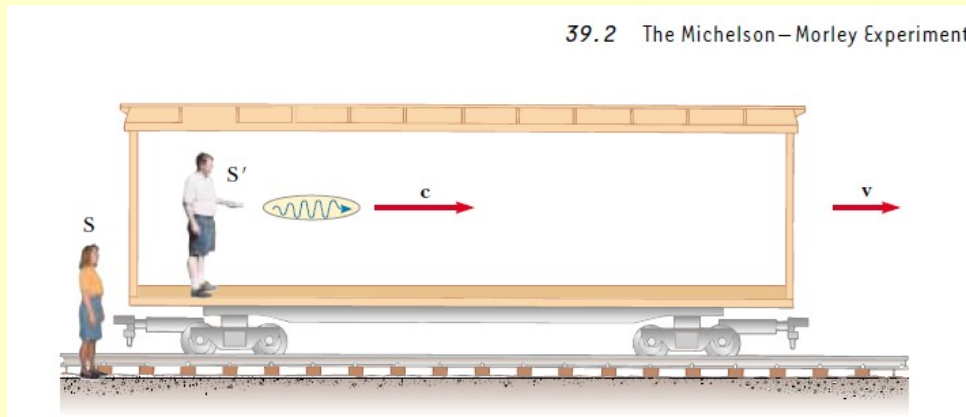
Número de onda

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Frecuencia angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

ii) Independiente de la velocidad del observador (Teoría de la Relatividad Especial)



Ver pizarra

### 3) Son ondas transversales:

Son ondas que se pueden polarizar (Ver videos)

Estudiamos un caso particular de solución a las ecuaciones de onda

Onda electromagnética plana y armónica viajando en la dirección de las x positivas

$$E_y(x, y, z) = E_y(x)$$

$$E_x = E_z = 0$$

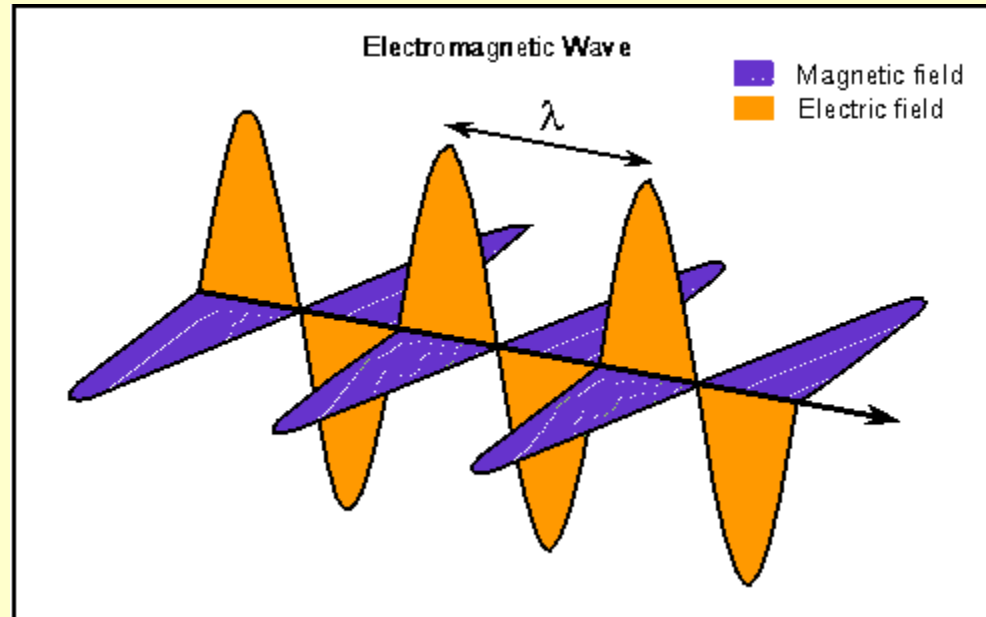
$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$$

