

Espectroscopía óptica

El color del mundo

CNyN-UNAM

En esta práctica estudiaremos la razón de los colores que vemos. Esto tiene diferentes ángulos, fuente de luz, interacción luz materia, separación de los colores para mejor claridad, detección de la luz. Cada fase tiene sus complicaciones en si misma, de manera que veremos de forma superficial cada parte, dejando a los interesados bibliografía en la cual pueden buscar mayor profundidad de cada tema. Llevaremos la espectroscopía a las aplicaciones prácticas, tanto de la vida diaria como en ámbito científico.

Esquema de la plática

- 1 Sobre la luz y sus modelos
 - Onda electromagnética
 - Partícula
- 2 Separando colores: Espectroscopía
 - Filtros de color, Prismas, interferencia y rejillas
 - Espectrómetros
- 3 ¿Por qué vemos lo que vemos?
 - Interacción luz materia
 - Plasmas
 - Cuerpo negro
 - Detectores
- 4 Mediciones
 - Respuesta del instrumento
 - Modos de medir
 - $R+T+A+S=1$

Fuente y detector



Fuente de luz

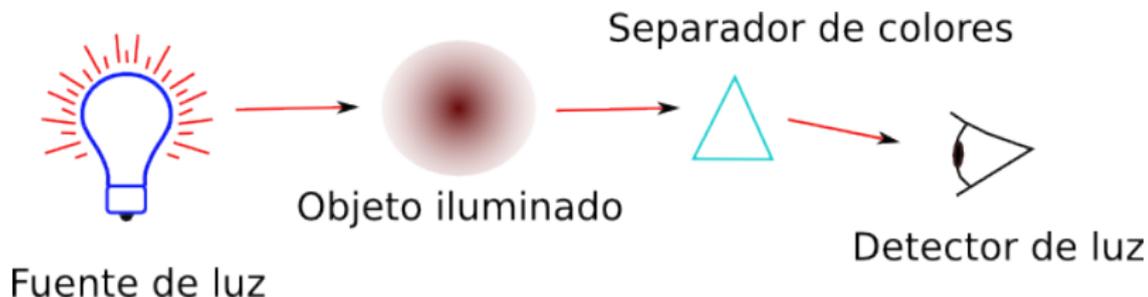


Detector de luz

Fuente y detector



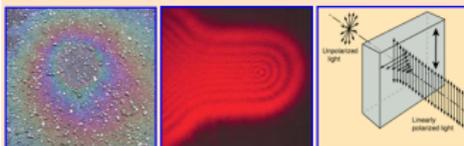
Fuente y detector



La pregunta de que si la luz es un río de partículas o de ondas es un tema muy viejo. Esta formulación de "si es esto o aquello" era natural clásicamente y no cabía el "ambos-y" ni aún el "ninguno - ni" que es la solución actual. Al inicio del siglo XIX los experimentos mostraban que la luz es un movimiento ondulatorio (Thomas Young) en oposición a la teoría corpuscular de Isaac Newton [5].

Wave-Particle Duality: Light

Does light consist of particles or waves? When one focuses upon the different types of phenomena observed with light, a strong case can be built for a wave picture:



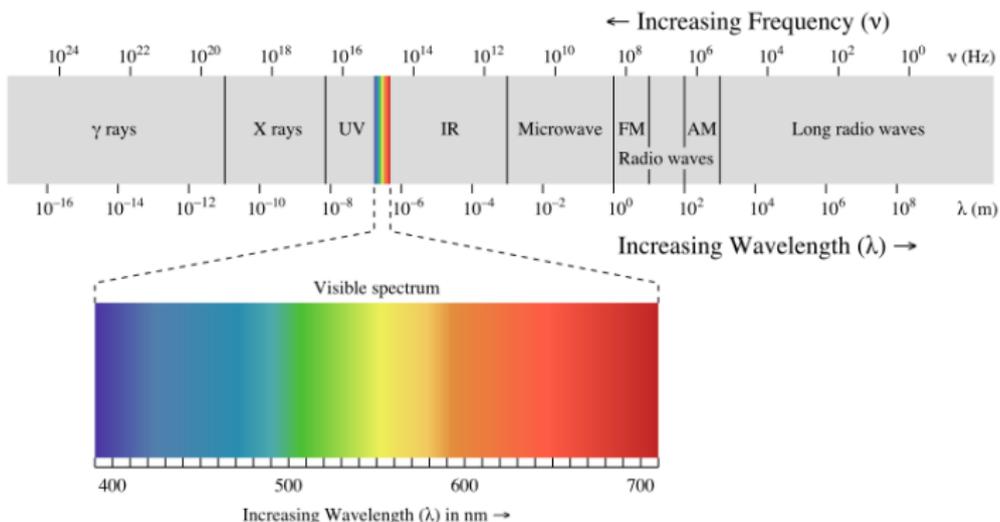
[Interference](#)

[Diffraction](#)

[Polarization](#)

By the turn of the 20th century, most physicists were convinced by phenomena like the above that light could be fully described by a wave, with no necessity for invoking a particle nature. But the story was not over.

Phenomenon	Can be explained in terms of waves.	Can be explained in terms of particles.
Reflection	✓	✓
Refraction	✓	✓
Interference	✓	✗
Diffraction	✓	✗
Polarization	✓	✗
Photoelectric effect	✗	✓



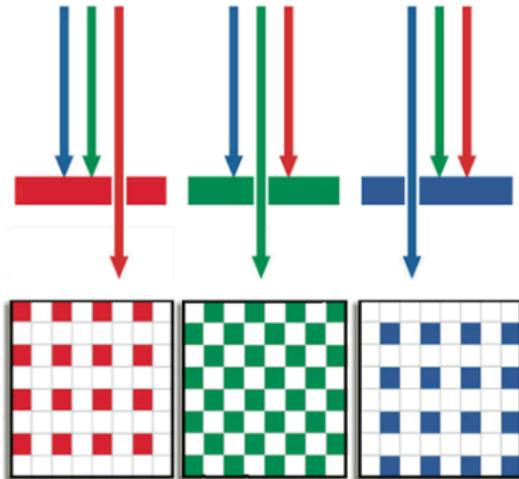
$$c = \frac{\lambda}{\tau} \quad k = \frac{\omega}{v} = \omega \sqrt{\epsilon\mu} = \omega \sqrt{(K_e \epsilon_0)(K_m \mu_0)}$$

En los textos de física hay dos fenómenos que se citan como demostración de la naturaleza de la luz como partícula:

