GF3003
Ciencias Atmosféricas

Laura Gallardo Klenner
Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile
Primavera 2010

HOY

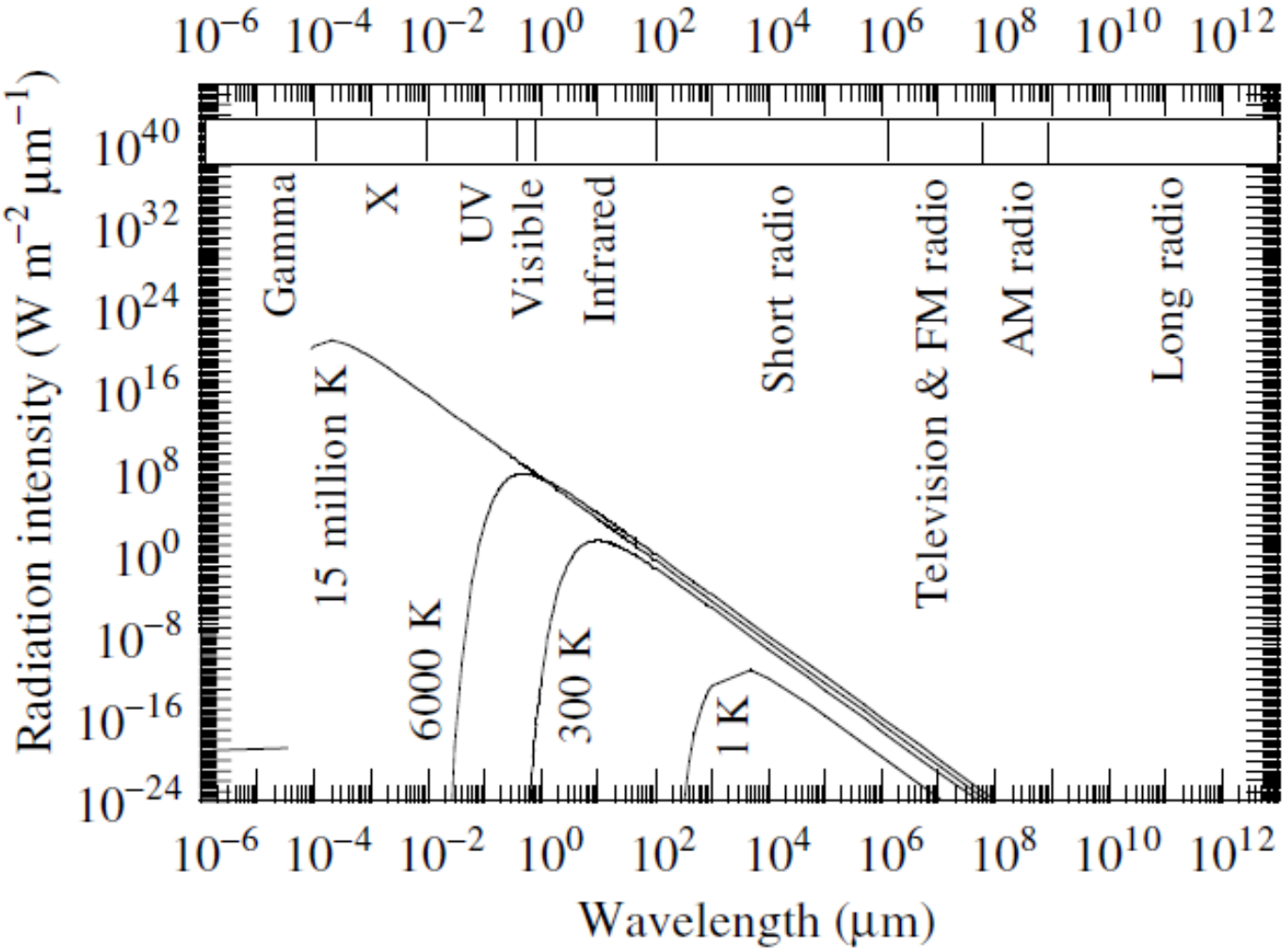
- Efecto invernadero
- Absorción UV y visible
- Partículas atmosféricas
- Ley de Beer y espesor óptico

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

- Plantear y resolver ecuaciones de balance para radiación solar e infraroja
- Definir el concepto de “efecto invernadero”
- Describir y reconocer causas naturales y antrópicas del efecto invernadero en la Tierra
- Identificar gases responsable de l absorción de radiación solar en la atmósfera terrestre
- Deducir la ley de Beer

Una envolvente, mayoritariamente gaseosa, muy tenue, irradiada por el sol y que NO es transparente a la radiación solar ni a la terrestre

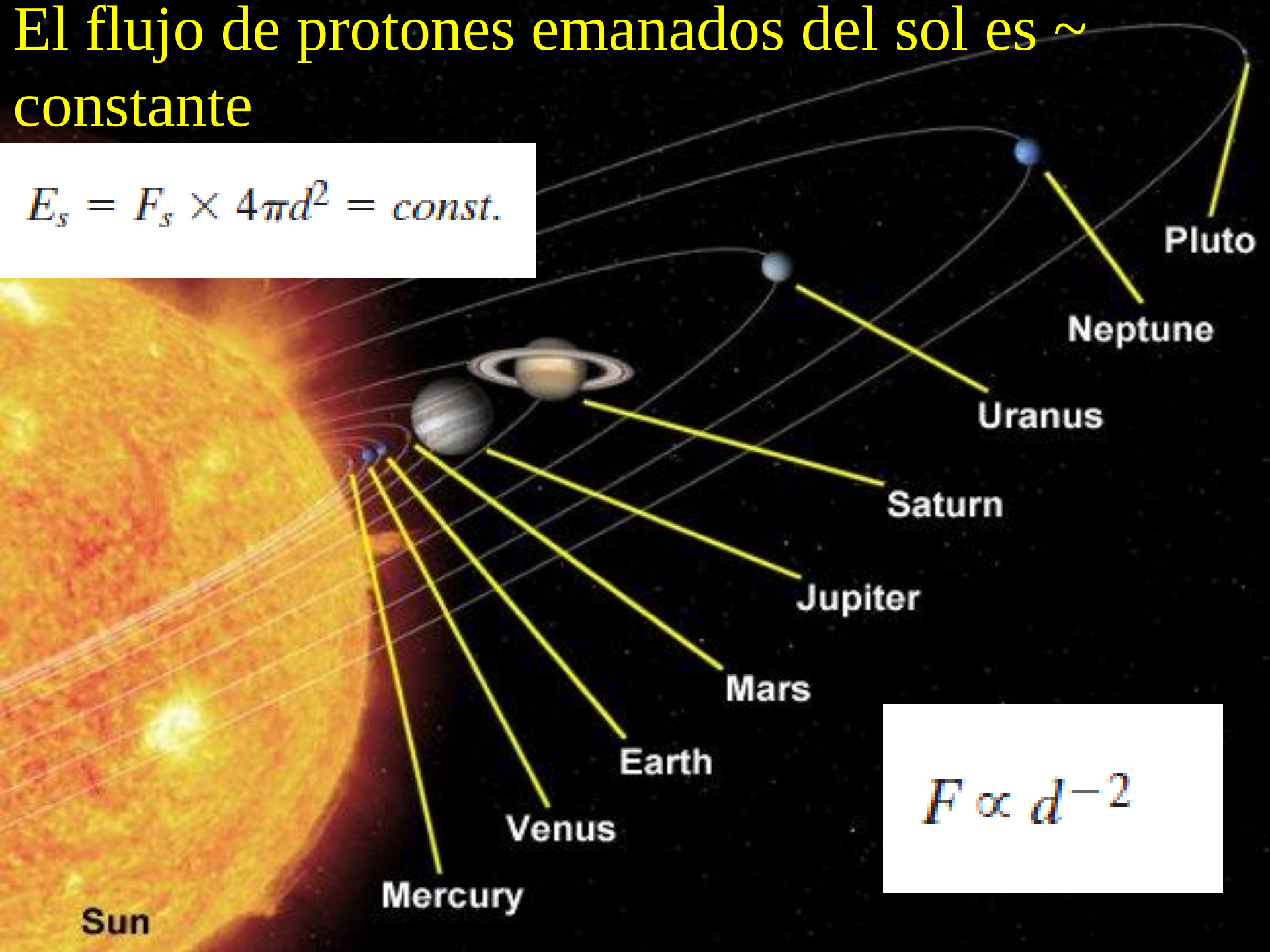
Espectro electromagnético y radiación de cuerpo negro



Jacobson, 2005

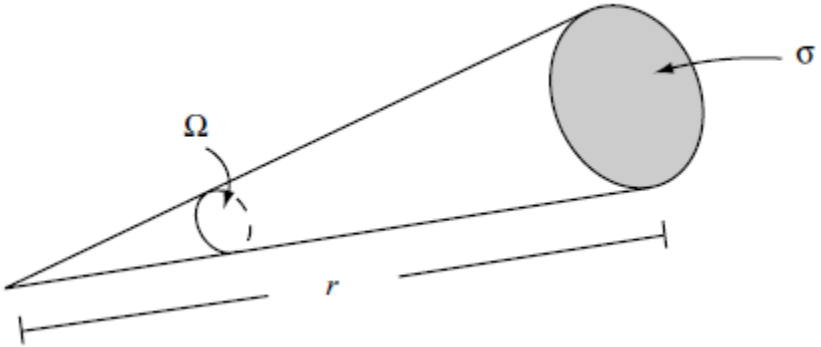
El flujo de protones emanados del sol es ~ constante

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

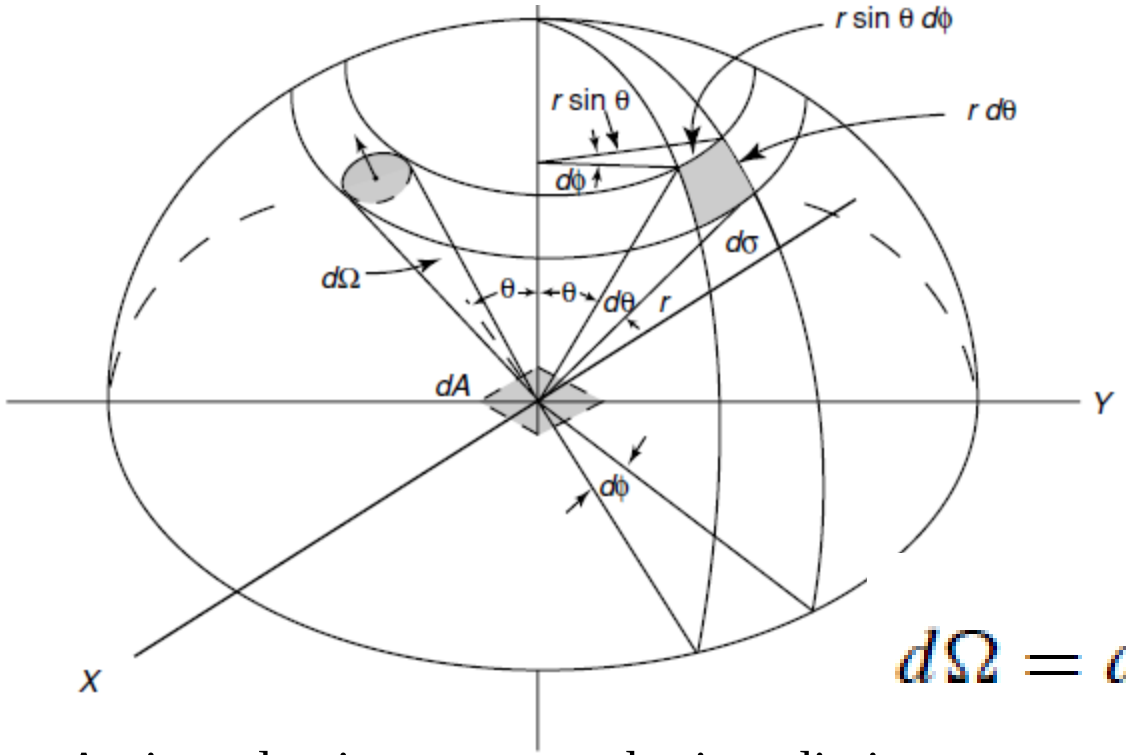


$$F \propto d^{-2}$$

Un poco de geometría (para radiación)



$$\Omega = \sigma / r^2 \; . \textit{steradian}$$

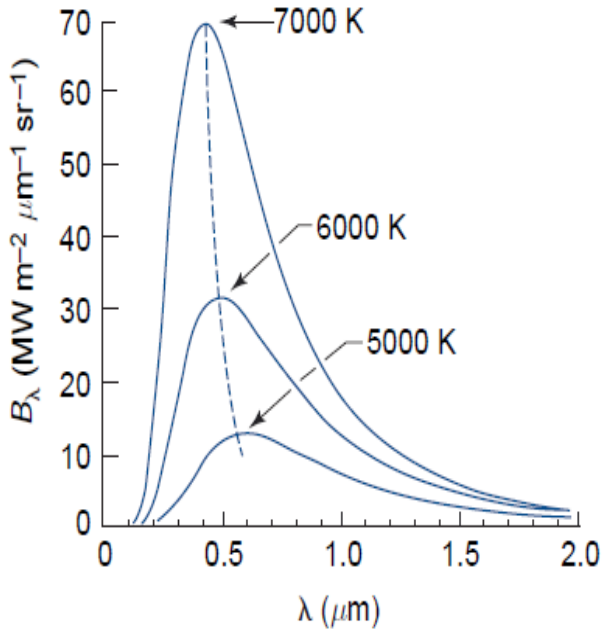


Ángulo sólido

$$d\Omega = d\sigma / r^2 = \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