$$E_y(x) = E_{0y} \text{Cos}[kx - \omega t + \phi]$$

$$c = \frac{\omega}{k}$$

$$B_x = B_y = 0$$

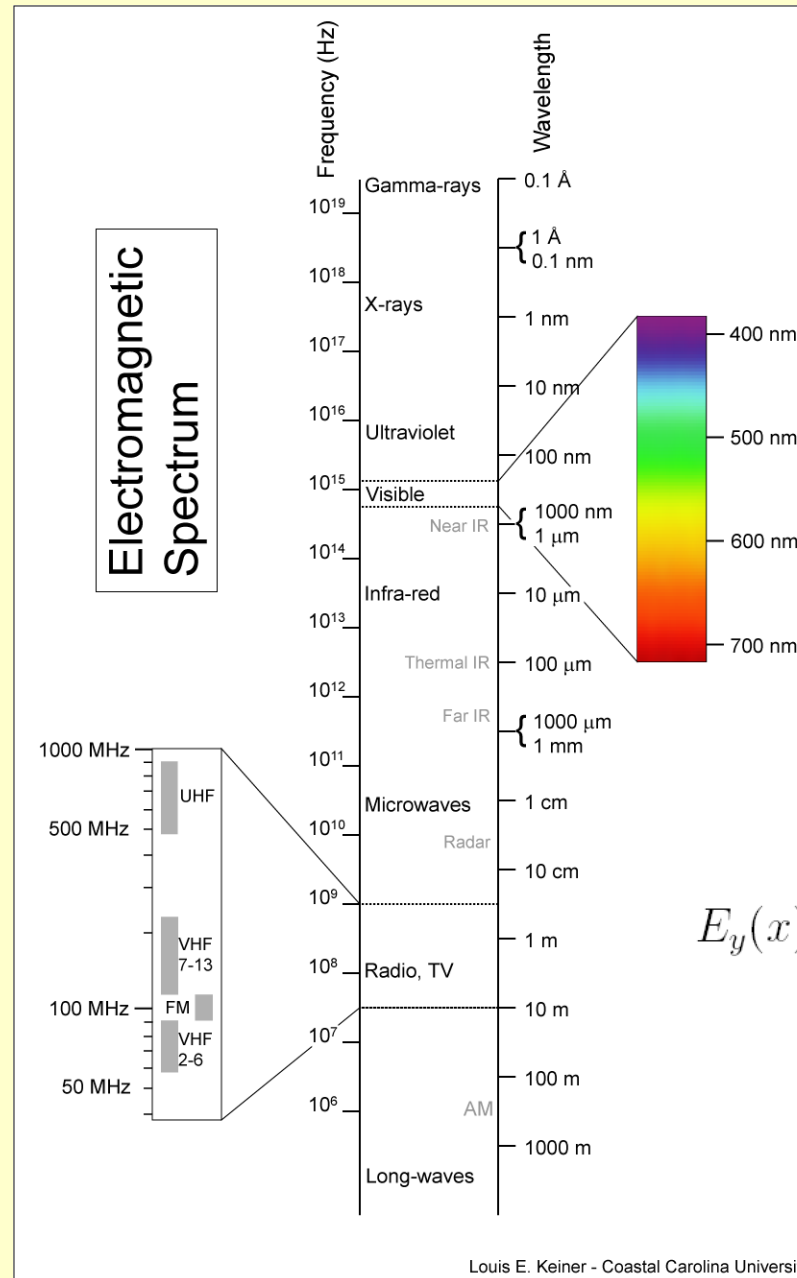
$$E_y(x) = cB_z(x)$$



# Espectro de las ondas Electro Magnéticas

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Ondas electromagnéticas para diferentes valores de su frecuencia  $f$