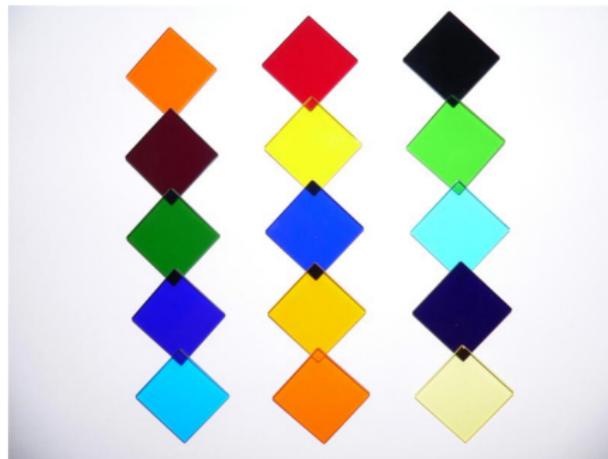
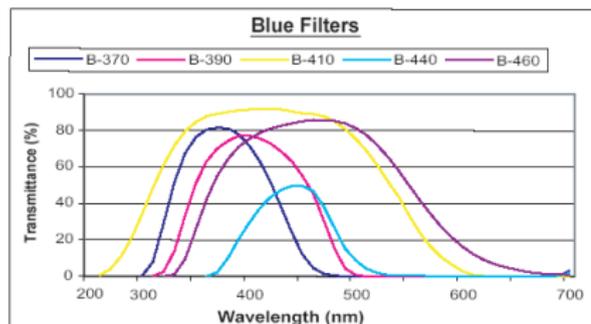
- 1 el efecto fotoeléctrico y
- 2 el esparcimiento Compton de los rayos X.

Einstein repitió los cálculos estadísticos, partiendo de la fórmula de Planck, que es más general que la de Wien, y llegó a la conclusión que ambos conceptos, de onda y partícula pueden coexistir.

Filtros de color



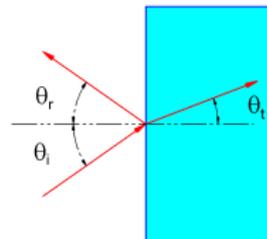
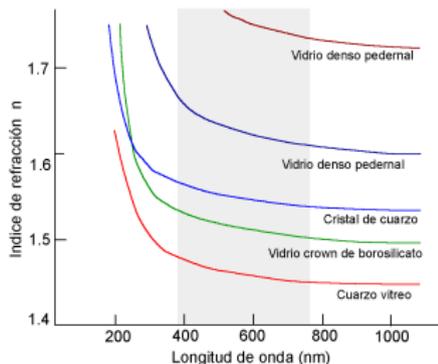
Filtros de color



Interferencia

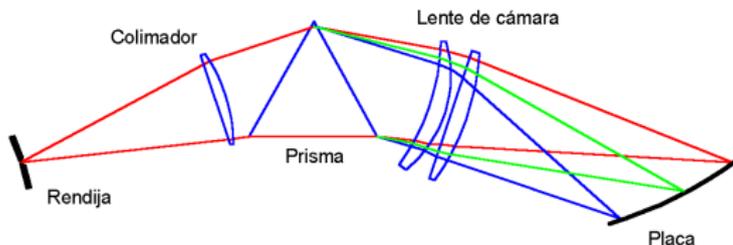


Dispersión del índice de refracción

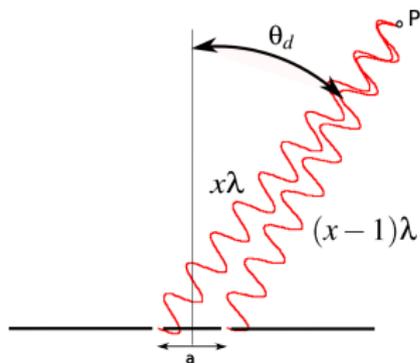


$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$$

$n(\lambda)$ dispersion



CD y DVD

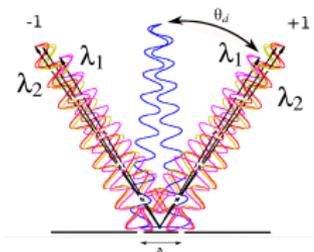


Ley de Bragg

$$a \cdot (\sin \theta_i + \sin \theta_d) = m\lambda$$

$$\text{CD, } \theta_d = 24,7^\circ \Rightarrow a = 1,523 \text{ nm}$$

$$\text{DVD, } \theta_d = 55^\circ \Rightarrow a = 775 \text{ nm}$$



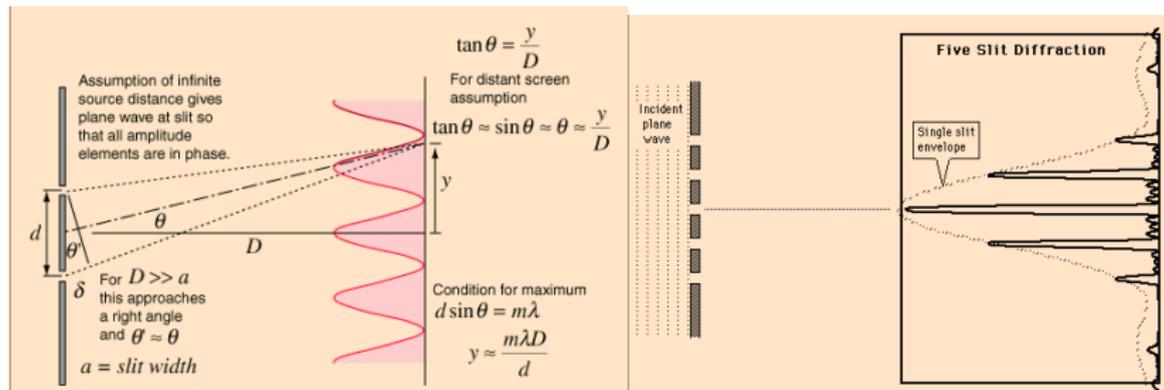
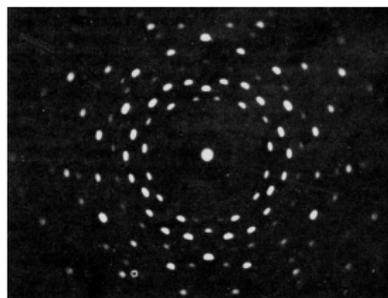
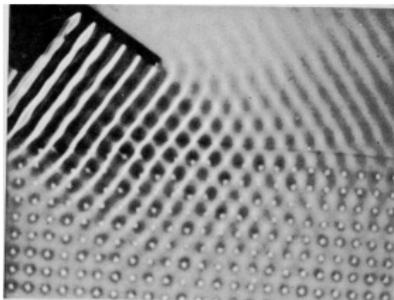


