



GF3003

# Ciencias Atmosféricas

Laura Gallardo Klenner

Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile

Primavera 2010

LCK 2010


# HOY

- **Recuerdos:**
  - Radiación electromagnética
  - Radiación de cuerpo negro
    - Ley de Kirchoff
    - Función de Planck
    - Ley de Wien
    - Ley de Stefan-Boltzmann
- Radiación solar
- Radiación terrestre
- Balance radiativo (1)

# Más específicamente, el/la alumno/a será capaz de:

- Definir los conceptos de (ir)radianza y espectro electromagnético
- Describir las leyes de Kirchoff, Wien, Stefan-Boltzmann
- Caracterizar la radiación solar y terrestre en términos de su espectro y temperatura equivalente
- Resolver la ecuación de Stefan-Boltzmann para situaciones simples



A photograph of a sunset or sunrise over a body of water. The sky is a deep blue, and a bright, colorful rainbow is visible in the upper left quadrant. The water in the foreground is dark blue with some white foam from waves. The overall scene is serene and atmospheric.

**Una envolvente, mayoritariamente gaseosa, muy tenue, irradiada por el sol**

# Ecuaciones de Maxwell

Divergence of the electric field is charge density on  $\epsilon_0$ . Divergence of magnetic field is, however, zero, meaning there are no magnetic monopoles.

Curl of the electric field is minus the rate of change of magnetic field, while curl of the magnetic field is  $\mu_0$  times the current density...

... plus the all-important displacement current term, which gives rise to the propagation of light! So... what do you think of that as an idea for a comic?

It's a bit formulaic.

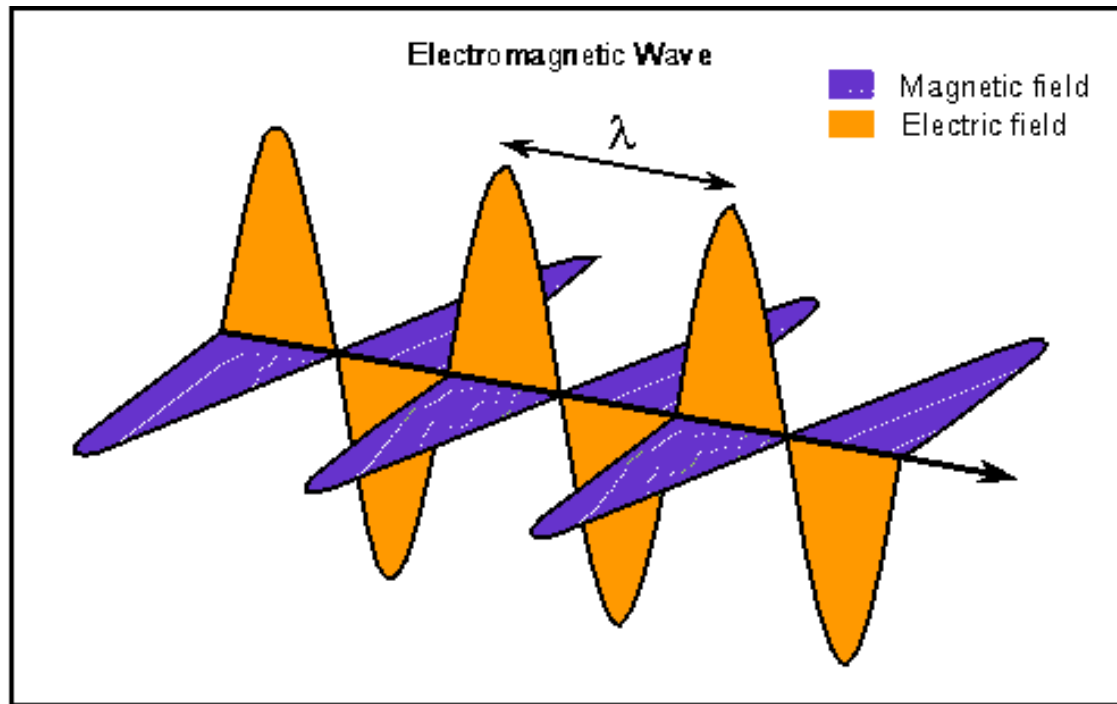


Name	Differential form
Gauss's law	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Gauss's law for magnetism	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
Maxwell–Faraday equation (Faraday's law of induction)	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Ampère's circuital law (with Maxwell's correction)	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

LGK 2010



# Los campos electromagnéticos se pueden representar como ondas



Se las caracteriza por la longitud de onda

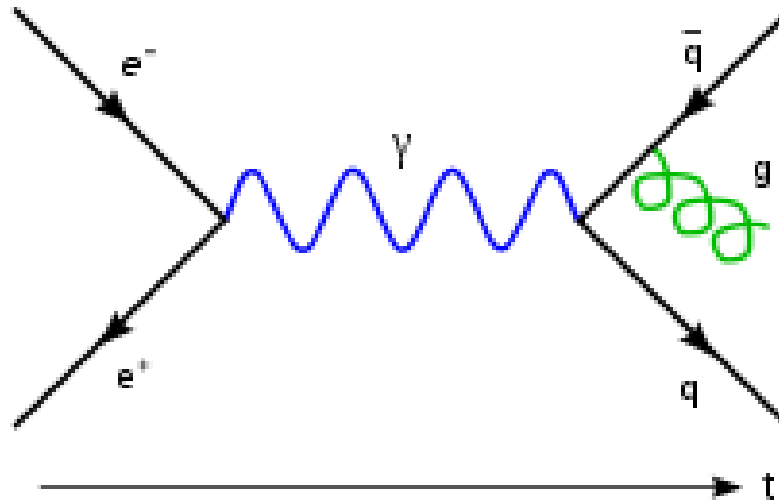
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{1}{\nu}$$

$c$ : velocidad de la luz

# Los campos electromagnéticos se pueden representar como partículas (fotones)



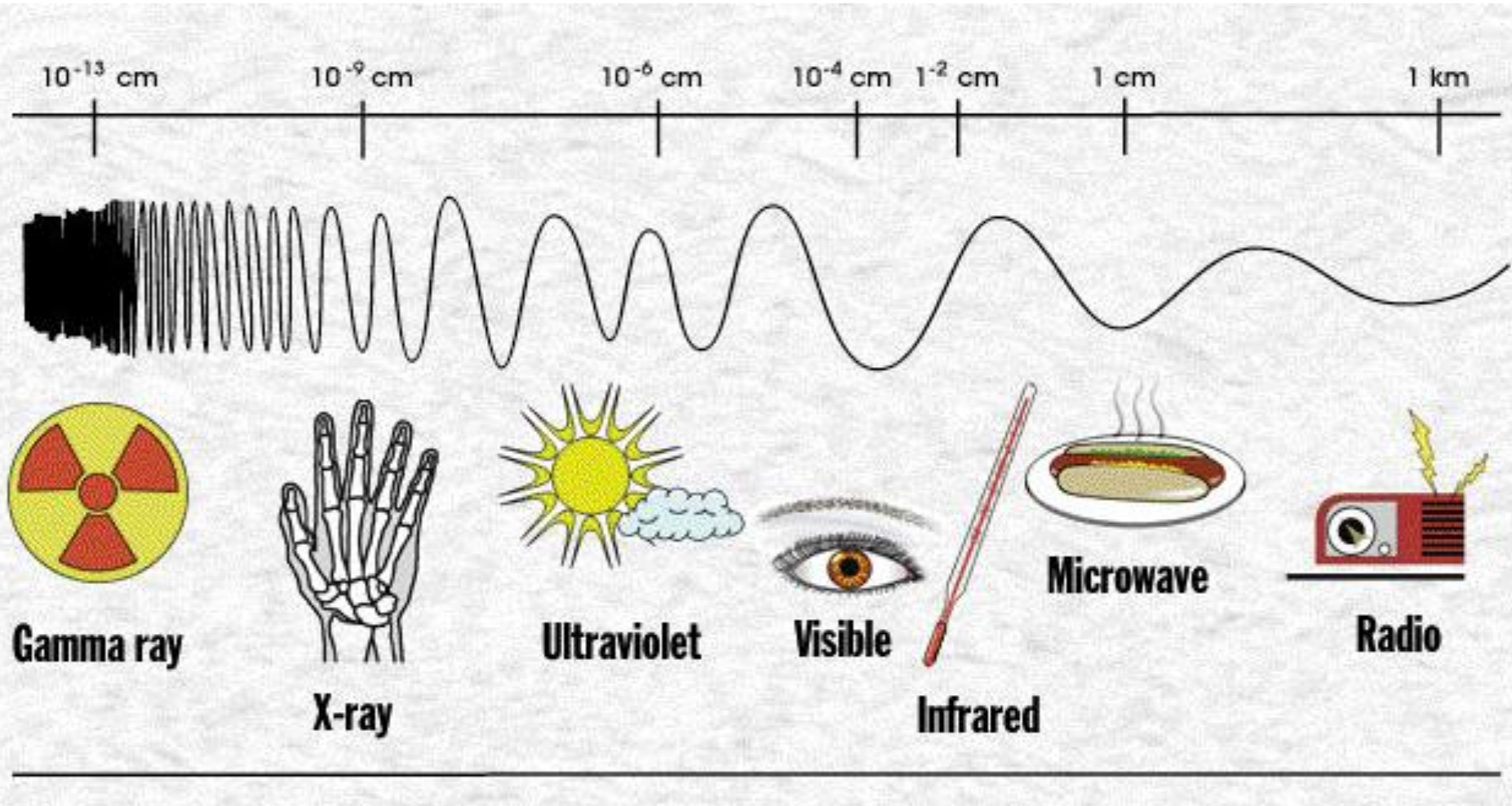
Max Planck ~1901



$$E = h\nu = \frac{\hbar}{\lambda}$$

En el mundo microscópico, la energía/la fuerza se transfiere en forma discreta (*quanta*). La energía electromagnética en fotones de energía

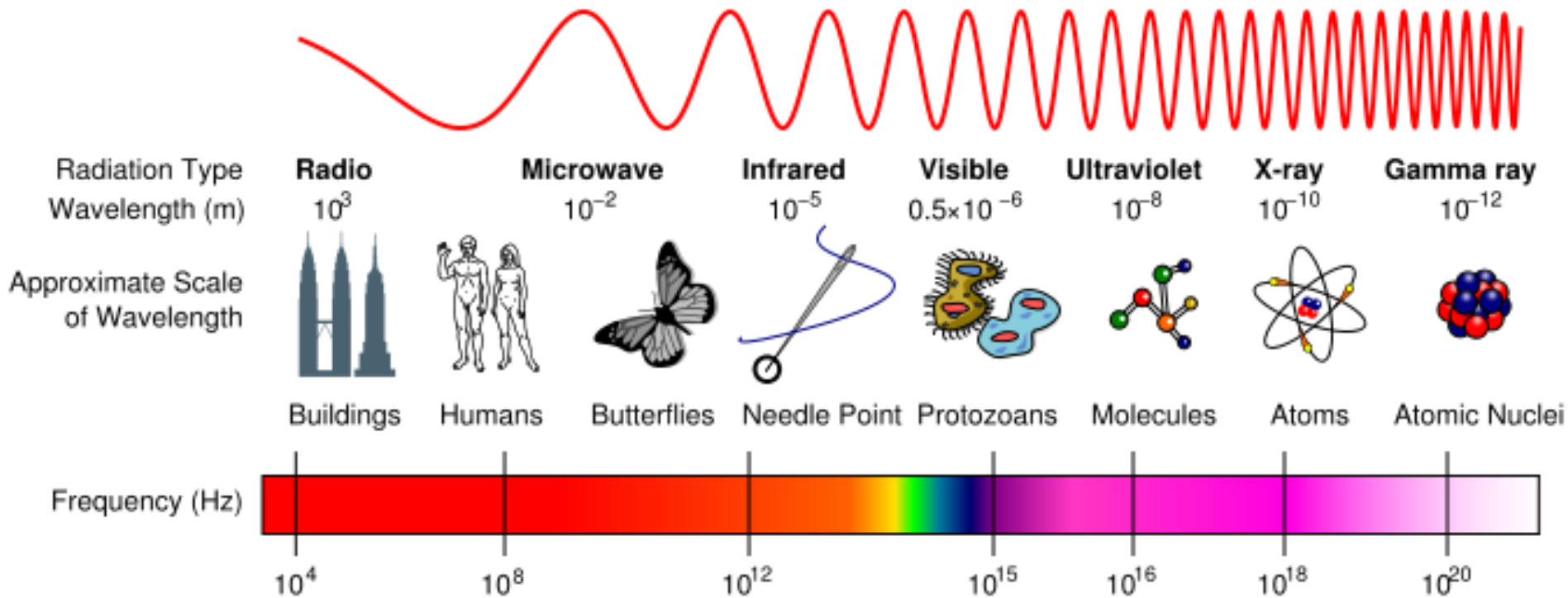
En ciencias atmosféricas tratamos a **E** y **B** como ondas con energía  $E=h\nu=h/\lambda$