Liou, An introduction to atmospheric radiation

A partir de la función de Planck:



$$\frac{\partial}{\partial T}$$

$$\lambda_m = \frac{2897}{T}$$

Ley de Wien

$$\int_\lambda$$

$$F = \sigma T^4$$

Ley de Stefan-Boltzmann

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

LGK 2010

Balance radiativo sólo con albedo

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

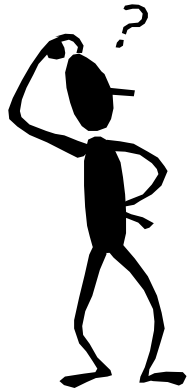
$$E_{sale} = \sigma T^4 4\pi R^2$$

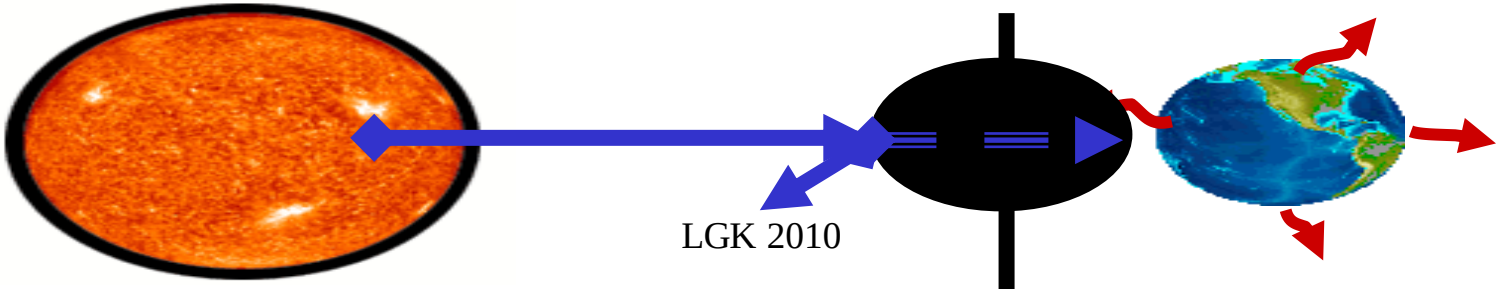
$$E_{entra} = E_{sale}$$

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

$$\alpha \approx 0.3$$

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





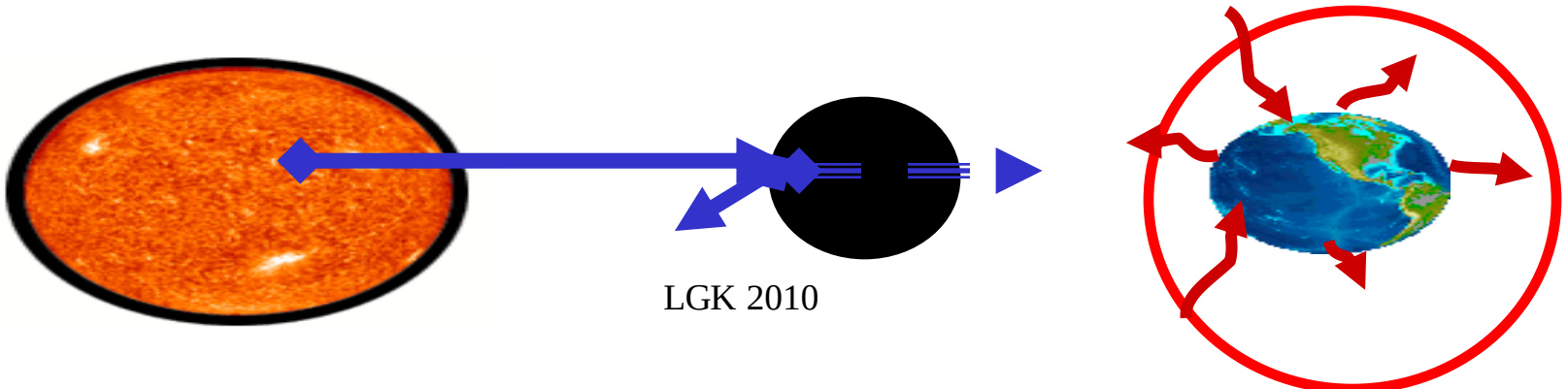
Hay algo (x=efecto invernadero) que hace aumentar la temperatura a nivel de la superficie…

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

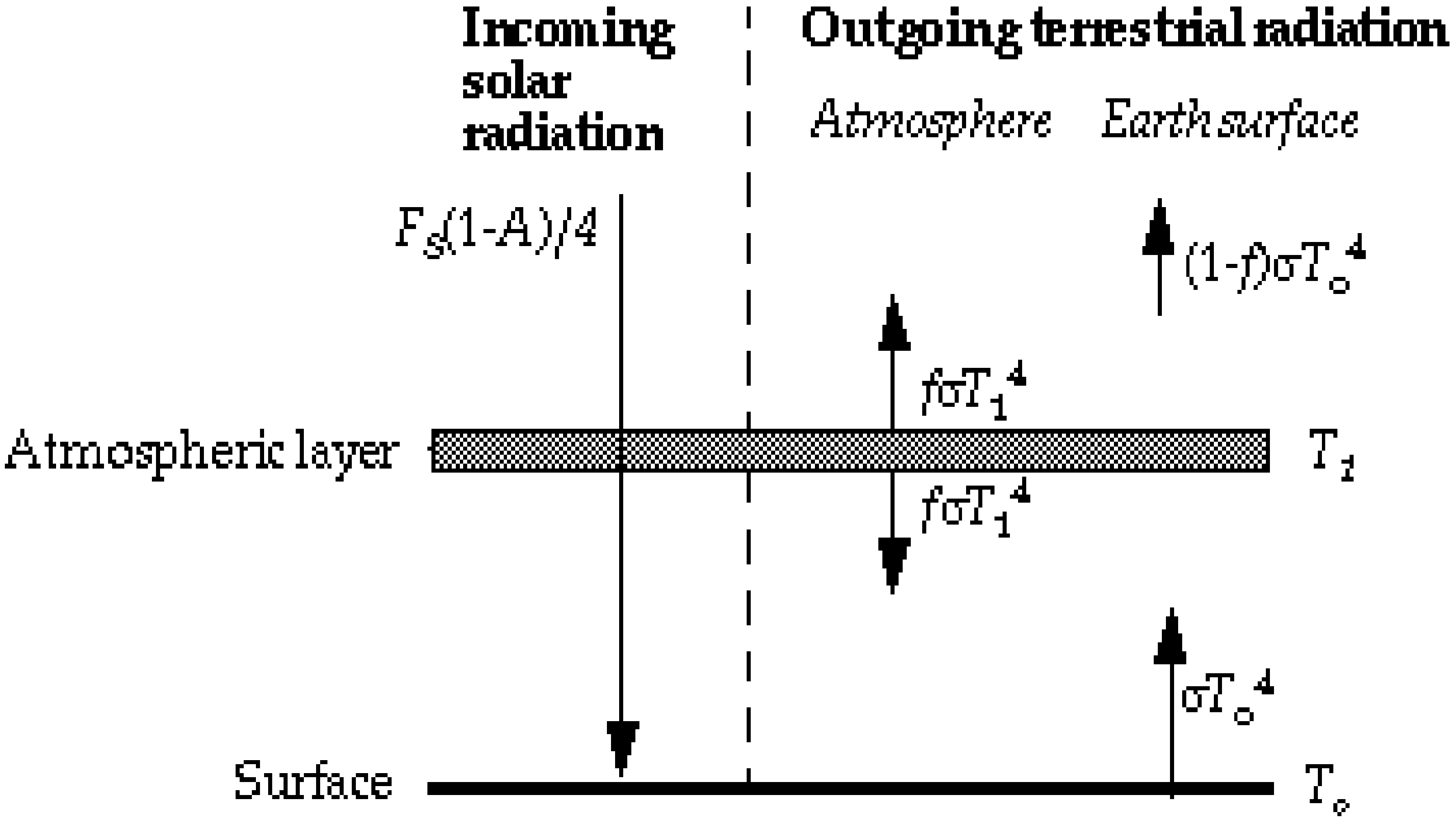
$$E_{sale} = \sigma T^4 4\pi R^2 (1-x)$$

$$\left.\begin{array}{l} T = 16°C = 289K \\ \alpha \approx 0.3 \\ S \approx 1368\left[W/m^2\right] \end{array}\right\} \Rightarrow x \sim 0.4$$

¡~40% de la energía emitida por la superficie es reciclada!

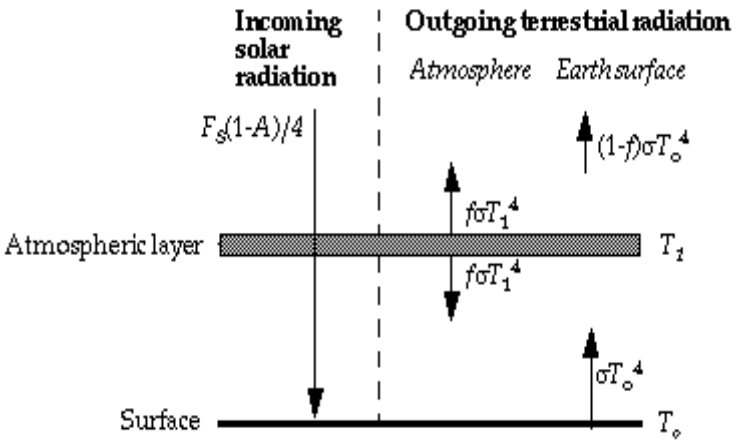


Modelo de dos capas con efecto invernadero



http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/bookchap7.html#13581

Equilibrios termodinámicos (f=ε)



Al tope de la atmósfera (TOA):

$$F = (1-f)\sigma T_o^4 - f\sigma T_1^4 \quad (1)$$

En la superficie:

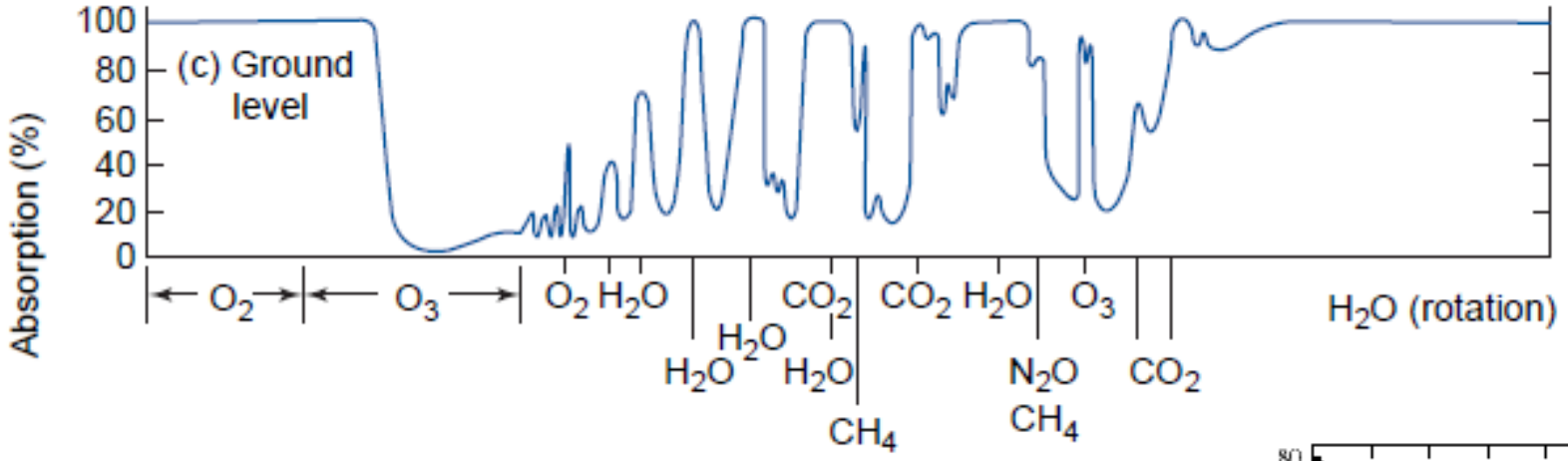
$$F + f\sigma T_1^4 = \sigma T_o^4 \quad (2)$$

$$T_o = \left(\frac{F}{\sigma} \left(\frac{2}{2-f} \right) \right)^{1/4} = 288K = 16°C$$

$$f = 0.77$$

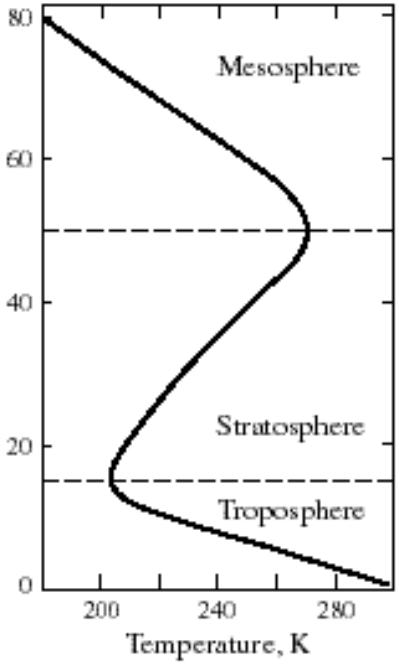
$$T_1 = \sqrt[-4]{2}\, T_o \approx 241K = -32°C$$

Pero:



La atmósfera NO absorbe el 77% del IR

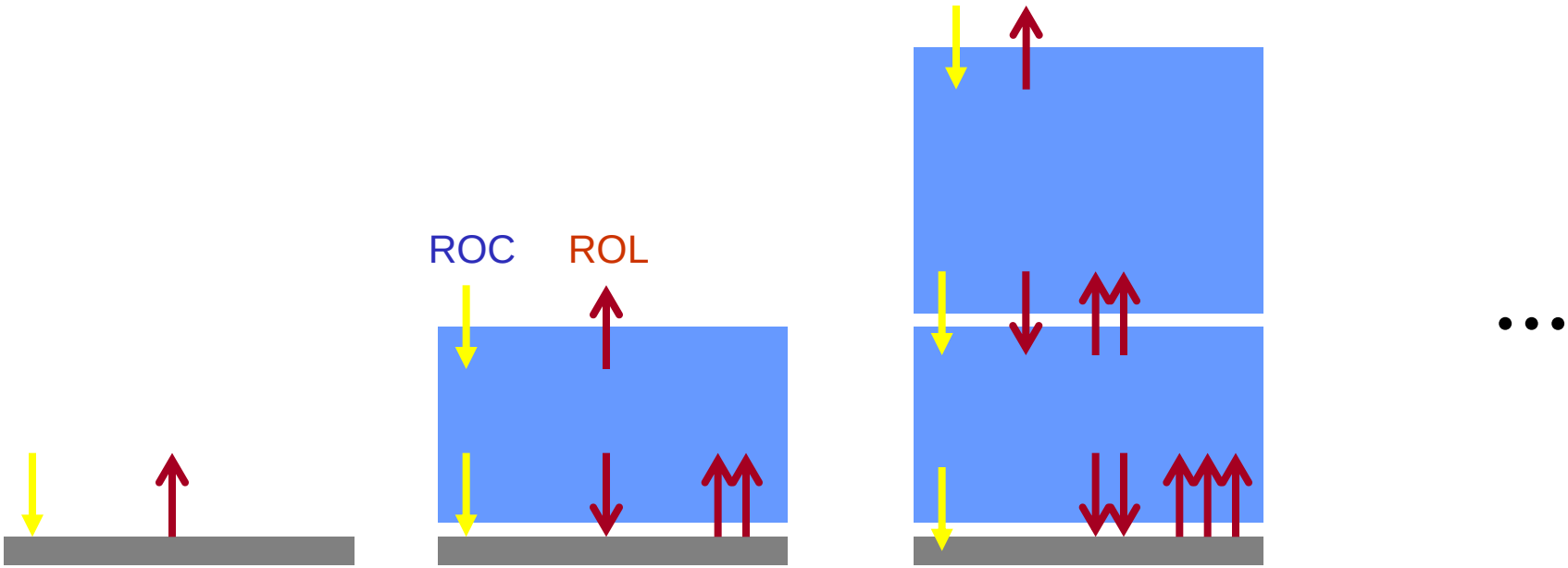
Y T1 correspondería a un TOA en ~7 km



Problemas:

- La atmósfera tiene múltiples capas
- La absorción ocurre en bandas
- En la estratósfera hay que considerar O3

Efecto Invernadero: Atmósfera 100% transparente a ROC y 100% opaca a ROL. En estado estacionario hay equilibrio de flujos radiativos en cada interfase y cada capa es isotermal…



$T_e = T_0 \approx 255K$

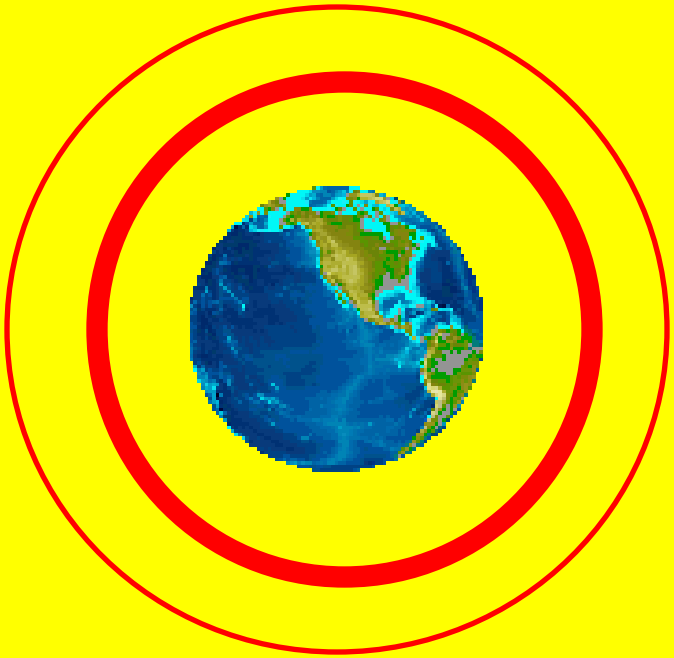
$T_e = (2)^{1/4}\, T_0 \approx 303K$

$T_e = (3)^{1/4}\, T_0 \approx 335K$

$T_e = (n+1)^{1/4}\, T_0$

- *La tranferencia radiativa se hace menos eficiente en tanto hay más capas y la temperatura en la superficie aumenta*
- *Mientras más capas, T en TOA es menor*

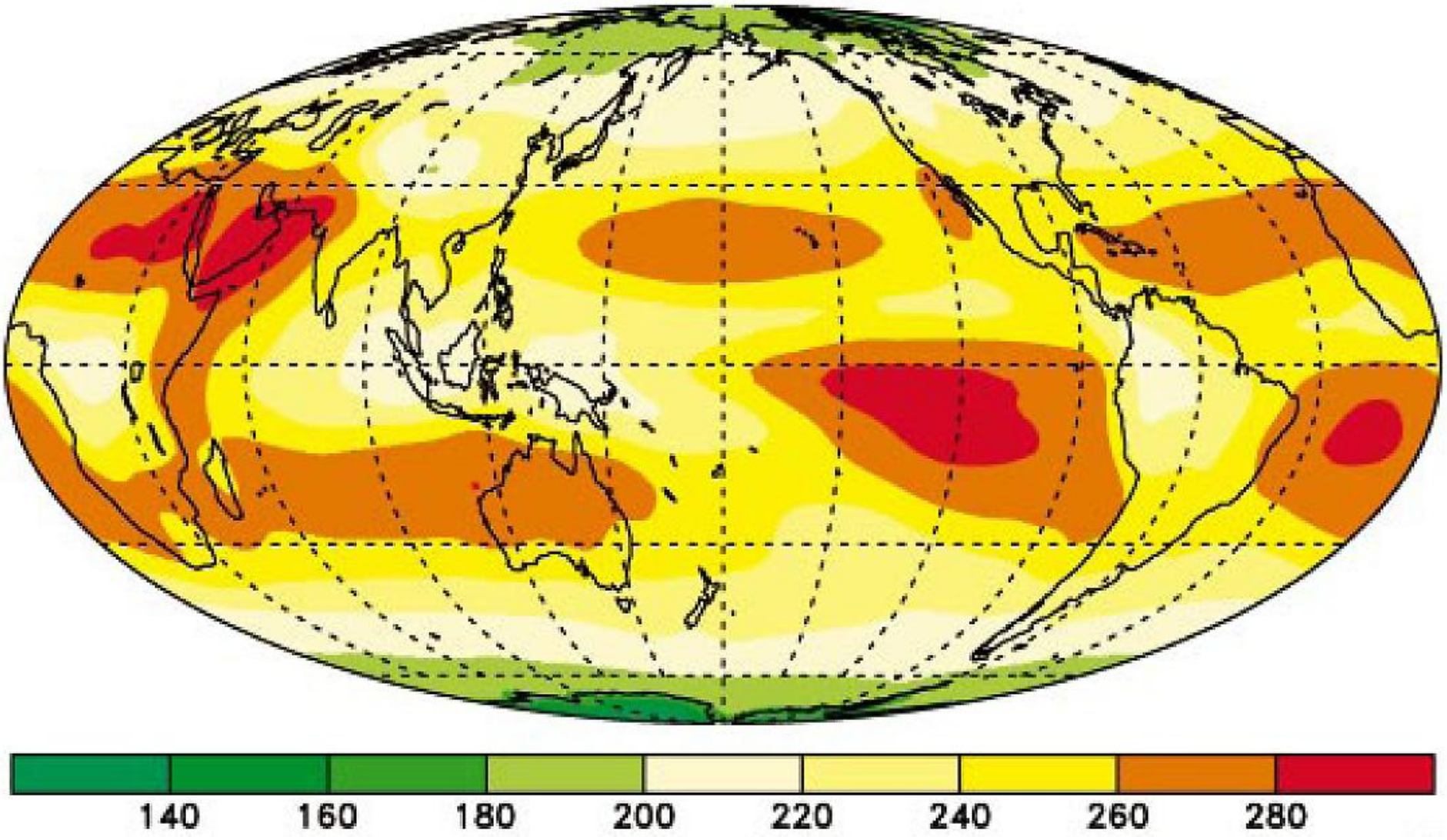
Propuesto: ¿Piel planetaria? *(planetary skin)*



Considera una capa atmosférica con absortividad f=0.77 y temperatura Ta y una capa más tenue con f<<1 y temperatura Tp.

Suponiendo que ambas capas son transparentes a la radiación solar, calcula Tp. La temperatura de la superficie es To=288 K y la radiación solar incidente F=241 W/m^2

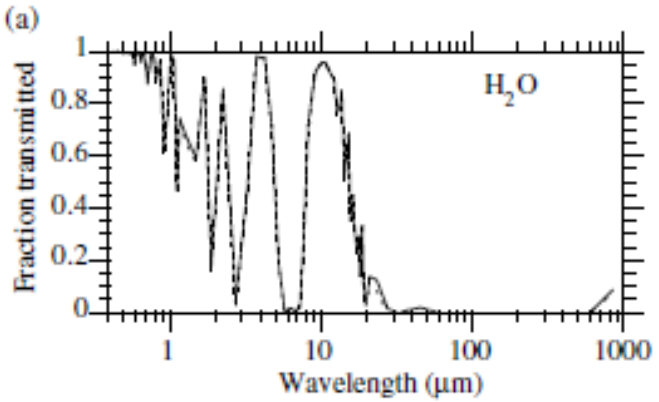
Radiación de onda larga en TOA (W/m^2)

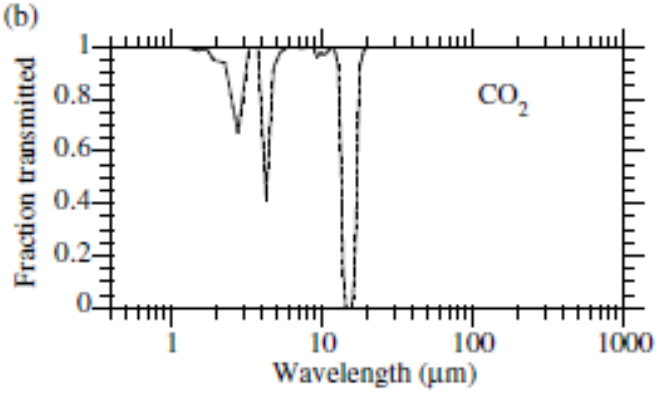


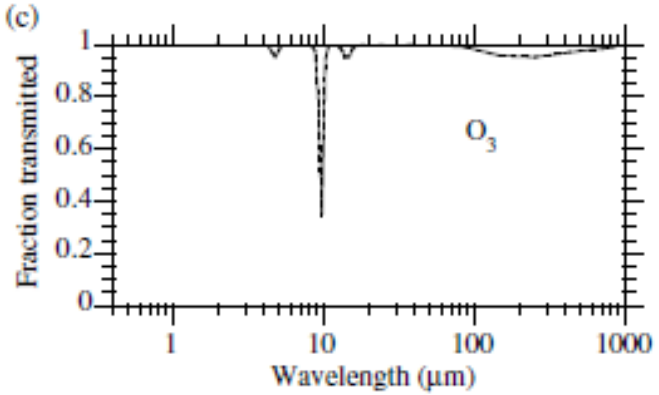
LGK 2010

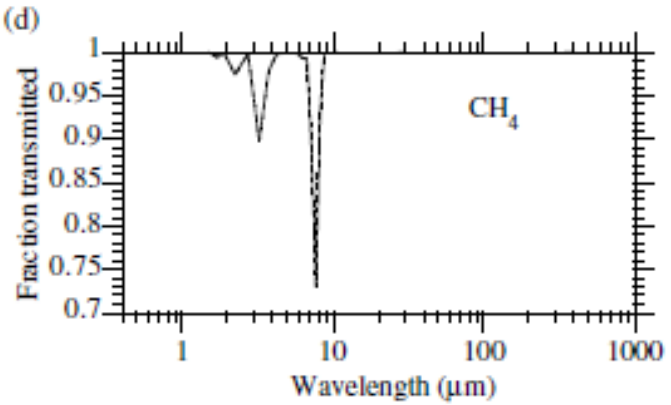
Trenberth, K. E. and D. P. Stepaniak (2003).