Figura: Rendijas y Rejillas

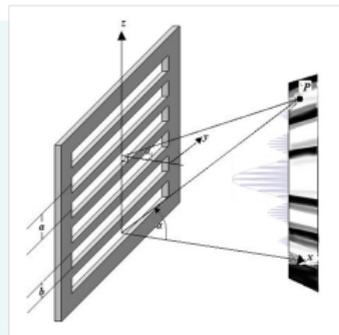
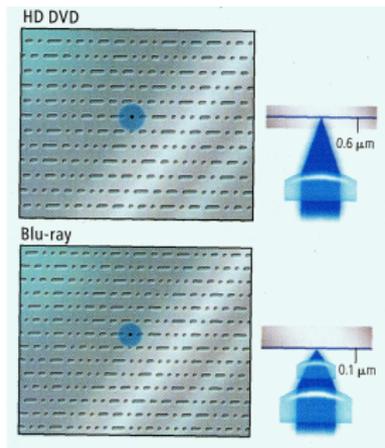
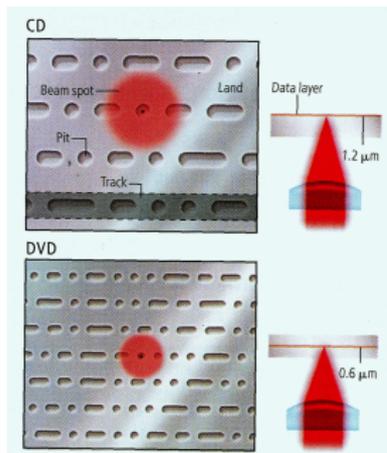
Difracción con agua y electrones

Ley de Bragg

$$a \cdot (\sin \theta_i + \sin \theta_d) = m\lambda$$

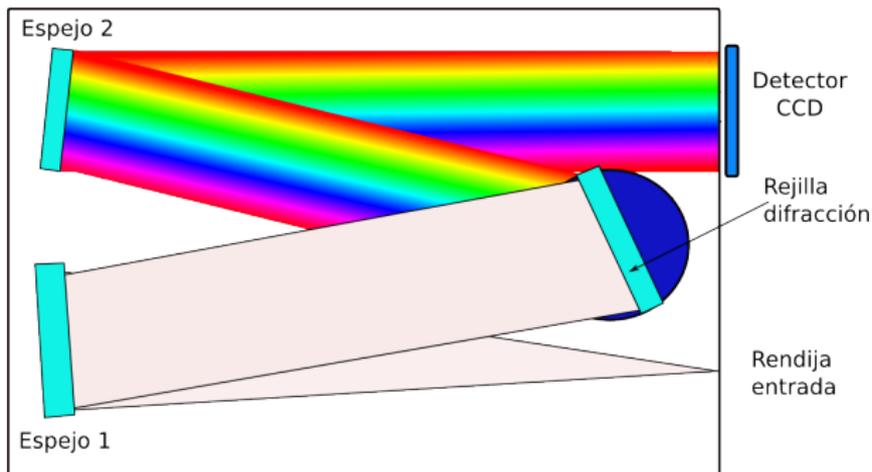


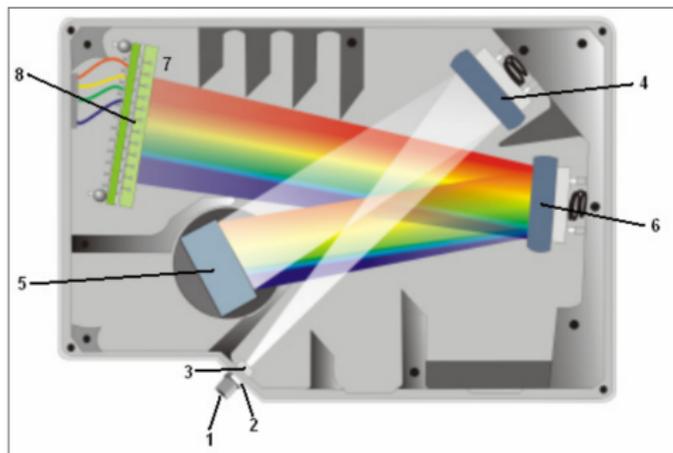
Rejillas de difracción



Rejilla de difracción simple

Discos Blue-ray y HD-DVD almacenan más datos que los CD y DVD. Las marcas, que constituyen los 1s y 0s digitales, pueden ser menores porque se leen con luz azul-violeta, que tiene longitud menor que el láser rojo. Posicionando la capa de datos más cerca del láser (diagramas a la derecha) permite un mejor foco y menor distorsión y por lo tanto marcas y surcos más pequeños. Mark Fischetti, Scientific American, pag. 98, Agosto 2007





- 1,2,3.- Entrada de fibra óptica
- 4.- Espejo colimador
- 5.- Rejilla de difracción
- 6.- Espejo formador de imagen
- 7.- Espectro de la luz
- 8.- Detector CCD

Polarización de un dipolo

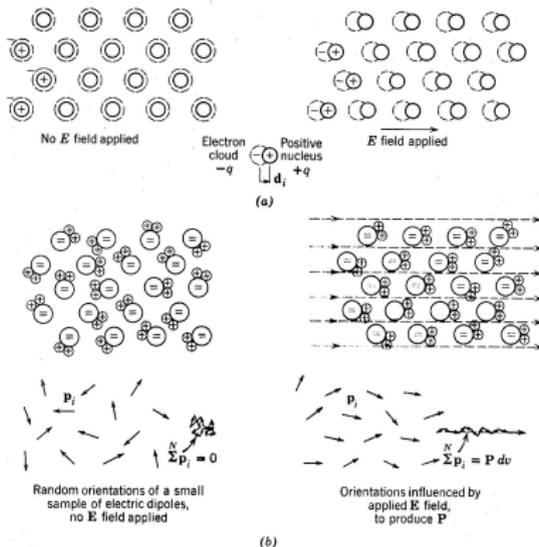
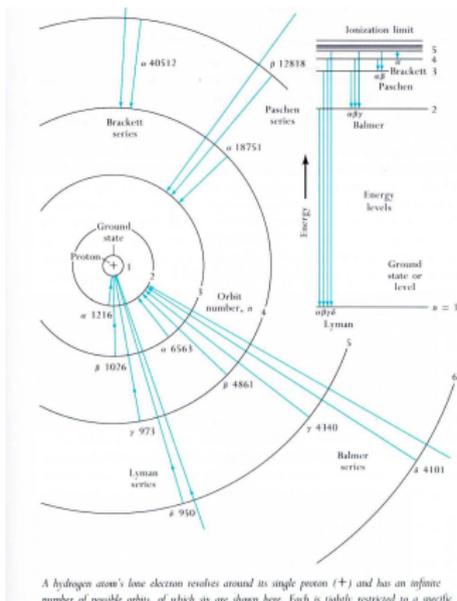
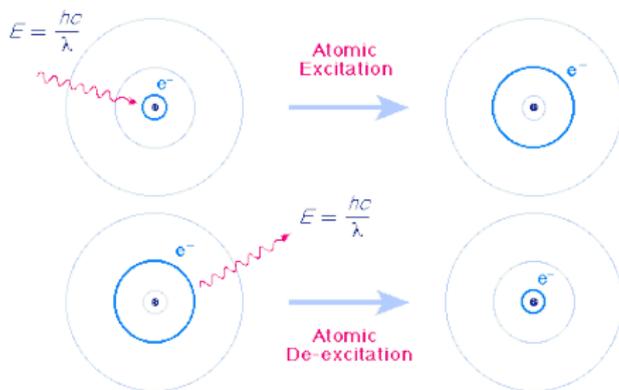


Figure 3-2. Electric polarization effects in simple models of nonpolar and polar dielectric materials. (a) A nonpolar substance. (b) A polar substance (H_2O).

