



GF3003

Ciencias Atmosféricas

Laura Gallardo Klenner

Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile

Otoño 2011

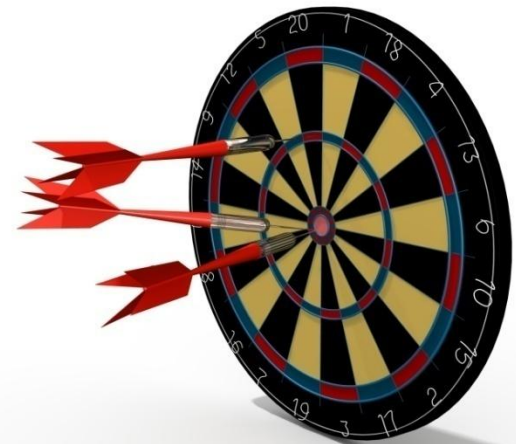
LGK 2011

HOY (Primera parte)

- Efecto invernadero
- Absorción UV y visible
- Algo de percepción remota
- *Ozono antártico*

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

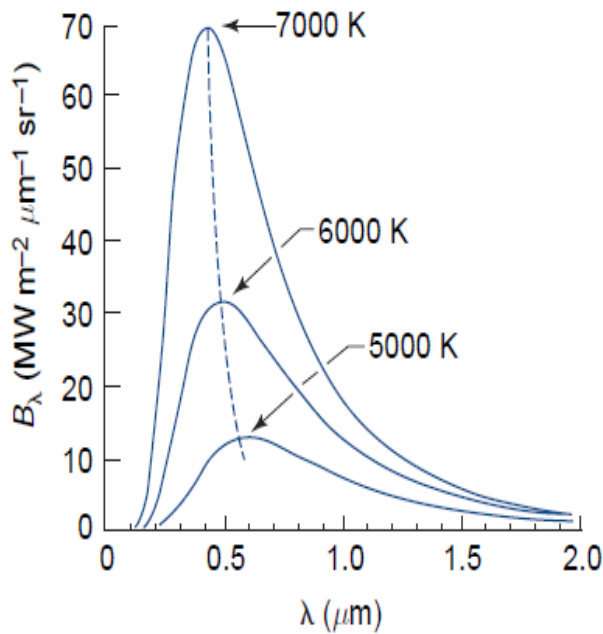
- Plantear y resolver ecuaciones de balance para radiación solar e infraroja
- Definir el concepto de “efecto invernadero”
- Describir y reconocer causas naturales y antrópicas del efecto invernadero en la Tierra
- Identificar gases responsable de la absorción de radiación solar en la atmósfera terrestre
- Describir principios de sensoramiento remoto pasivo (e.g., NO_2)



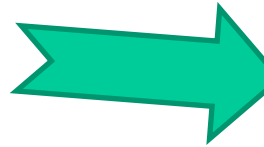
A photograph of a rainbow arching over a body of water, likely a lake or sea. The rainbow is vibrant with colors of red, orange, yellow, green, and blue. The water below is dark and reflects the light. The sky above is a deep blue. The text is overlaid on the bottom half of the image in a bold, yellow font.

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

A partir de la función de Planck:

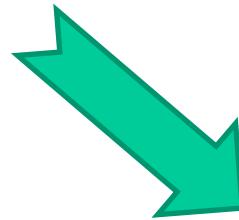


$$\frac{\partial}{\partial T}$$



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

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



Balance radiativo sólo con albedo

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

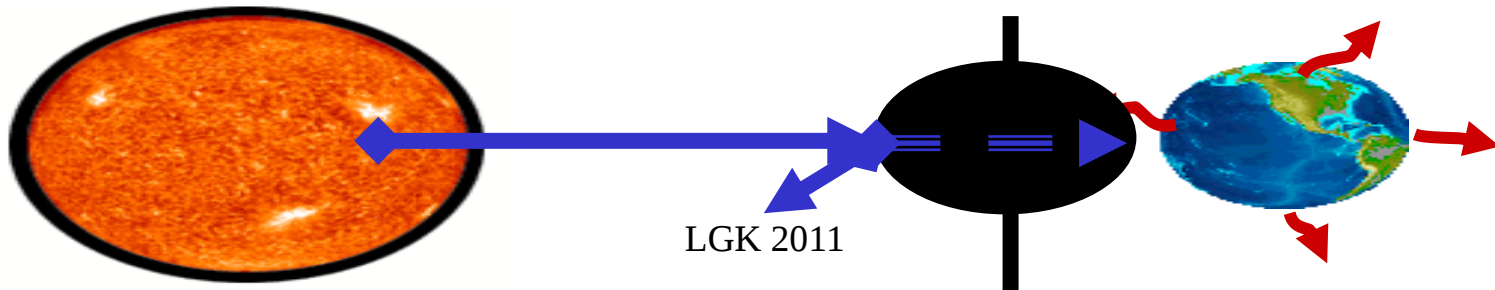
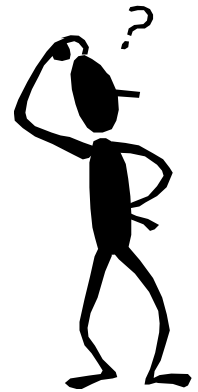
$$E_{\text{sale}} = \sigma T^4 4\pi R^2$$

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

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

$$\alpha \approx 0.3$$

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



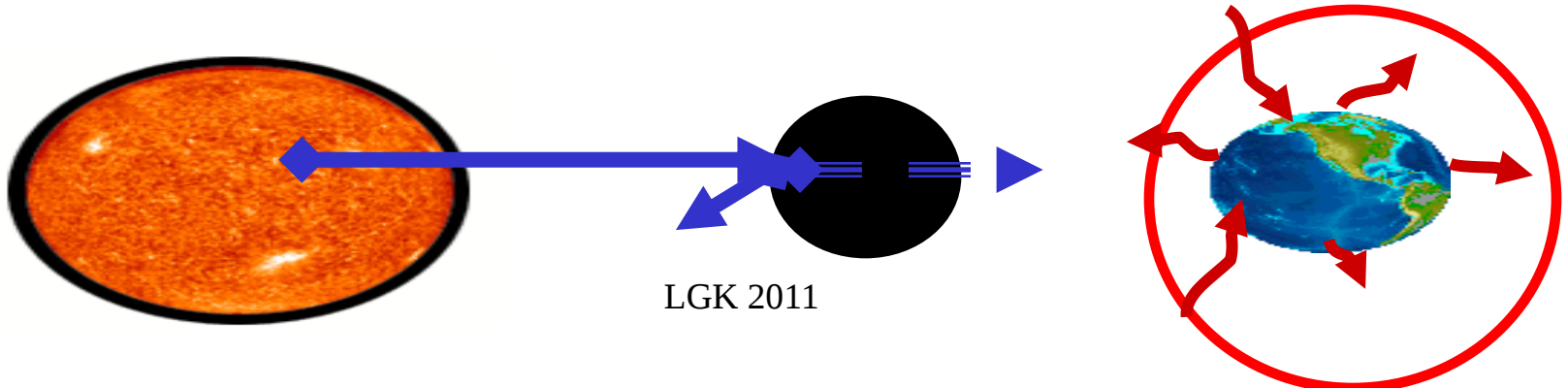
Hay algo (x=efecto invernadero) que hace aumentar la temperatura a nivel de la superficie...

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

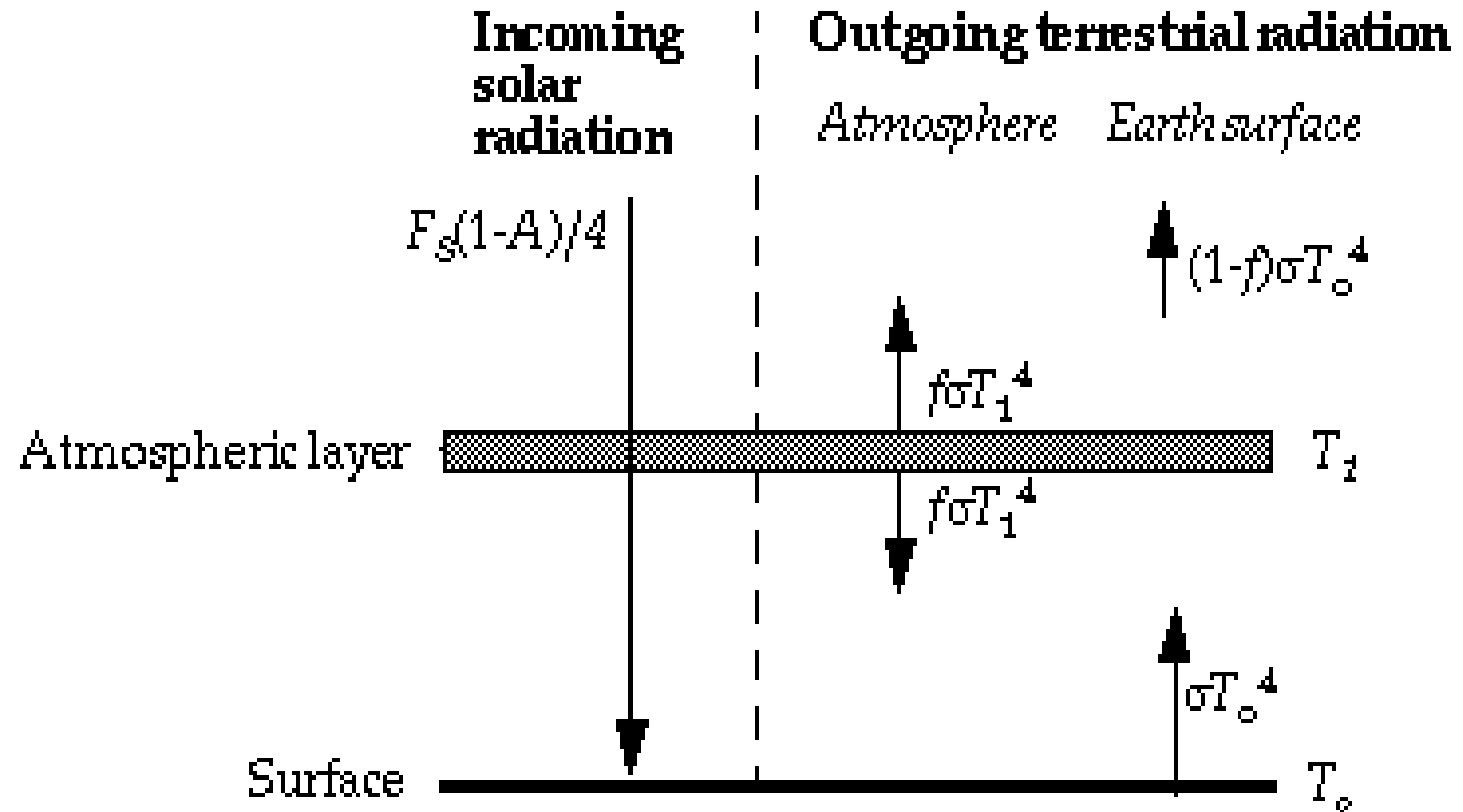
$$E_{\text{sale}} = \sigma T^4 4\pi R^2 (1 - x)$$

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

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

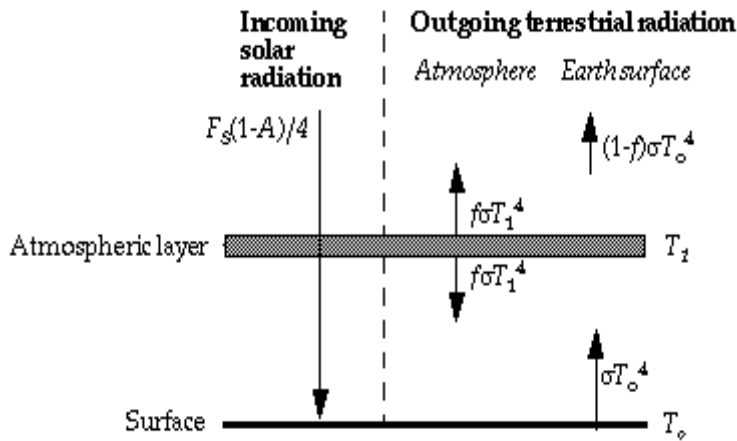


Modelo de dos capas con efecto invernadero



LGK 2011

Balance de energía por capas



Al tope de la atmósfera (TOA):

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

En la superficie:

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

En la capa atmosférica

$$\sigma T_o^4 = 2\sigma T_1^4 \quad (3)$$

$$f\sigma T_o^4 = 2f\sigma T_1^4 \quad (3)$$

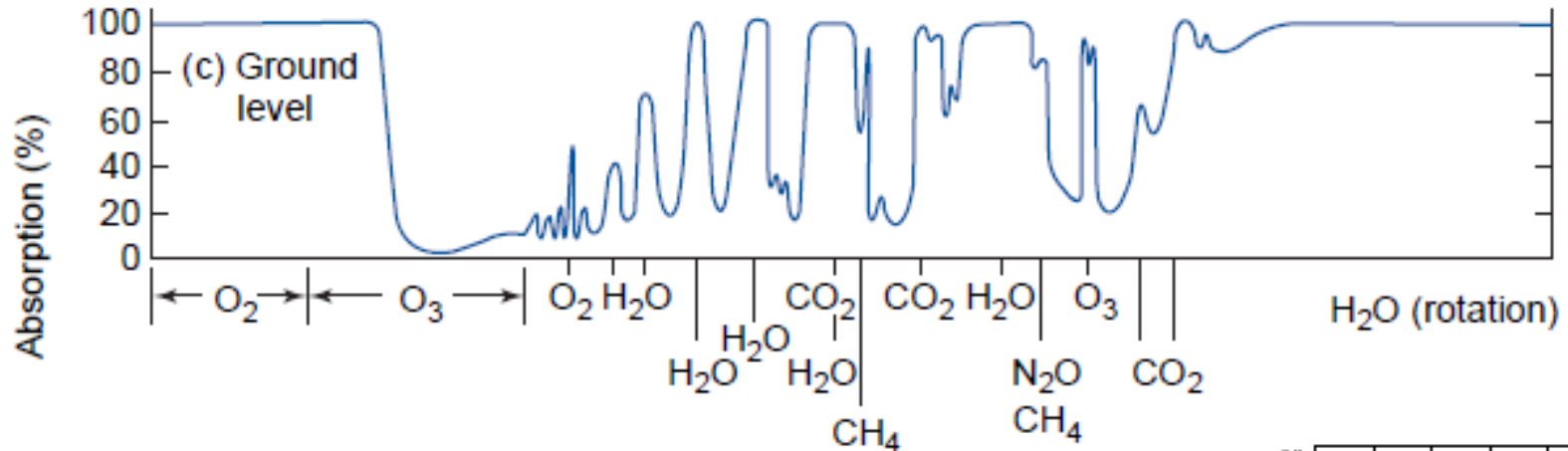
(Ley de Kirchoff)

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

$$f = 0.77$$

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

Pero:

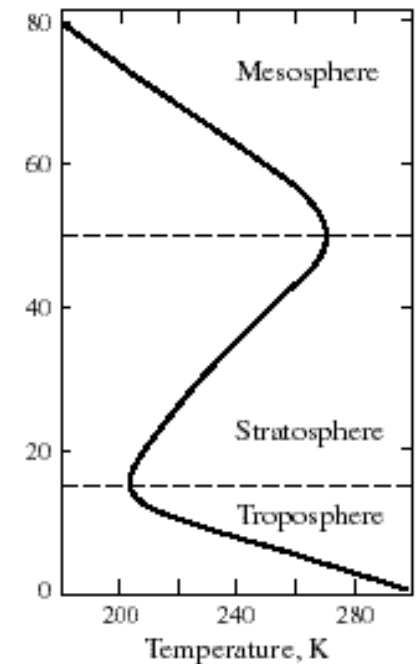


La atmósfera NO absorbe el 77% del IR

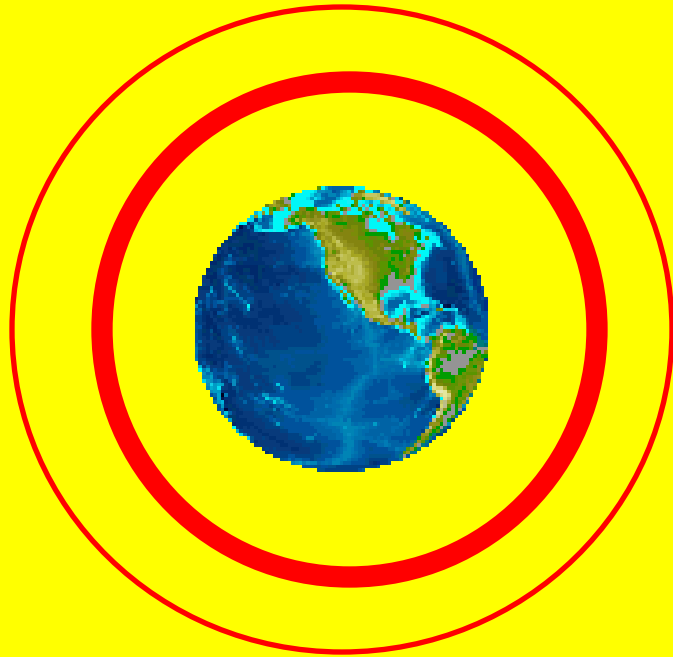
Y T1 correspondería a un TOA en ~7 km

Problemas:

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



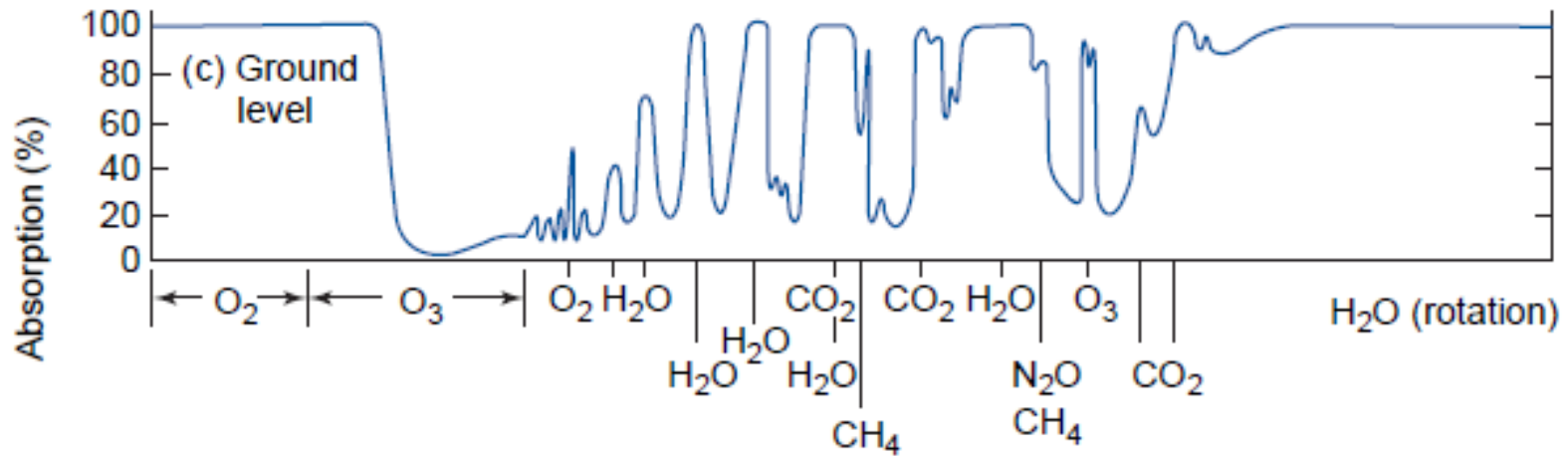
Propuesto: ¿Piel planetaria? (*planetary skin*)



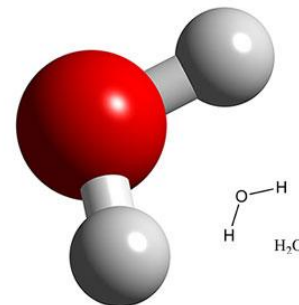
Considera una capa atmosférica con absorptividad $f=0.77$ y temperatura T_a y una capa más tenue con $f \ll 1$ y temperatura T_p .

Suponiendo que ambas capas son transparentes a la radiación solar, calcula T_p . La temperatura de la superficie es $T_o=288$ K y la radiación solar incidente $F=241$ W/m²

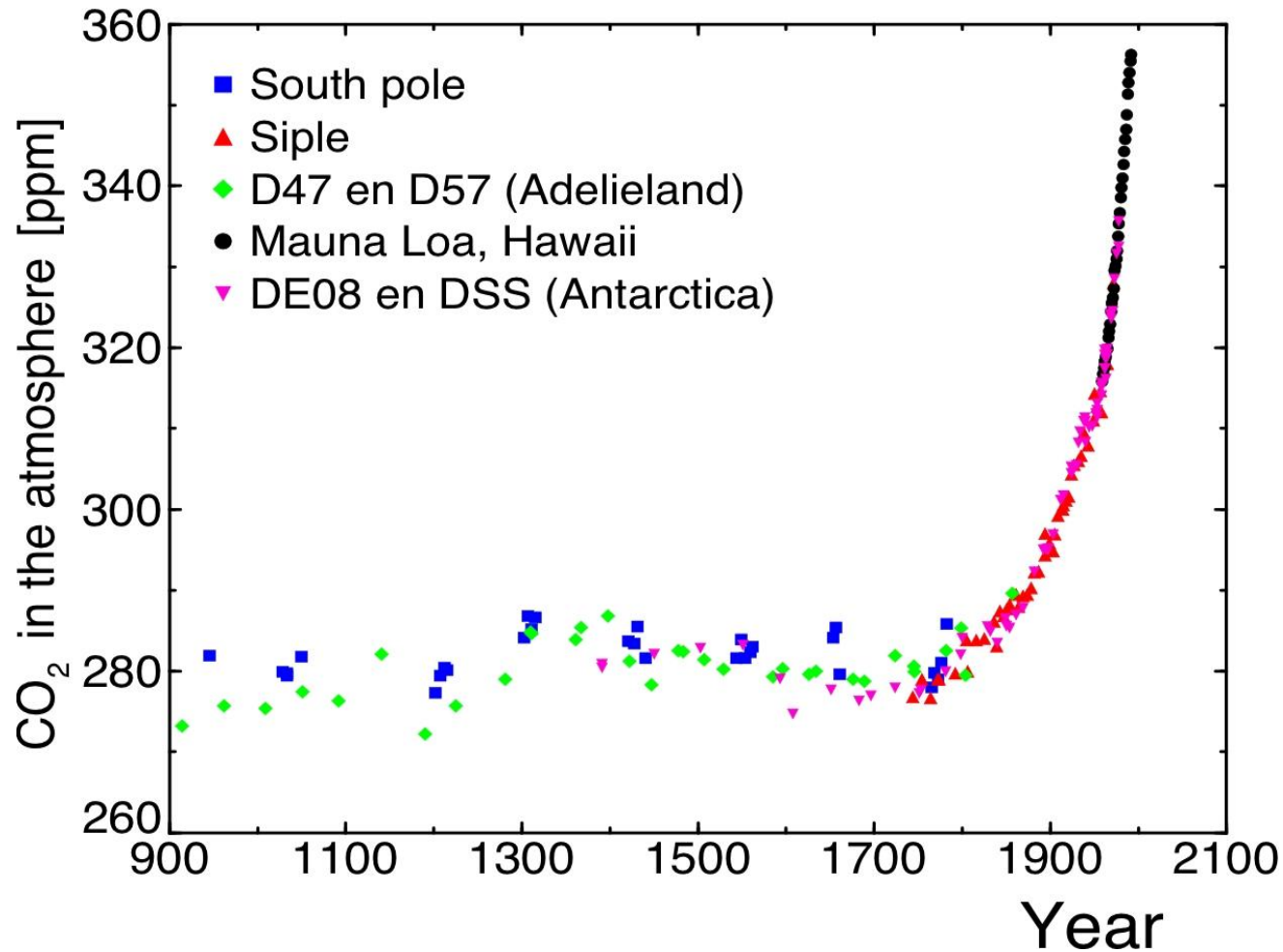
¿Cuál es el GEI más importante?



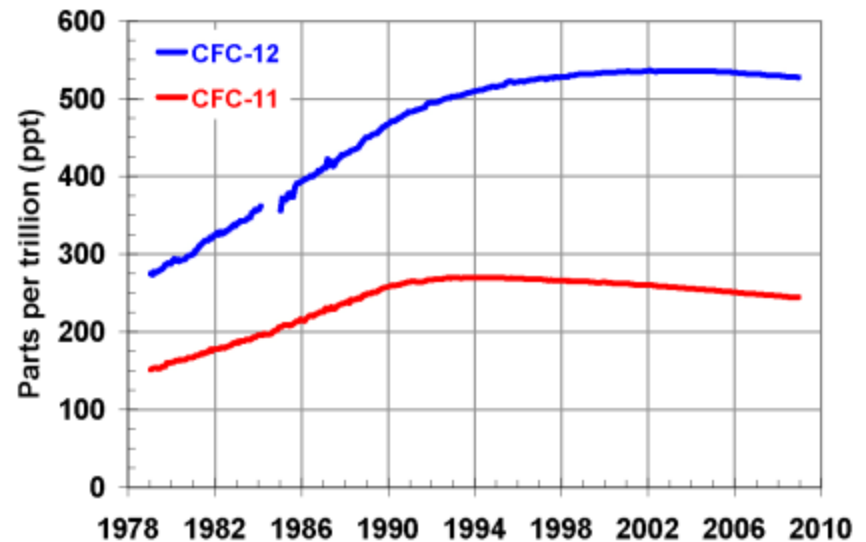
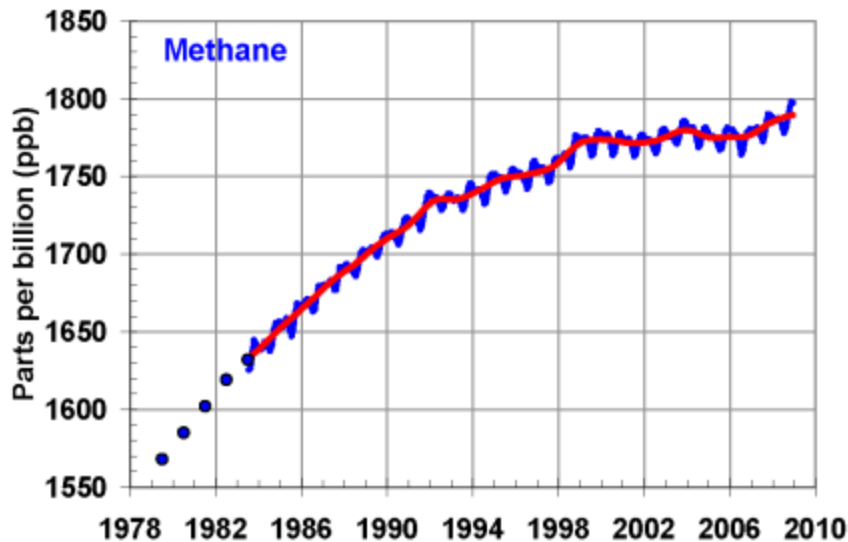
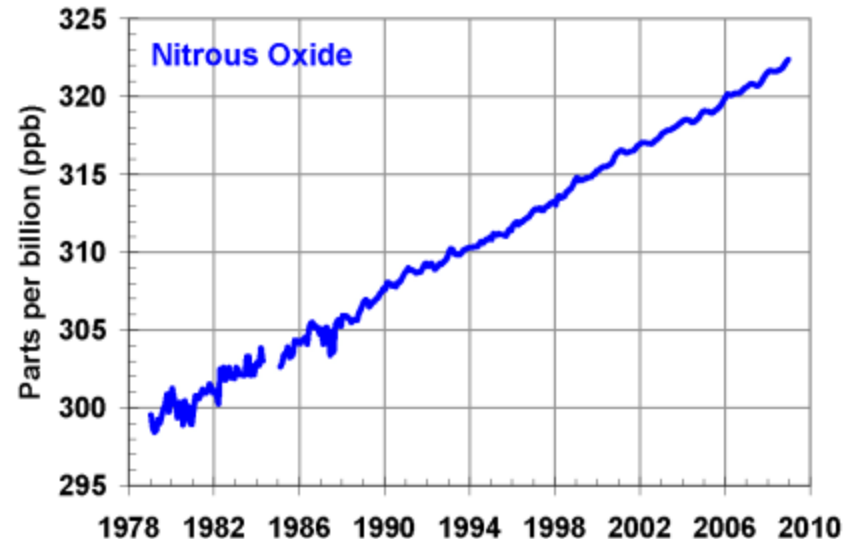
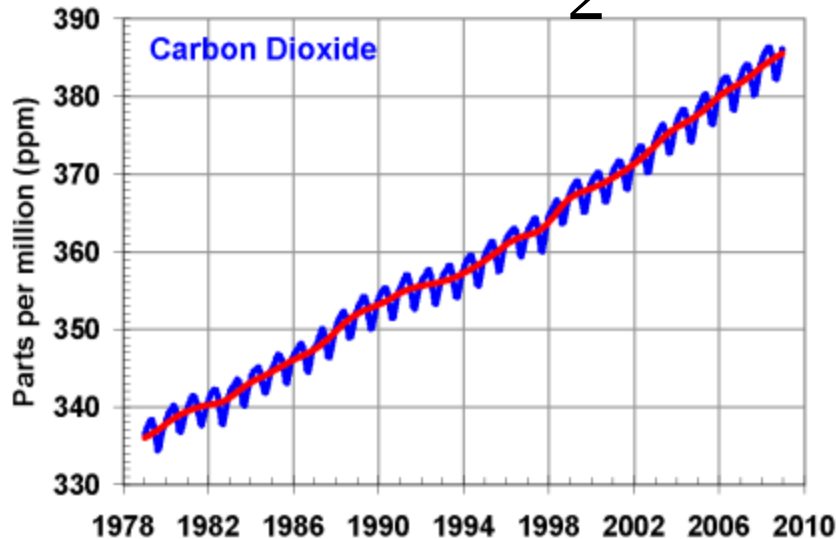
!!!!El vapor de agua!!!!