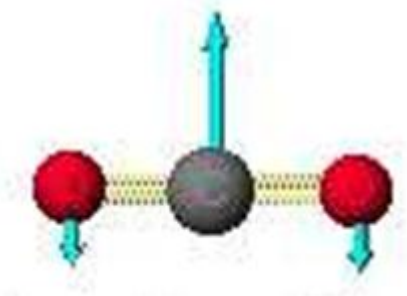
Gases de efecto invernadero

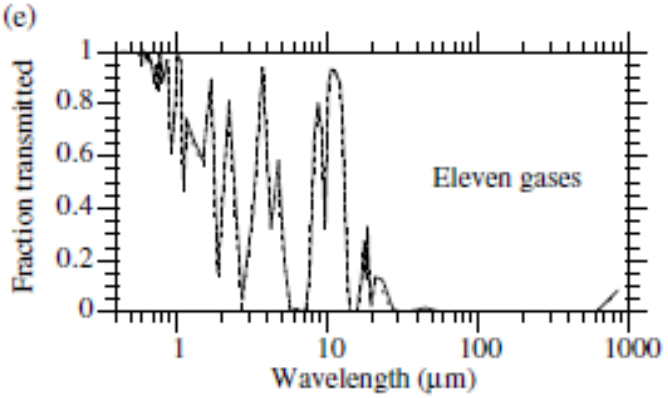






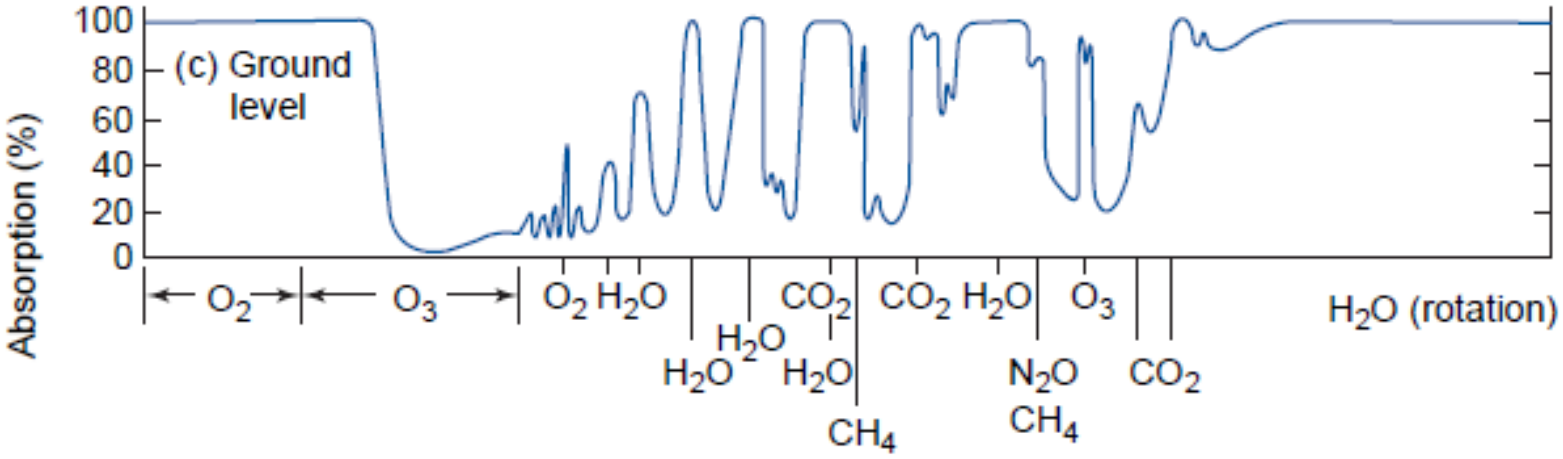






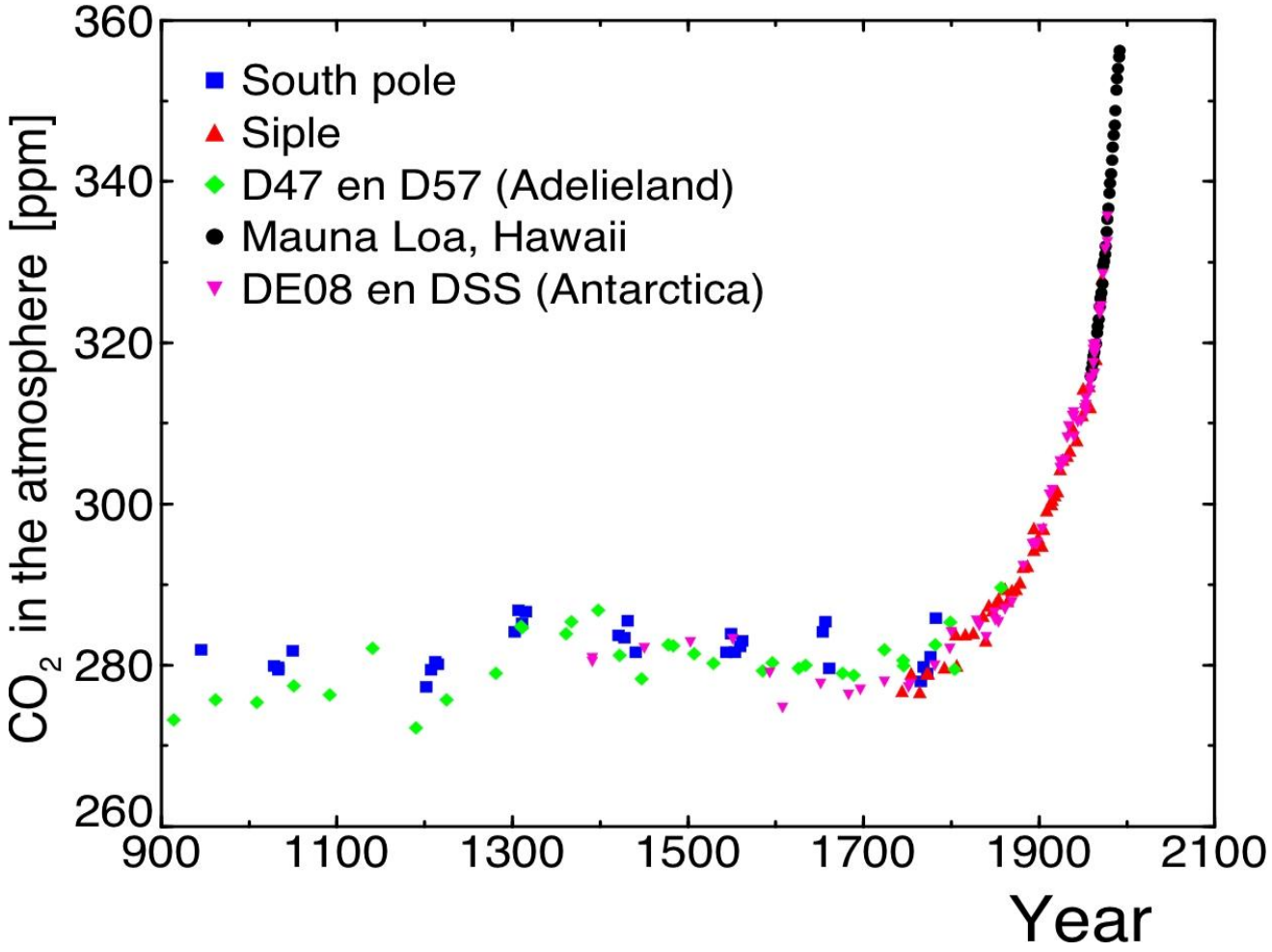
Jacobson, 2005

¿Cuál es el GEI más importante?

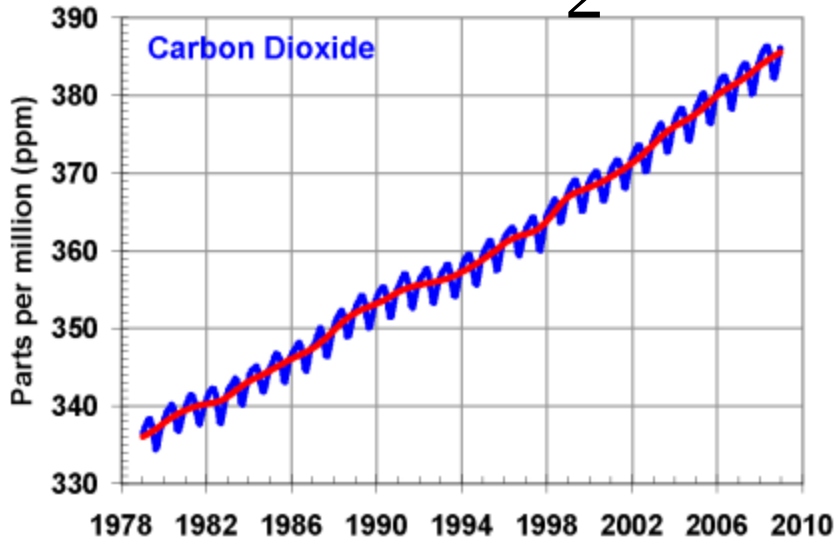


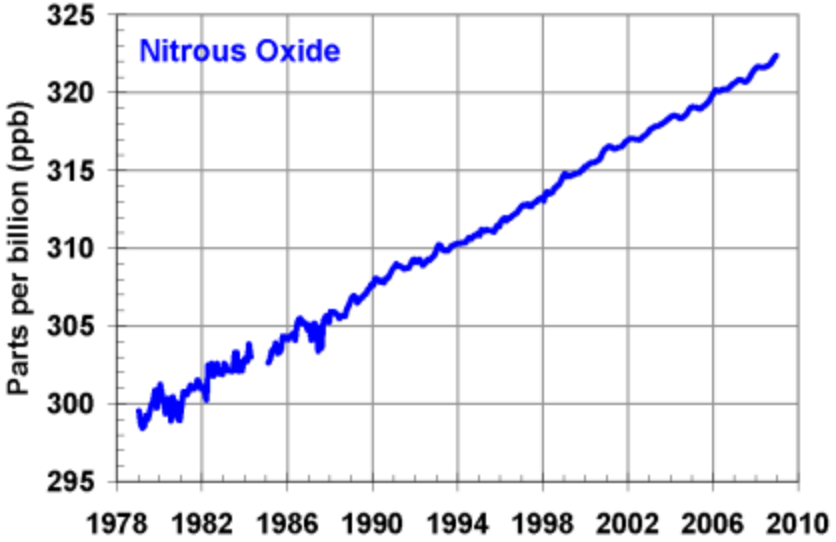
¡¡¡El vapor de agua!!!!!

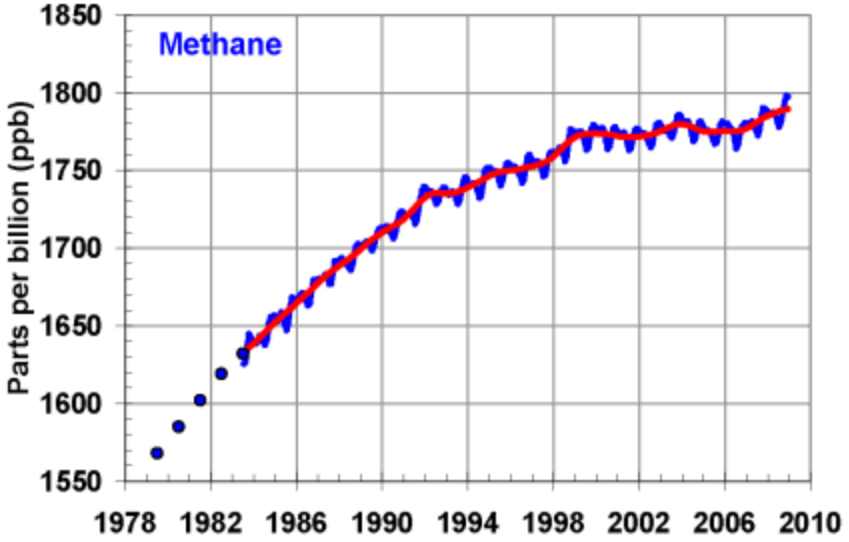
Pero estamos aumentando otros GEI

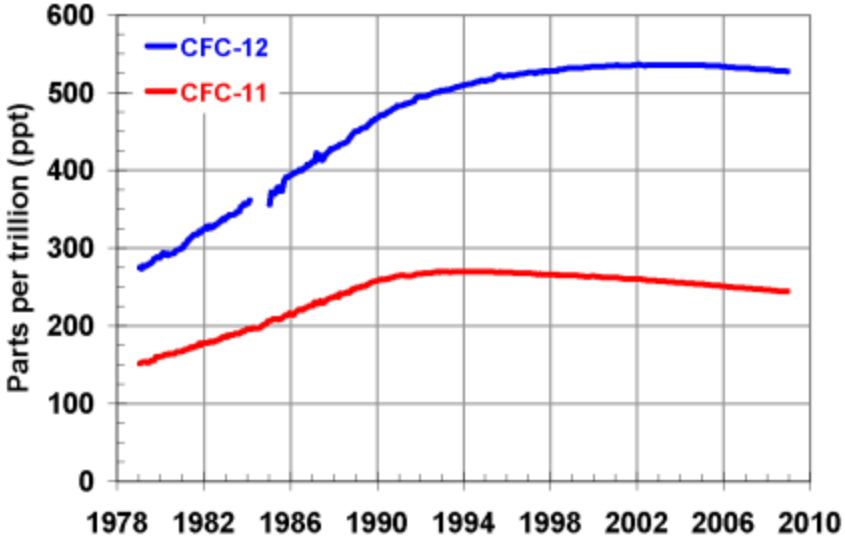


Y no sólo CO_2…





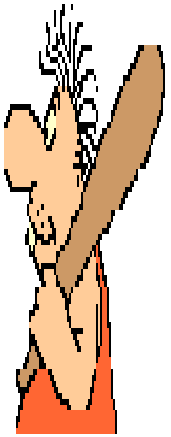


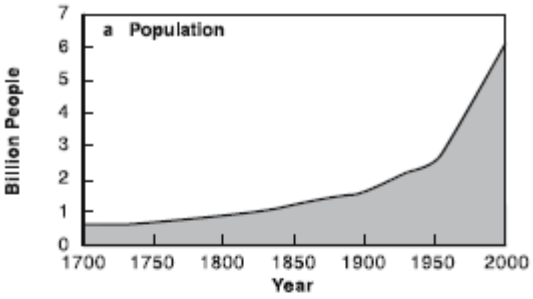


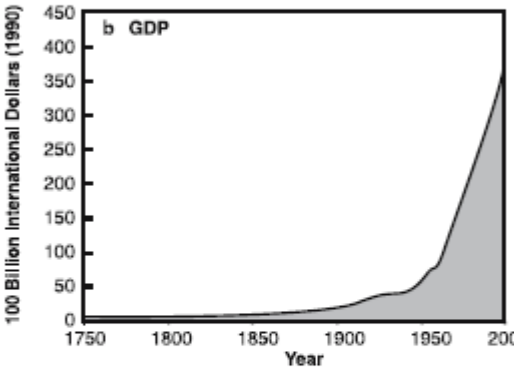
LGK 2010

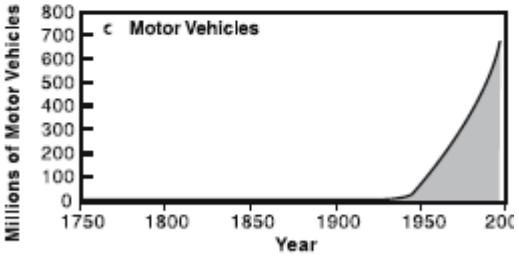
http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/

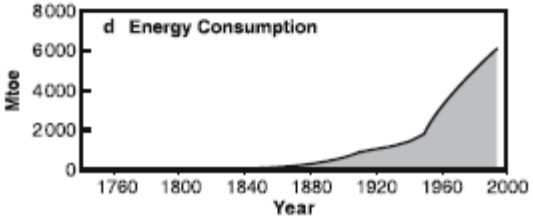
¿Por qué?