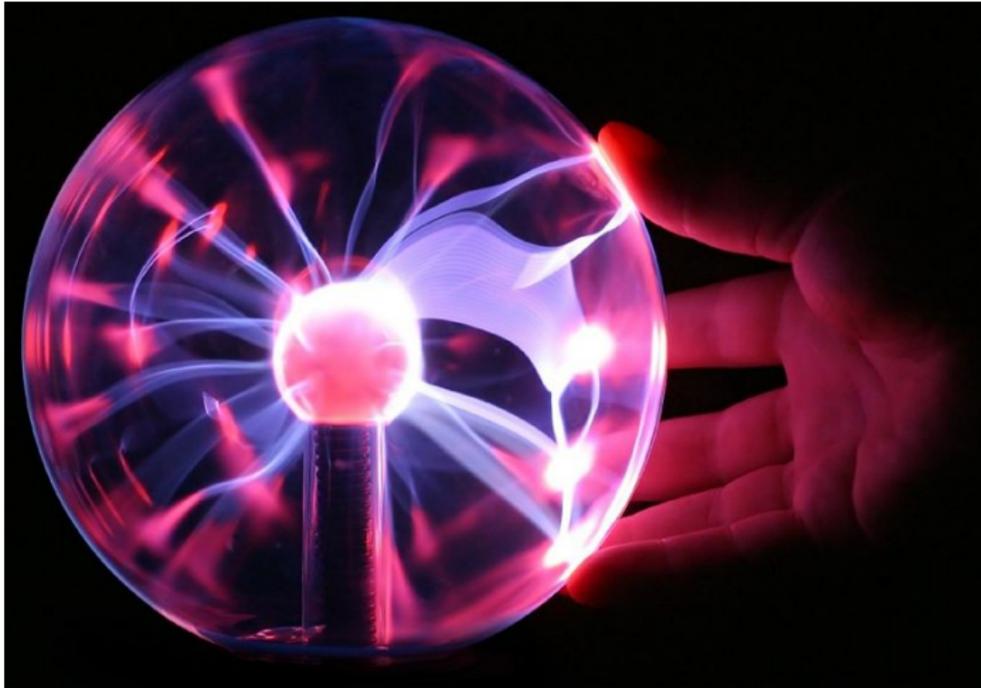
Radiación de un átomo



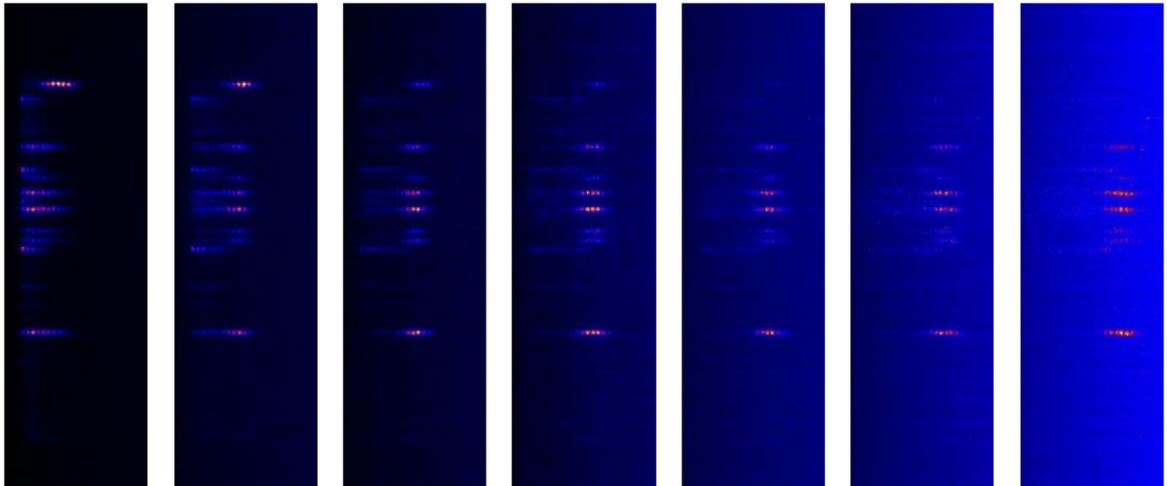


Sobre la luz y sus modelos
Separando colores: Espectroscopía
¿Por qué vemos lo que vemos?
Mediciones
Ejemplos a observar

Interacción luz materia
Plasmas
Cuerpo negro
Detectores







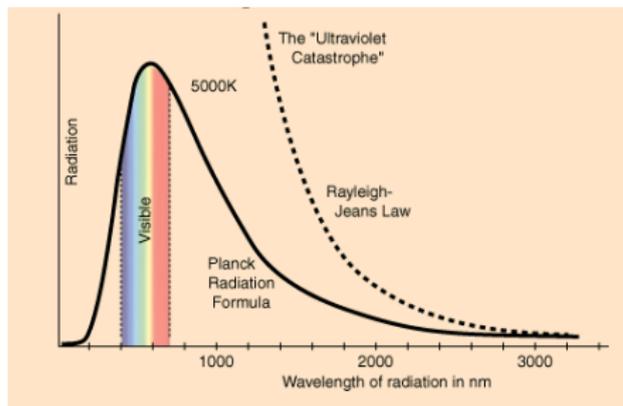
Sobre la luz y sus modelos
Separando colores: Espectroscopía
¿Por qué vemos lo que vemos?
Mediciones
Ejemplos a observar