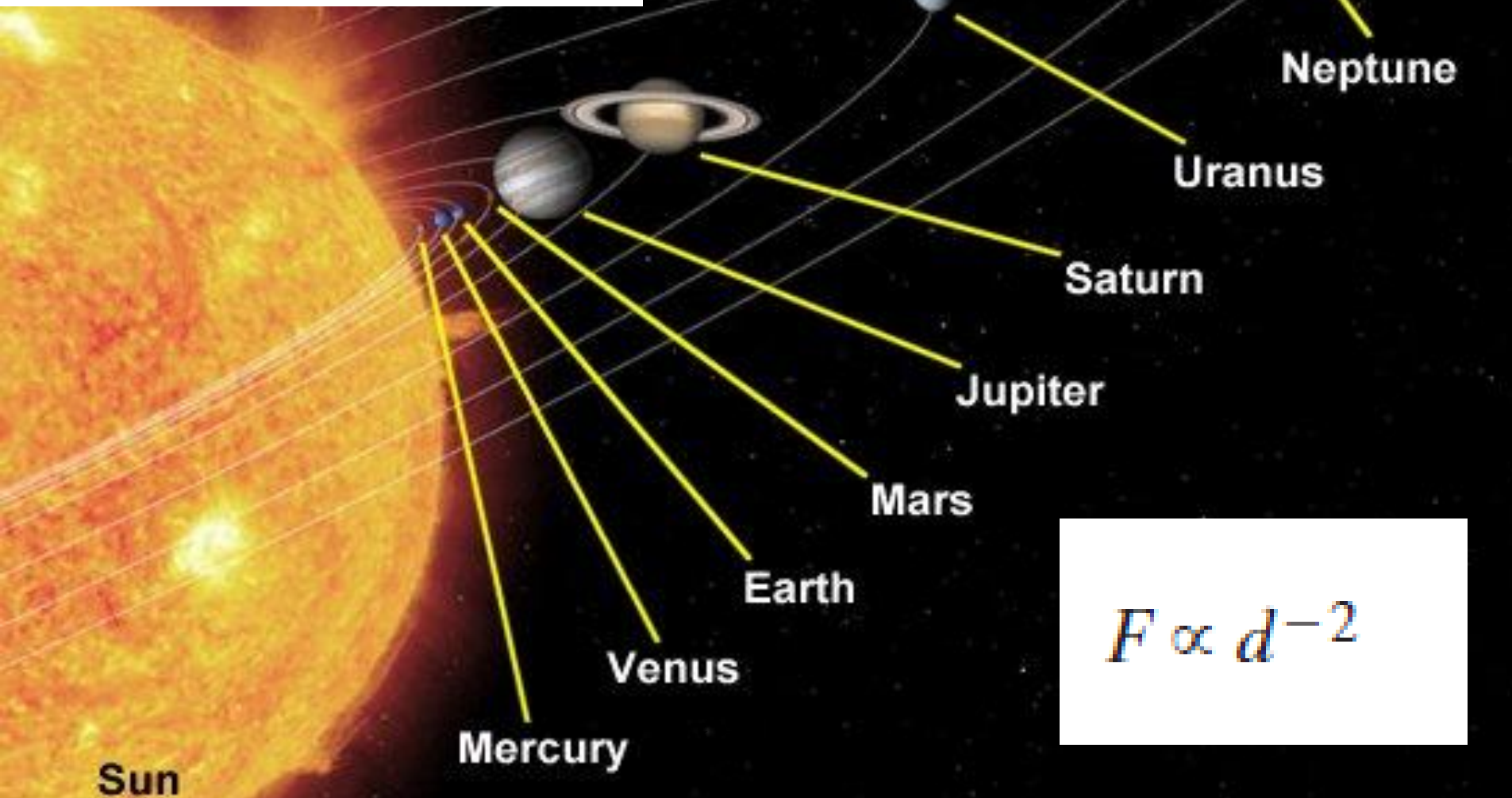
A más energía, mayores frecuencias o longitudes de onda más cortas

$$E = h\nu = \frac{h}{\lambda}$$



El flujo de protones emanados del sol es ~ constante

$$E_s = F_s \times 4\pi d^2 = \text{const.}$$



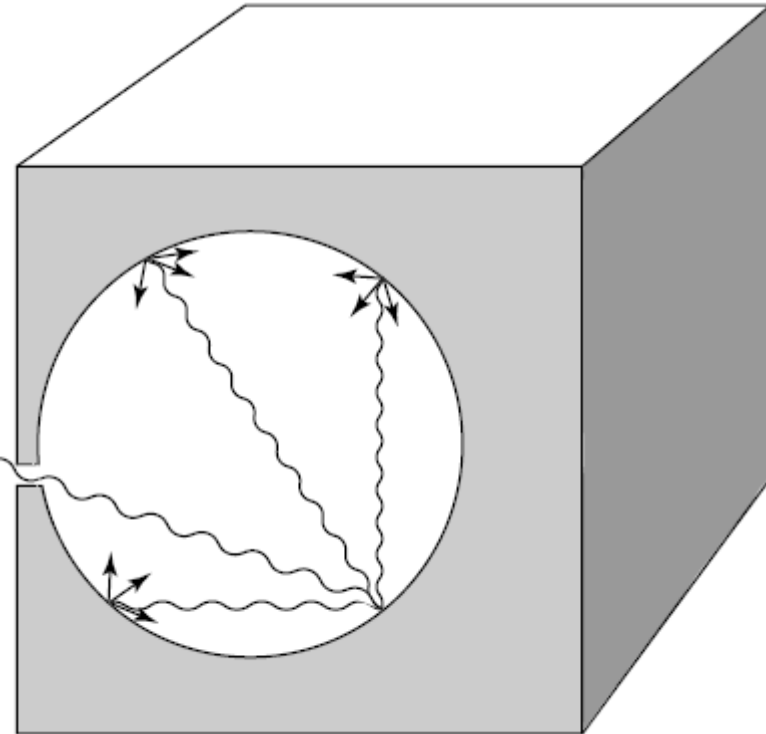
$$F \propto d^{-2}$$

# Radiación de “Cuerpo negro”

La luz queda atrapada (no se “ve”)

Es absorbida por las paredes y luego emitida

Absorción y emisión alcanzan equilibrio con la temperatura de las paredes (equilibrio termodinámico)



LGK 2010  
Gustav Kirchhoff (1824-1887)

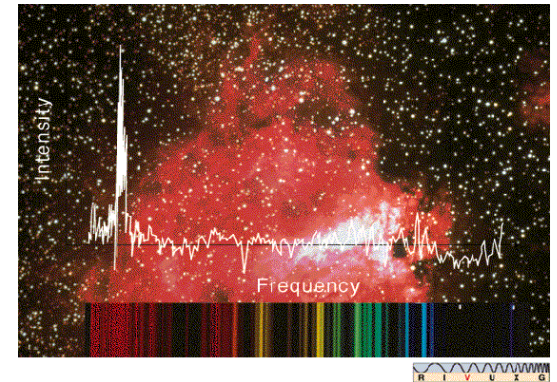
# Kirchoff observó

$$\frac{E_{emitida}}{E_{absorbida}} = f(\lambda, T)$$

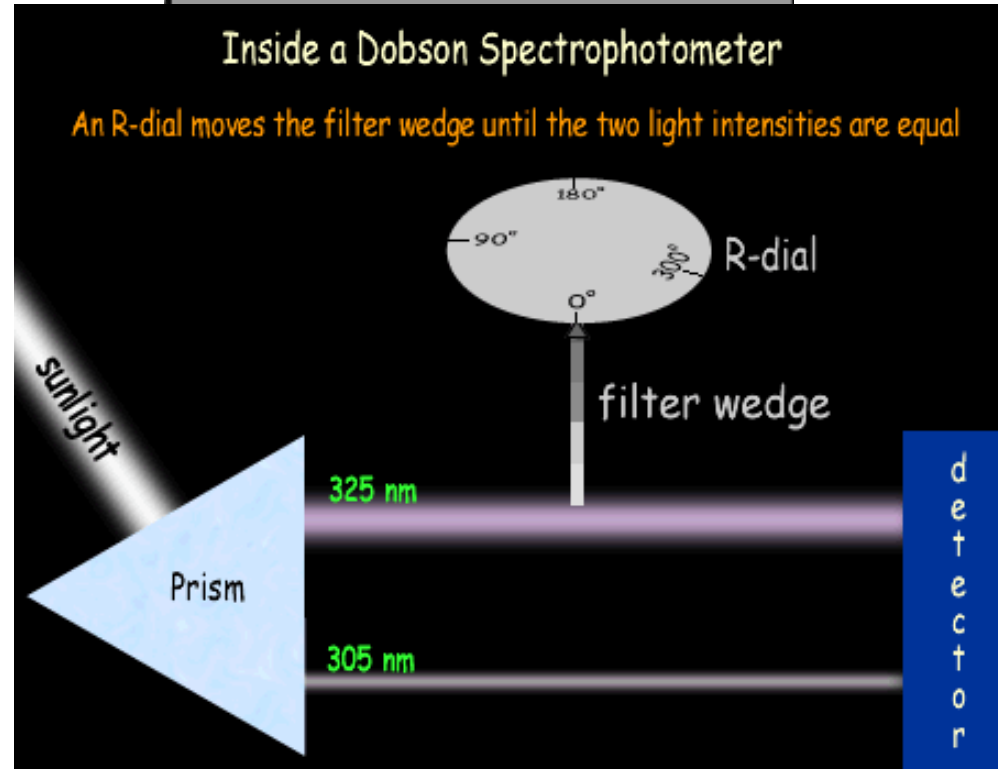
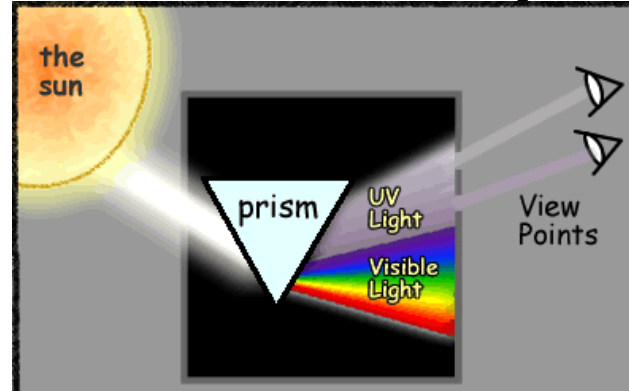
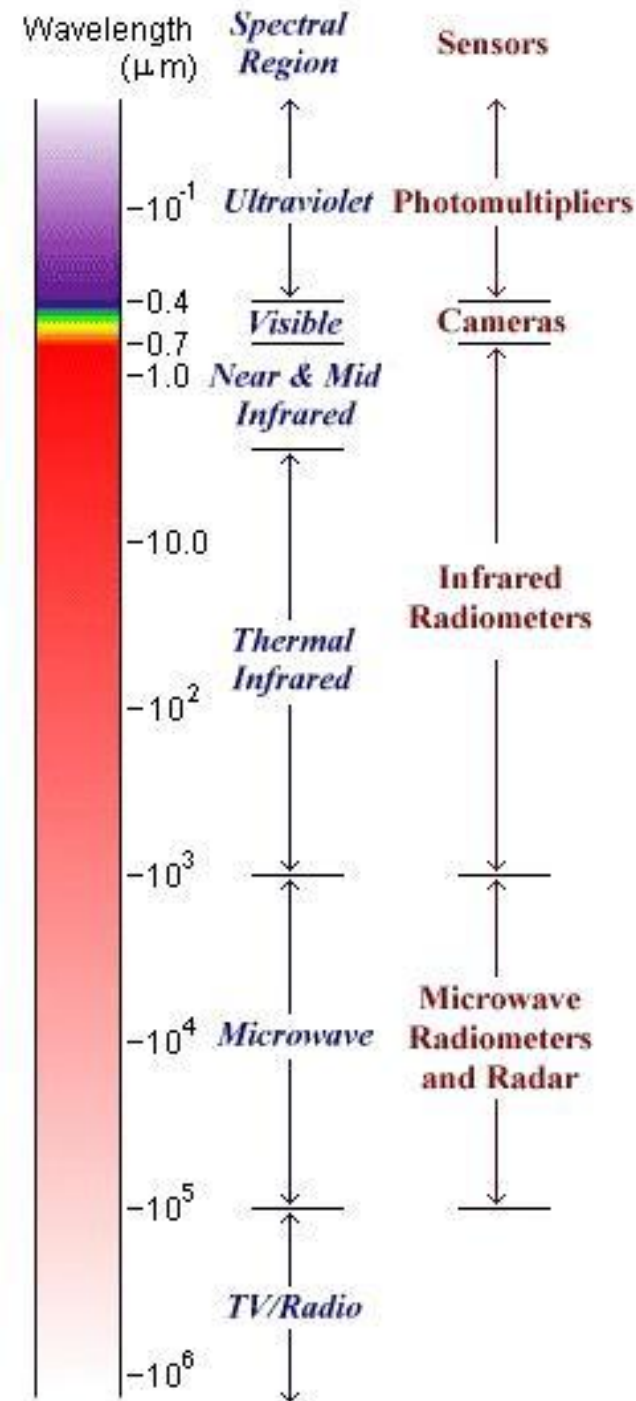
En un cuerpo negro:

$$\frac{E_{emitida}}{E_{absorbida}} = 1$$

- Un objeto sólido caliente produce luz en espectro continuo
- Un gas tenue produce luz con líneas espectrales en longitudes de onda discretas que dependen de la composición química del gas



# Midiendo espectros



LGK 2010

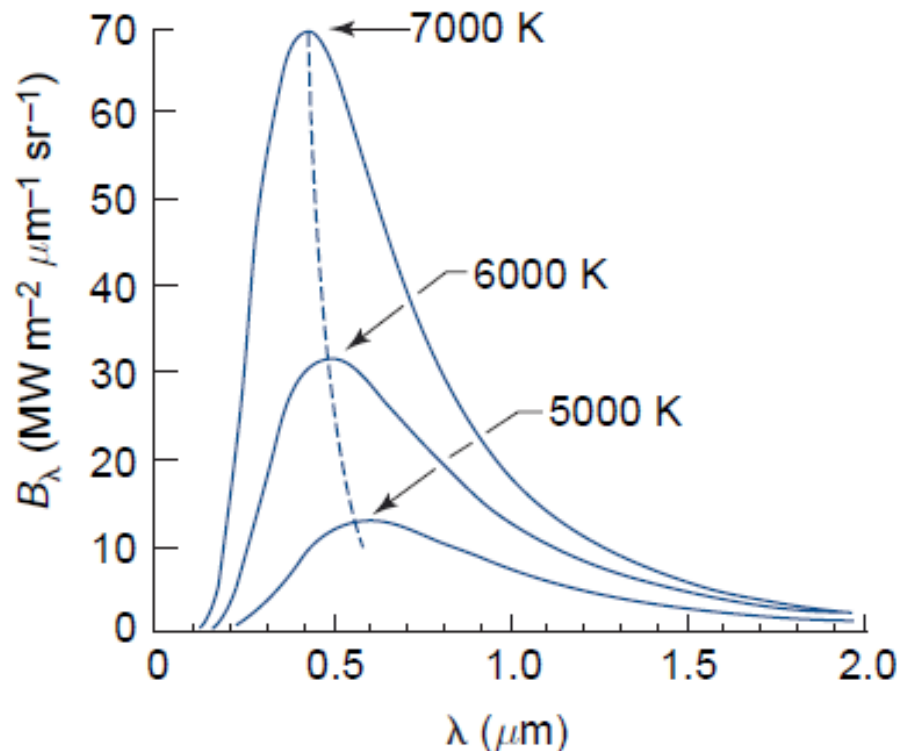
<http://ozone.gi.alaska.edu/dobson.htm>

# Función de Planck (~1901)



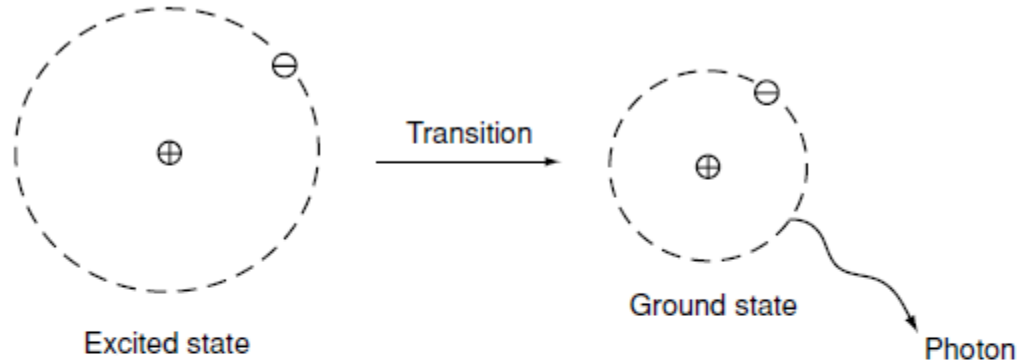
Las paredes del cuerpo negro están hechas de átomos que absorben/emiten en cuantas como osciladores electromagnéticos