$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Ondas electromagnéticas para diferentes valores de su longitud de onda

$$E_y(x) = E_{0y} \text{Cos}[kx - \omega t + \phi]$$

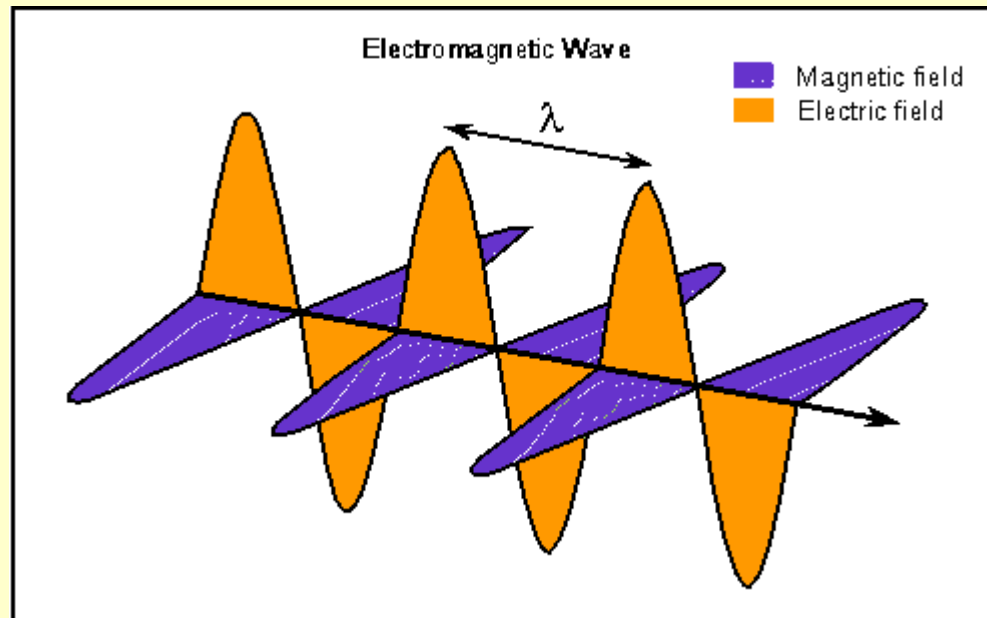
Onda armónica

# Onda electromagnética armónica

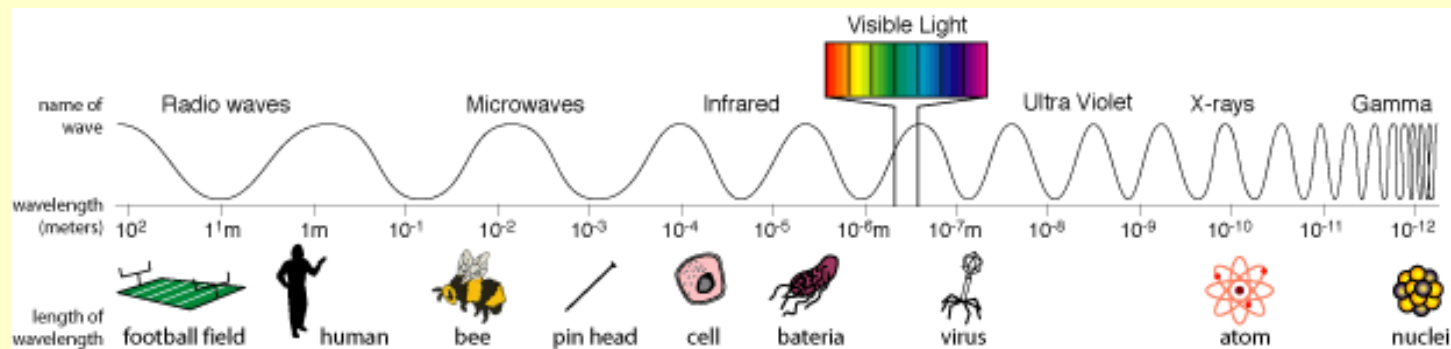
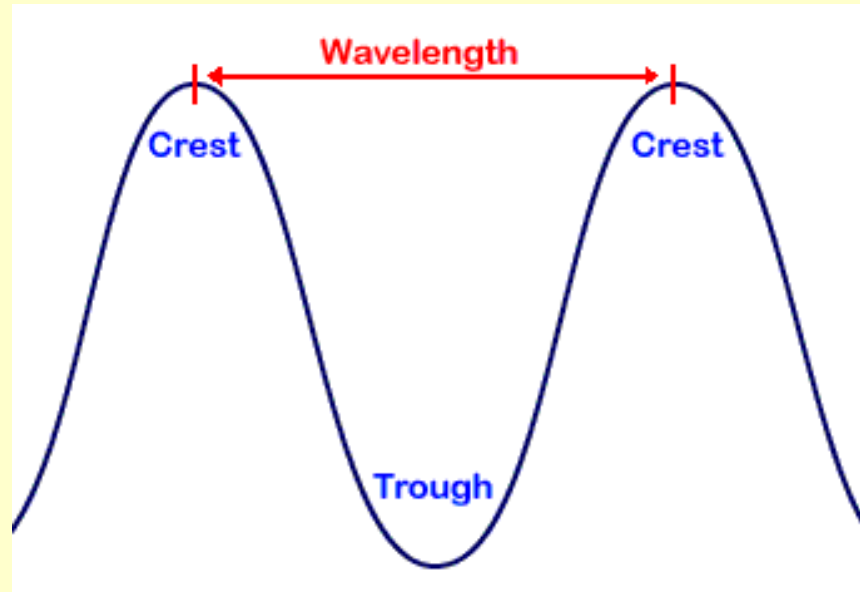
$$E_y(x) = E_{0y} \text{Cos}[kx - \omega t + \phi]$$