Interacción luz materia
Plasmas
Cuerpo negro
Detectores

Planetary Nebula IC 418



Hubble
Heritage

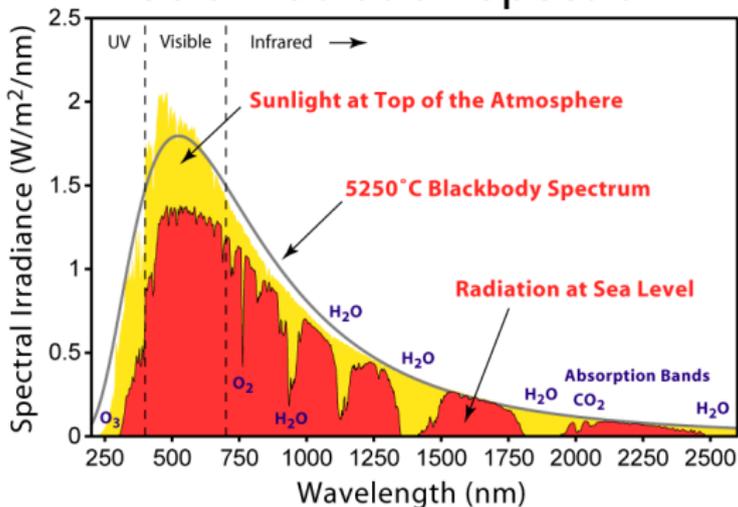


Ley de radiación de Planck,
1900

Densidad de energía:

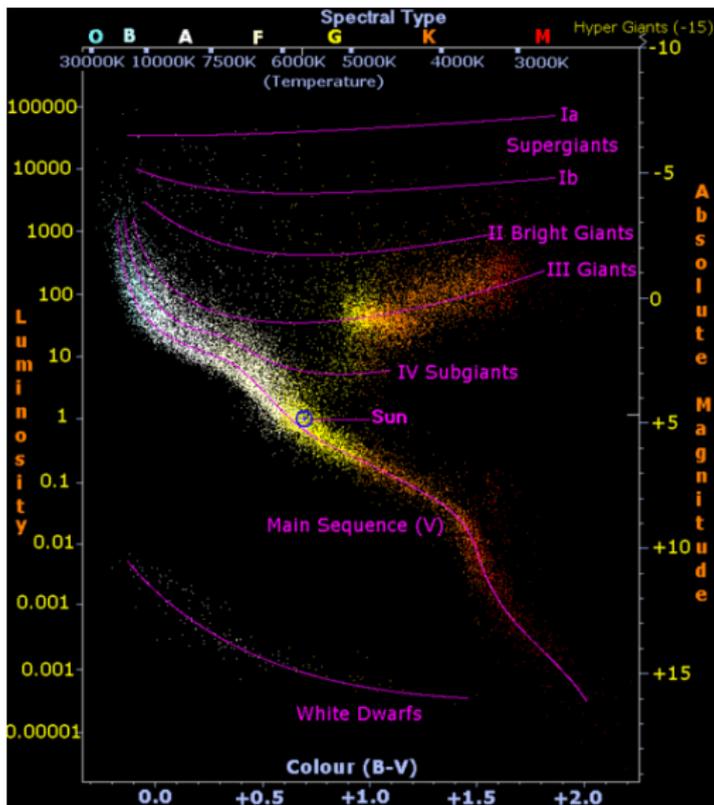
$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Solar Radiation Spectrum

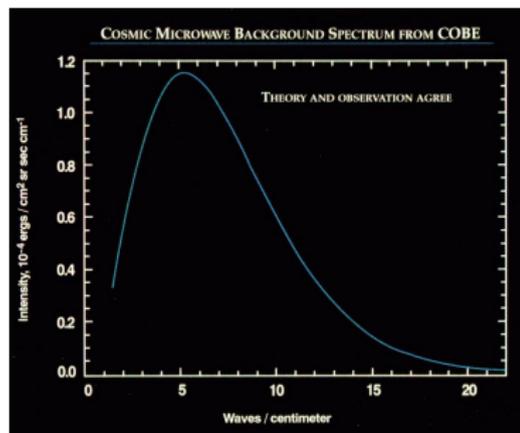
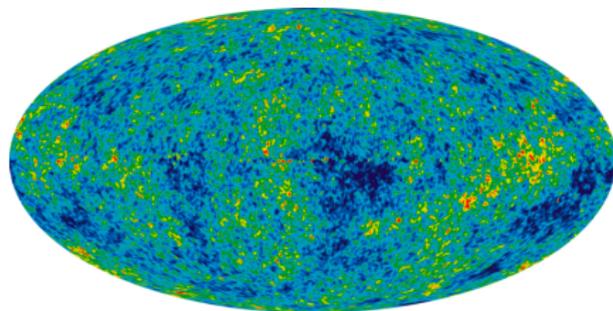


Sobre la luz y sus modelos
Separando colores: Espectroscopía
¿Por qué vemos lo que vemos?
Mediciones
Ejemplos a observar

Interacción luz materia
Plasmas
Cuerpo negro
Detectores

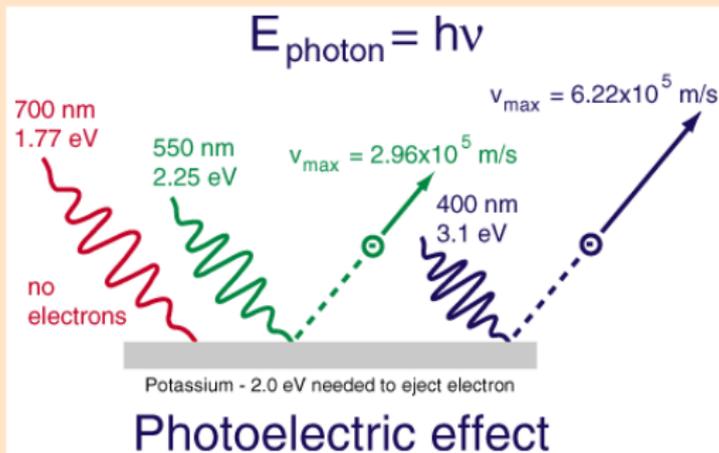


Radiación cósmica de fondo



http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_microwave_background_radiation

Photoelectric Effect



Most commonly observed phenomena with light can be explained by waves. But the photoelectric effect suggested a particle nature for light.

Óptica del ojo

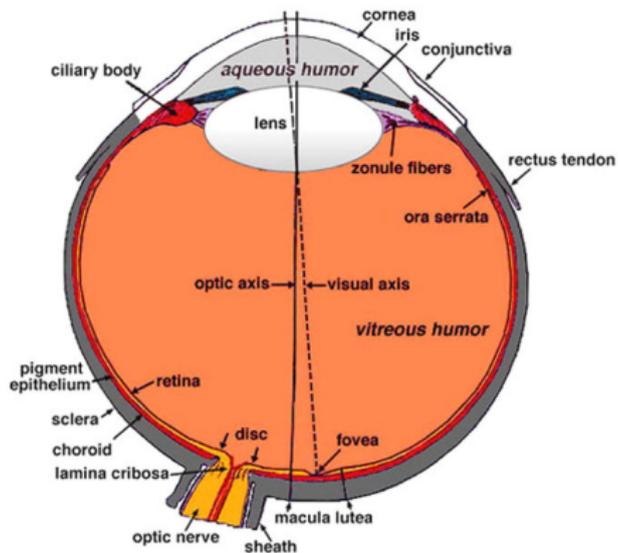


Fig. 2. Sagittal horizontal section of the adult human eye.