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/K\lambda T} - 1)} = \frac{C_1\lambda^{-5}}{\pi(e^{C_2/\lambda T} - 1)},$$



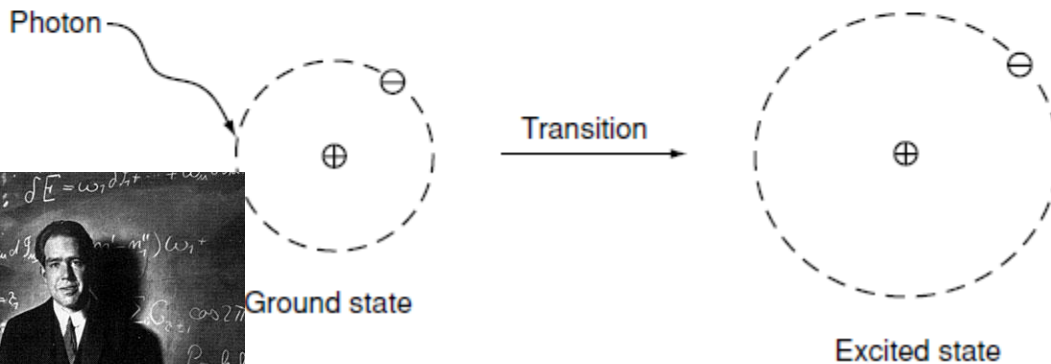
# Modelo de Niels Bohr (1885-1962)

## EMISSION

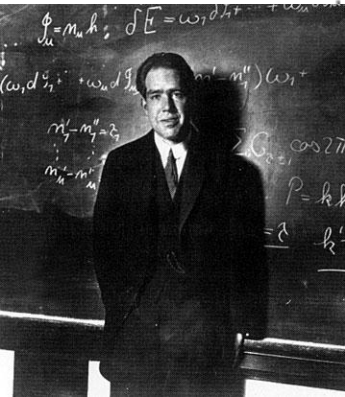


Las transiciones ocurren con energías discretas (~1913)

## ABSORPTION



Si un átomo/molécula absorbe en  $\lambda$ , entonces emite en  $\lambda$



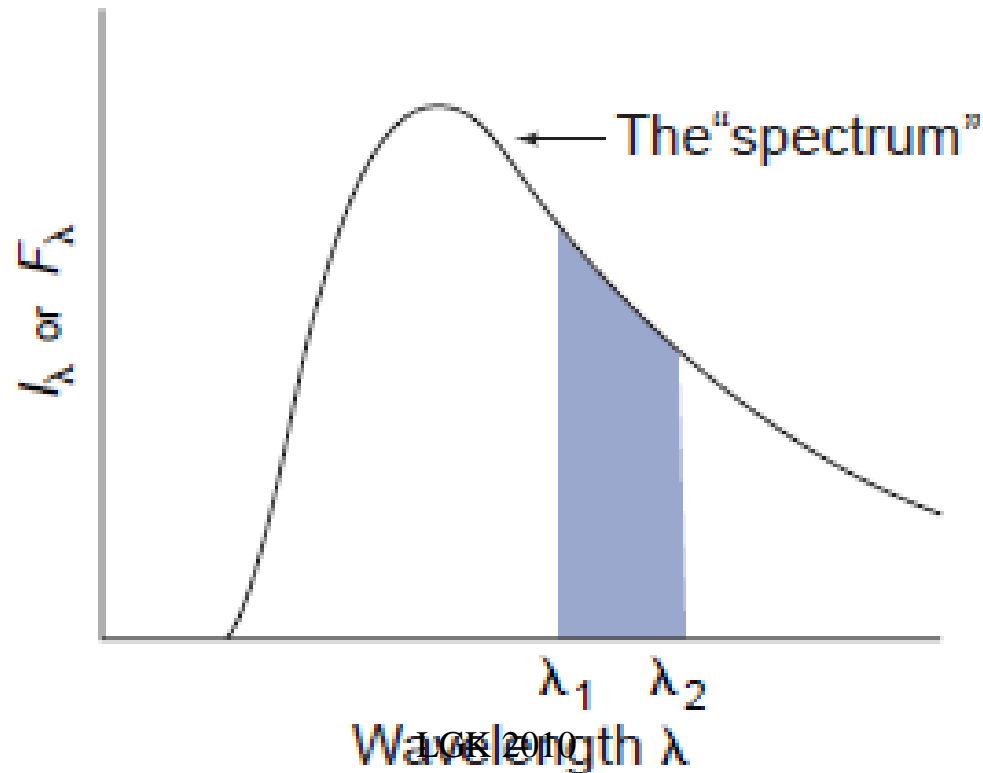




# Irradianza

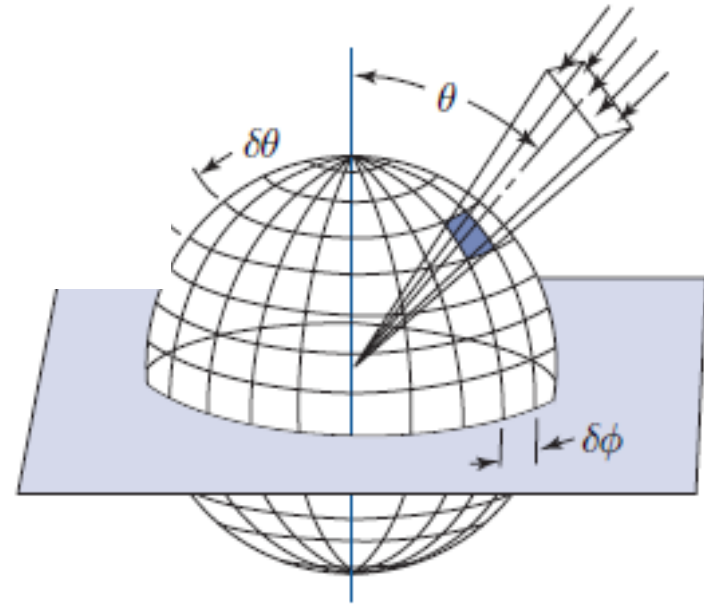
monocromática

integrada  $\rightarrow$  
$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} d\lambda = \int_{\nu_1}^{\nu_2} I_{\nu} d\nu$$
  $I_{\nu} = \lambda^2 I_{\lambda}$



# Irradianza integrada en un punto sobre ángulos sólidos

$$F_\lambda = \int_{2\pi} I_\lambda \cos \theta \, d\omega$$



$$E = \int_{\delta A} \int_{2\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_\lambda (\phi, \theta) \, d\lambda \cos \theta \, d\omega \, dA$$

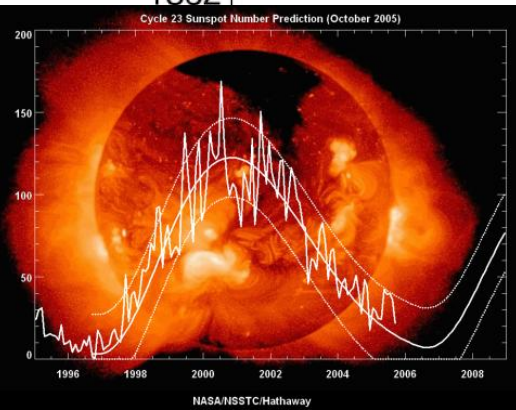
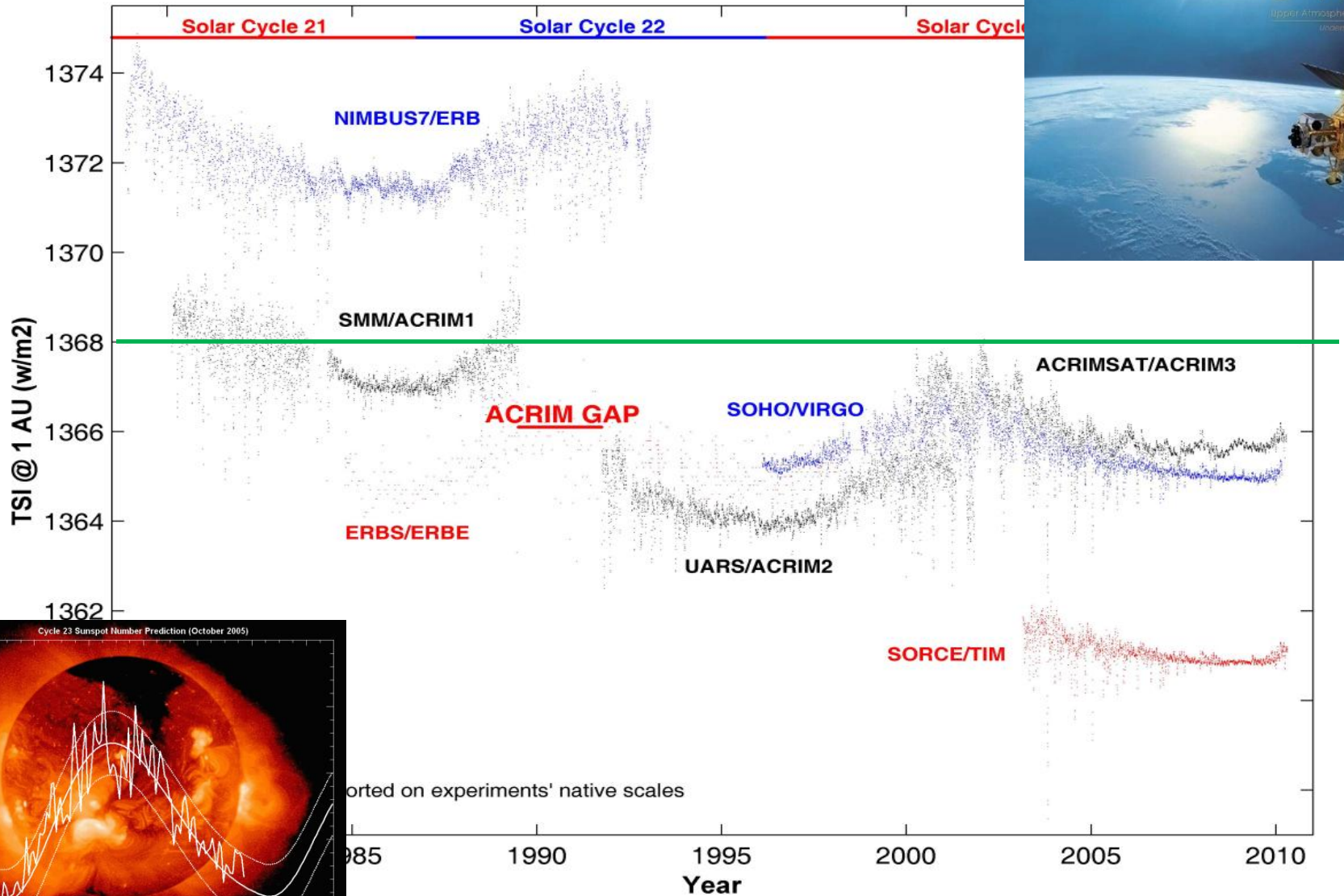
[W]