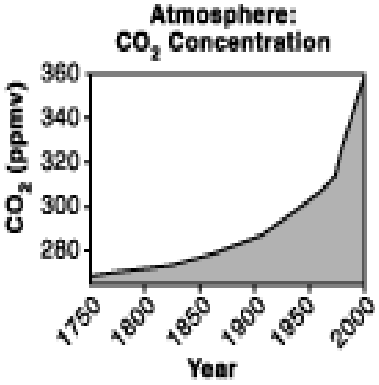


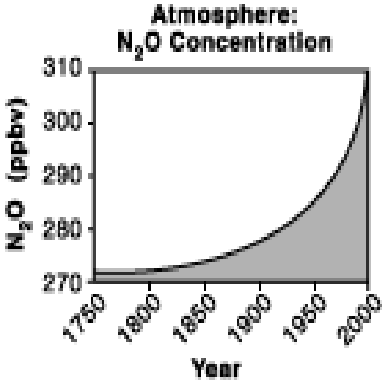


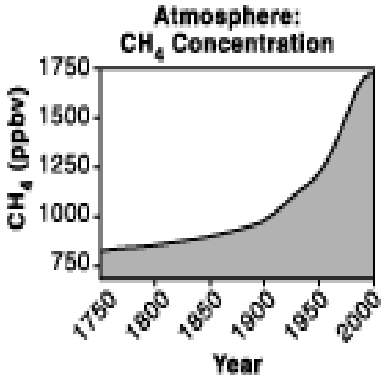








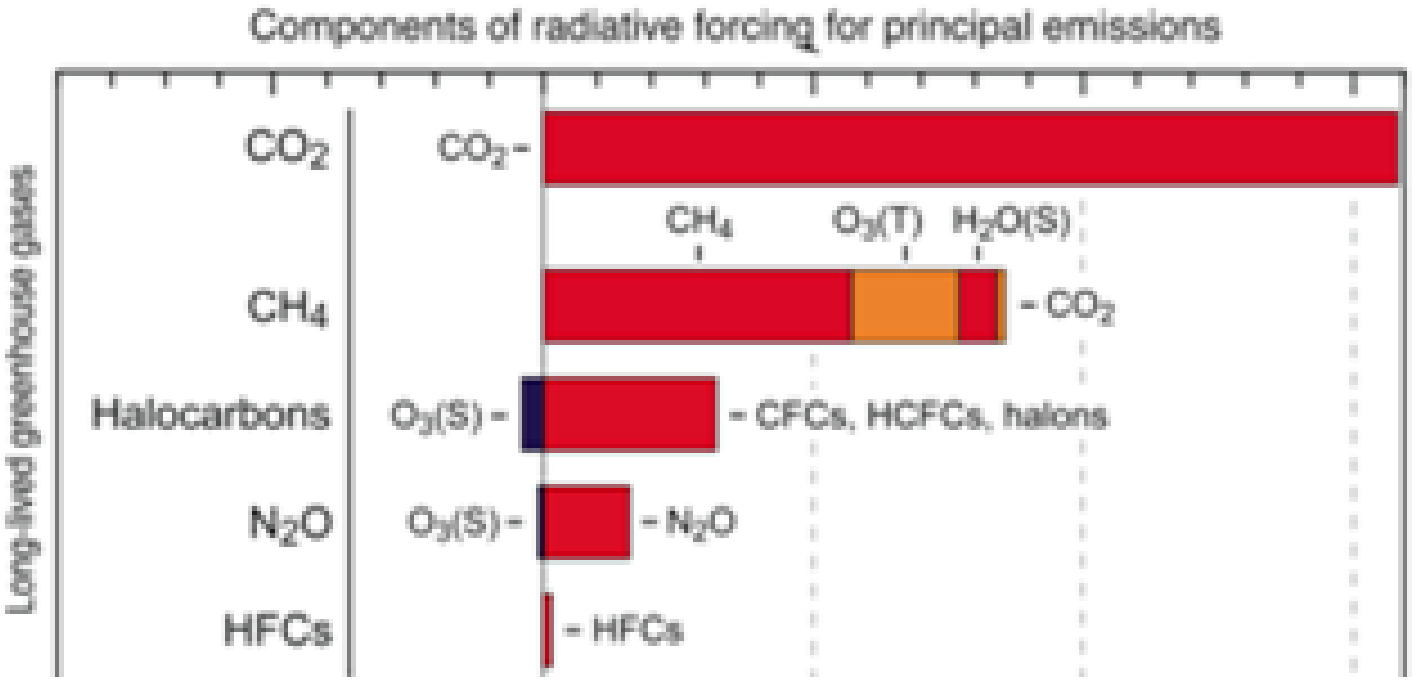




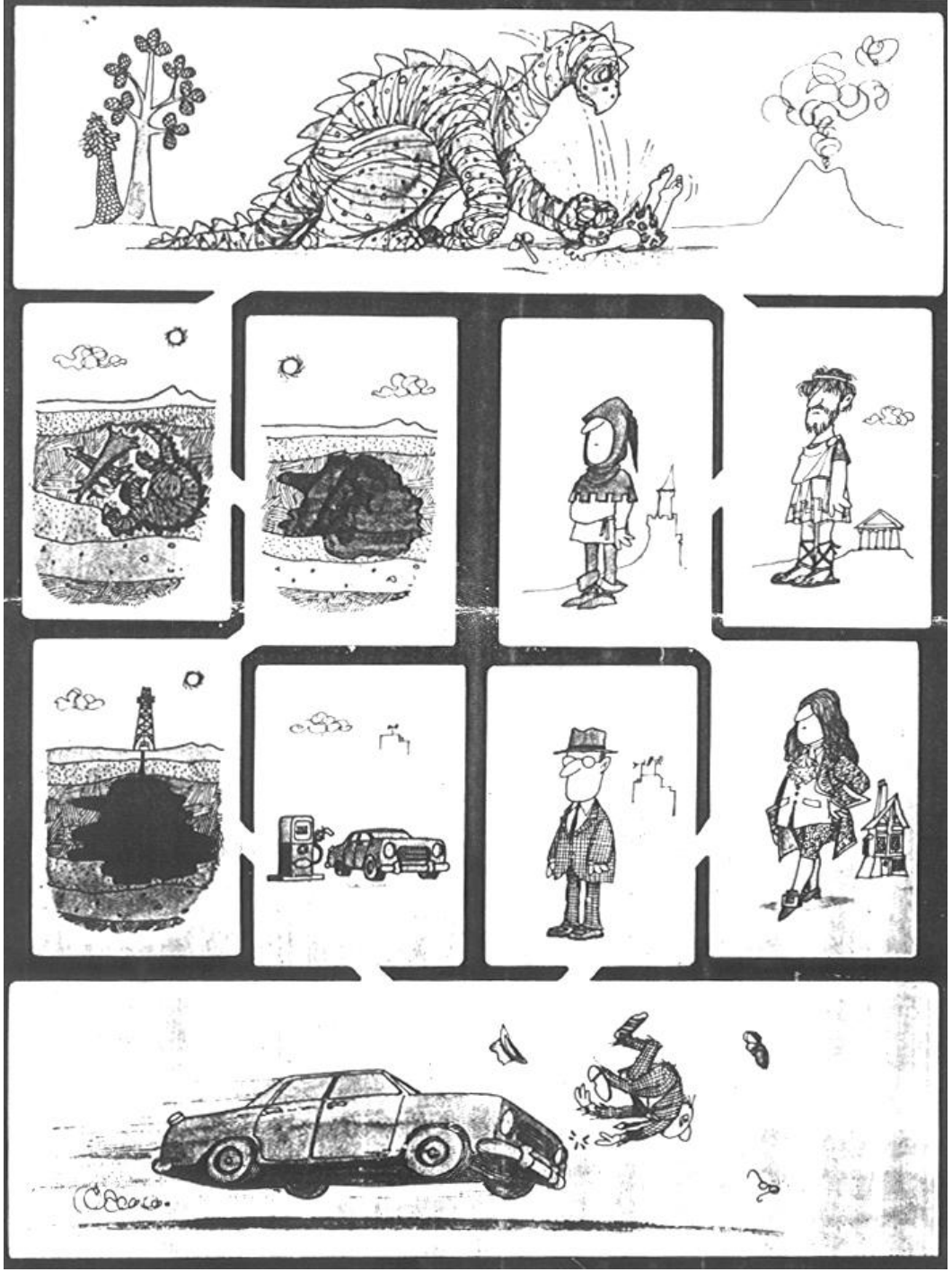
LGK 2010

IGBP, 2006

¿Cuál es el GEI antrópico más importante?