Sensores del ojo, conos y bastones

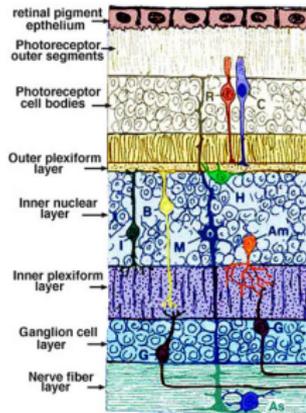
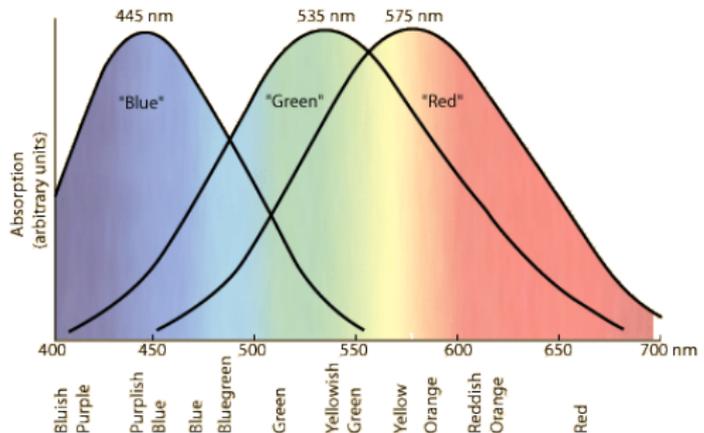


Fig. 5. Scheme of the layers of the developing retina around 5 months' gestation (Modified from Odgen, 1989).

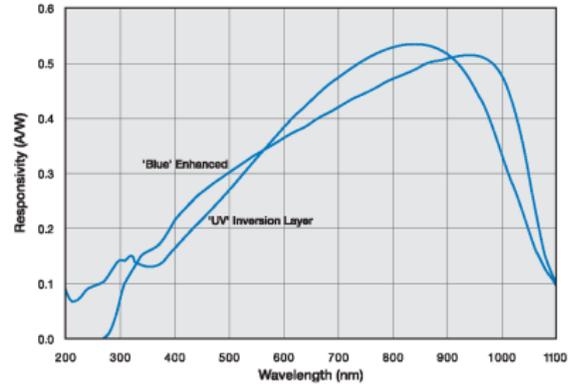


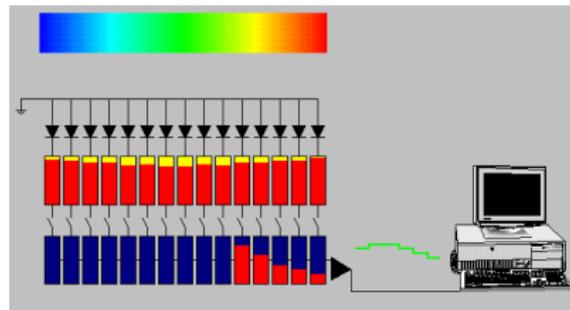
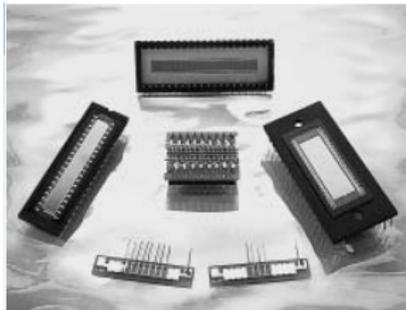
Limitaciones del ojo

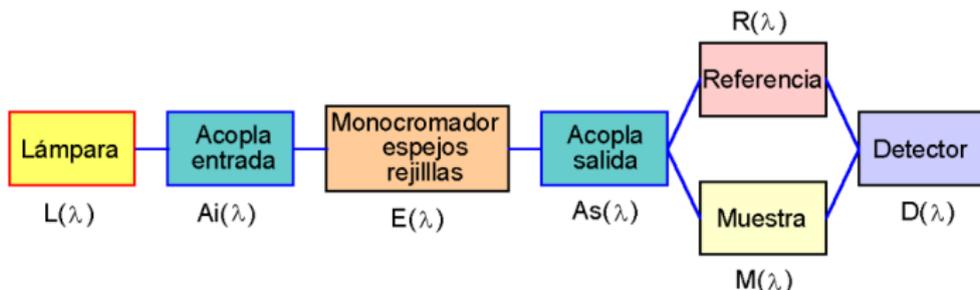




■ Typical Spectral Response







Señal detectada, con la referencia

$$I_r(\lambda) = LA_iEA_sRD$$

Señal detectada, con la muestra

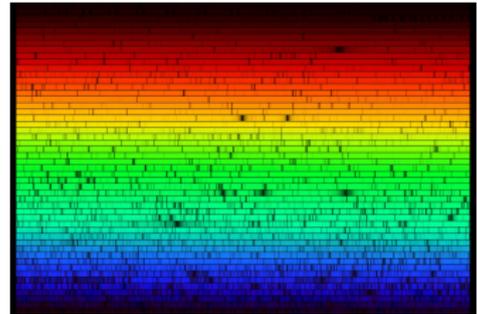
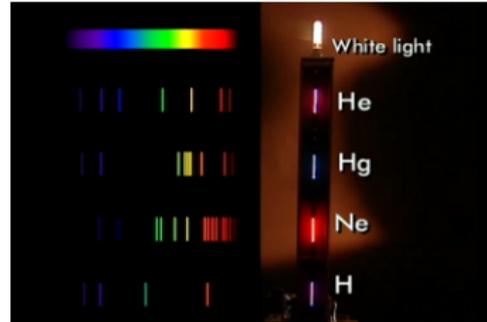
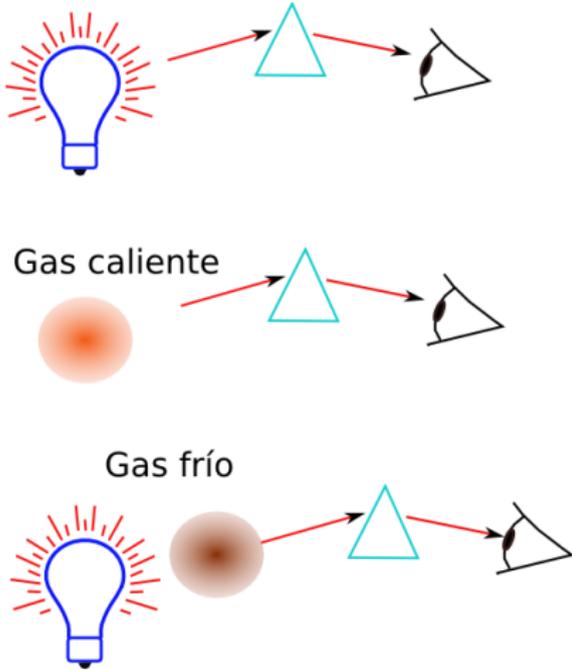
$$I_m(\lambda) = LA_iEA_sMD$$