LGK 2010

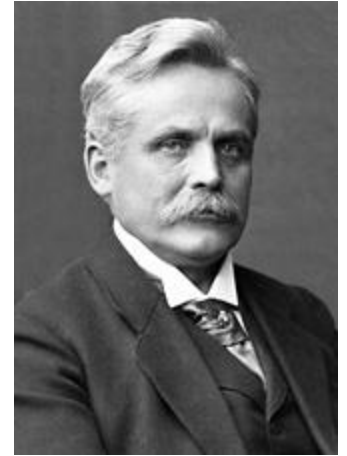
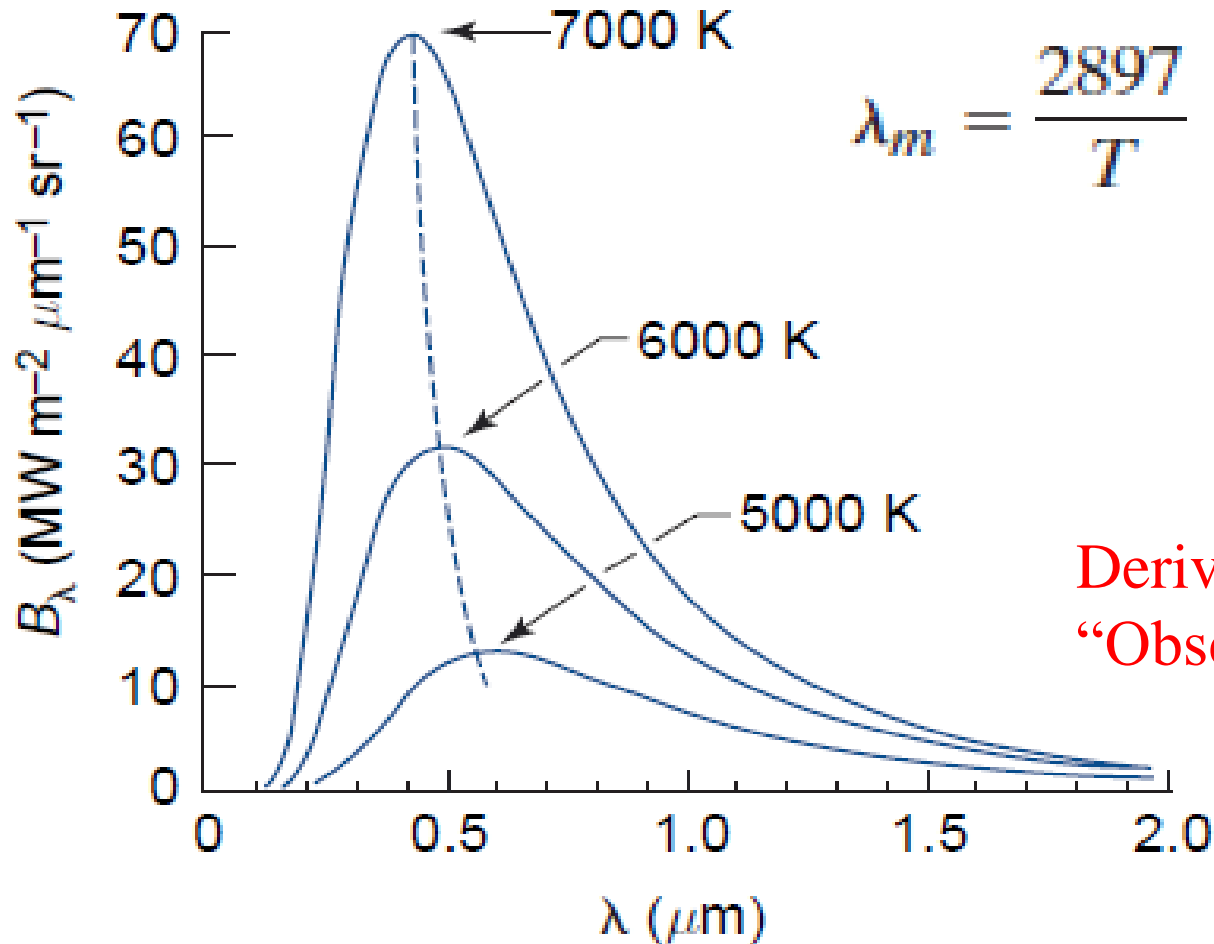
# Fujo energético al tope de la atmósfera

## TOTAL SOLAR IRRADIANCE MONITORING RESULTS



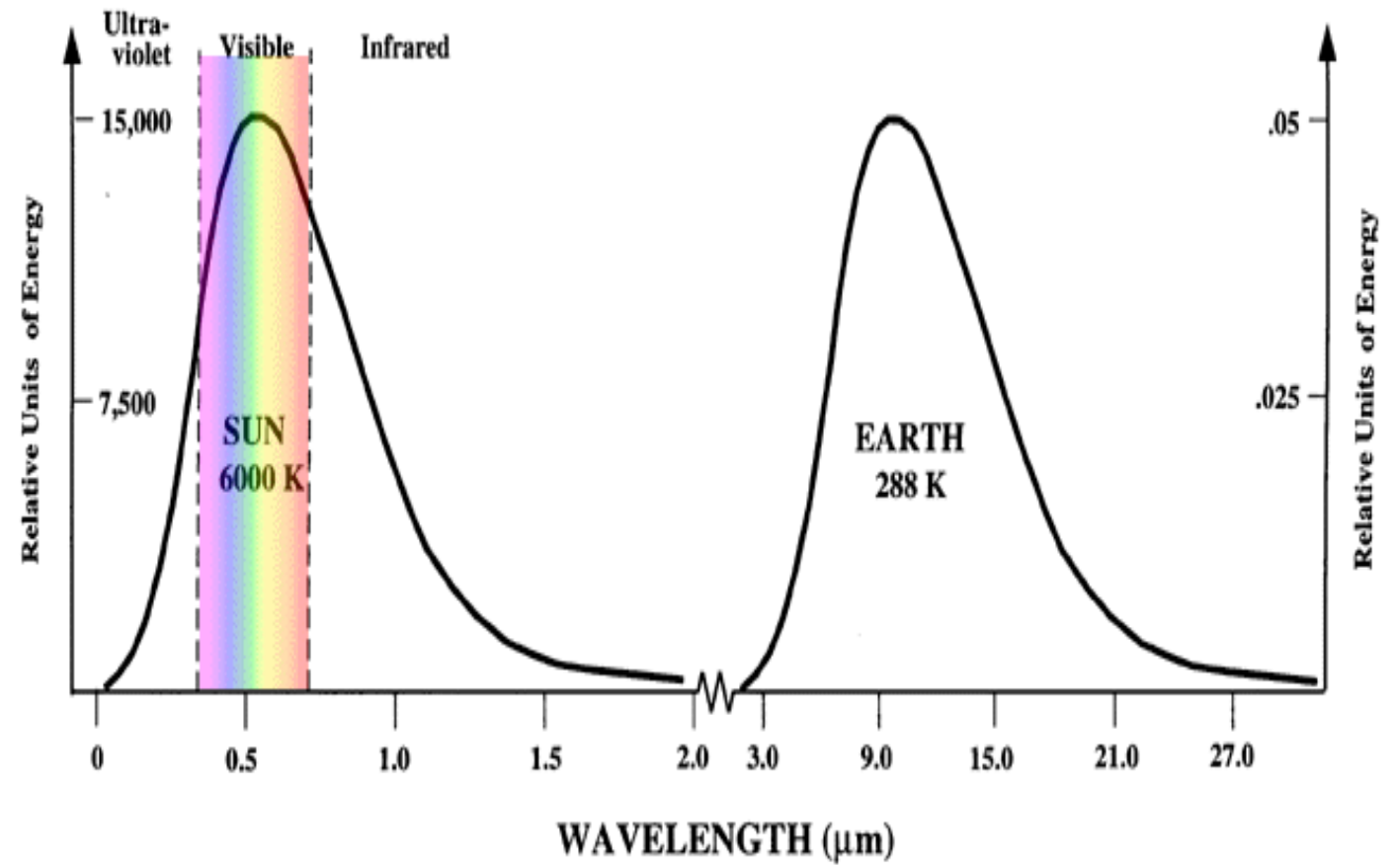
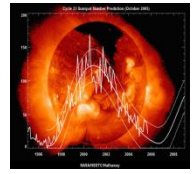
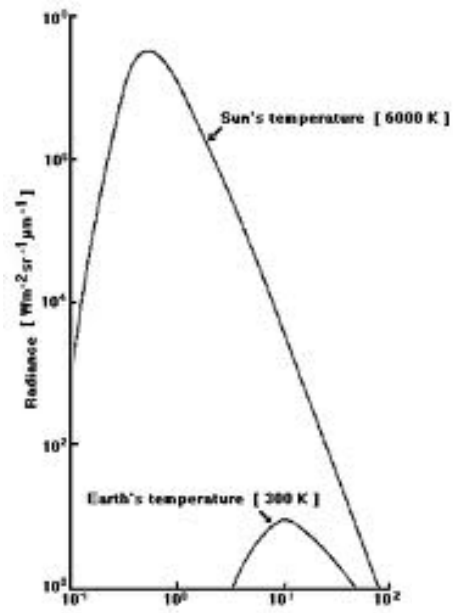
# Ley de Wien

( $\lambda$  del máximo de irradianza para T)

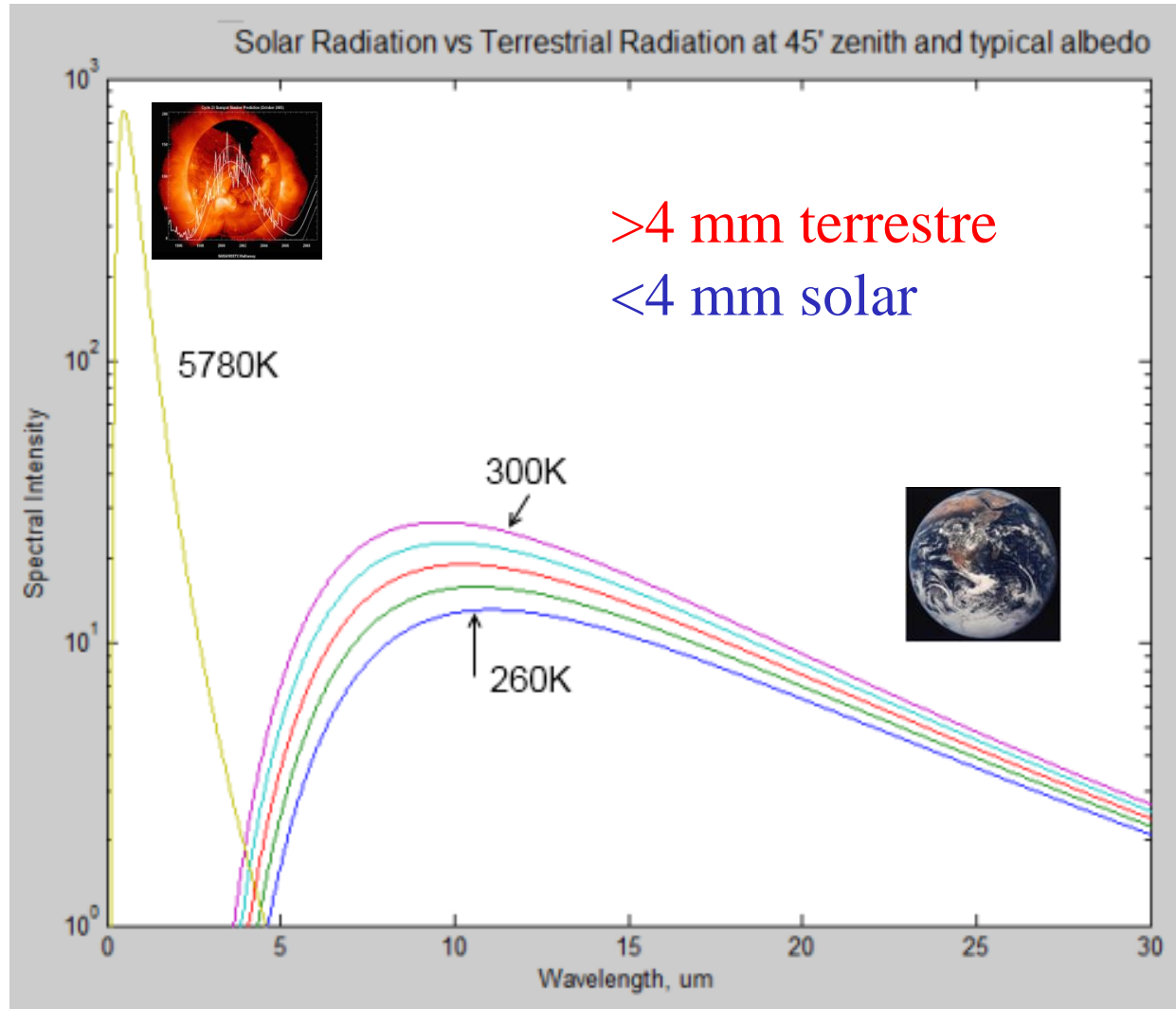


Derivada de función de Planck  
“Observada” por Wien ~1893

# El Sol y la Tierra como cuerpos negros

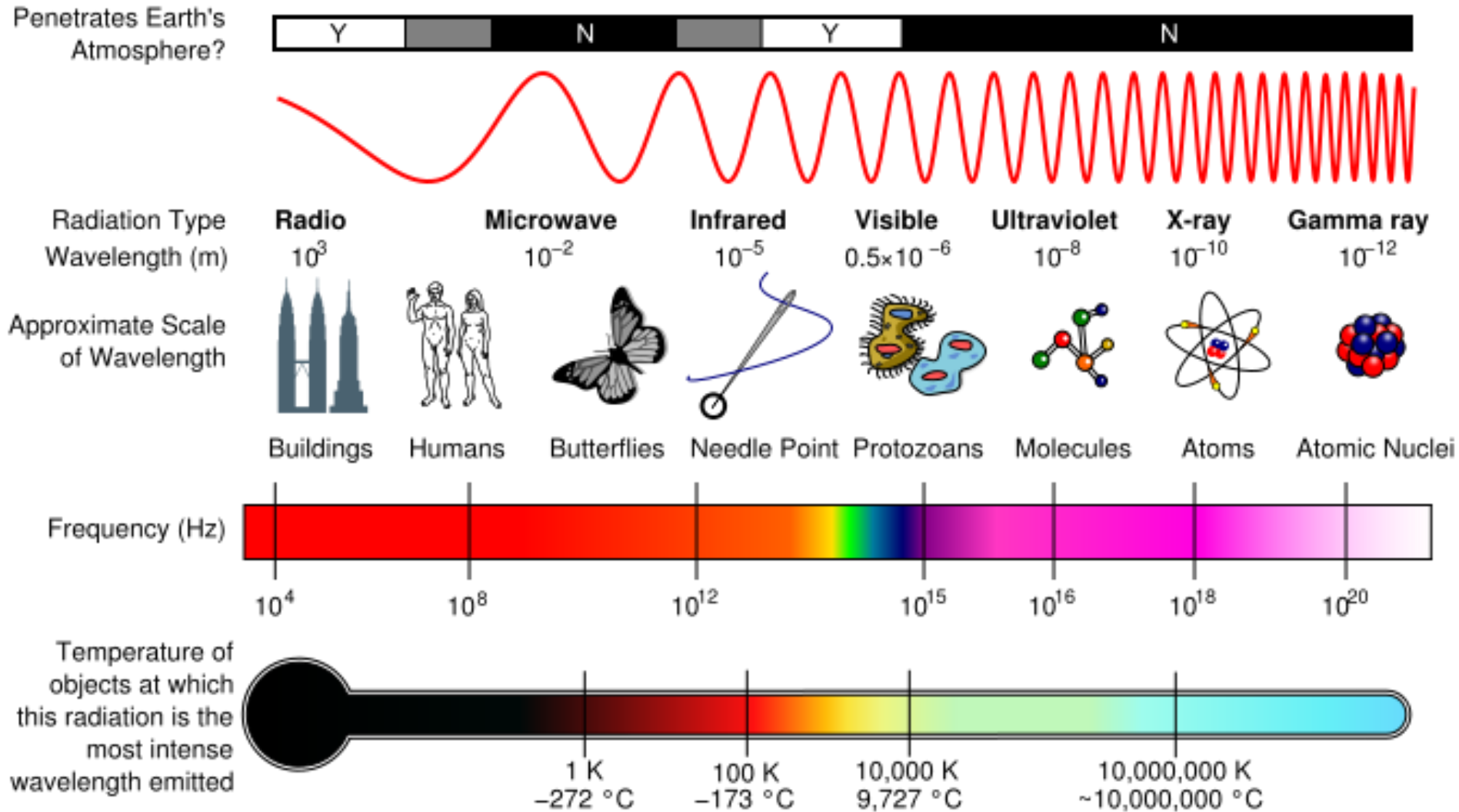


La radiación solar (“onda corta”) se traslapa “muy poco” con la radiación terrestre (“onda larga”)