Pero estamos aumentando otros GEI



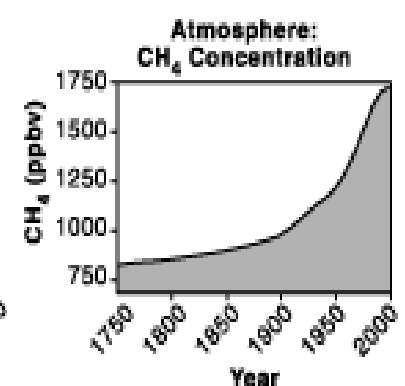
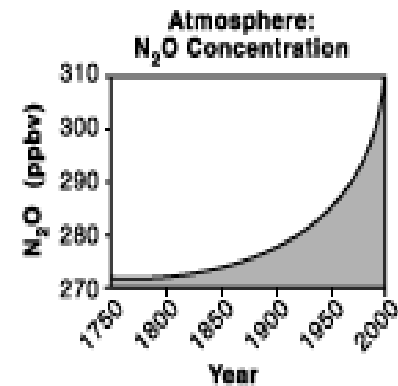
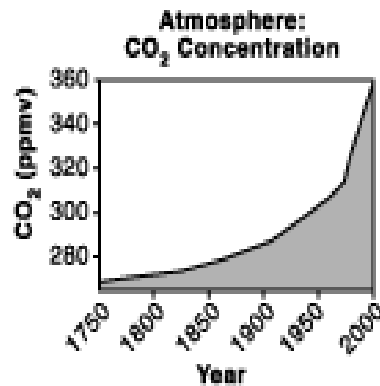
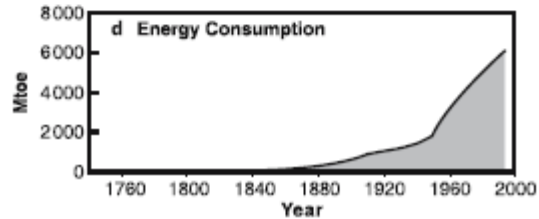
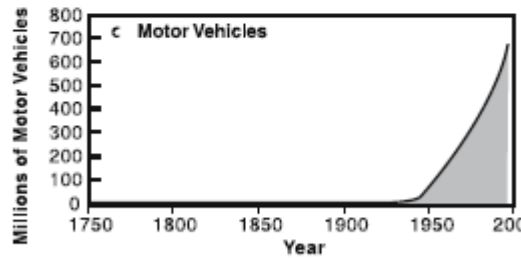
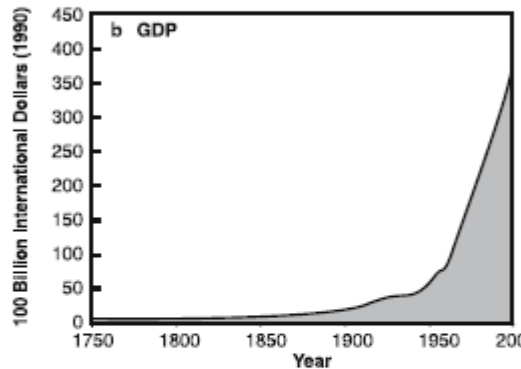
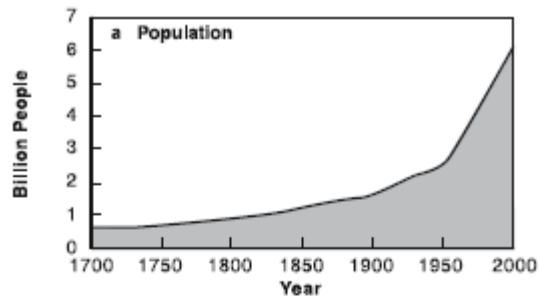
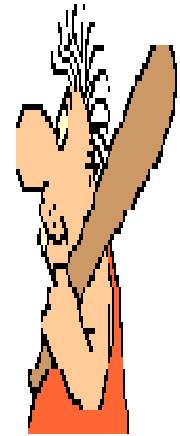
Y no sólo CO₂...



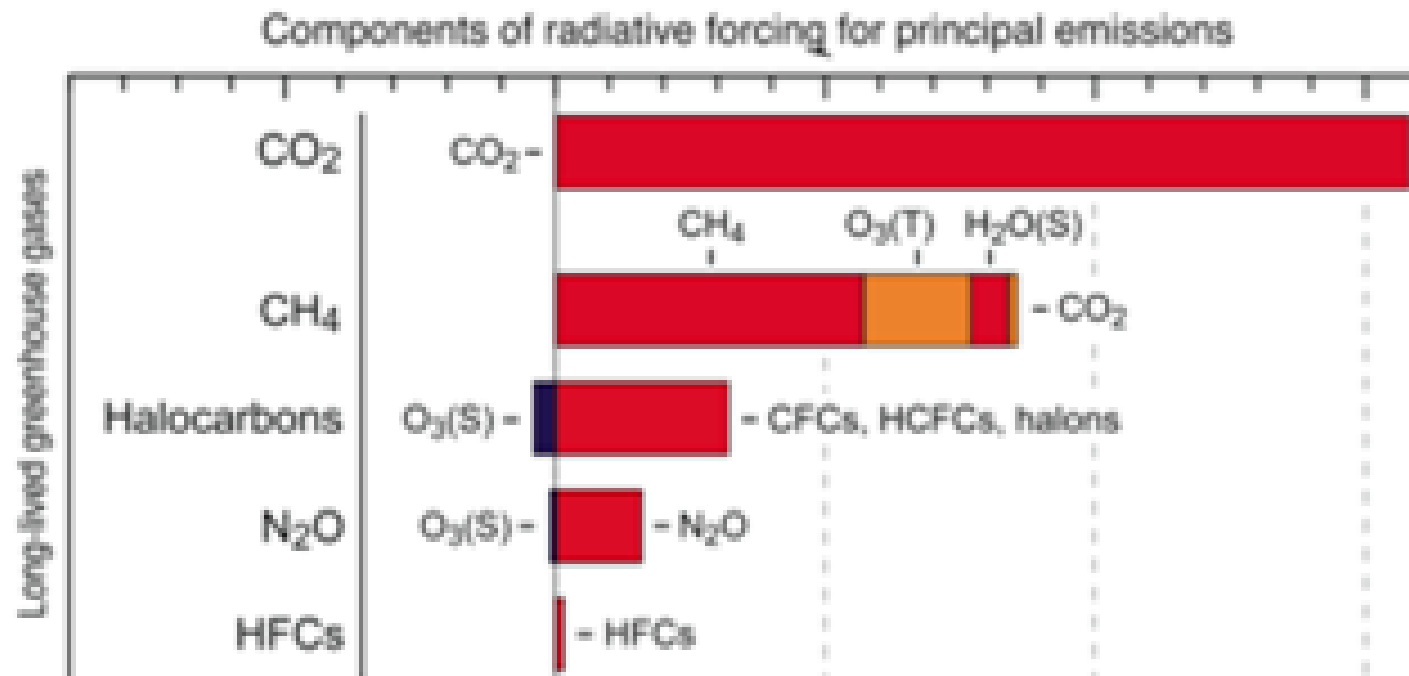
LGK 2011

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

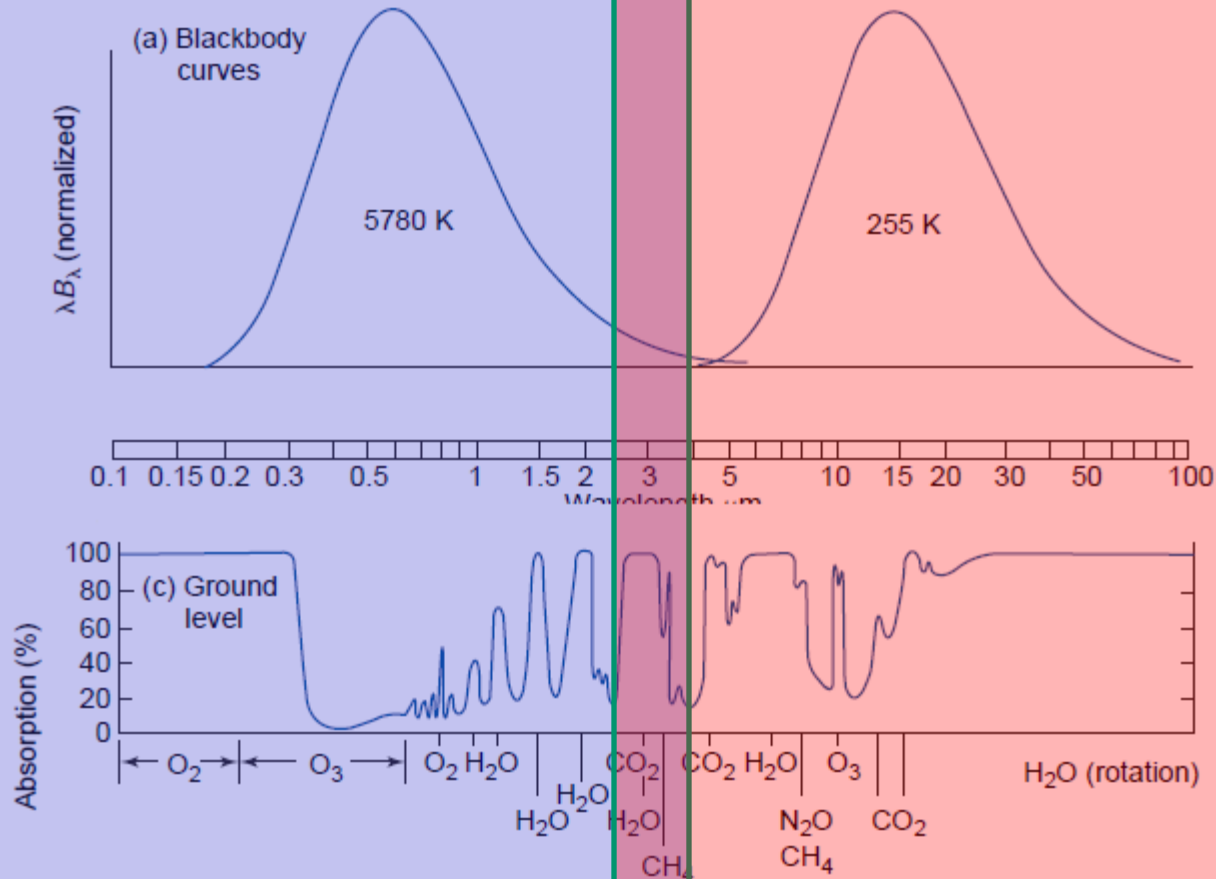
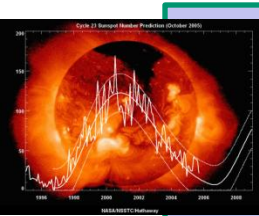
¿Por qué?



¿Cuál es el GEI antrópico más importante?



Radiación absorbida en la atmósfera

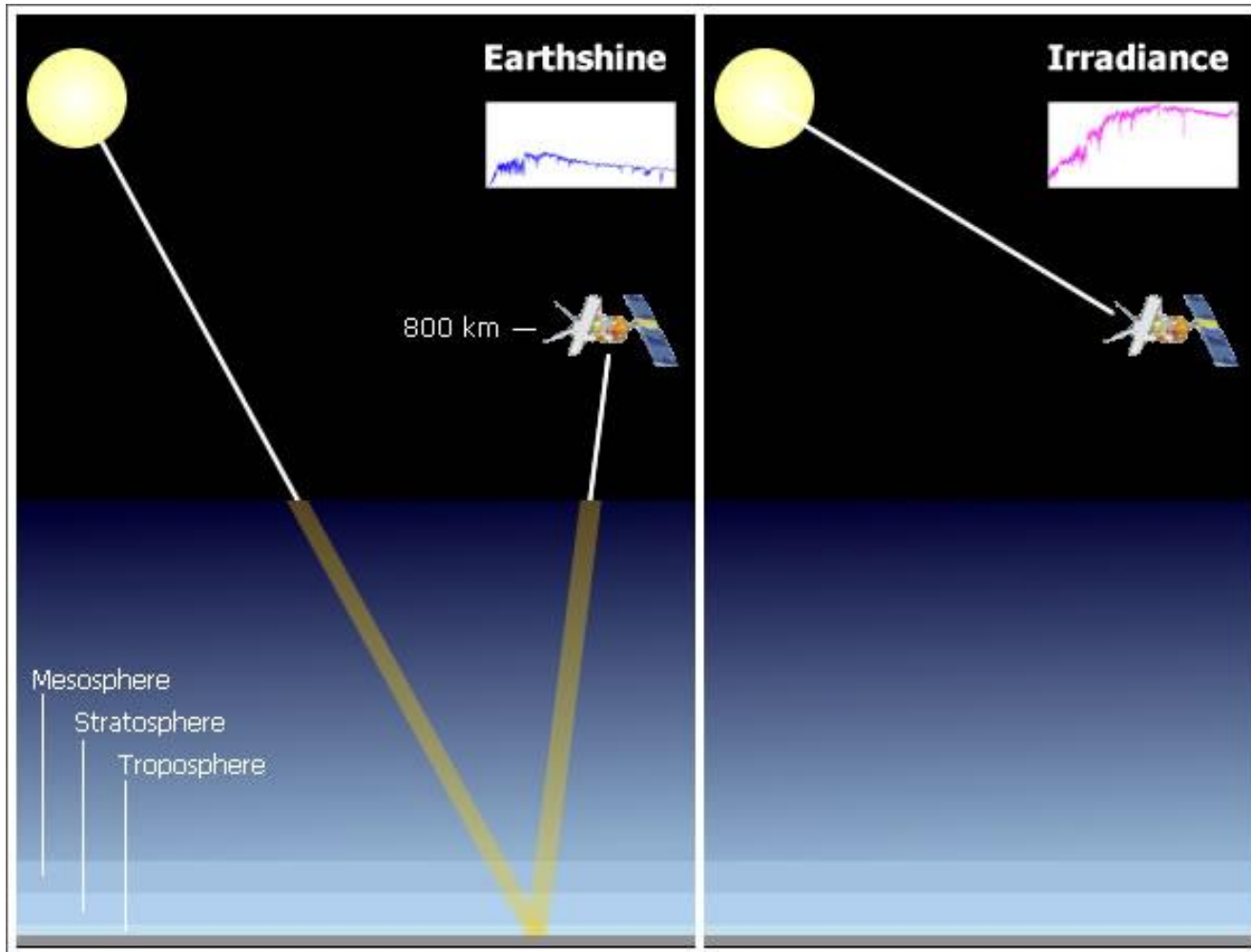


Dióxido de nitrógeno y el color rojizo de las atmósferas contaminadas

(las interacciones con rad. e.m. permiten el sensoramiento remoto)