Transmitancia

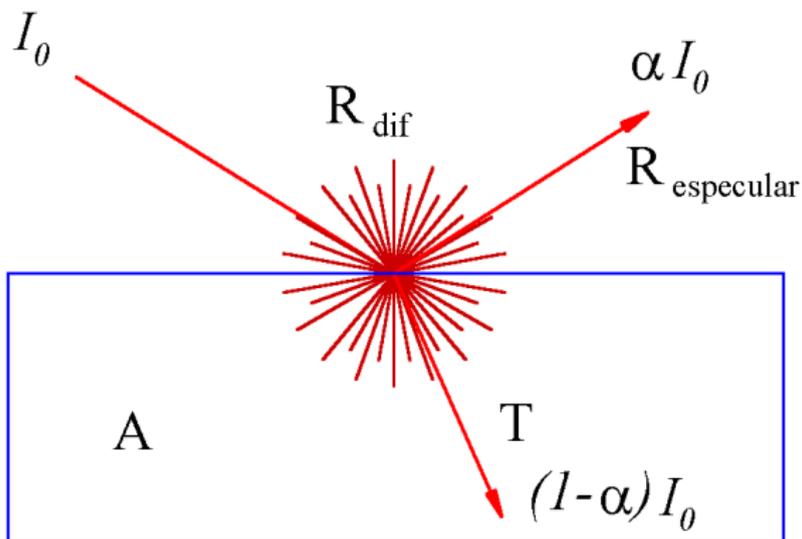
$$T = \frac{I_m}{I_r} = \frac{LA_iEA_sMD}{LA_iEA_sRD} = \frac{M}{R}$$

Absorbencia

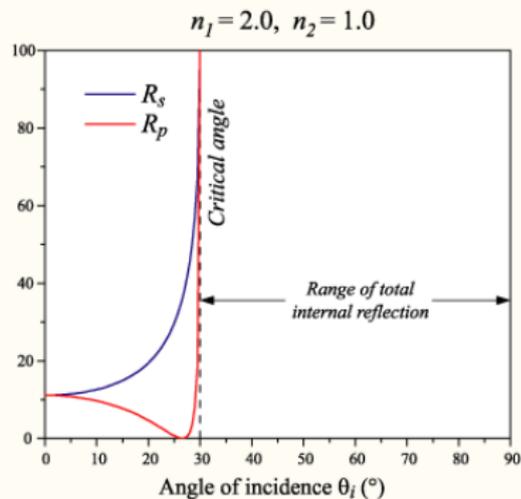
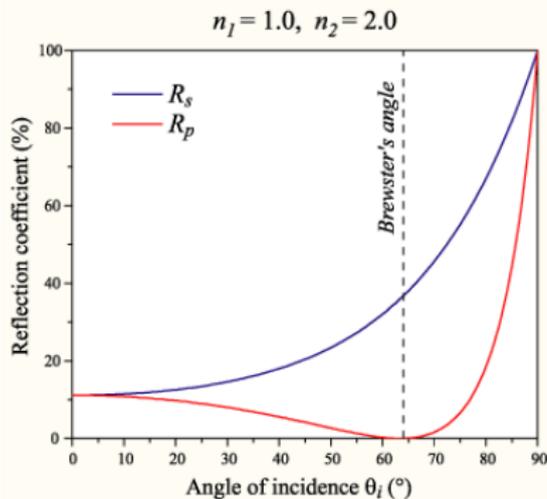
$$A = \log_{10} \frac{1}{T}$$