$$B_x = B_y = 0$$

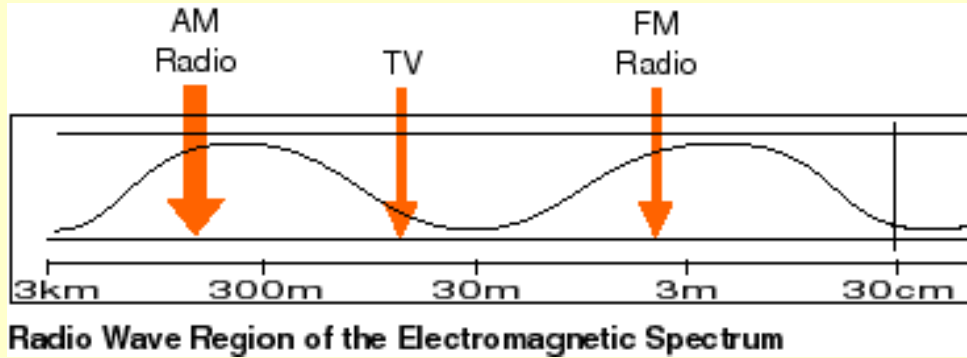
$$E_y(x) = cB_z(x)$$



# Ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda

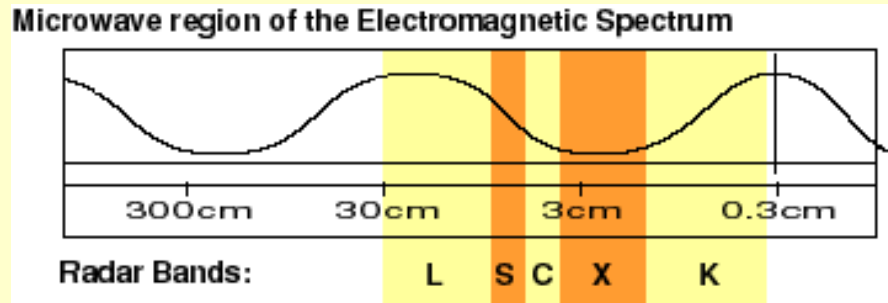


# Ondas de radio



Radio astronomía

# Microondas

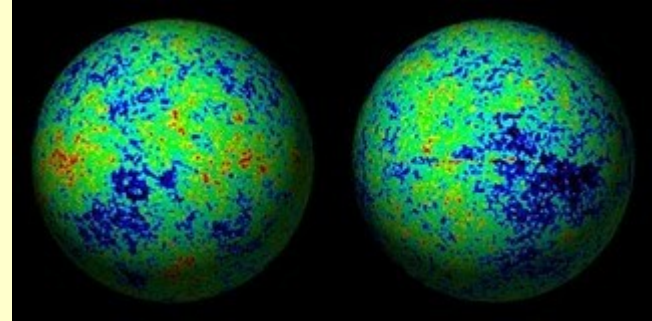
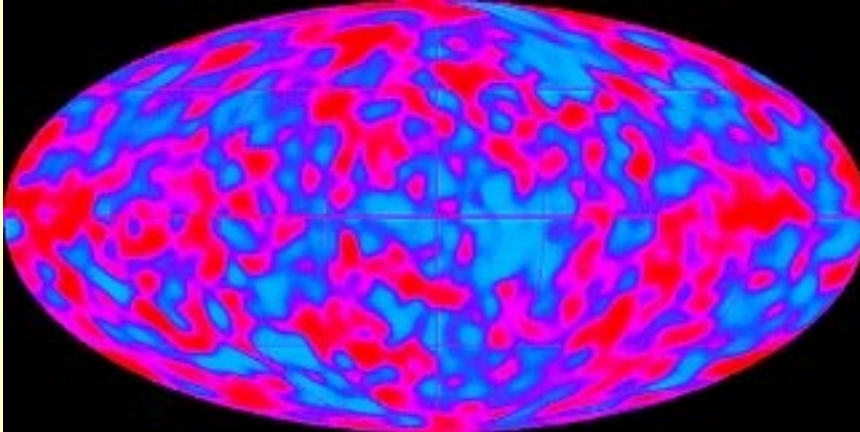