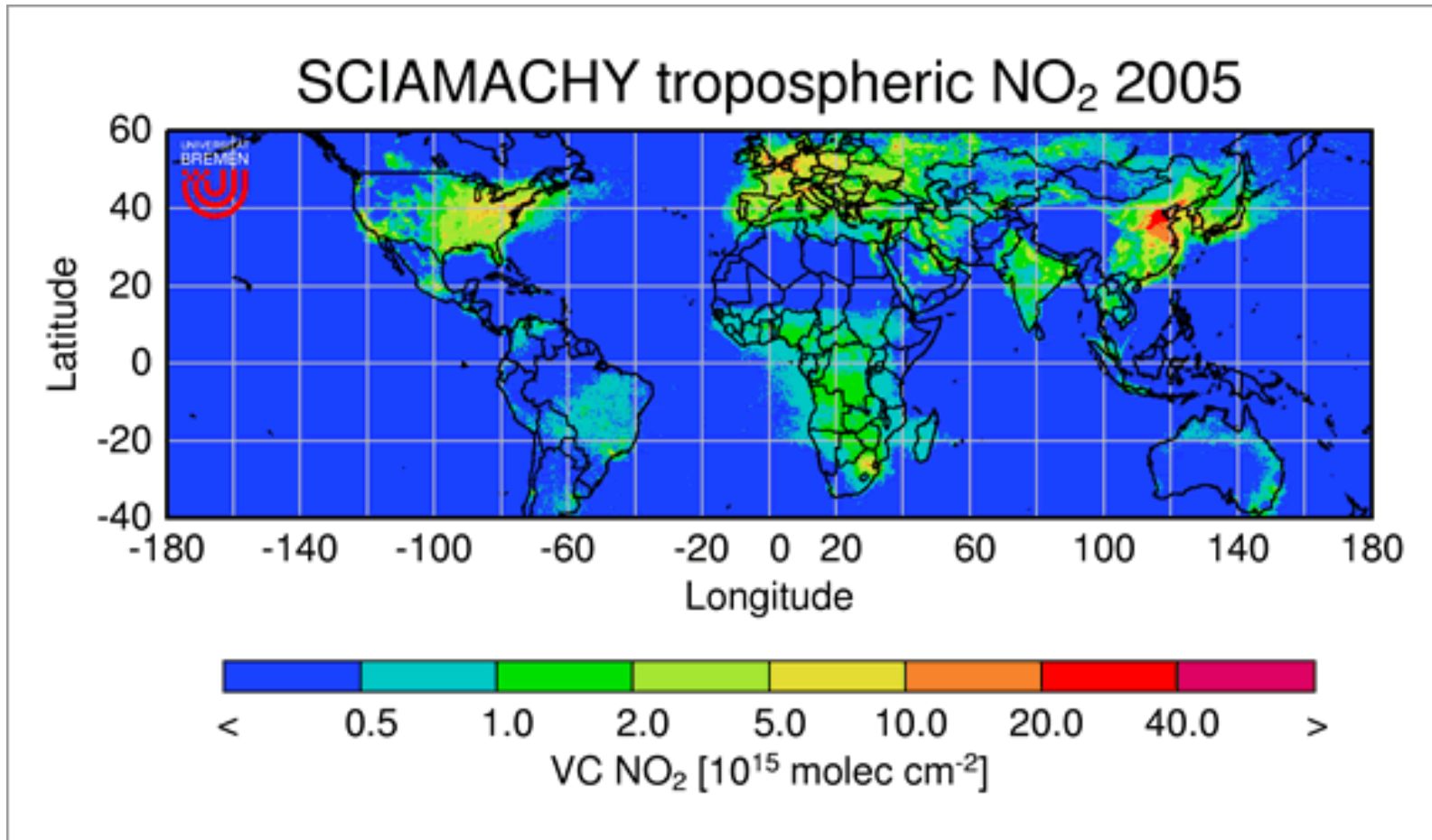


Infiriendo NO_2 desde satélites



Cuánto NO_2
hay se infiere
de la
diferencia de
los espectros

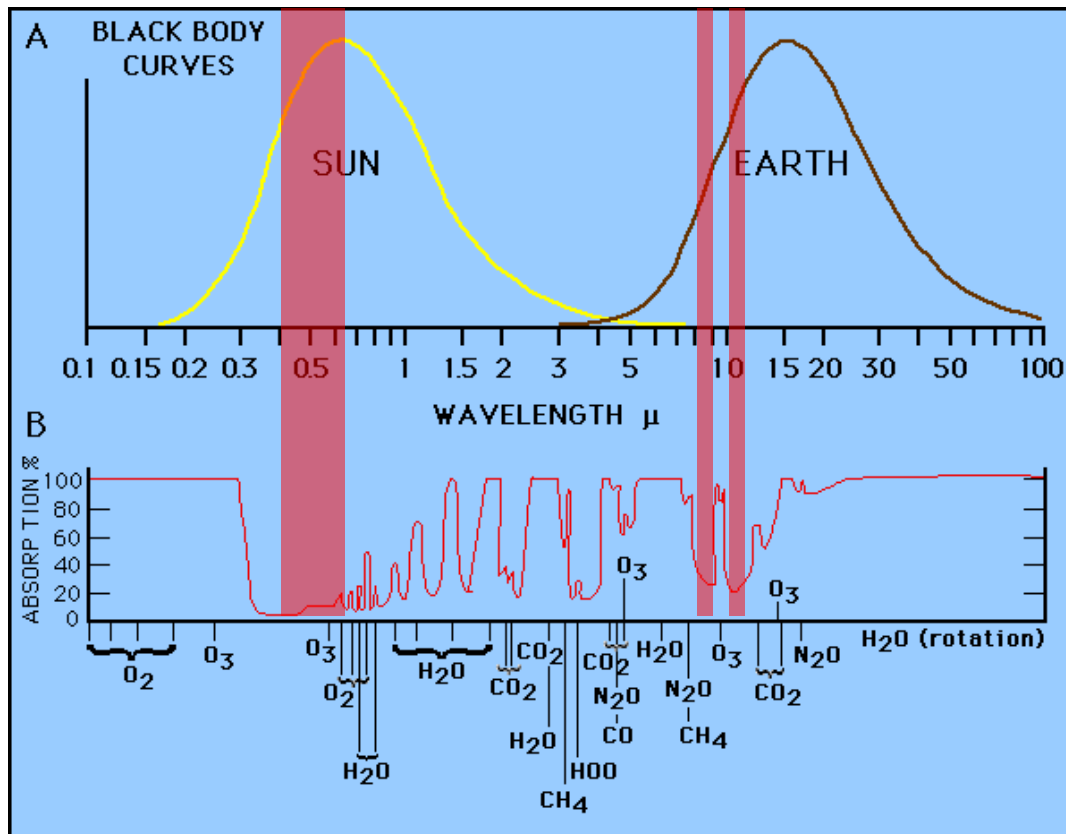
Monitoreo global y remoto



LGK 2011

http://www.iup.uni-bremen.de/E-Learning/at2-els_NO2/index.htm

Ventana infrarroja e inferencia de temperaturas

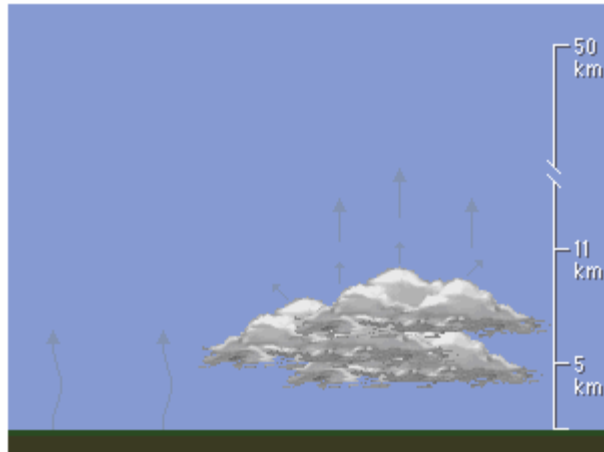
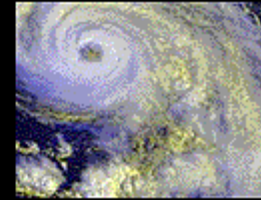


La radiación IR a 8 μ m y 11 μ m es debilmente absorbida: **ventana infraroja....**

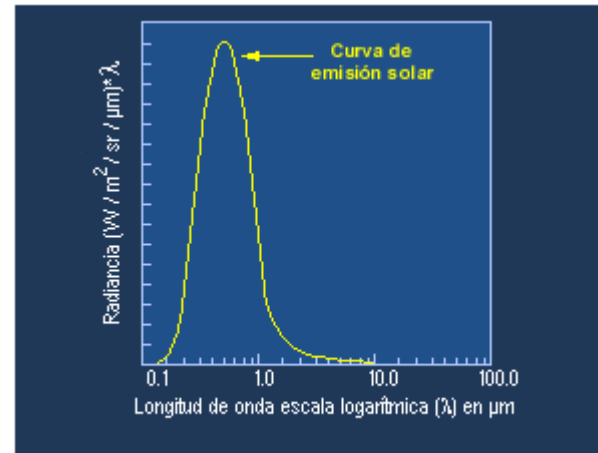
Permite estimar temperatura superficial y tope de nubes

Satélite

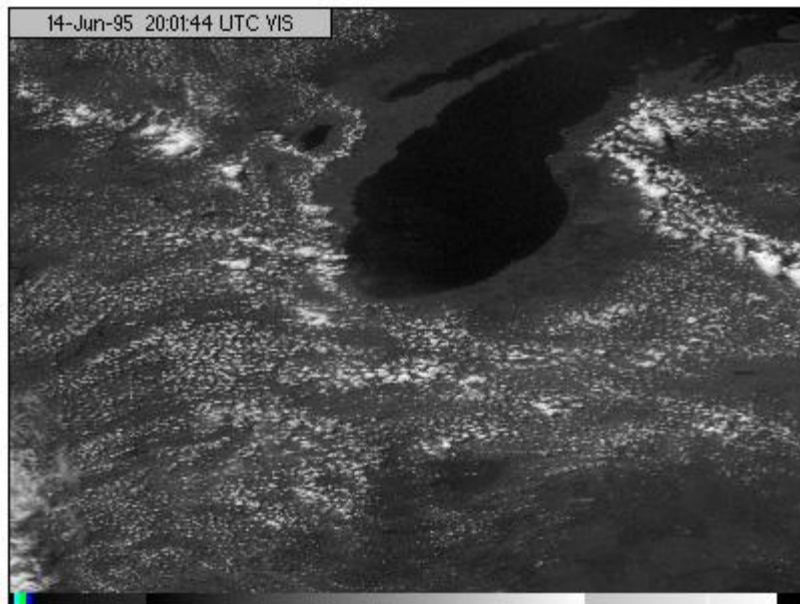
The GOES Program *Geostationary Operational Environmental Satellite*