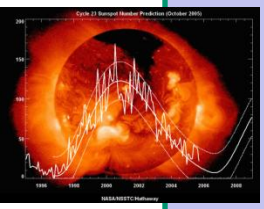


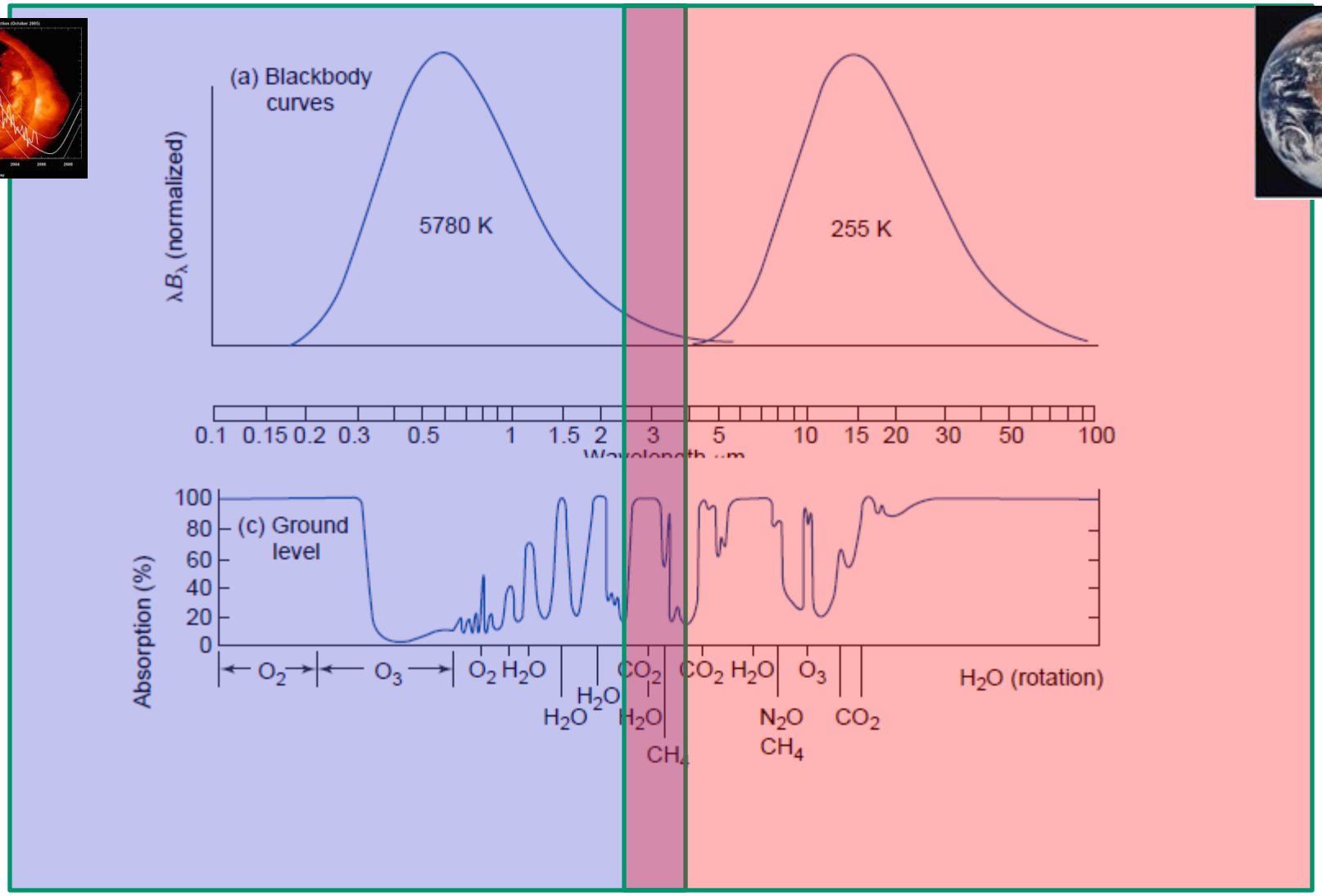
IPCC, 2007



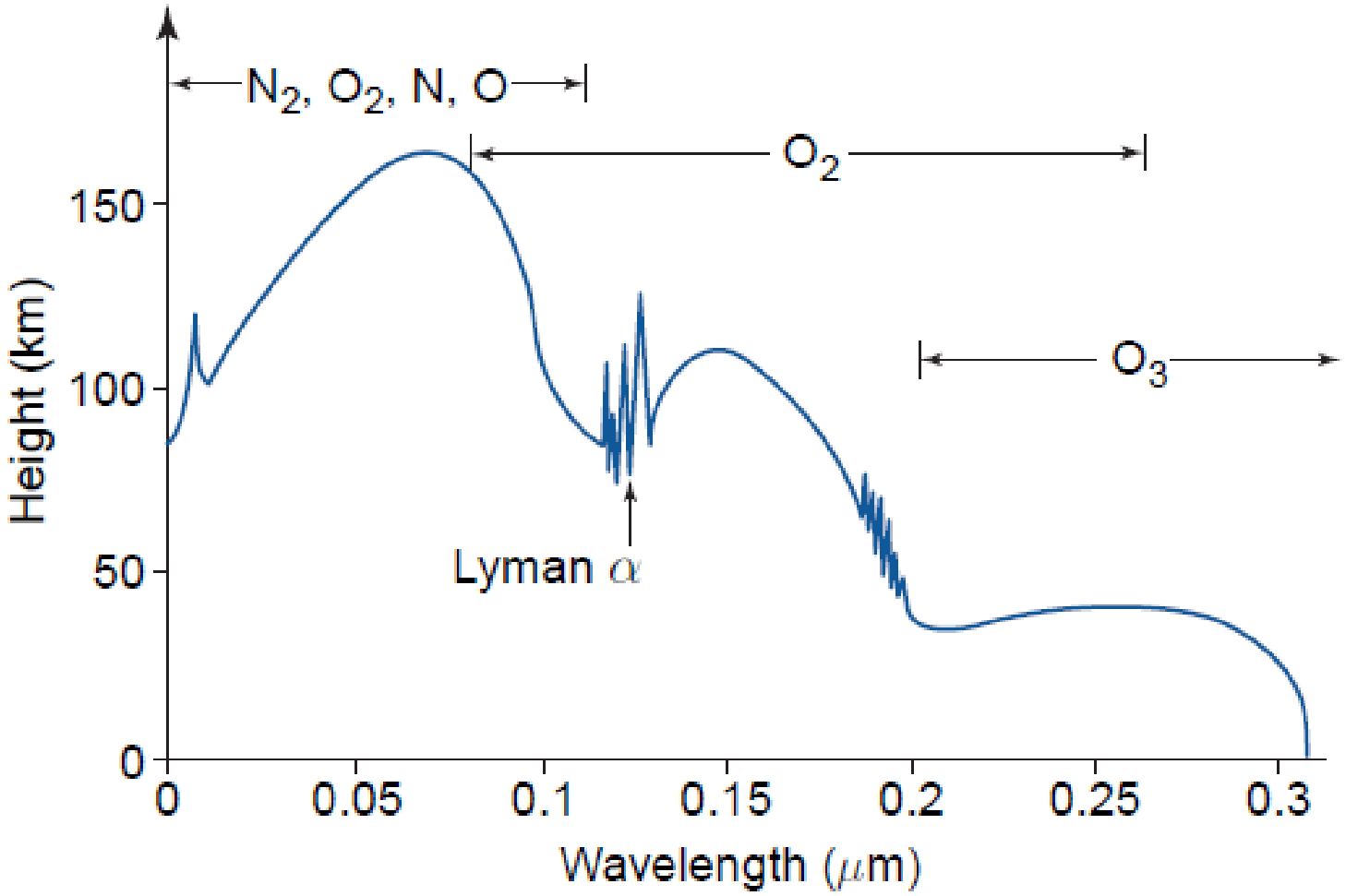
5 minutos….

Radiación absorbida en la atmósfera





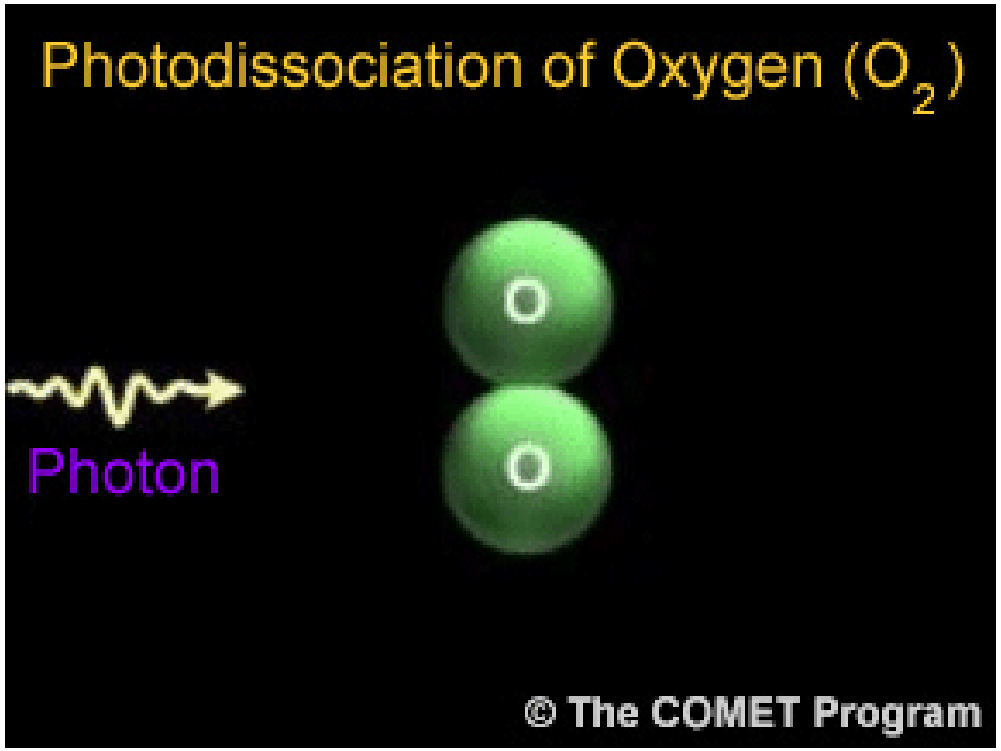
Absorción por gases en UV y visible

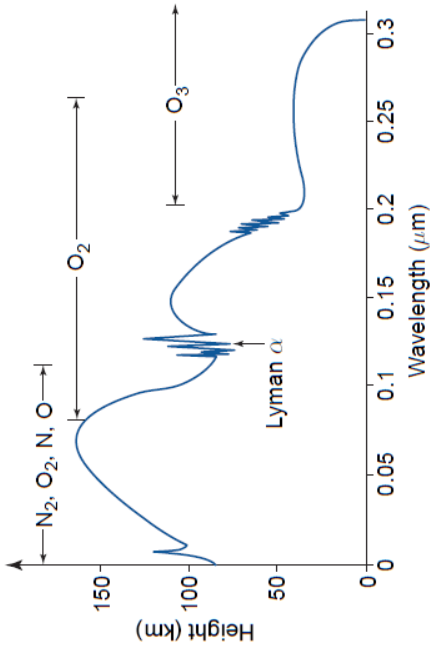


$1\ \text{Å} = 1 \times 10^{-10}$ m

Liou, 2002

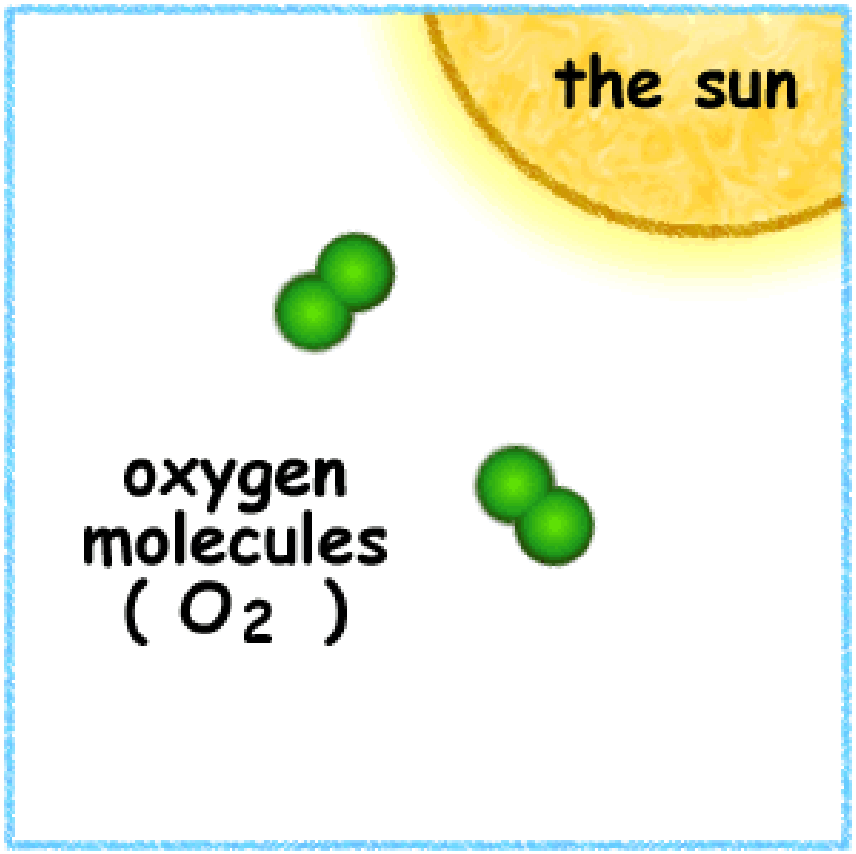
Fotodisociación de oxígeno molecular

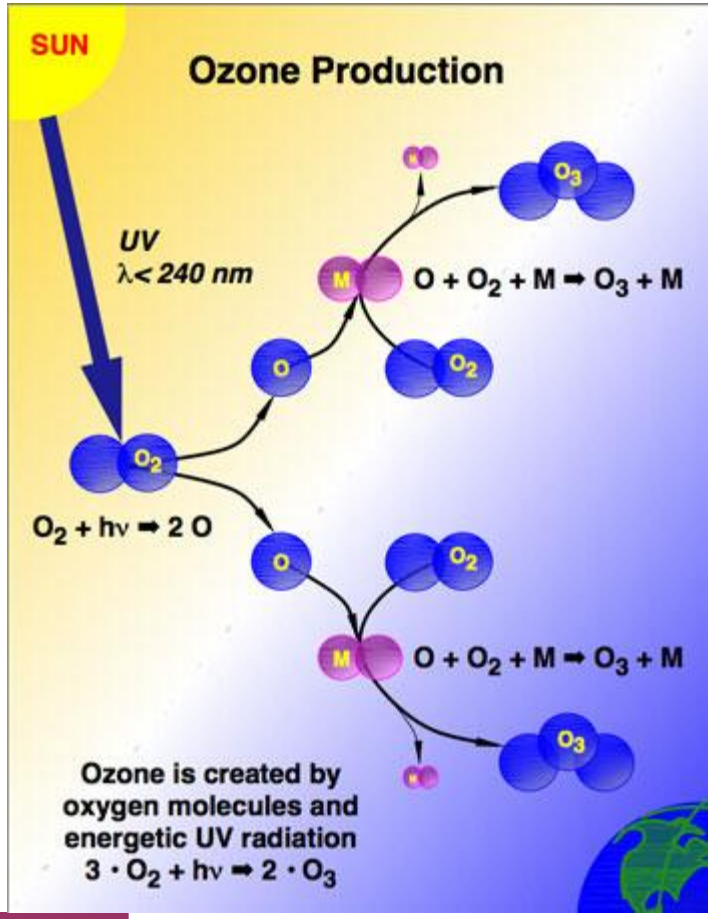




$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O,\ \lambda < 0.24\mu m$$

Ozono en la estratósfera





$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O,\ \lambda < 0.24\mu m$$

$$O_2 + O \rightarrow O_3$$

http://ozone.gi.alaska.edu/formed.htm

El ozono se fotoliza y se recombina

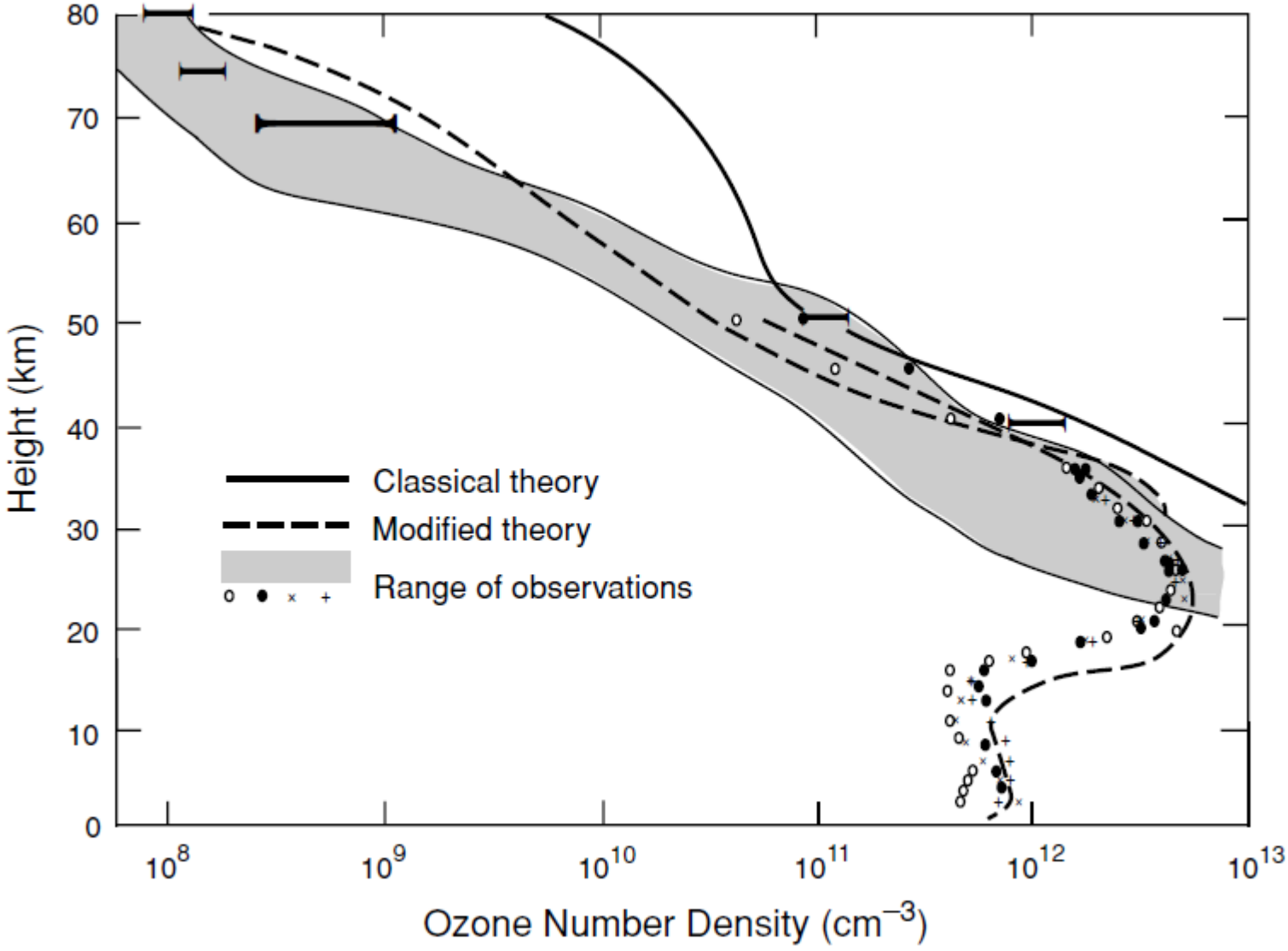
$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O,\ \lambda < 0.24\mu m$$
$$O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$$
$$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$$
$$O_3 + O \rightarrow 2O_2$$

$$[O_3]_{eqb} \cong \left(\frac{J_2 K_{12}}{J_3 K_{13}}[M]\right)^{1/2} [O_2].$$

Chapman, S., 1930: A theory of upper atmospheric ozone. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **3**, 103–125.