El microondas

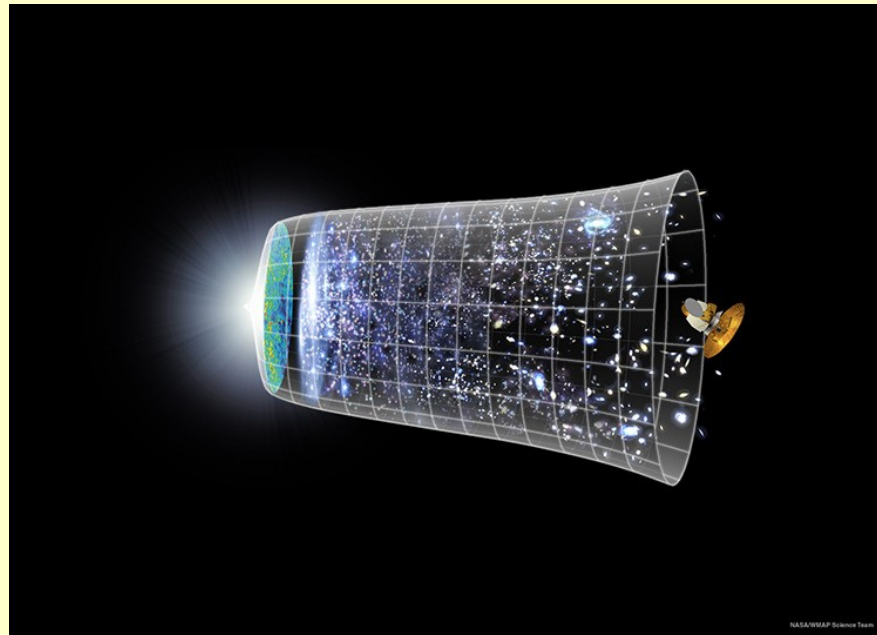


Antenas de microondas y radares

# Radiación C3smica de Fondo

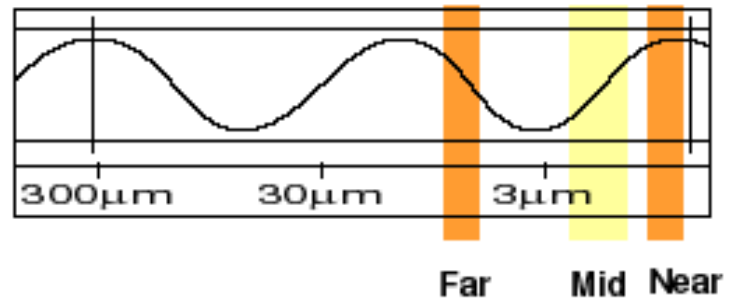