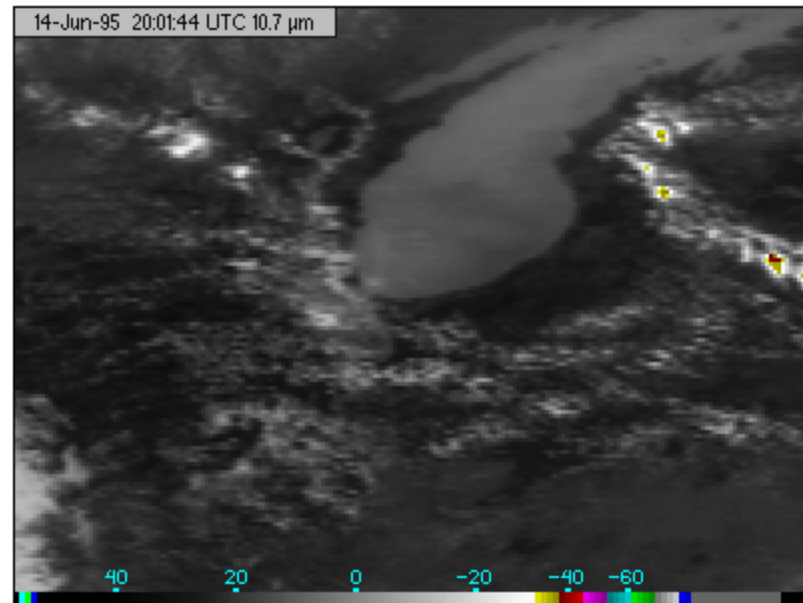
The COMET Program



The COMET Program

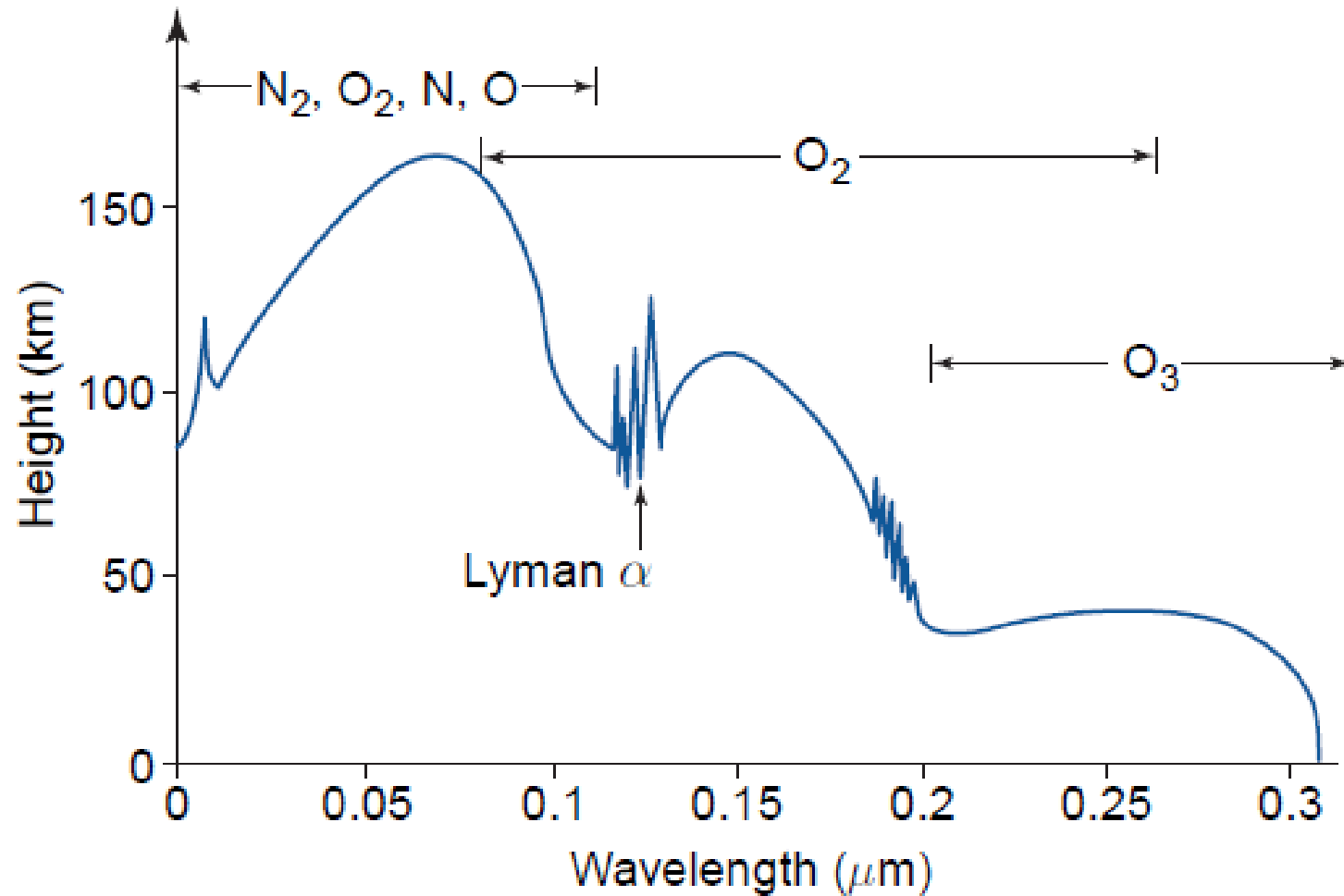


NOAA



NOAA

Absorción por gases en UV y visible



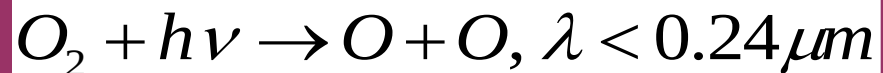
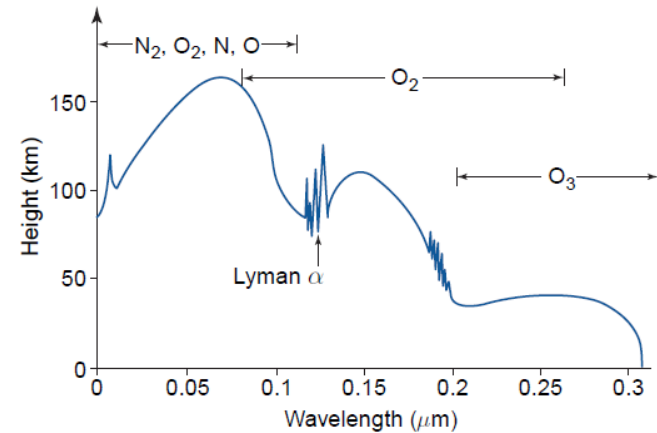
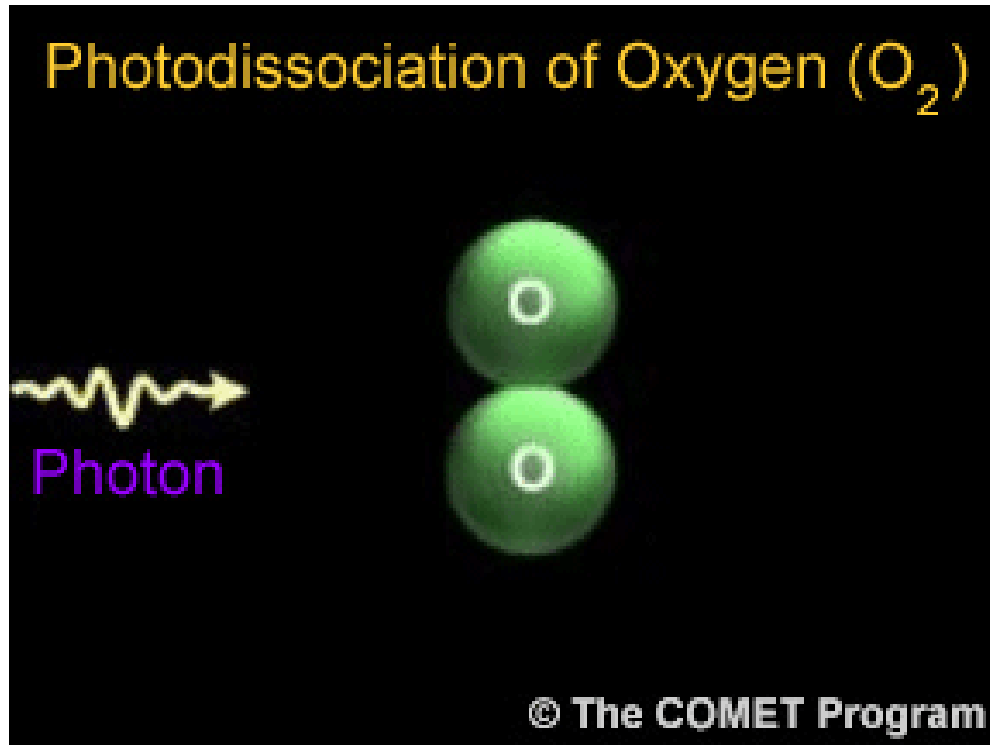
$1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$

LGK 2011

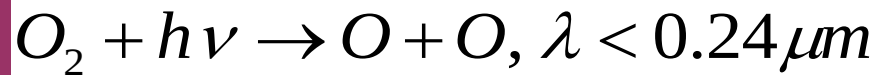
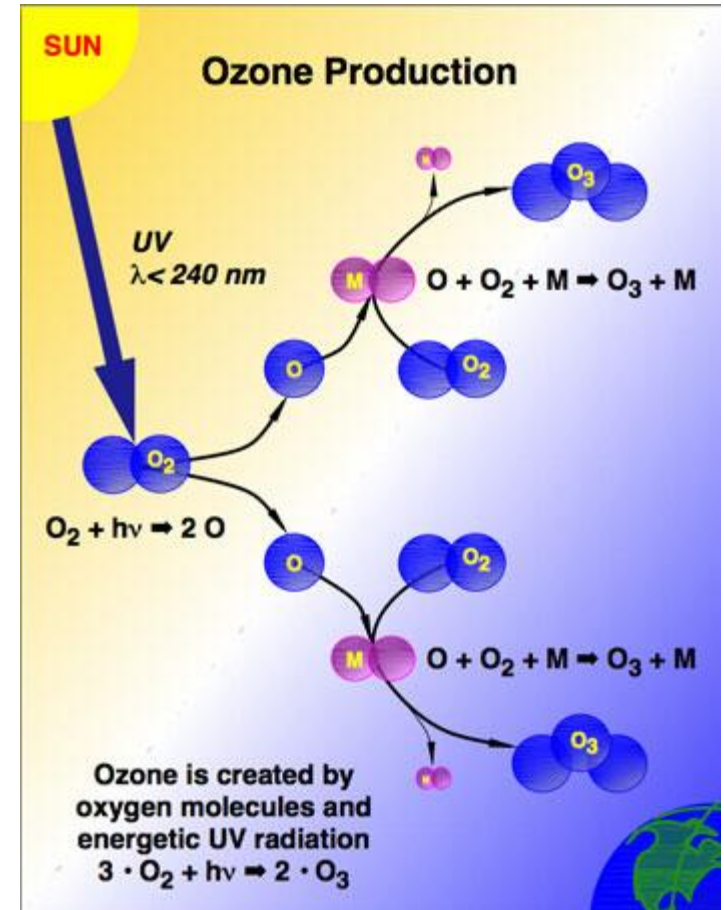
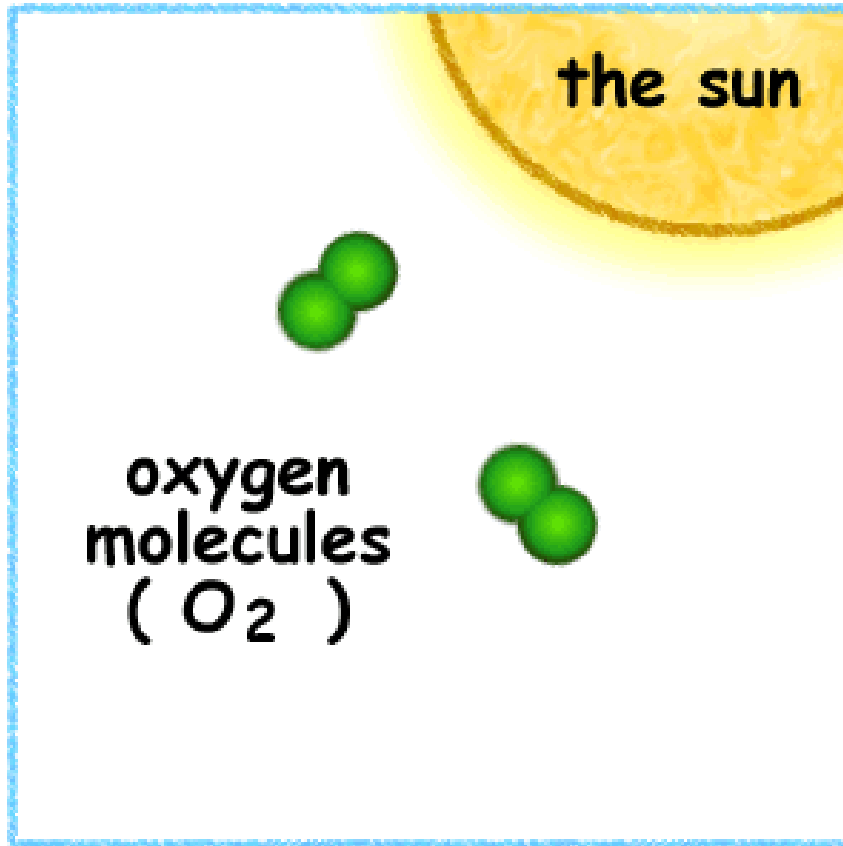
Liou, 2002



Fotodisociación de oxígeno molecular

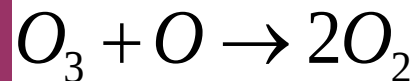
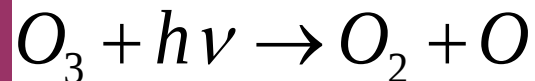
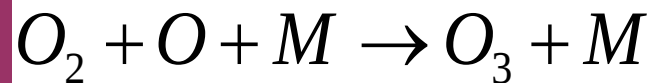
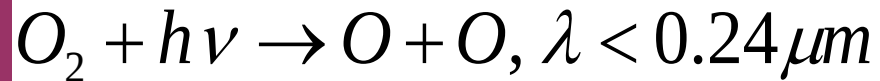


Ozono en la estratósfera

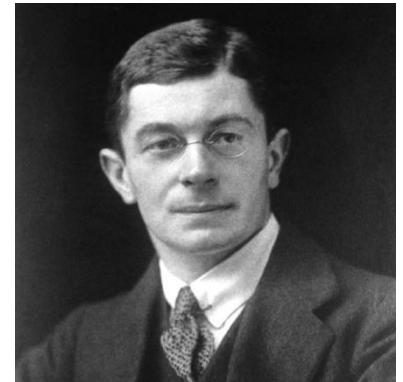


LGK 2011

El ozono se fotoliza y se recombina



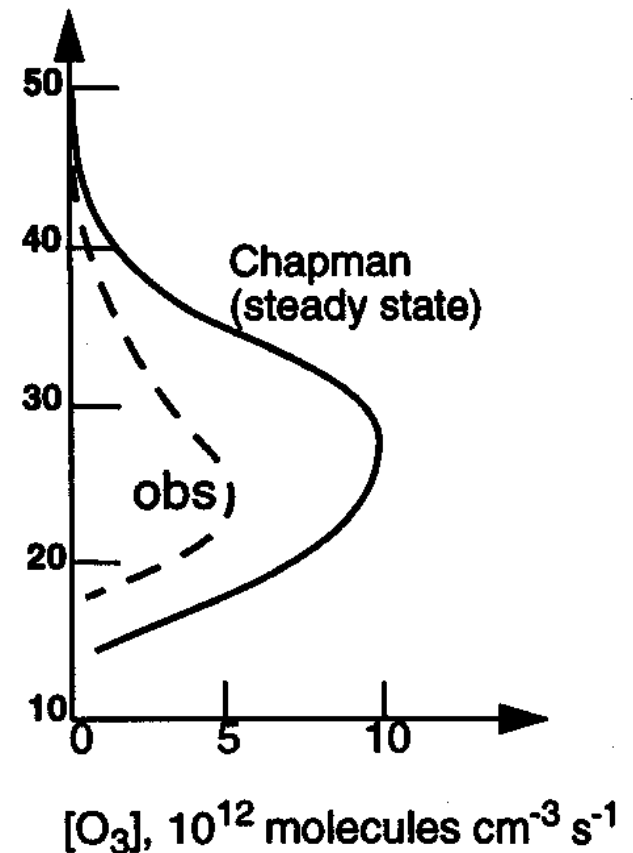
$$[O_3]_{\text{eqb}} \cong \left(\frac{J_2 K_{12}}{J_3 K_{13}} [M] \right)^{1/2} [O_2].$$



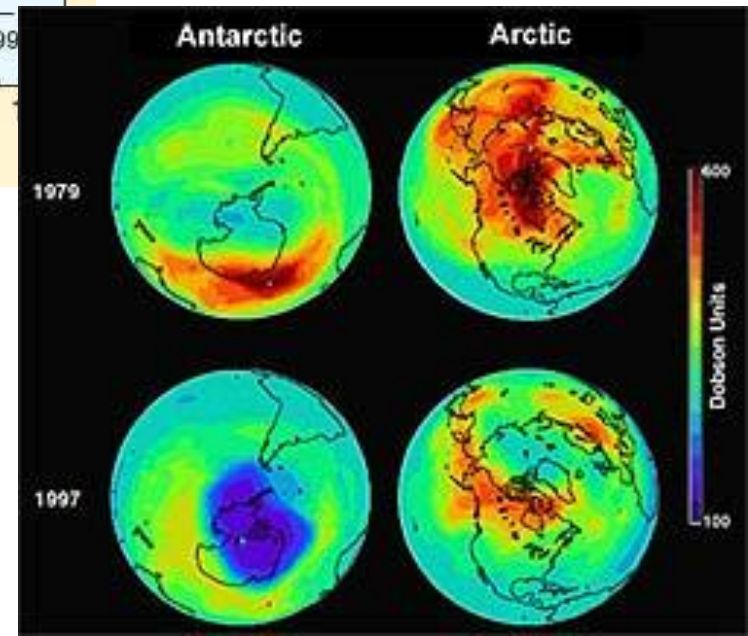
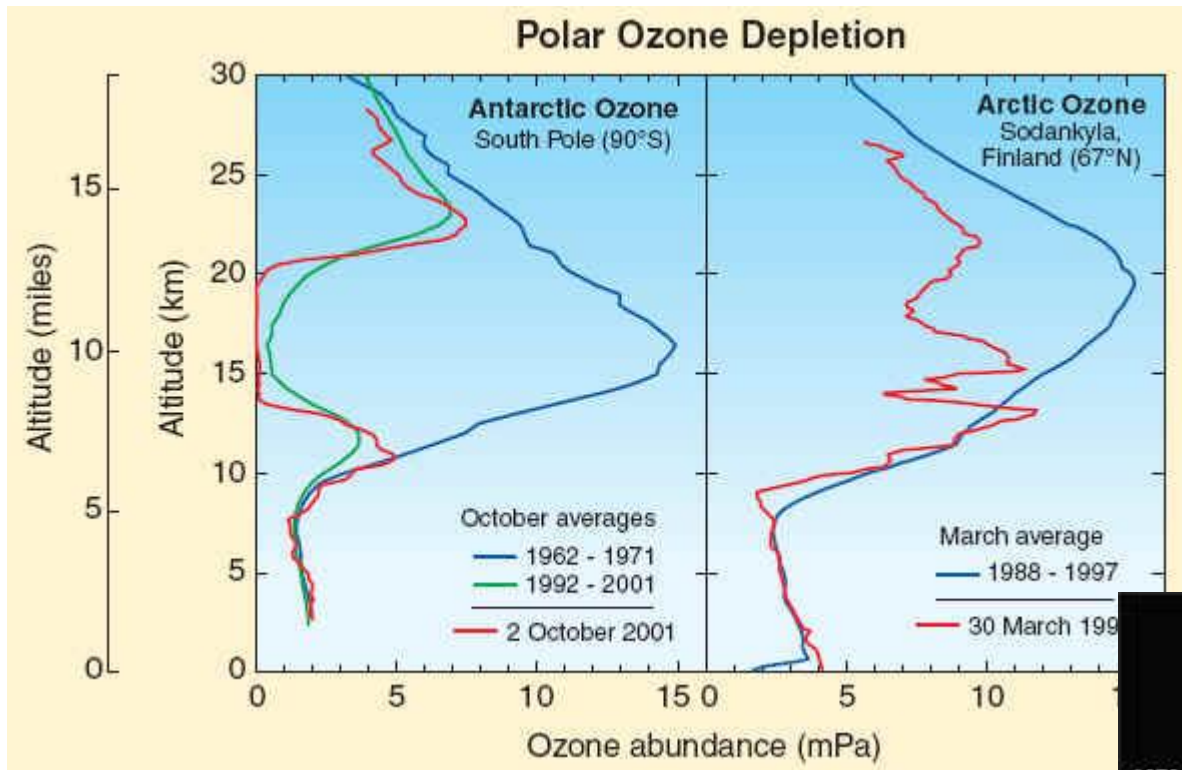
Chapman, S., 1930: A theory of upper atmospheric ozone. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **3**, 103–125.