LGK 2010

# Más sobre el espectro e-m





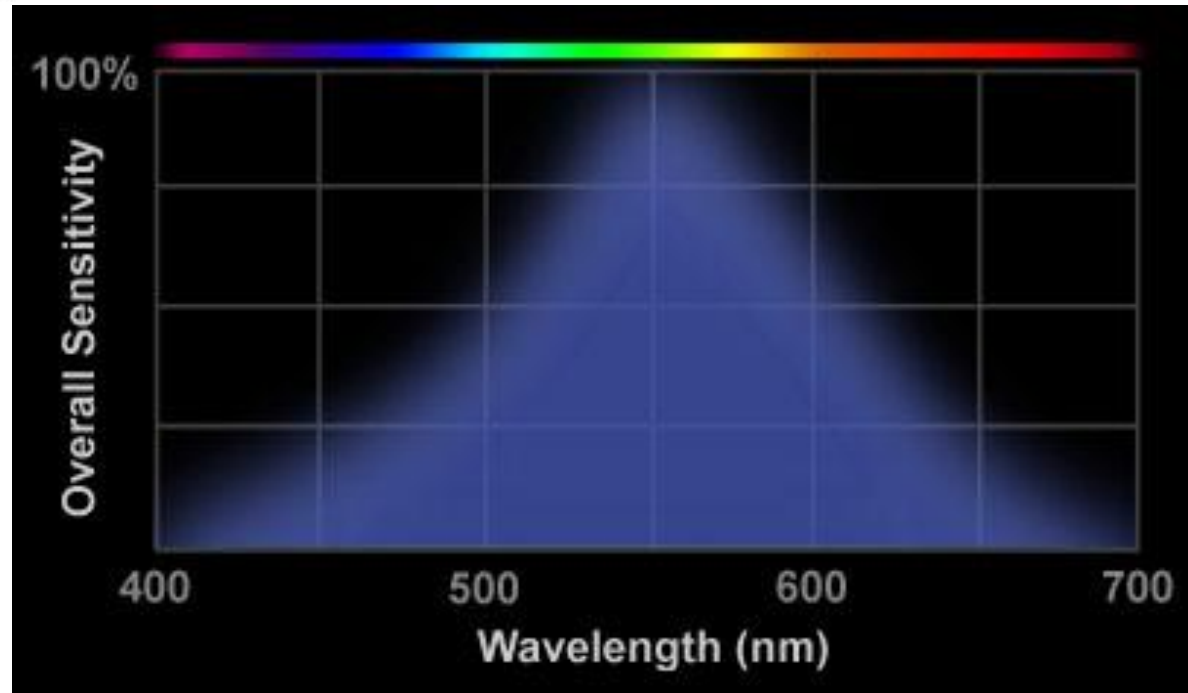
# (Adaptación evolutiva)



Además, vemos en tres colores: verde, azul y rojo

La mayoría de los mamíferos ven en dos colores

Algunos reptiles ven en 4

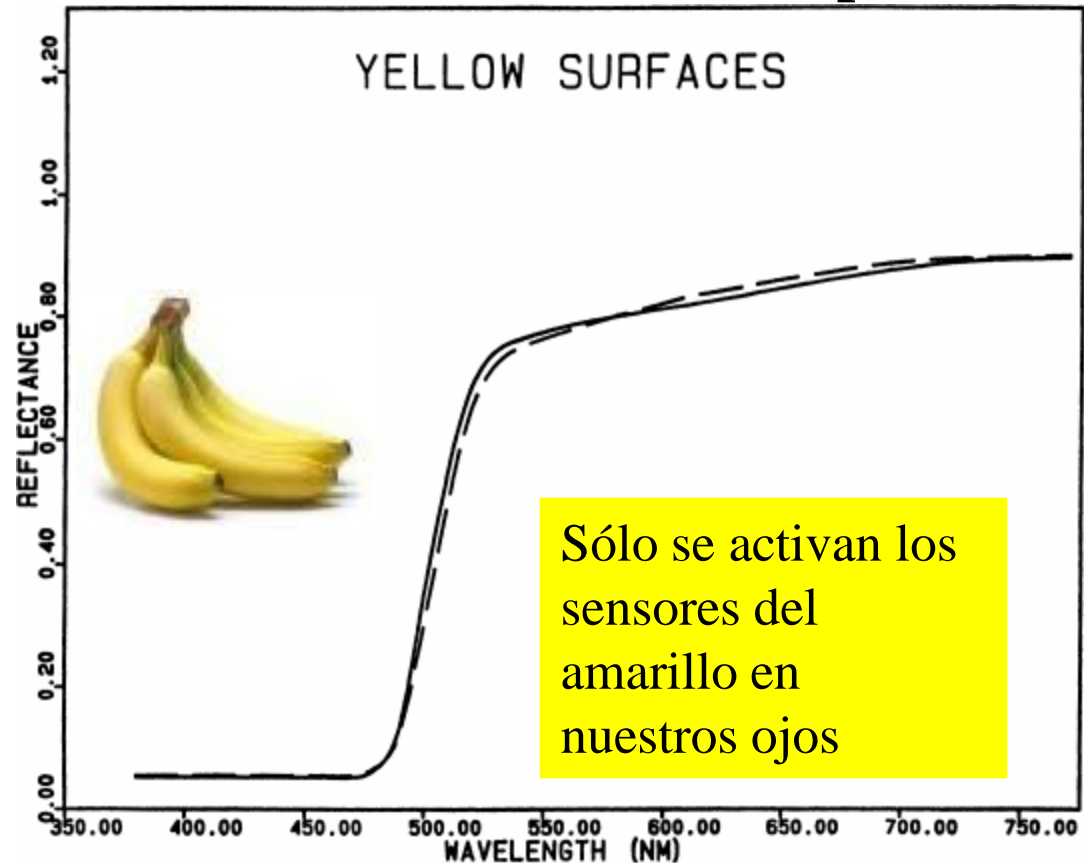


LGK 2010

<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=evolution-of-primate-color-vision>

# (Cómo vemos el color)

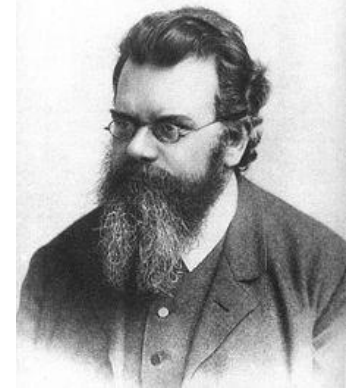
El color que **percibimos** depende de los sensores (retina) y del procesamiento de la señal en el cerebro: **no somos espectrómetros**



LGK 2010



# Ley de Stefan-Boltzmann



Jožef Štefan (1835-1893)

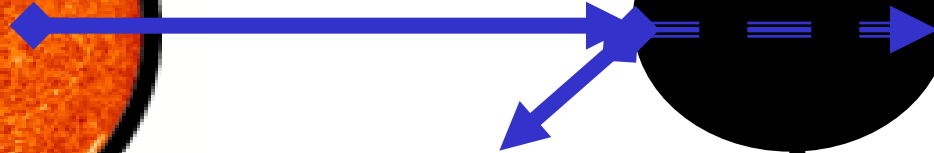
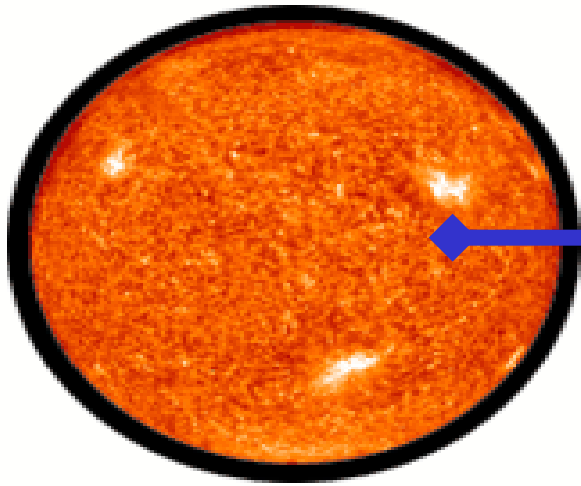
Ludwig E. Boltzmann (1844-1906)

$$\int_{\lambda} B_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\pi (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad F = \sigma T^4 \quad [\text{W/m}^2/\text{K}^4]$$

$$\sigma = \frac{\pi^2 k^4}{60 \hbar^3 c^2}$$
$$\sigma = 5.670400(40) \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$



El sol: nuestra fuente de energía ca.  $1368 \text{ W/m}^2$



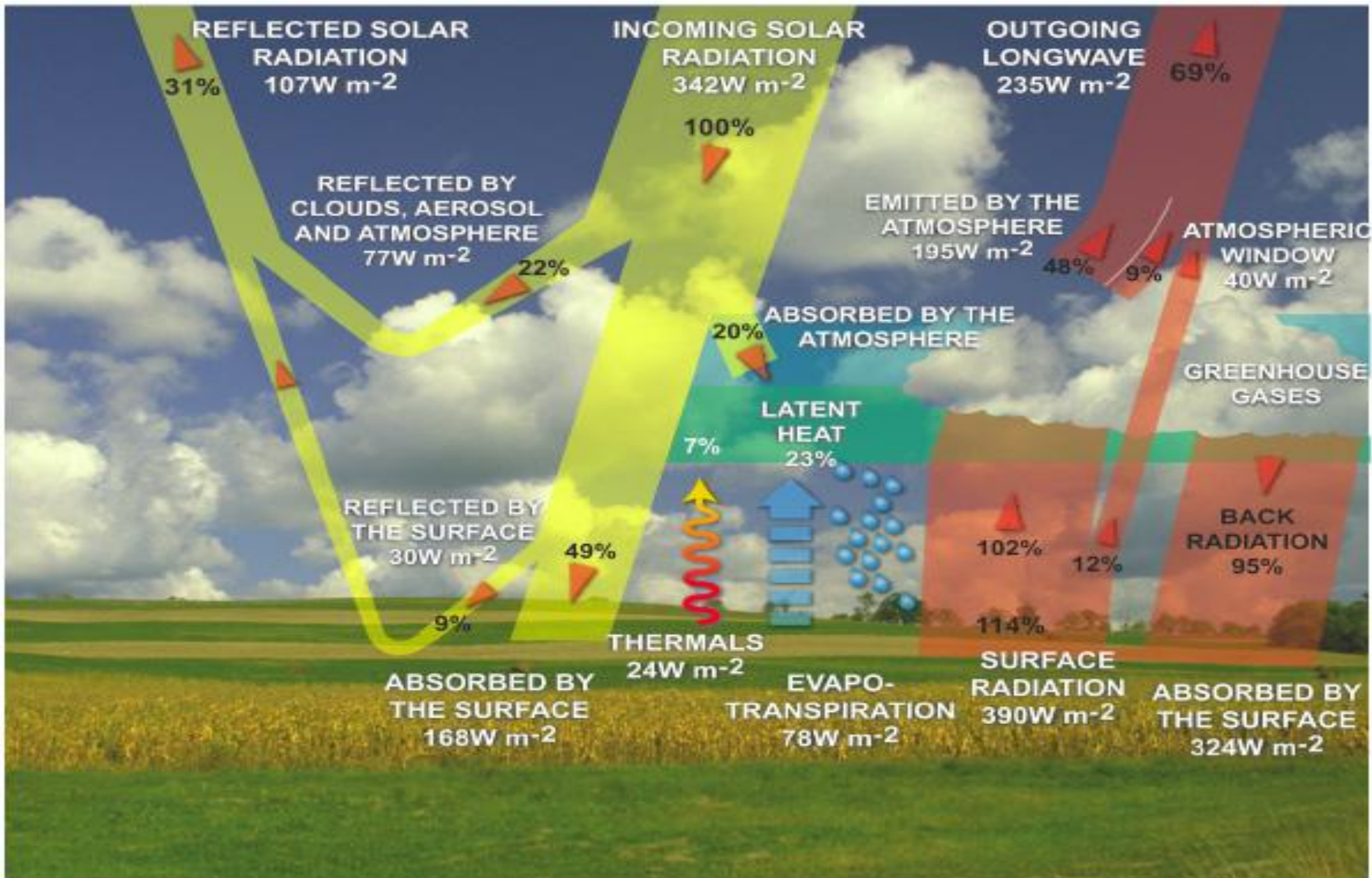
$$1368 \text{ (} Wm^{-2} \text{)}$$

$$\pi R^2$$

$$4\pi R^2$$

La energía solar (**ondas cortas**) es parcialmente reflejada y absorbida por la atmósfera pero en su mayoría calienta la superficie terrestre dando lugar a emisión térmica (**ondas largas**)