Temperatura cercana a 3 Kelvin

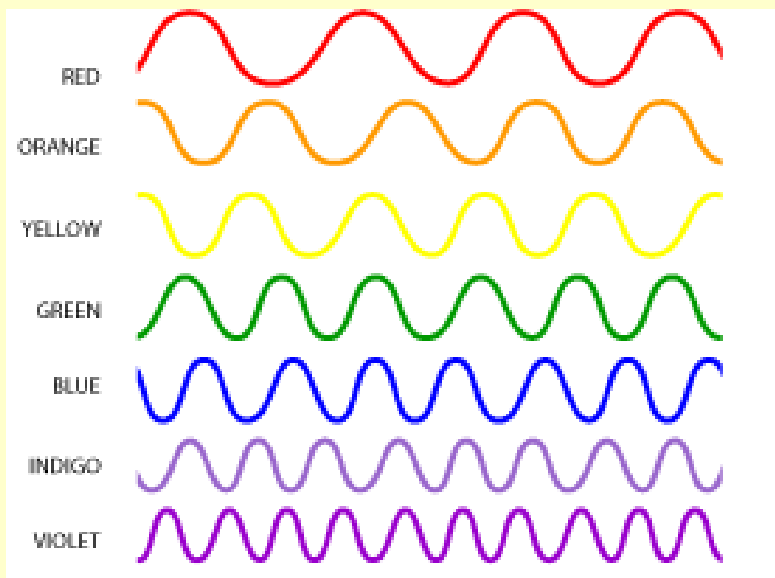
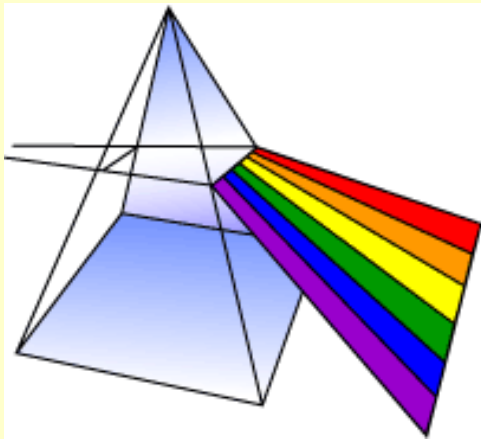
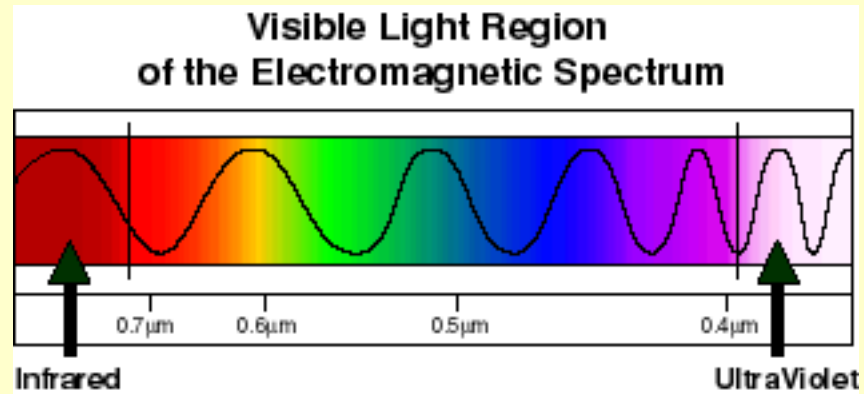