¿Qué le faltaba a Chapman?

Ciclos catalíticos de pérdida de ozono:

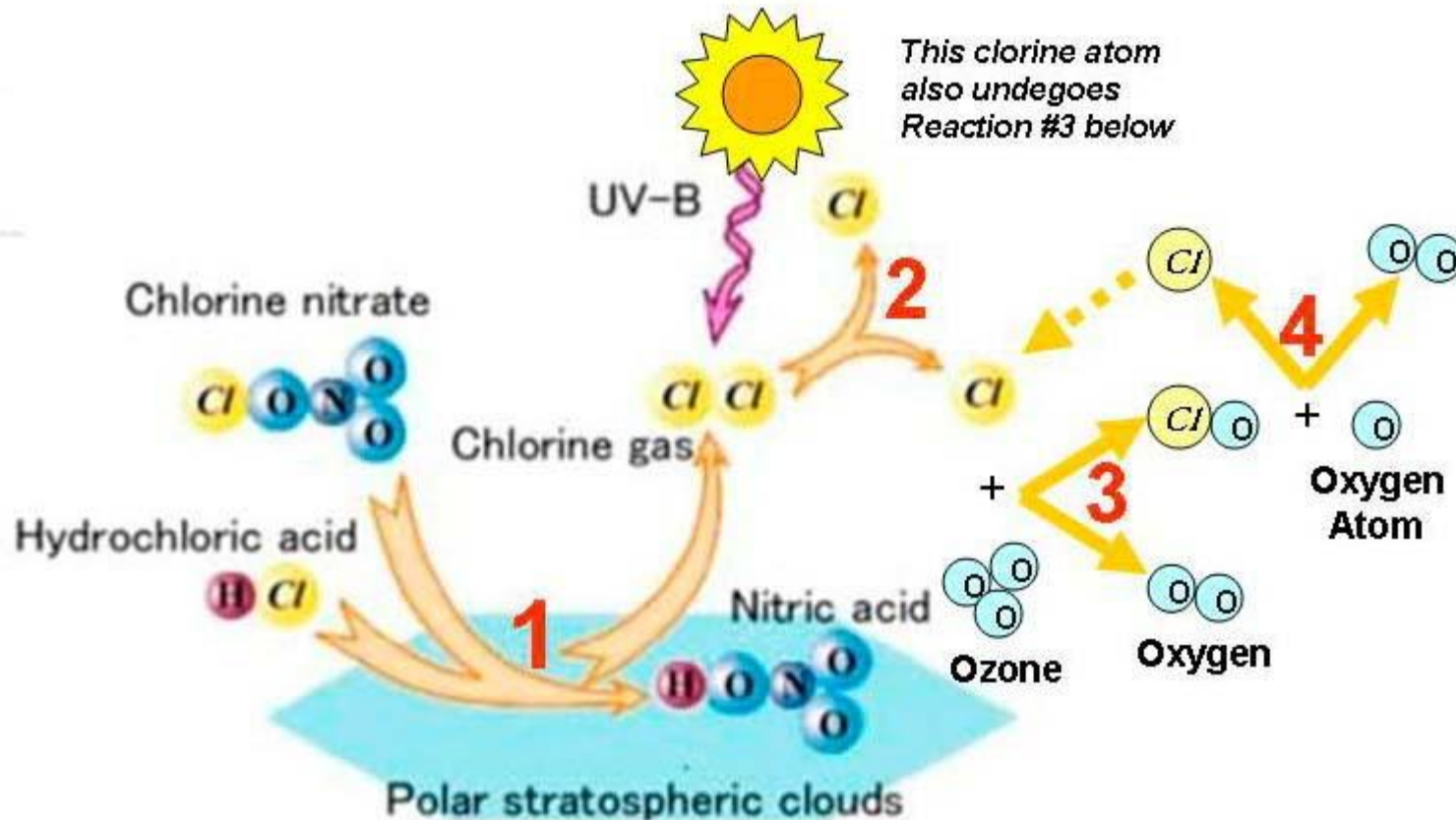


Pero Chapman corregido no explica:



1 DU = 2.69×10^{20} O₃ molec/m². LGK 2011

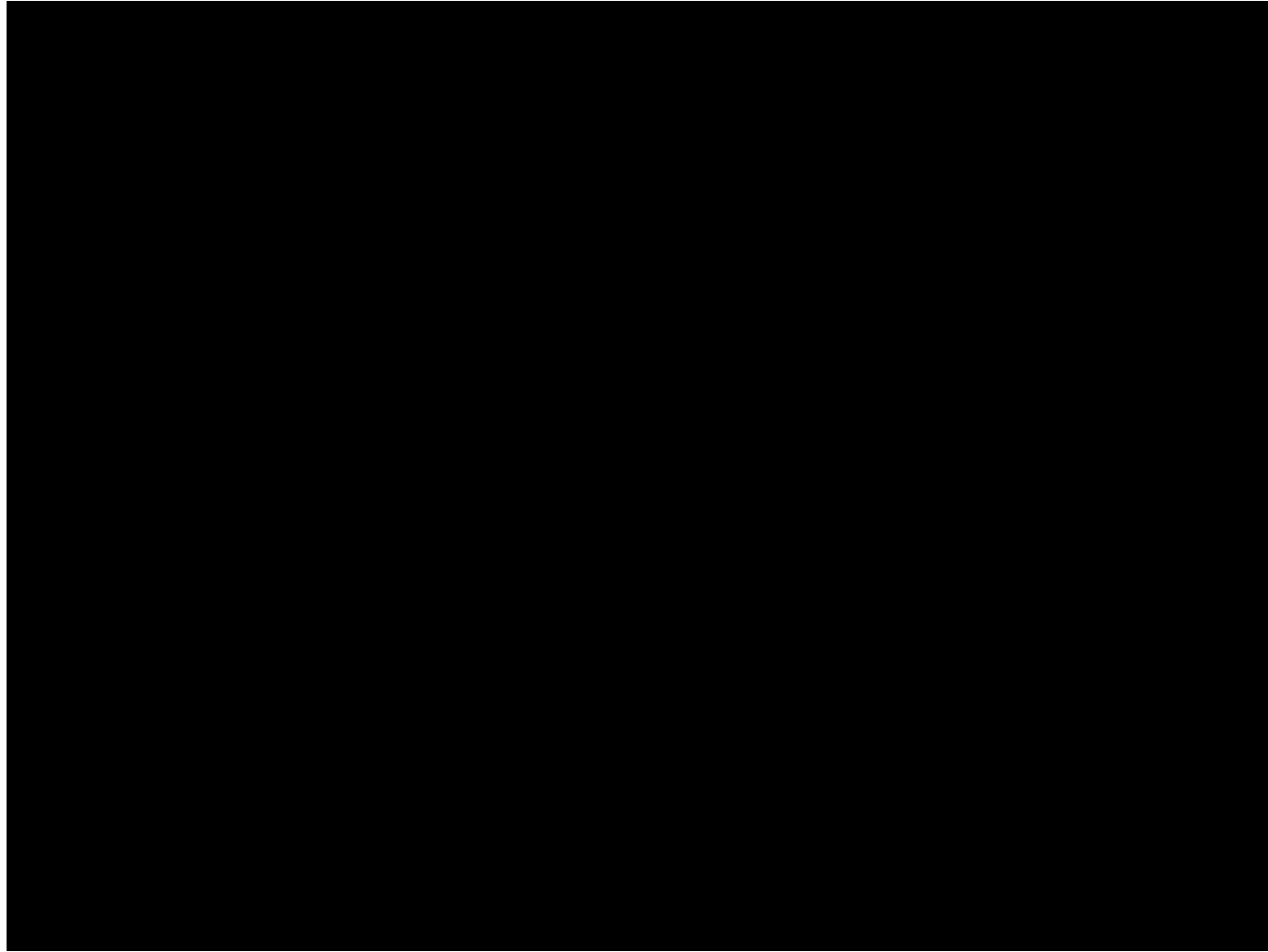
Explicaciones post 1987



LGK 2011

La presencia de nubes polares estratosféricas (PSC) permite reacciones fotoquímicas sobre superficies (más rápidas) que liberan Cl gatillando destrucción de O_3 . Las PSC son posibles dada la dinámica polar

Altogether now....



LGK 2011

http://www.youtube.com/watch?v=qUfVMogIdr8&feature=player_embedded

10 minutos



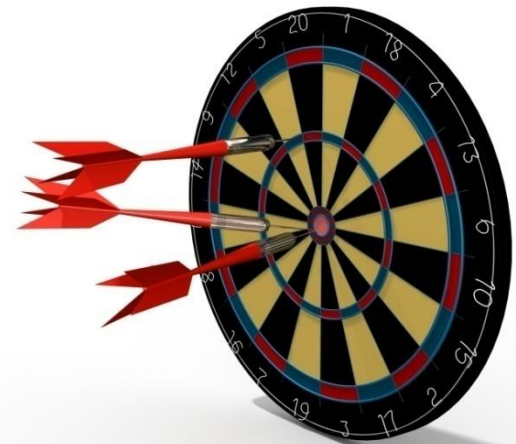
LGK 2011

HOY (Segunda parte)

- **Partículas atmosféricas**
- **Dispersión de la luz por partículas:**
 - Arcoiris, halo...
 - Rayleigh
 - Mie
- Ley de Beer y espesor óptico

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

- Explicar sobre consideraciones físicas simples fenómenos tales como arcoiris, halo, dispersión de la luz
- Describir los fenómenos de dispersión de la luz por moléculas gaseosas (Rayleigh) y partículas (Mie)
- Identificar procesos responsables de la extinción de la luz solar
- Aplicar la ley de Lambert-Beer

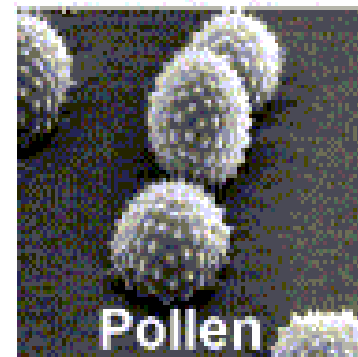
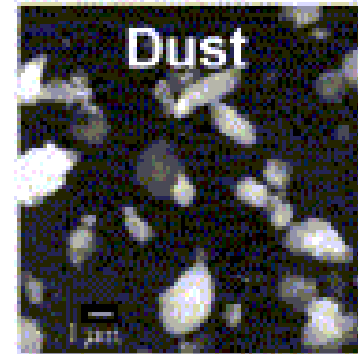
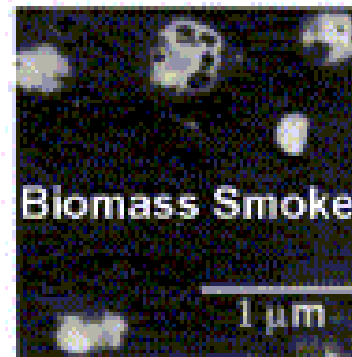
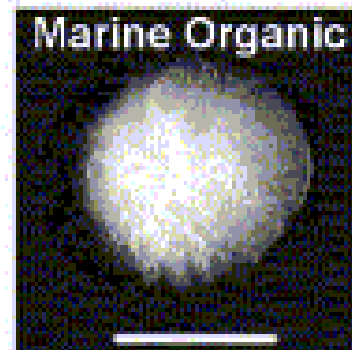
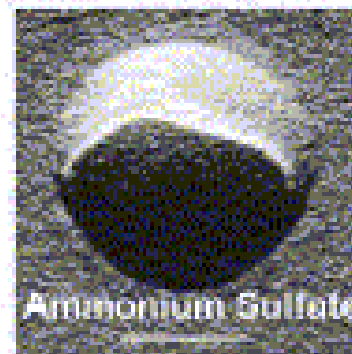
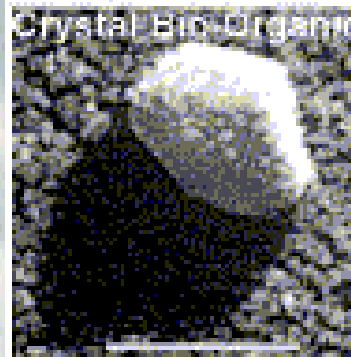
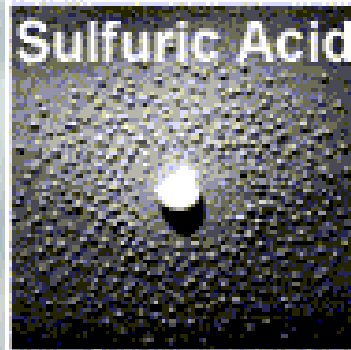
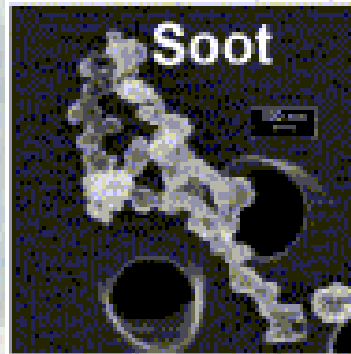