# Balance radiativo



# Balance radiativo sólo con albedo

$$E_{\text{entra}} = S(1 - \alpha)\pi R^2$$

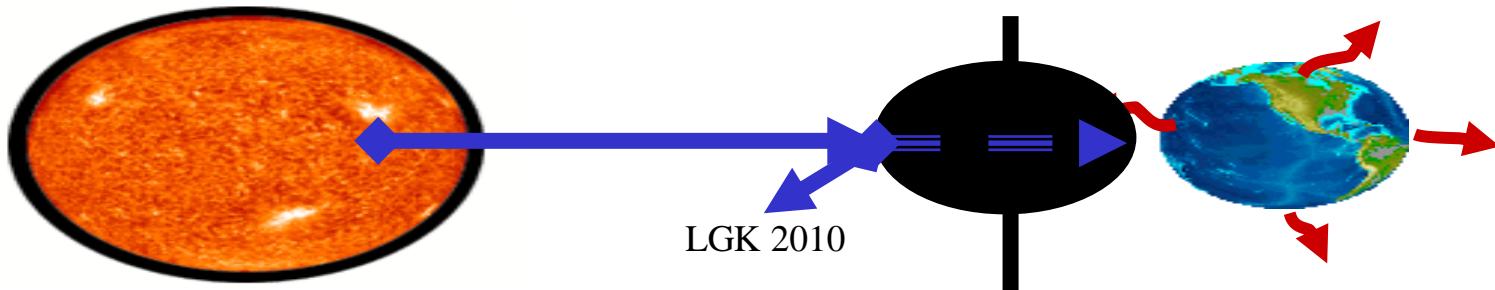
$$E_{\text{sale}} = \sigma T^4 4\pi R^2$$

$$E_{\text{entra}} = E_{\text{sale}}$$

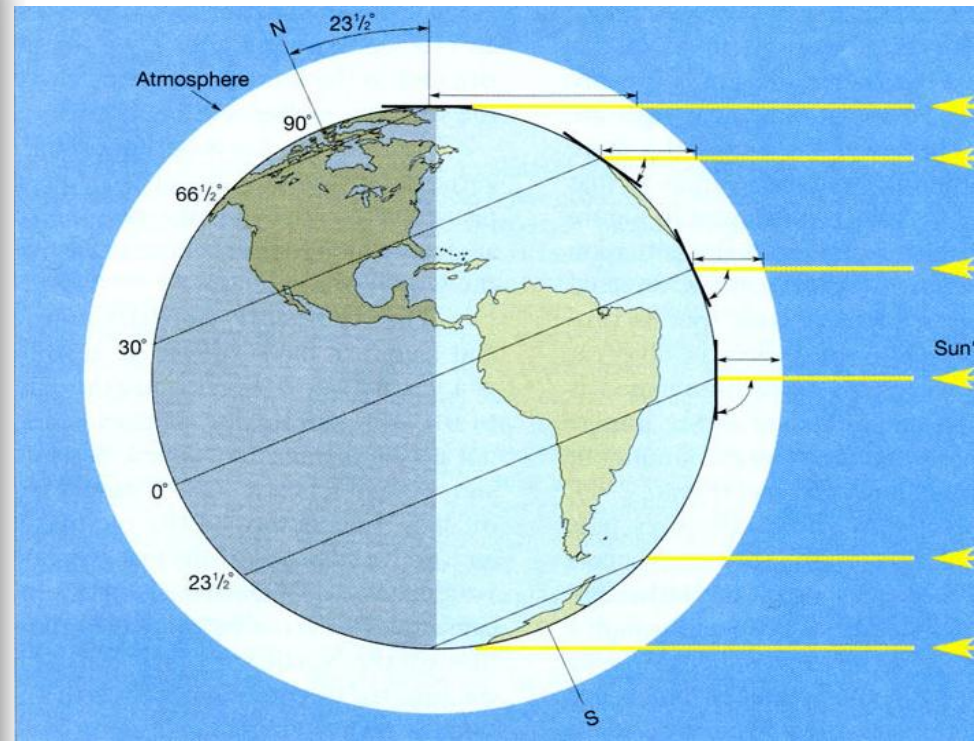
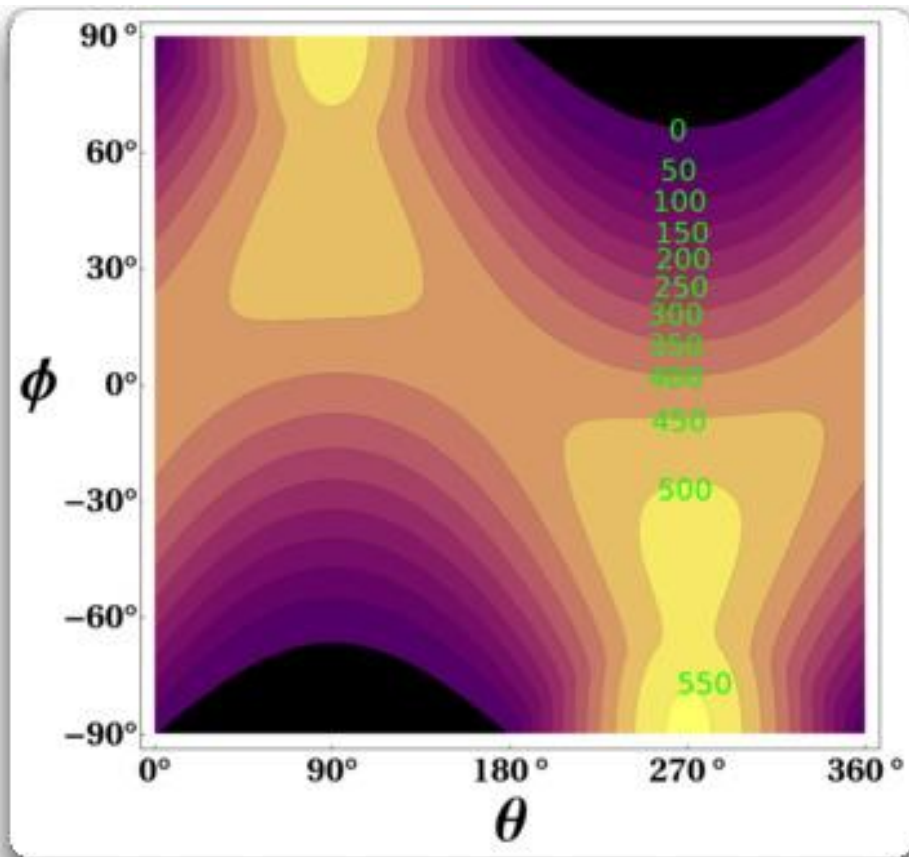
$$\Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{S(1 - \alpha)}{4\sigma}} \approx 255 K$$

$$\alpha \approx 0.3$$

$$S \approx 1368 [W / m^2] = F / d^2$$



Lo anterior es un balance promedio sobre un año: varía según estación y latitud



Calcular la temperatura radiativa equivalente suponiendo aprox. de cuerpo negro para:

	d (UA)	albedo	Teq(K) CN	Tsup(K) "Real"
Venus	0.72	0.77	227	230
Tierra	1.00	0.30	256	250
Marte	1.52	0.15	216	220
Júpiter	5.20	0.58	98	130

1. ¿Cuán buena es la aproximación de cuerpo negro? (Cuantifica)
2. ¿A qué podría deberse la discrepancia en el caso de Júpiter?

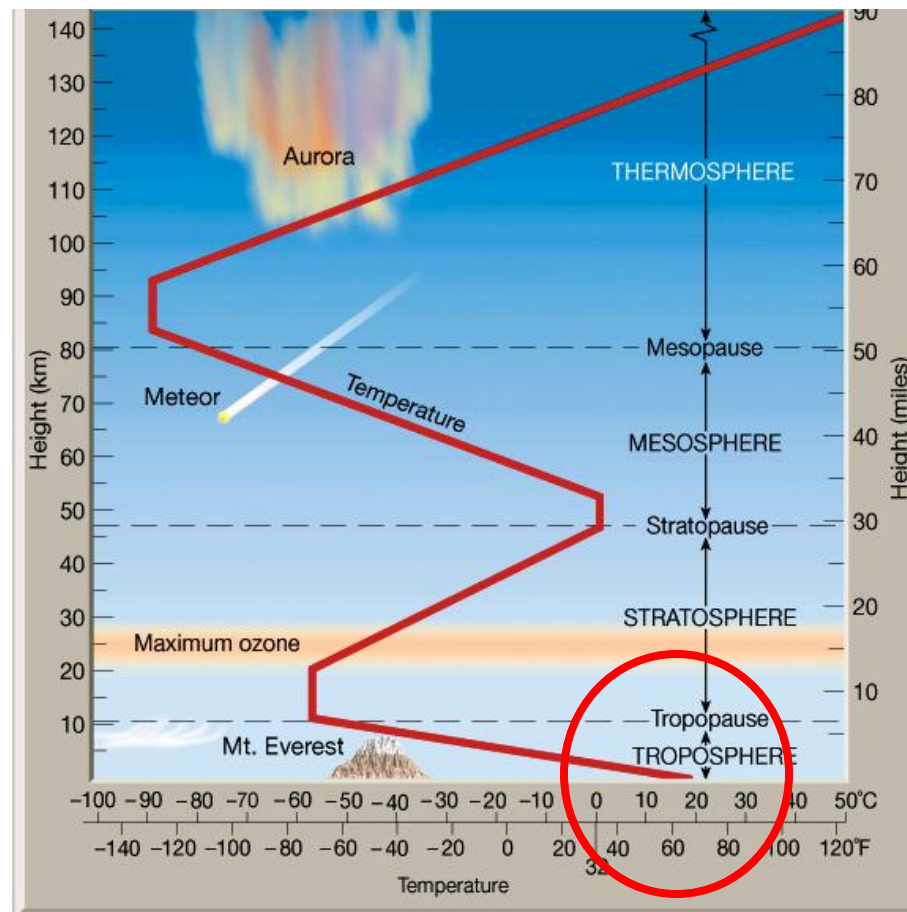
$$4\pi R^2 \sigma T_{eq}^4 = \frac{F}{d^2} (1 - \alpha) \pi R^2$$