http://marzipan.atmos.washington.edu/ion_script/ATMS558/main_chapman.html

Modelo de Chapman vs. observaciones



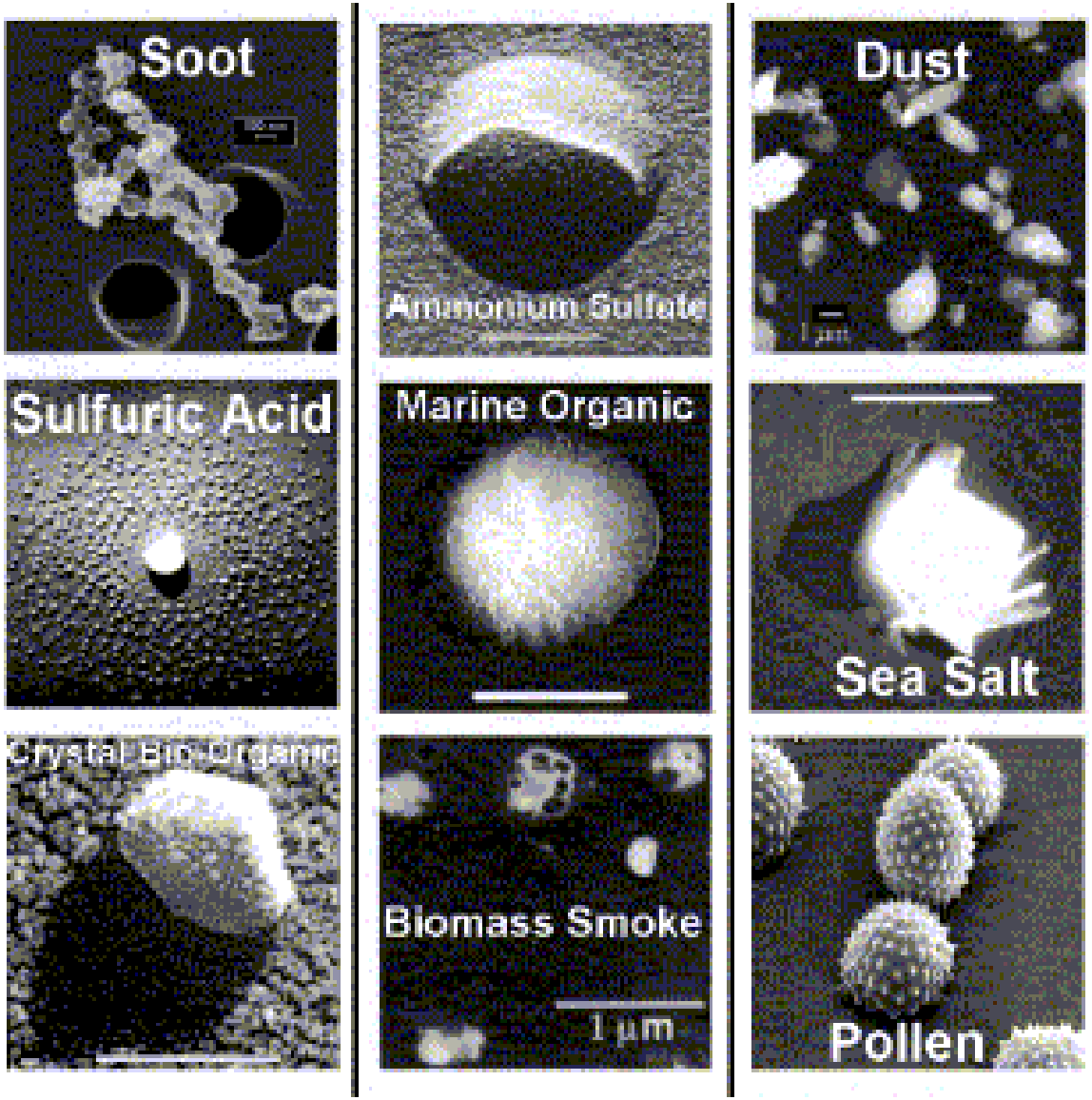
Faltan reacciones que destruyen ozono

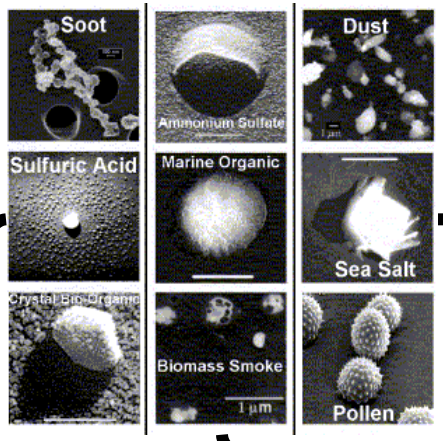
Liou, 2002

5 minutos

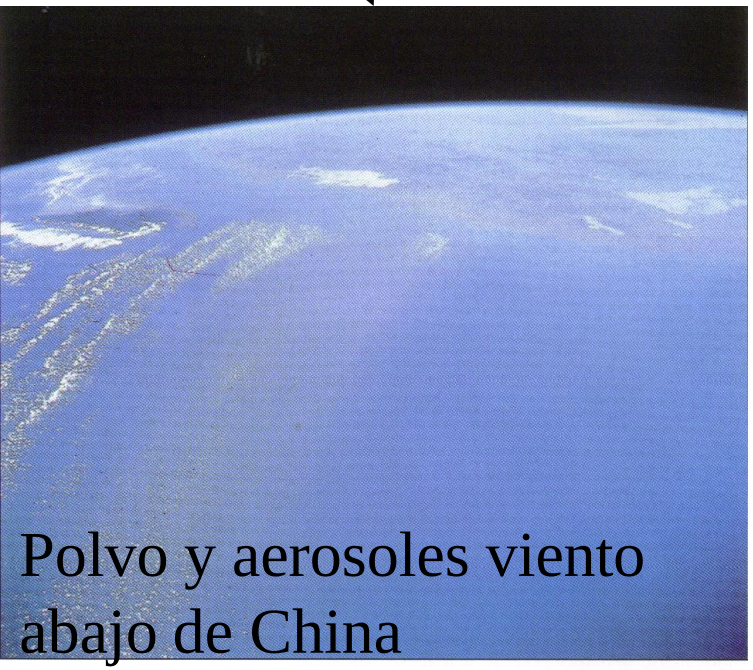
Aerosoles/Partículas
La atmósfera no es sólo gaseosa

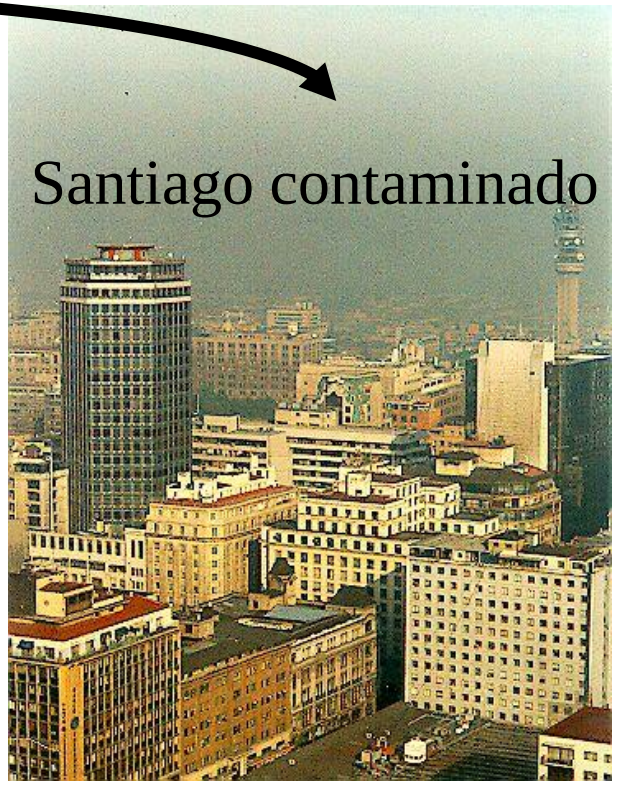
Aerosol:
una
combinación de
material
en fase
condensada
presente
en la atmósfera
así como aquél
dentro del
material
suspendido
que la contiene




Soot
Ammonium Sulfate
Dust
Sulfuric Acid
Marine Organic
Sea Salt
Crystal-Like Organic
Biomass Smoke
1 µm
Pollen


Capa de Junge


Polvo y aerosoles viento abajo de China


Santiago contaminado

Los aerosoles y sus roles...

- Absorben, emiten y reflejan luz ("scattering")

...afectan el balance radiativo del planeta

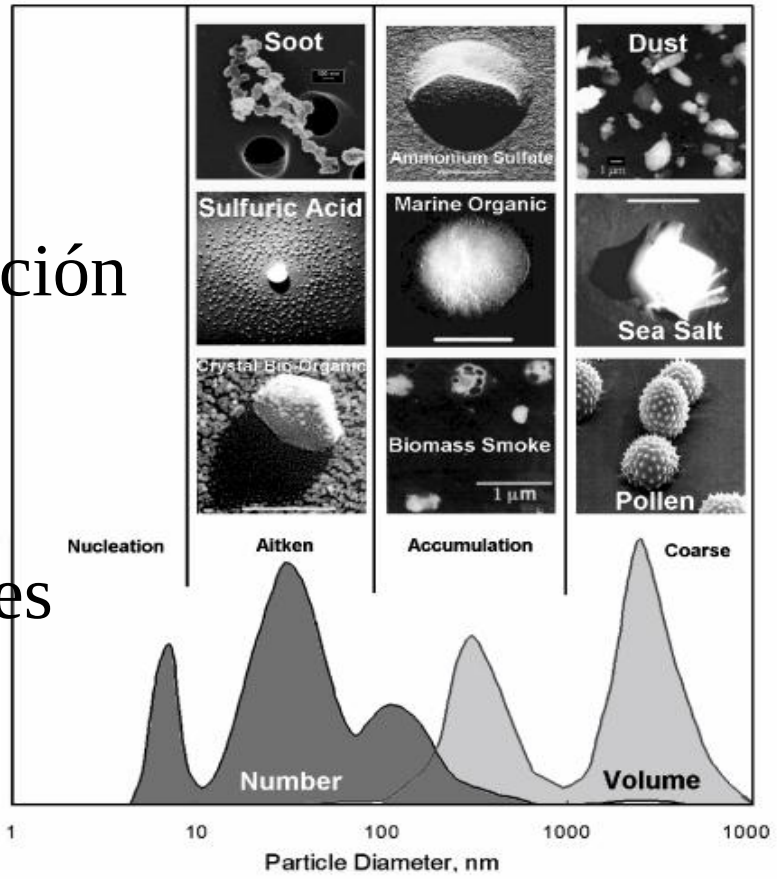
- Proveen superficies para la deposición de moléculas