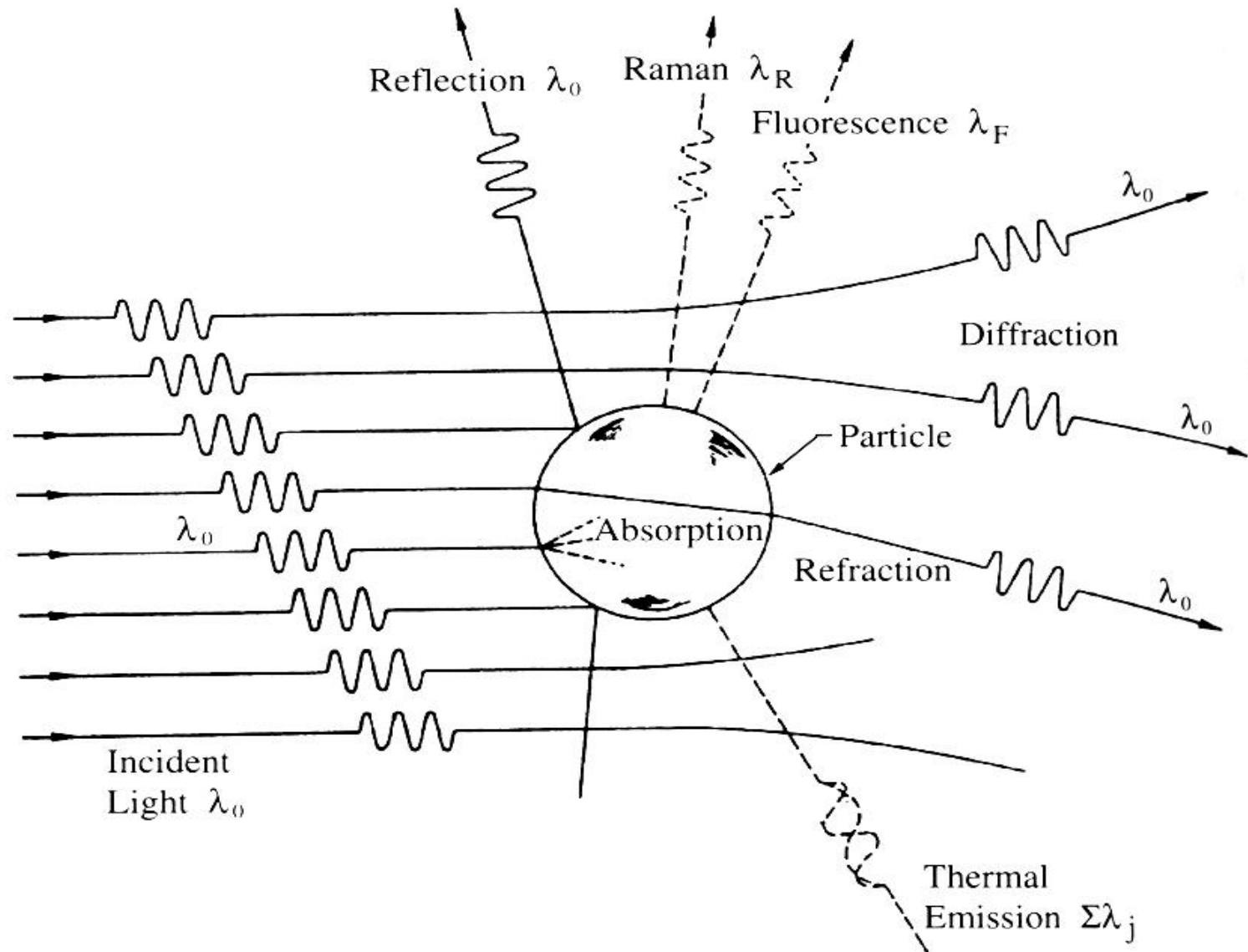
Aerosoles/Partículas
La atmósfera no es sólo gaseosa

Aerosol:

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



Interacciones entre partícula y radiación electromagnética...





Óptica geométrica ($\lambda \ll r$)

“Scattering” de Mie ($\lambda \sim r$)



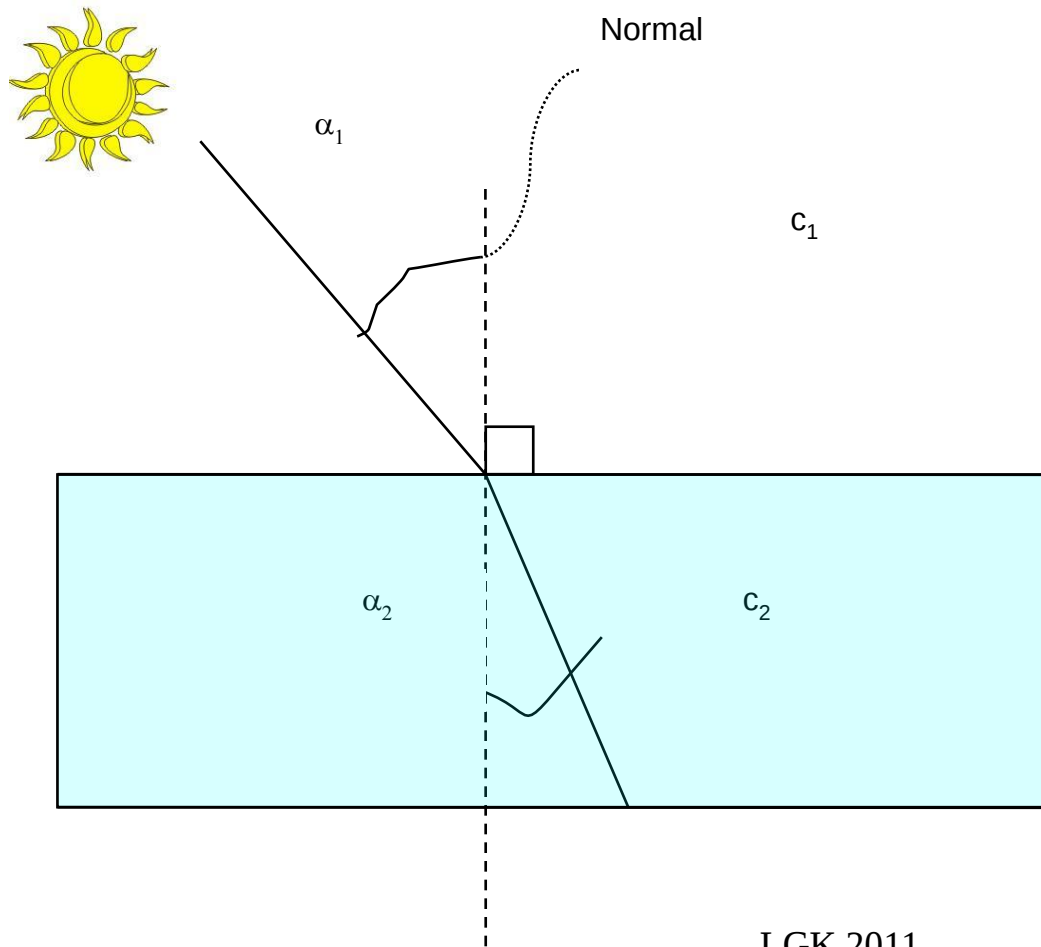
“Scattering” de Rayleigh ($\lambda \gg r$)



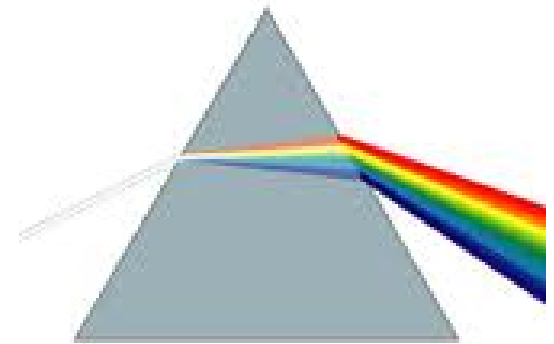
Óptica geométrica ($\lambda \ll r$)



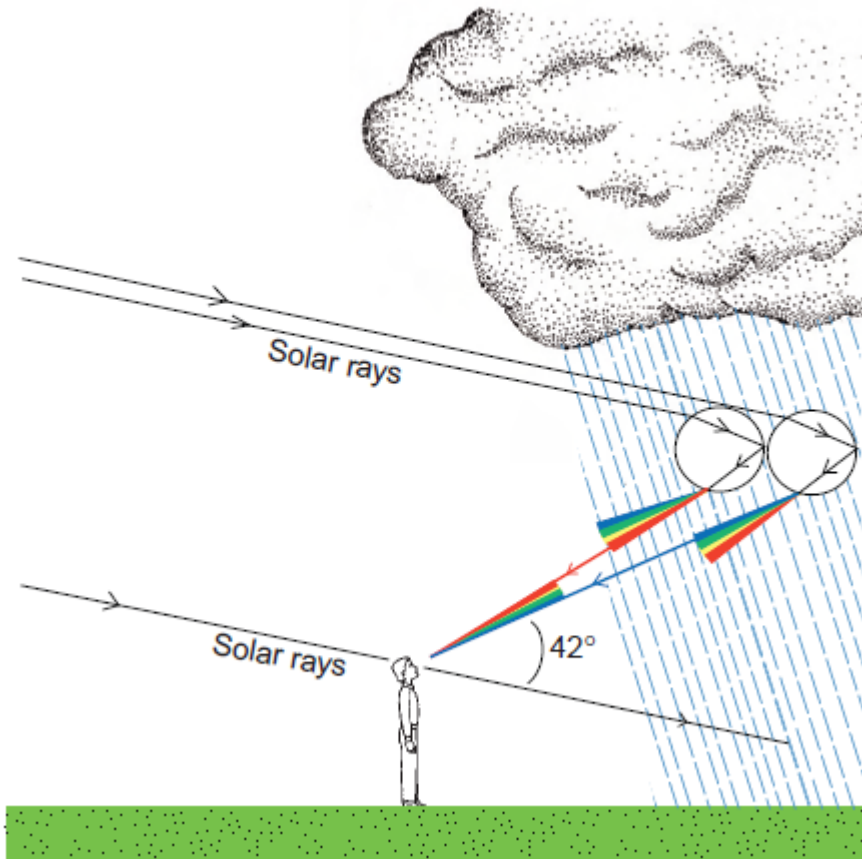
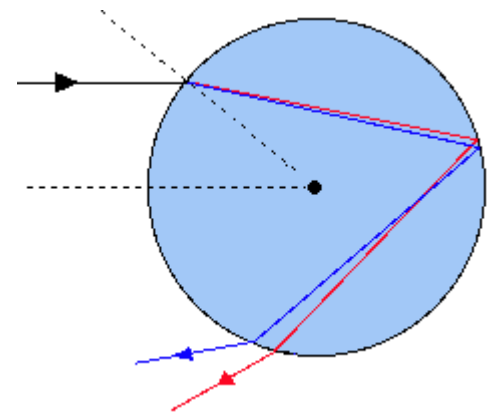
Refracción (Ley de Snell)



$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)} = \frac{c_1}{c_2} = n$$



Física de los arcoirís



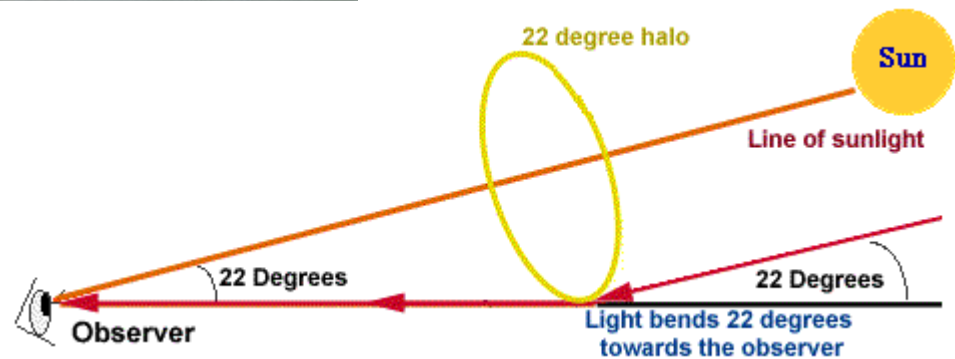
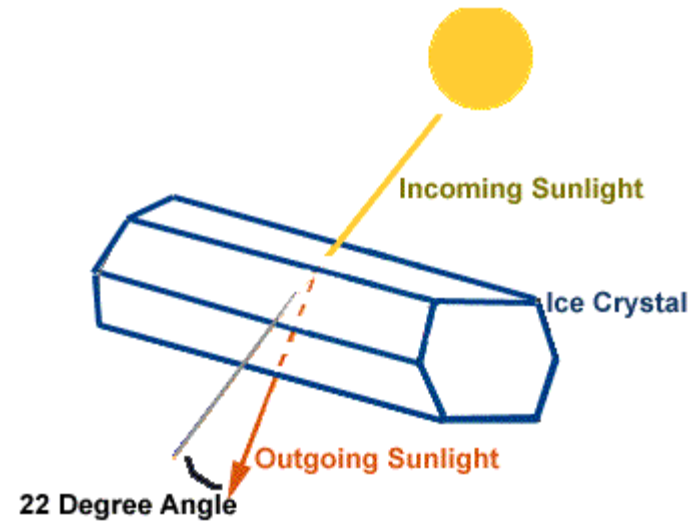
La luz es refractada por **hielo** en nubes del tipo cirrus



LGK 2011

<http://www.physics.umd.edu/lecdem/services/demos/demosn1/n1-43.htm>

Halos: refracción por hexágonos de hielo



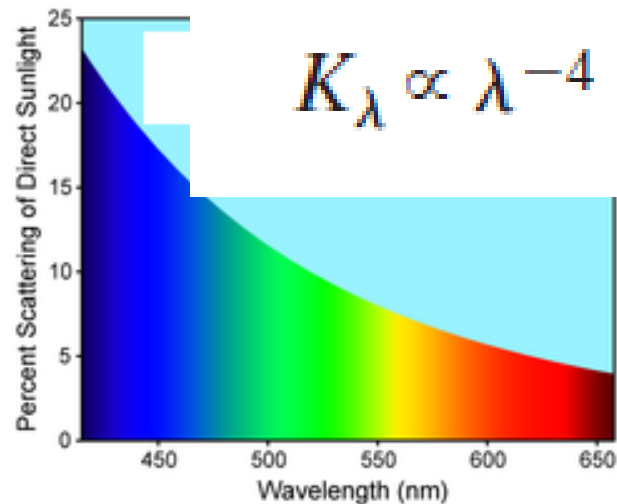
LGK 2011

Dispersión («Scattering») de Rayleigh ($\lambda \gg r$)

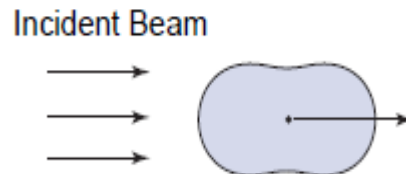


John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh (1842-1919)

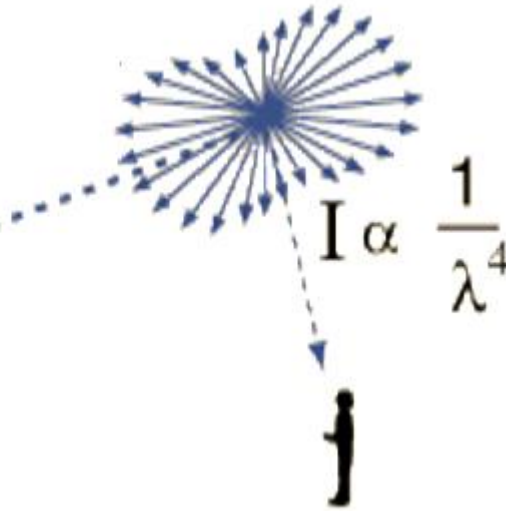
La cantidad de luz (fotones) dispersada es inversamente proporcional a la **cuarta potencia** de la longitud de onda



La radiación se dispersa de igual forma hacia adelante y hacia atrás

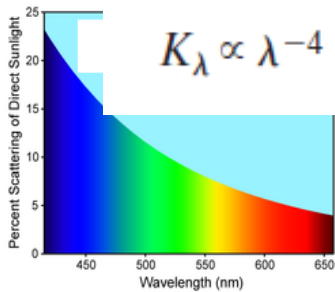


Rayleigh: el cielo se percibe azul



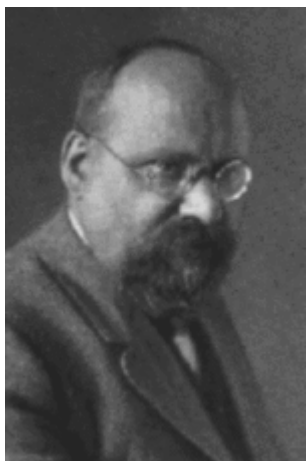
La luz de λ menores se dispersa más (el azul llega desde todas las direcciones) y como nuestro ojo es sensible vemos el azul