$$\frac{F}{d^2} = 1368 \text{ W / m}^2 \text{ (Tierra)}$$

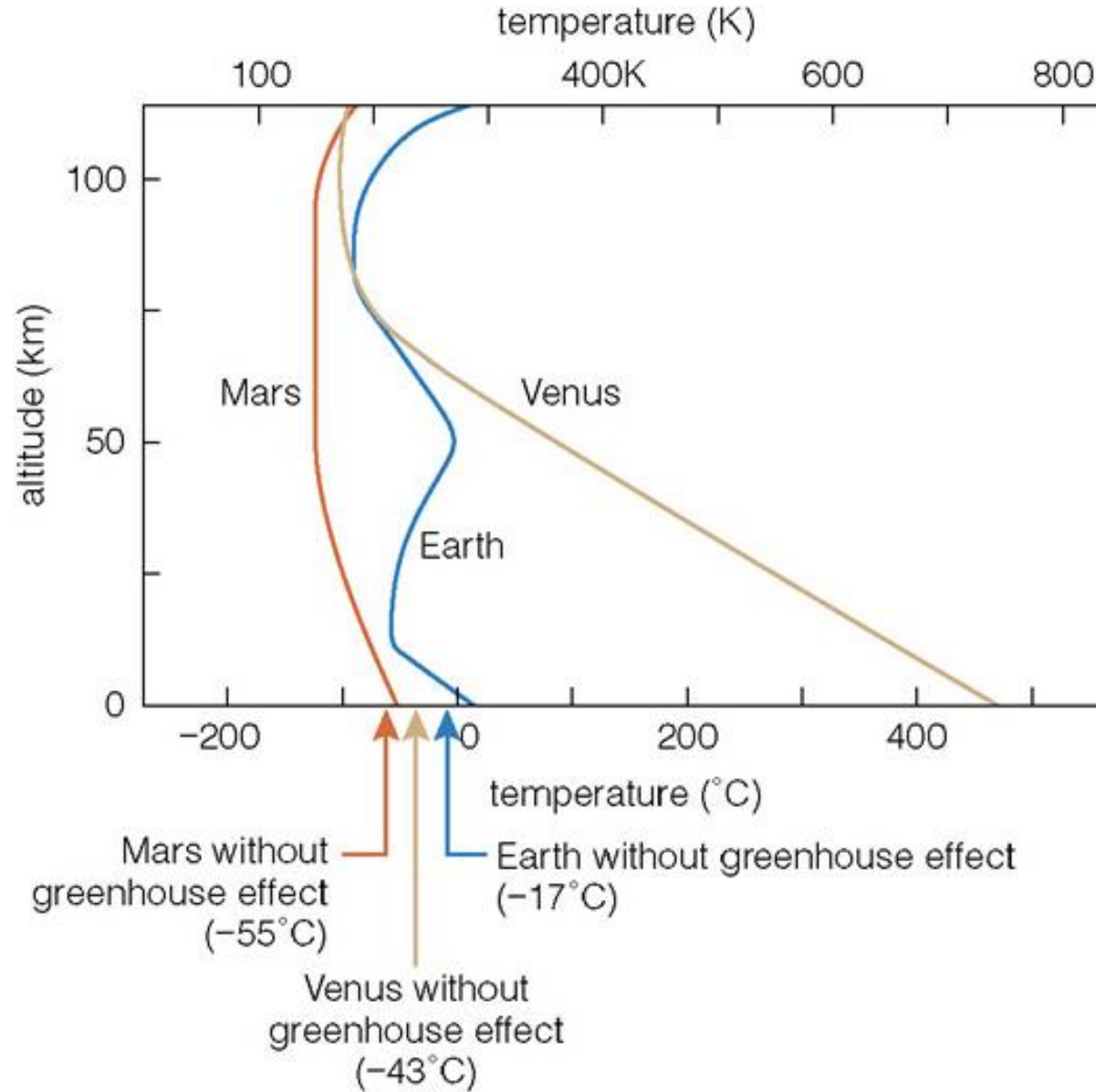


# ¿Balance radiativo sólo con albedo?

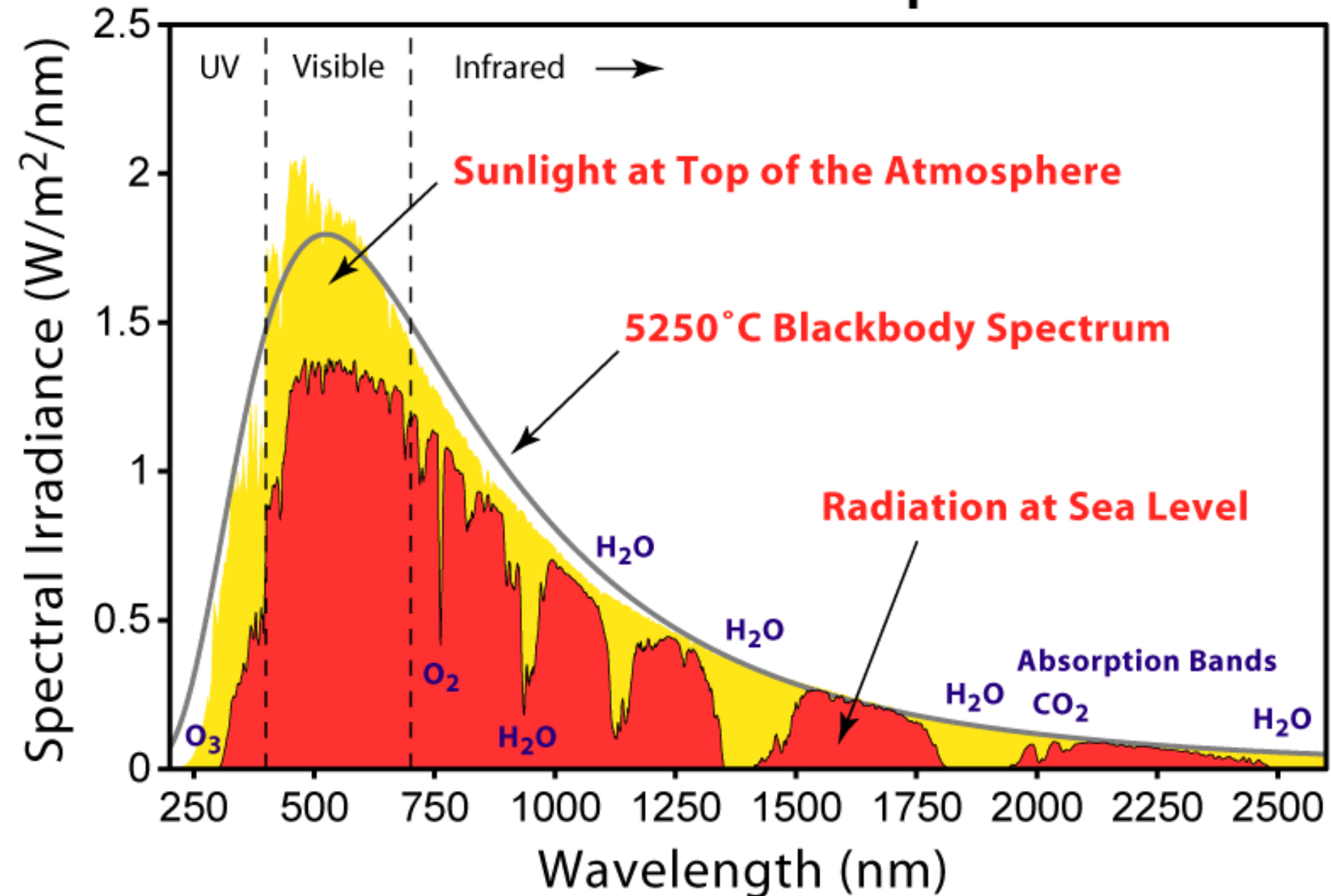
$$T = \sqrt[4]{\frac{S(1-\alpha)}{4\sigma}} \approx 255K = -18C$$



# ¡El albedo no es el único parámetro!

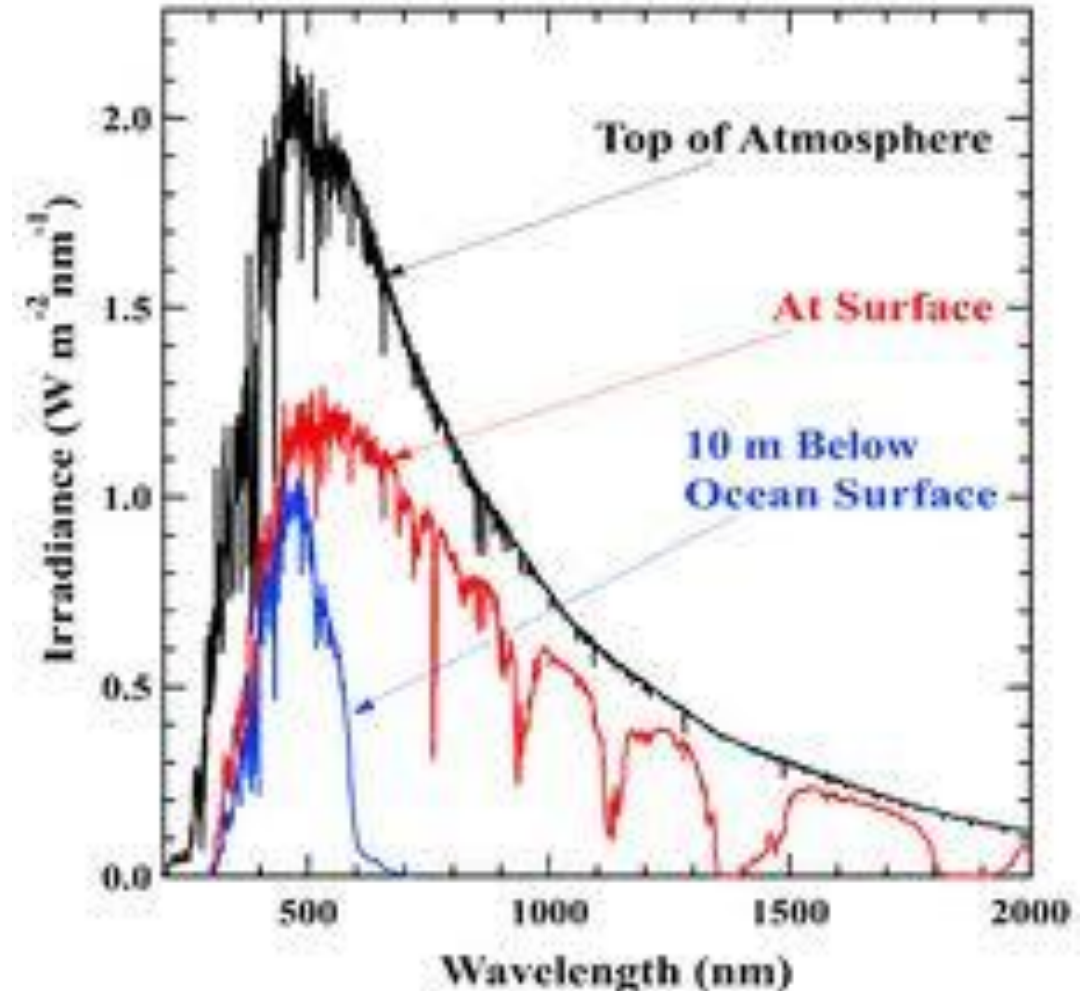


# Solar Radiation Spectrum

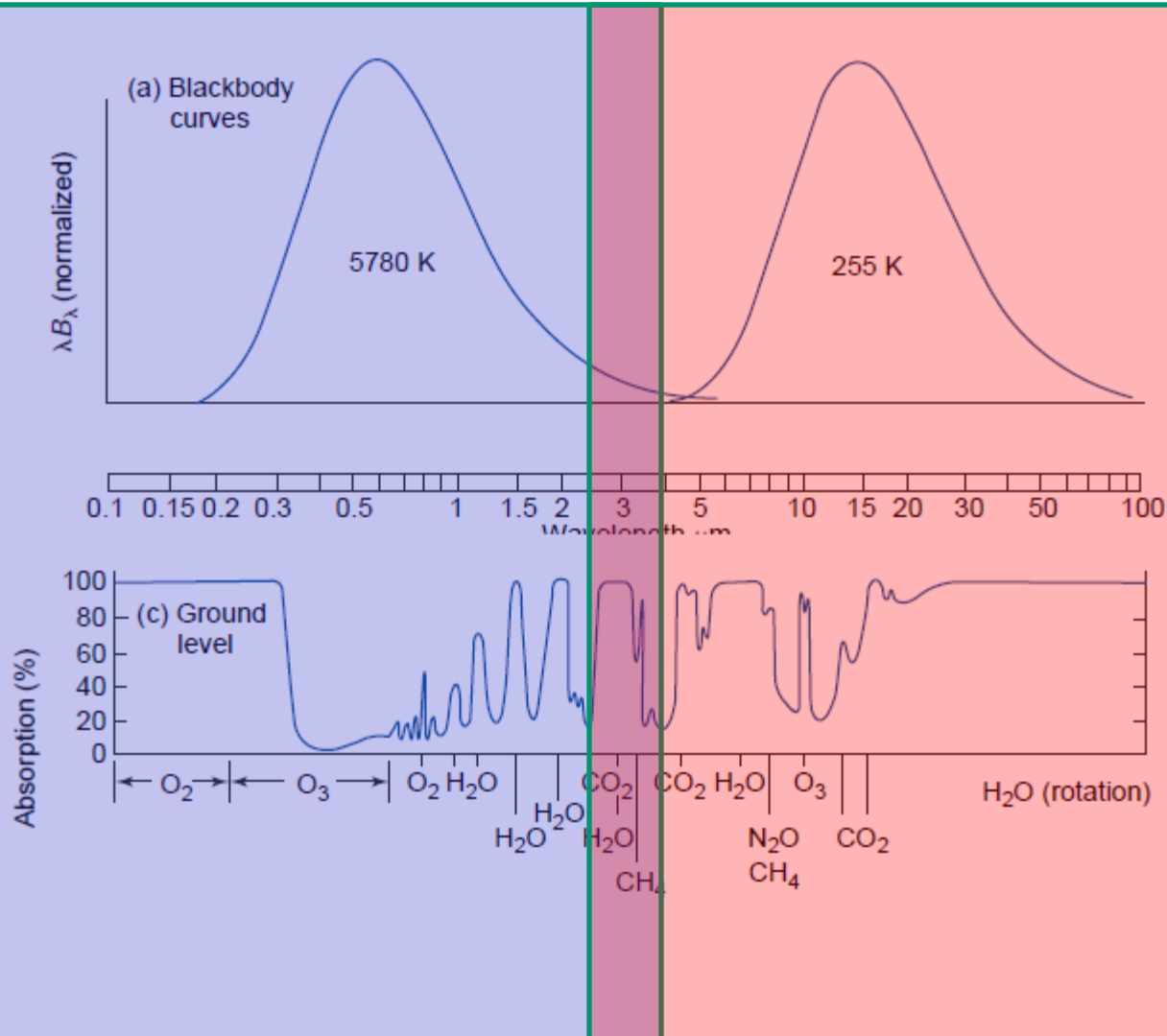
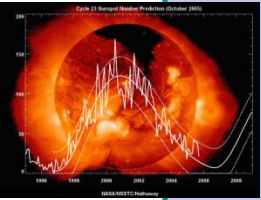


# Consideraciones para un mejor balance radiativo

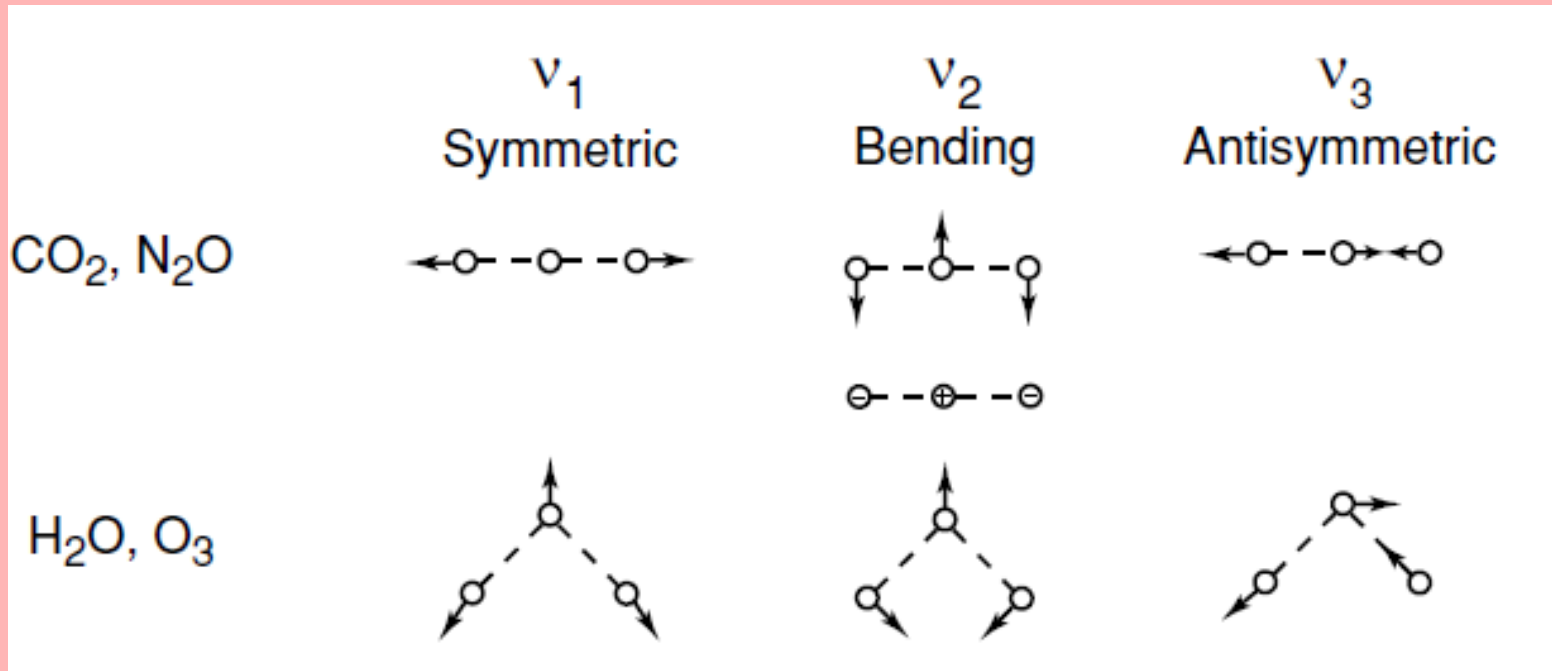
- La radiación solar no sigue del todo la función de Planck
- La atmósfera NO es transparente: ni a la radiación solar ni a la terrestre