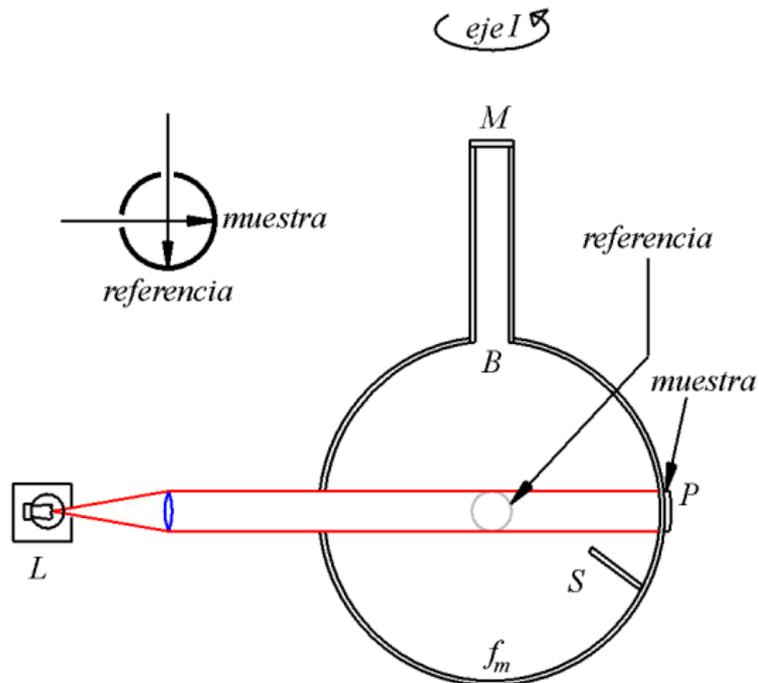
Conservación de la energía



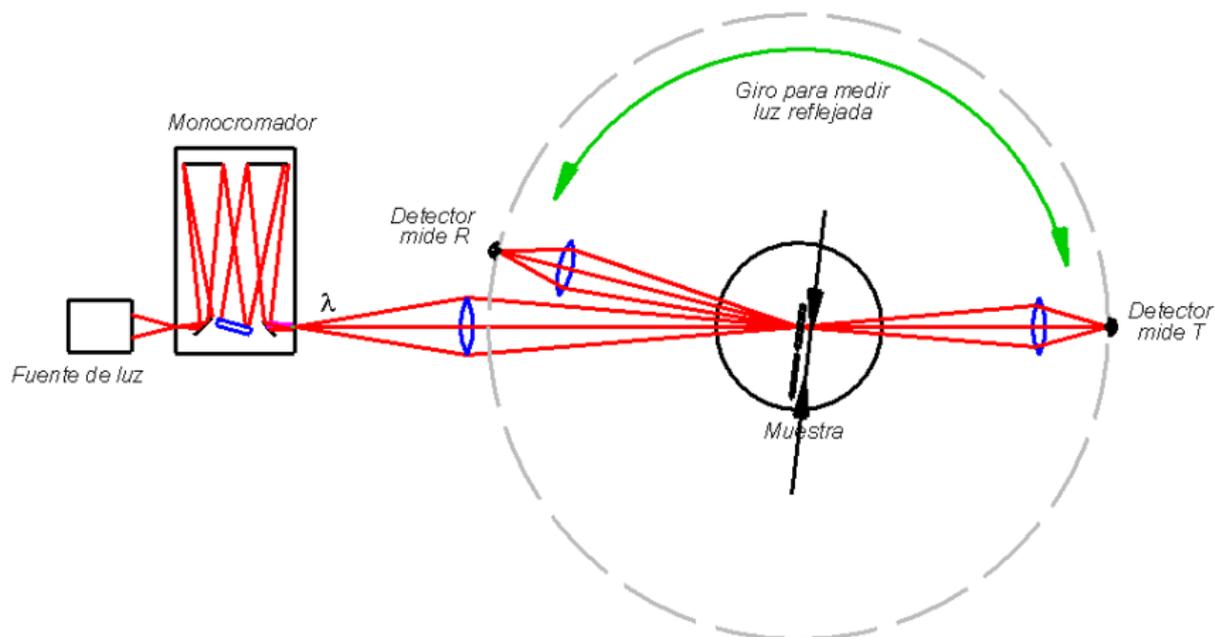
Reflexión especular



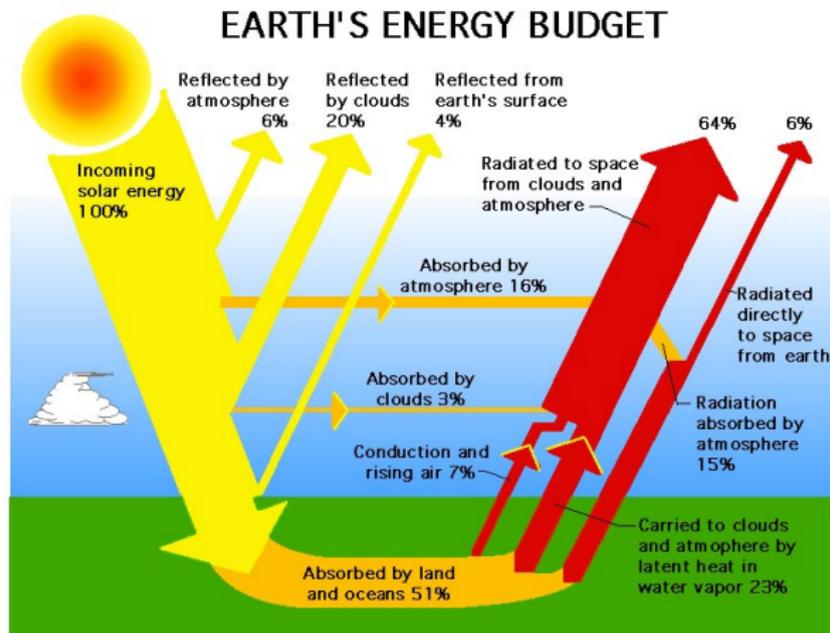
Reflexión difusa



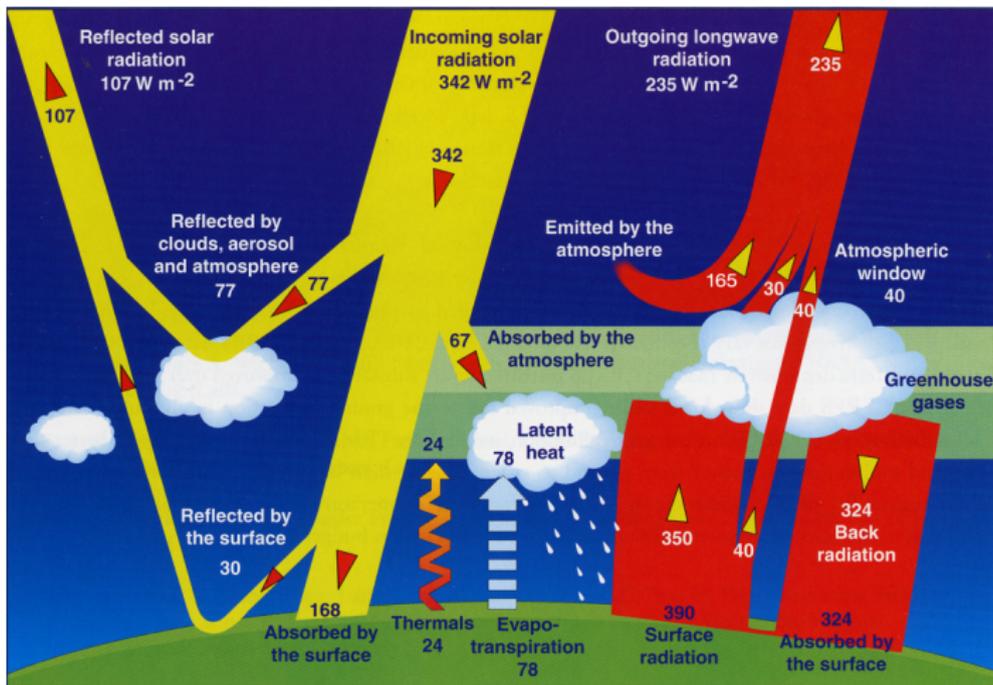
R, T, S



Balance de energía



http://asd-www.larc.nasa.gov/SCOOL/energy_budget.html



http://asd-www.larc.nasa.gov/SCOOOL/energy_budget.html

<http://www.teachersdomain.org/>

Luminiscencia



<http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/lumin1.htm>

http://www.eia.doe.gov/kids/energy.cfm?page=wind_home-basics

- Espectro solar
- Plasma de Ne, Ar, Hg
- Materiales luminiscentes
- Pantalla de cristal líquido
- Espectro de la piel
- Hojas y clorofila



Acoustics and Vibration Animations,
<http://paws.kettering.edu/~drussell/demos.html>



Óptica, 3a Ed., E. Hecht, Addison Wesley, 1998



<http://www.lightandmatter.com/area1.html>



<http://lulu.com>



http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/articles/



<http://www.opticsforteens.org/>



<http://retina.umh.es/Webvision/>



Método estadístico and c,
<http://projecteuclid.org/DPubS?verb=Display&version=1.0&servi>