# Infrarrojo (IR)

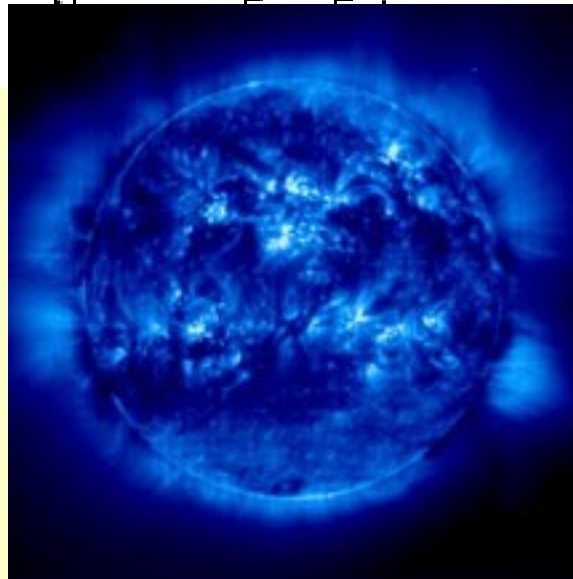
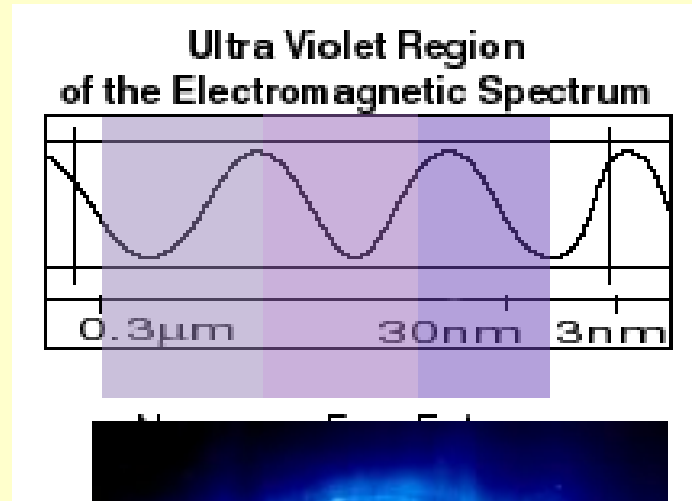
Infrared Region of the Electromagnetic Spectrum



# Luz (Ondas electromagnéticas visibles)



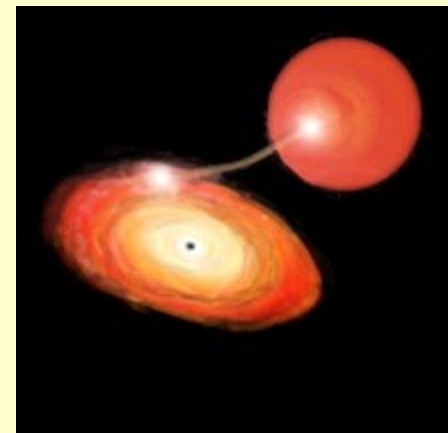
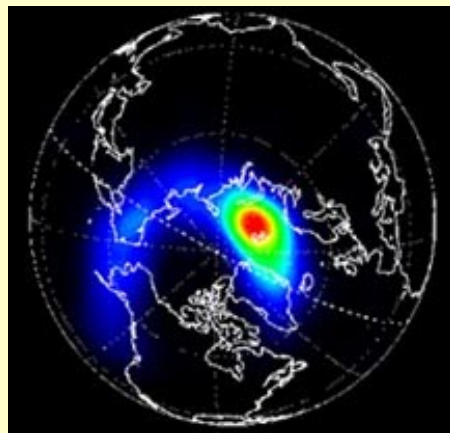
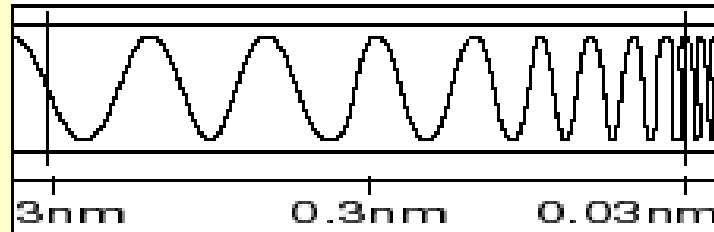
# Ultravioleta (UV)