# Radiación absorbida en la atmósfera



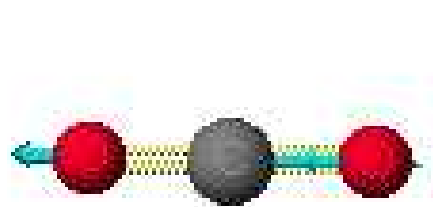
# Absorción en el infra-rojo (gases de efecto invernadero)



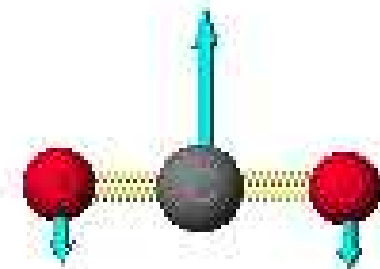
Modos de oscilación

# Absorción por CO<sub>2</sub>

## Carbon Dioxide - Infrared Absorption



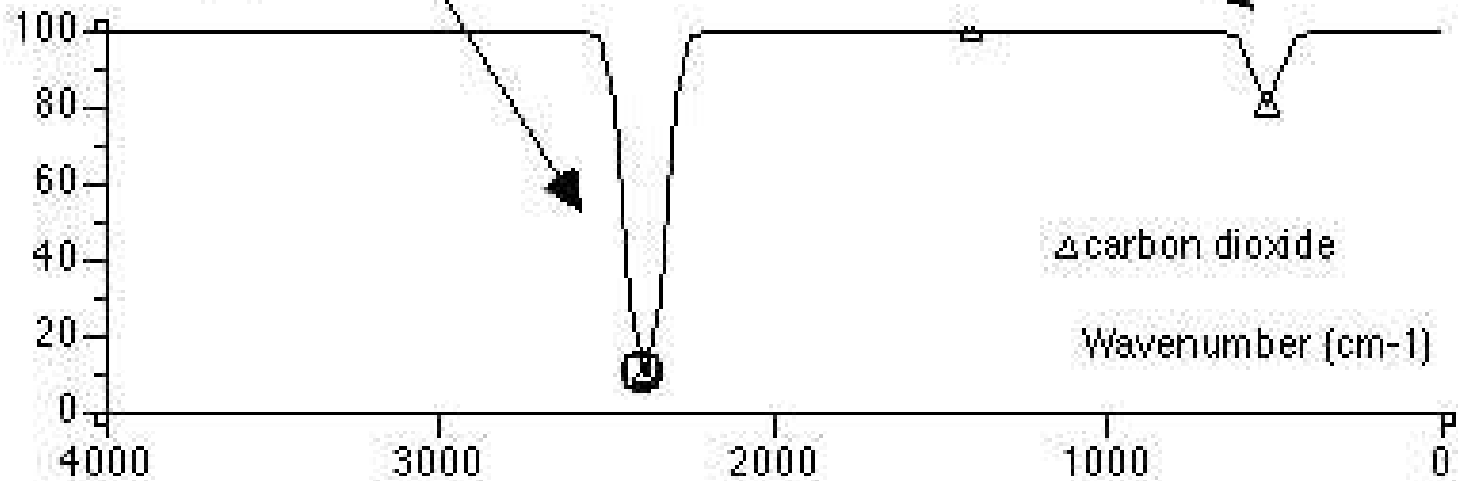
**bond stretching**



**bond bending**

Transmittance (%)

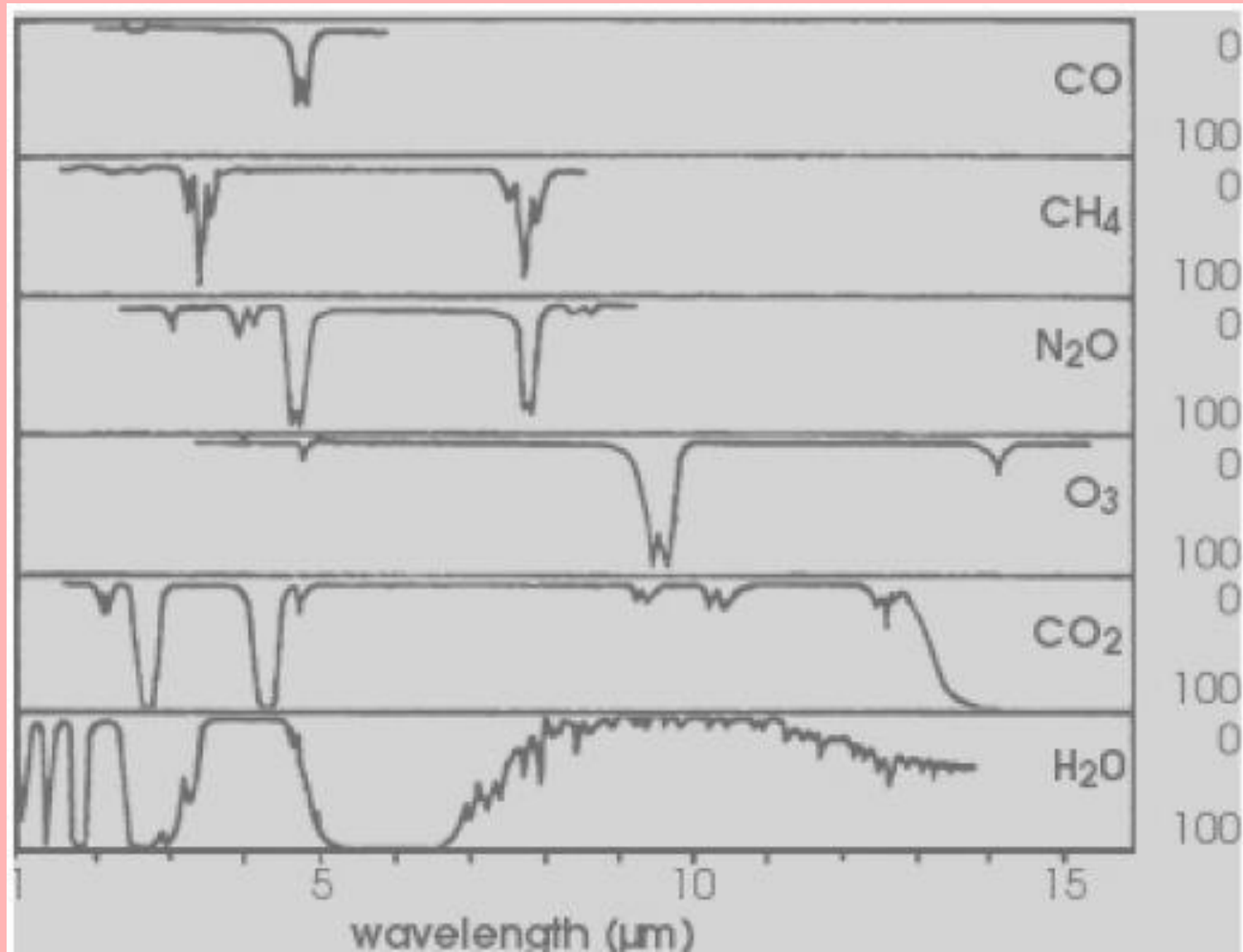
**Vibrational Spectra**



△ carbon dioxide

Wavenumber (cm<sup>-1</sup>)

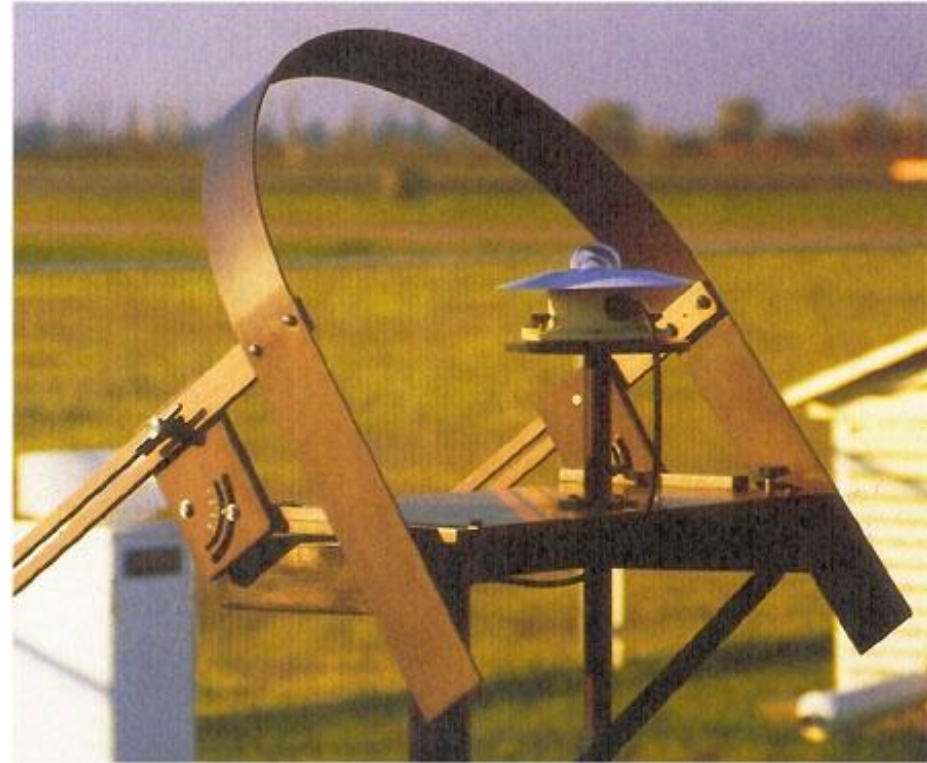
# Absorción por gases de efecto invernadero (IR-visible cercano)





# Medición de radiación

Piranómetro (directa+indirecta) Piranómetro (indirecta o difusa)



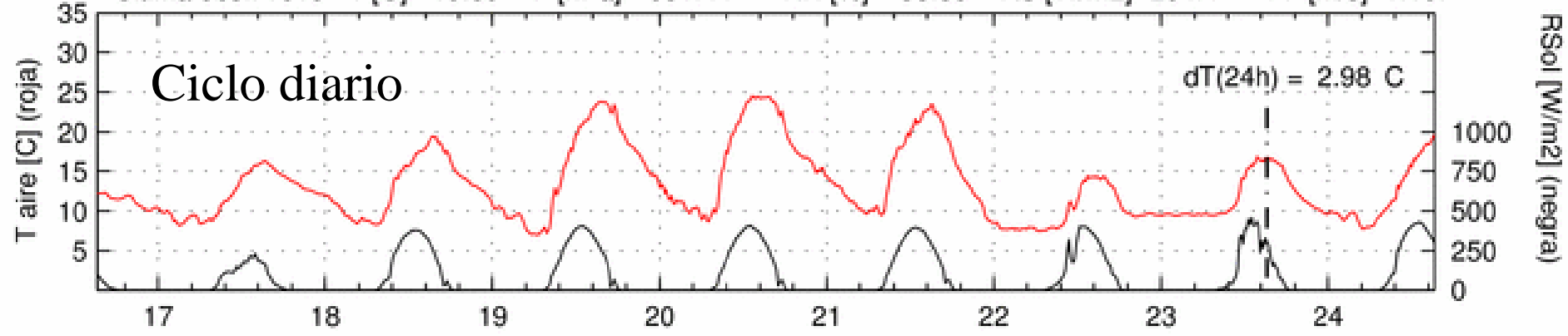
(termocuplas)

LGK 2010



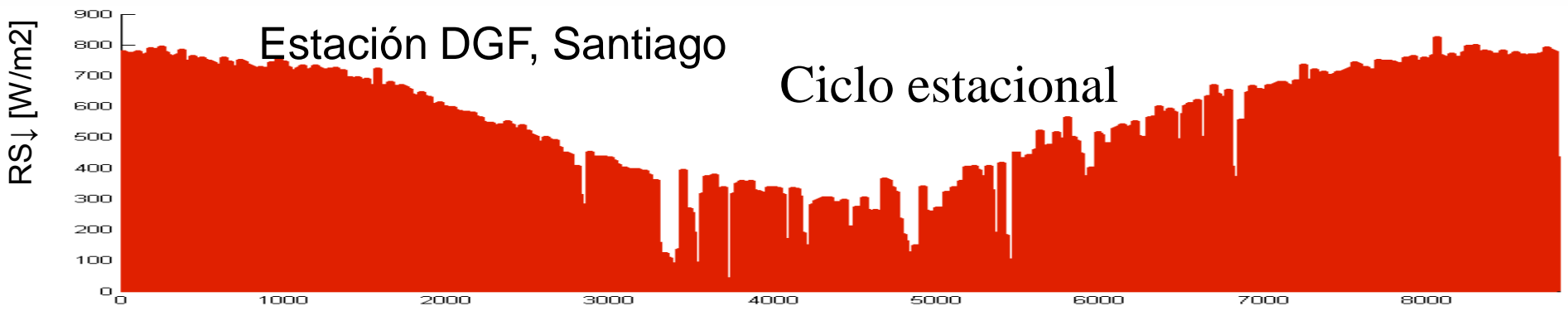
# Laboratorio 1: Radiación

Ultima obs.: 1615 T [C] = 19.59 P [hPa] = 951.44 RH [%] = 38.85 RS [W/m2] = 294.4 FF [m/s] = 1.197



Estación DGF, Santiago

**Ciclo estacional**



Tiempo (año 2008)

## Próximamente

- Efecto invernadero
- Absorción UV y visible
- Dispersión:
  - Rayleigh
  - Mie



# Lecturas de hoy

- Obligatoria
  - Wallace and Hobbs, Atmospheric Science (Ch. 4.: 4.2; 4.3)
- Opcional
  - <http://scienceofdoom.com/2010/06/01/the-sun-and-max-planck-agree/>
  - A Graduate-Level Online Module for Teaching Remote Sensing of Tropospheric NO<sup>2</sup> from Space...<http://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/ed086p750>
- Más sobre transferencia radiativa
  - GF3004 (Sistema Climático)
  - GF500 (Física de la Atmósfera)