...favorecen la condensación y formación de nubes

- Proveen superficies sobre las cuales ocurren reacciones químicas

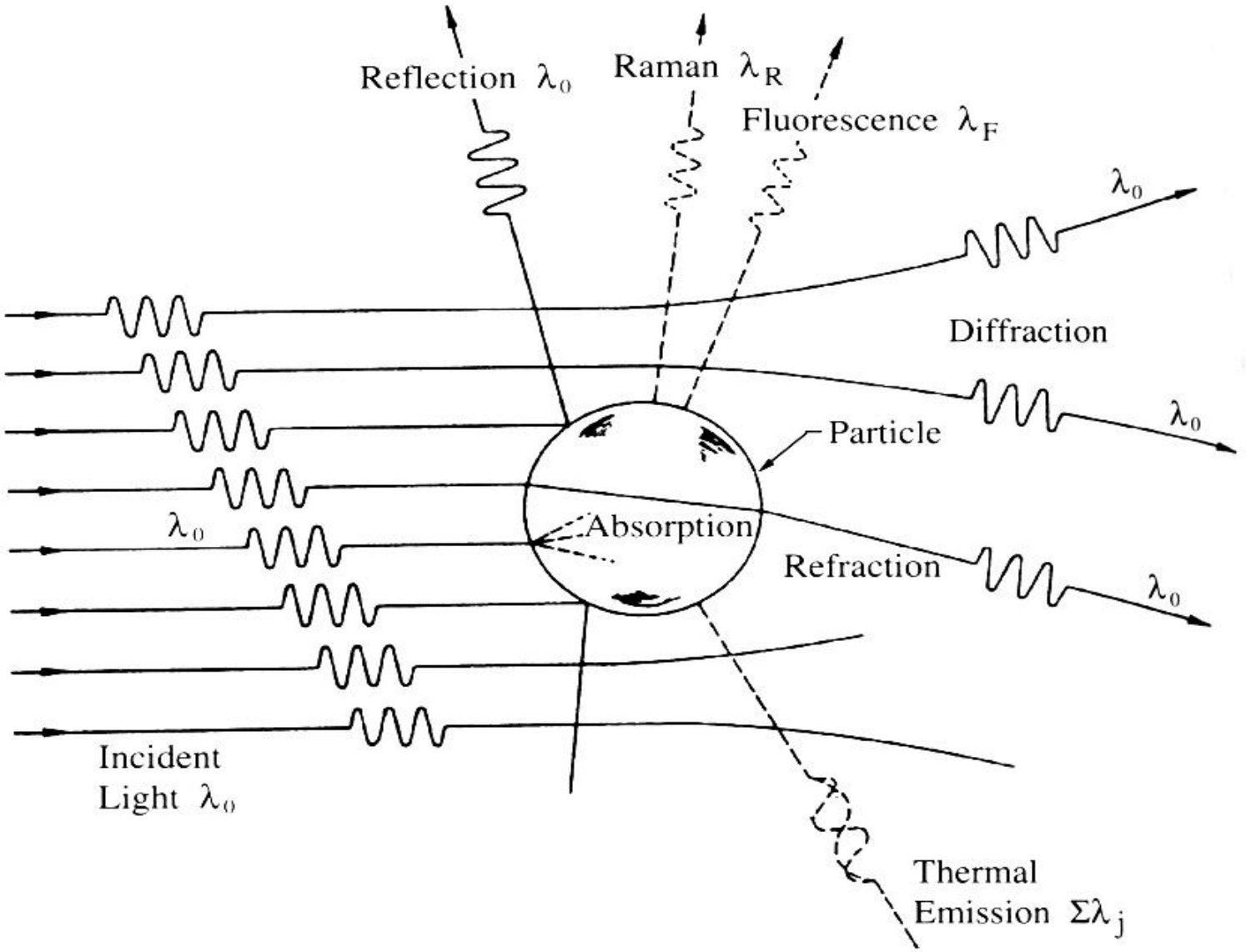
...actúan como catalizadores de reacciones

Además, al ser respirables (<10μm), pueden provocar efectos sobre la salud.



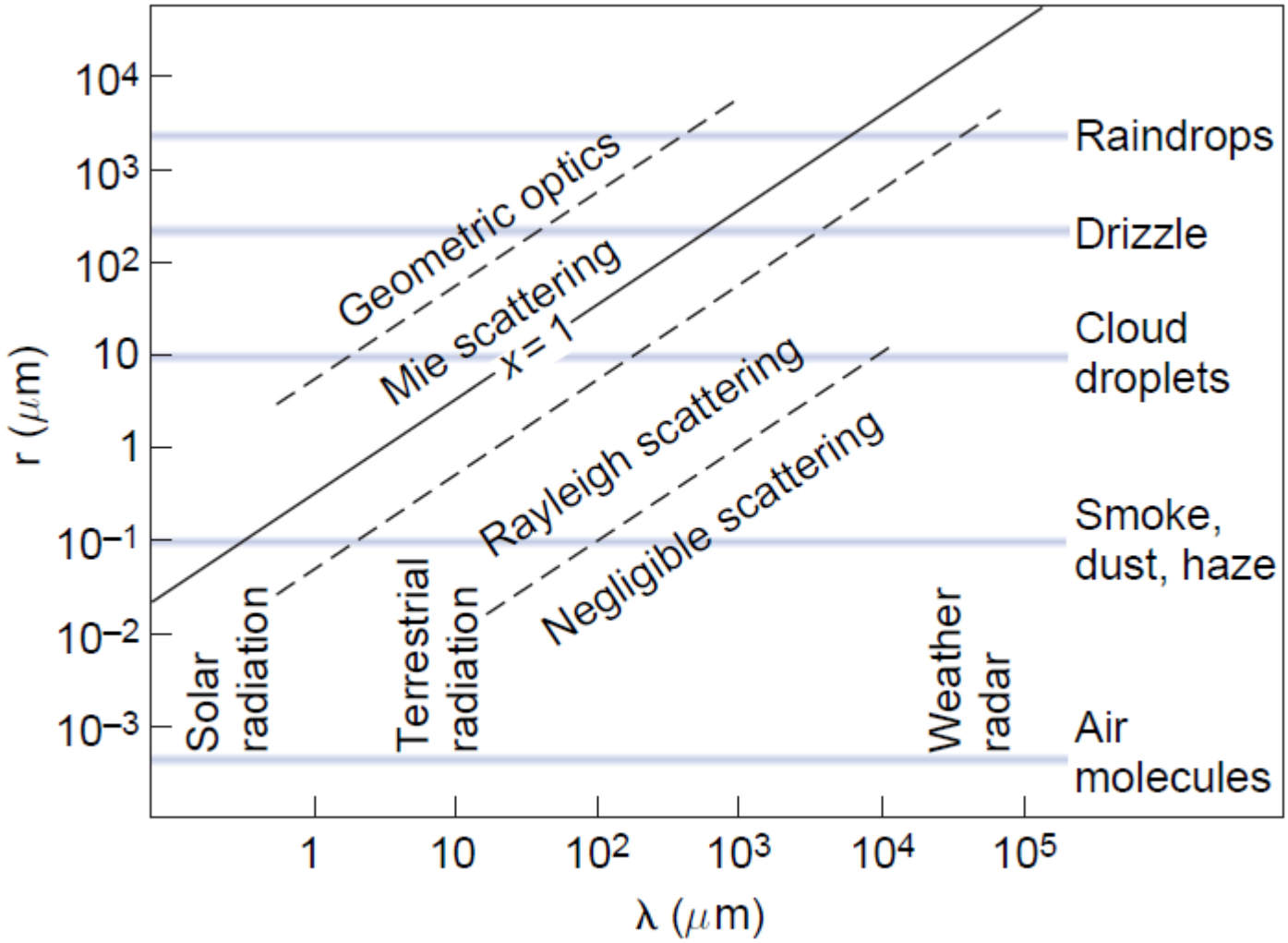
IGBP/IGAC 2004

Interacciones entre partícula y radiación electromagnética...



Seinfeld & Pandis, 1998/2006

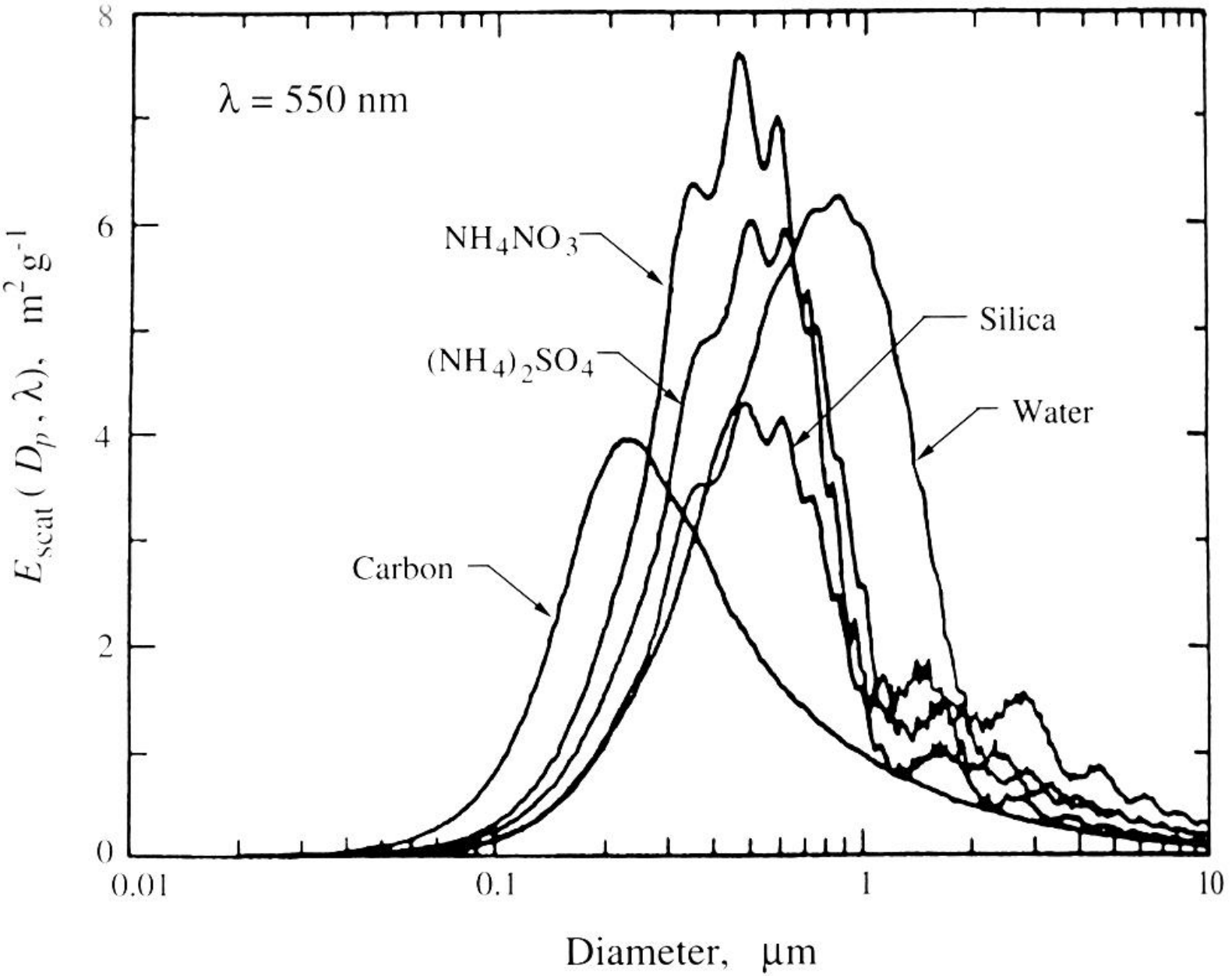
Las interacciones con la radiación e.m dependen del tamaño de las partículas



Wallace & Hobbs, 2006

Y de la composición

Seinfeld & Pandis, 1998/2006

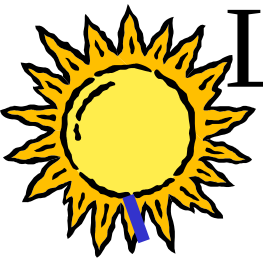


Óptica geométrica (λ <<r)

“Scattering” de Mie (λ ~r)

“Scattering” de Rayleigh (λ >>r)

Ley de Bouguer–Lambert-Beer



I_o

N,σ,K

I

$$dI_\lambda = -I_\lambda KN\sigma ds$$

$$ds = \sec\theta dz$$

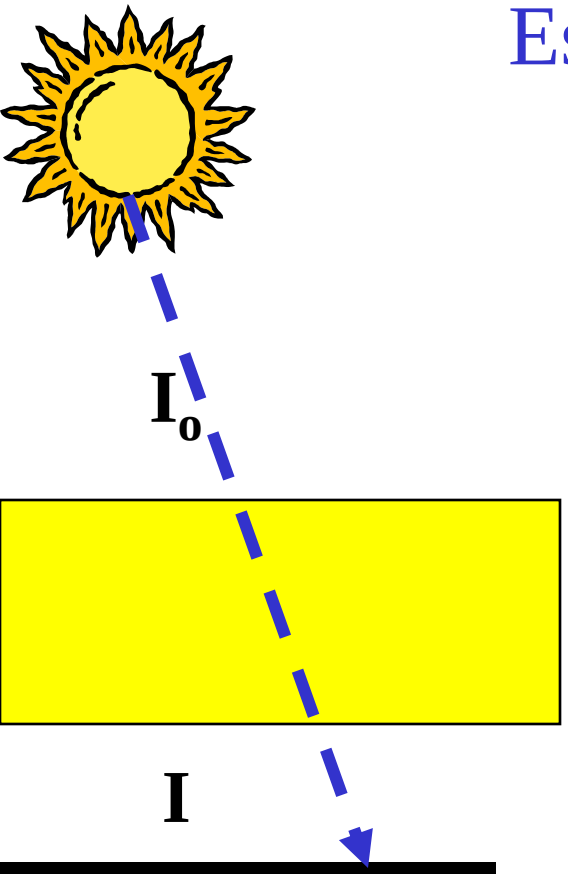
$$\Rightarrow I_\lambda = I_{\lambda\infty}\exp\left(-\tau_\lambda \sec\theta\right)$$

$$\tau_\lambda = \int_z^\infty KN\sigma dz$$

0

1852

Espesor óptico



$$I = I_o e^{-b_{ext} z} = I_o e^{-\tau}$$

$$b_{ext} = b_{scat} + b_{abs}$$

$$b_{abs} = b_{abs\_gas} + b_{abs\_part}$$

$$b_{scat} = b_{scat\_gas} + b_{scat\_part}$$

Jueves: Laboratorio de radiación

Próximamente

- **Dispersión por partículas:**
  - **Arcoiris**
  - **Rayleigh**
  - **Mie**
- **Balance radiativo (3)**
- **Perturbación antrópica**
- **Percepción remota**

http://www.atoptics.co.uk/droplets/gloab.htm

Lecturas de hoy

- Obligatoria
  - Wallace and Hobbs, Atmospheric Science (Ch. 4.: 4.4; 4.6; (4.5))
- Opcional
  - http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/bookchap7.html#13581
  - IPCC, 2007
- Más sobre transferencia radiativa
  - GF3004 (Sistema Climático)
  - GF500 (Física de la Atmósfera)