El sol emite radiación UV

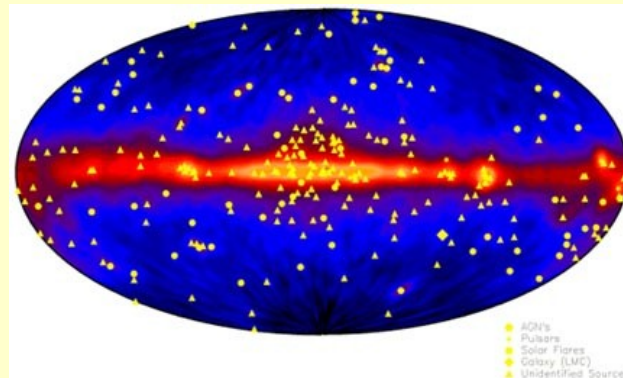
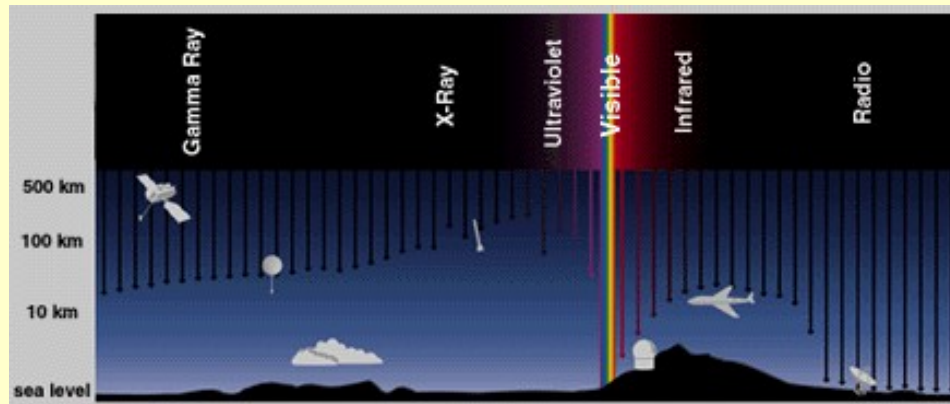
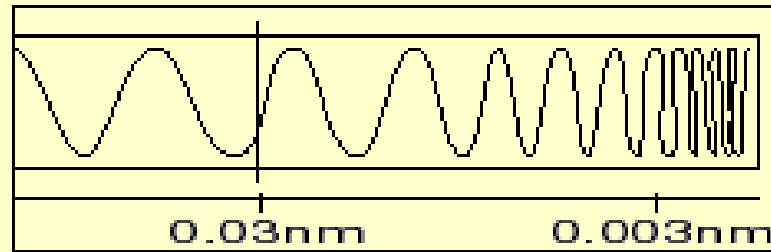
# Rayos X

X-Ray Region of the  
Electromagnetic Spectrum



# Rayos Gamma

## Gamma Ray Region of the Electromagnetic Spectrum



Fin