Rayleigh: los atardeceres son rojizos



La luz que logra atravesar es la roja, la azul fue dispersada

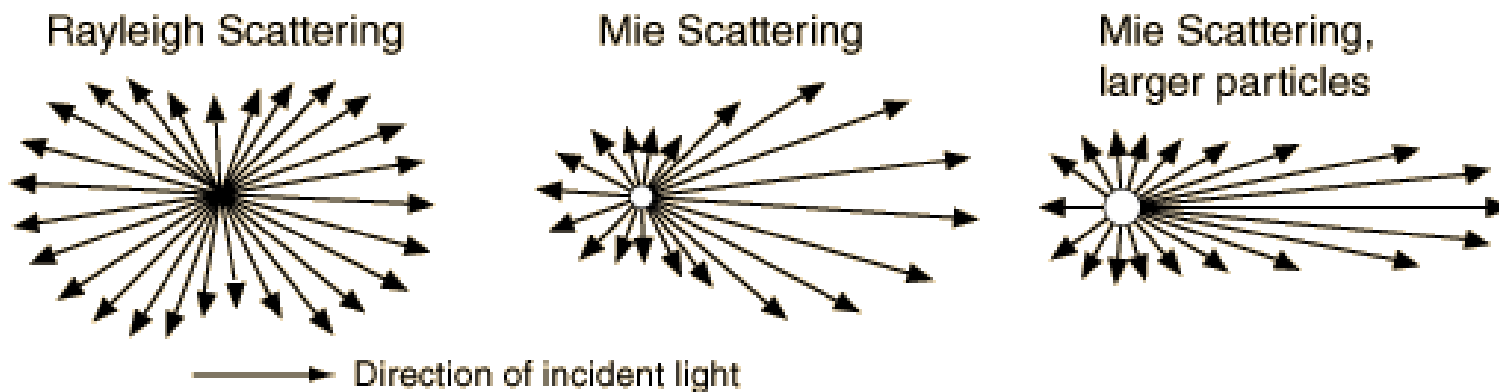
LGK 2011



Scattering de Mie

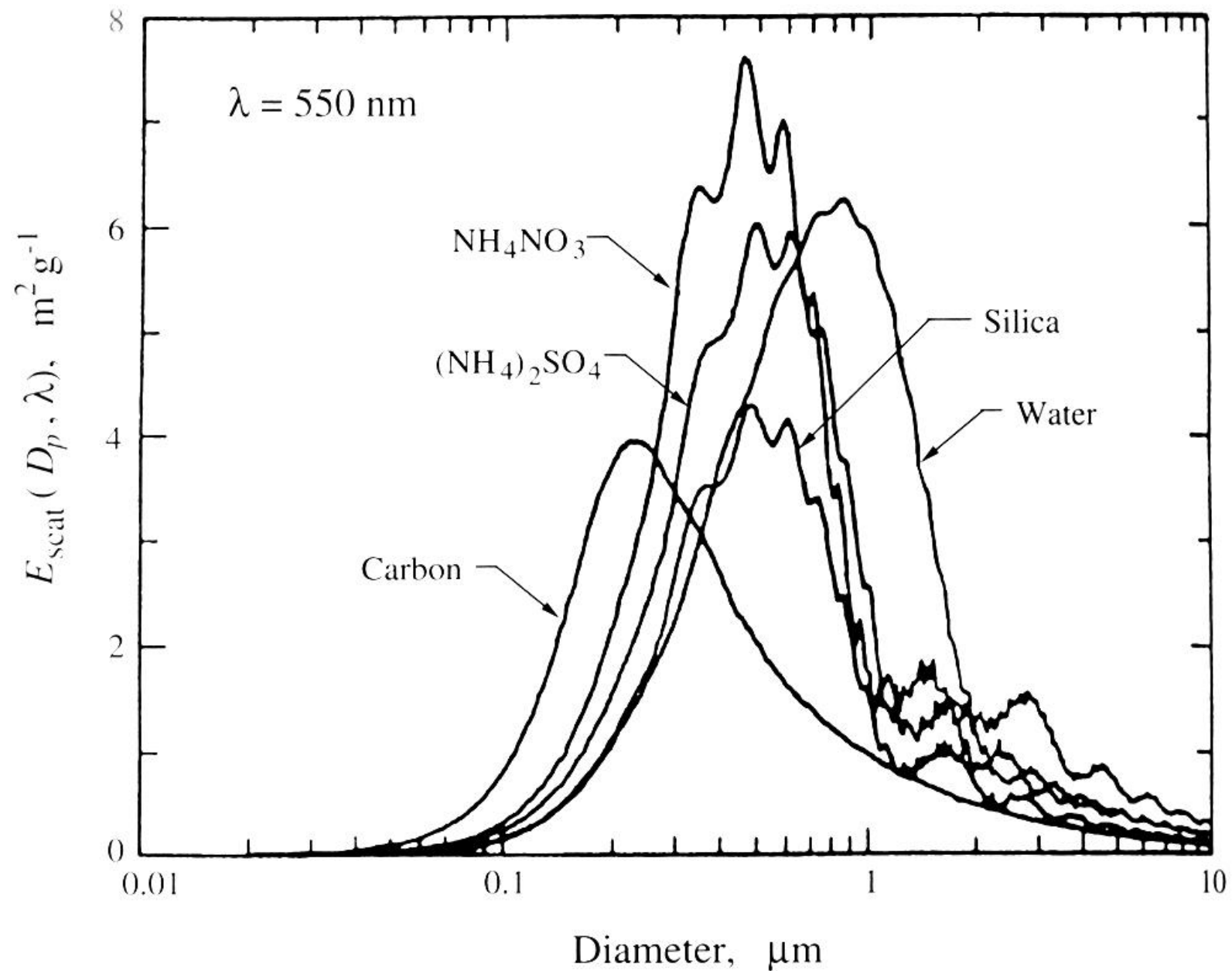
($\lambda \sim r$ [0.1-1 μm])

(Gustav Mie: 1869-1957)

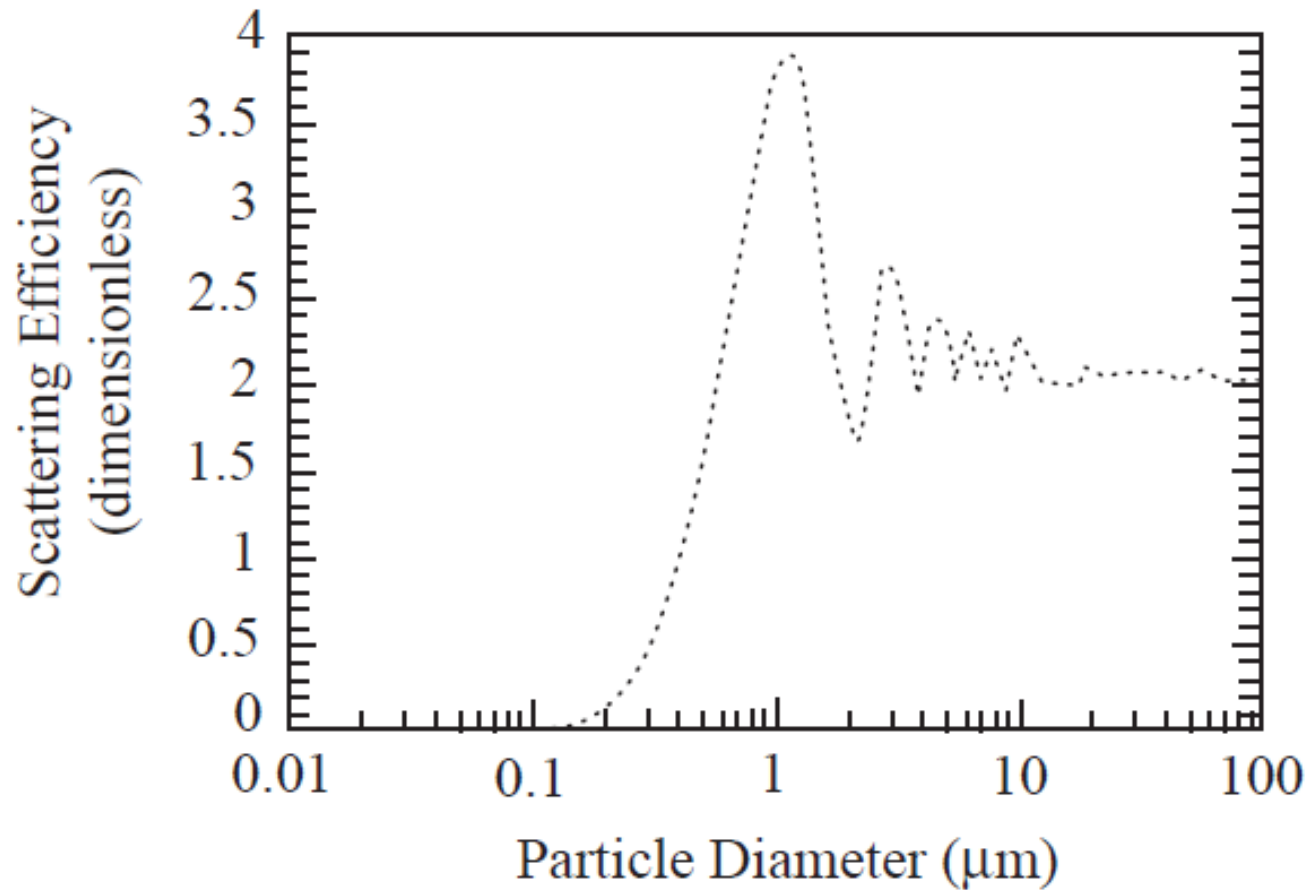


La propagación NO es simétrica

No distingue por color (aspecto blancusco)



Size does matter....



LGK 2011

<http://acmg.seas.harvard.edu/publications/jacobbook/>

Expresiones del scattering de Mie



© 2007 Thomson Higher Education

LGK 2011



White light is scattered in all directions

Some light
penetrates
to
cloud base

White light is scattered in all directions

Reducción de visibilidad



Normalmente, somos capaces de distinguir objetos nítidamente hasta 300 km

Reducción de visibilidad



LGK 2011

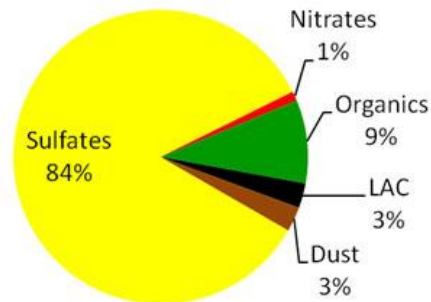
<http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/kleeman/>

Reducción de visibilidad

No sólo en ciudades



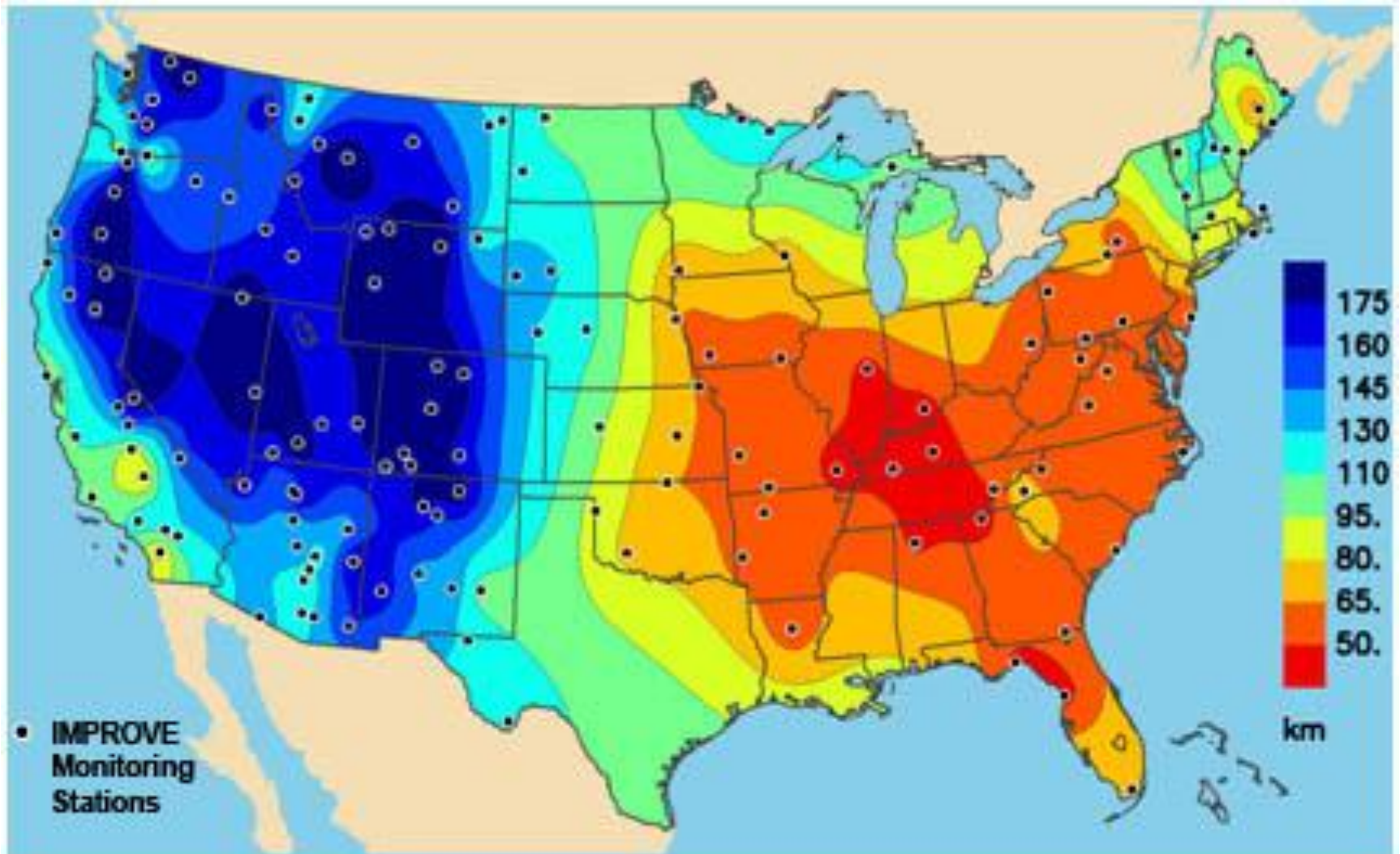
Summer Season Light Extinction Budget
Great Smoky Mountains, NP



FOR 2011

e.g. http://www.epa.gov/air/visibility/pdfs/haze_brochure_20060426.pdf

Haze 2005-2007



LGK 2011

<http://www.nature.nps.gov/air/monitoring/vismon.cfm>

A satellite image of the eastern United States, showing the coastline and surrounding oceans. A large, light gray thought bubble with a black outline is positioned in the upper right quadrant. Inside the bubble, the words 'Sulfatos', 'Nitratos', and 'Carbono' are listed vertically in a bold, black, serif font. Three smaller, light gray circles with black outlines are arranged in a diagonal line from the bottom left towards the thought bubble, suggesting a thought process or flow of information.

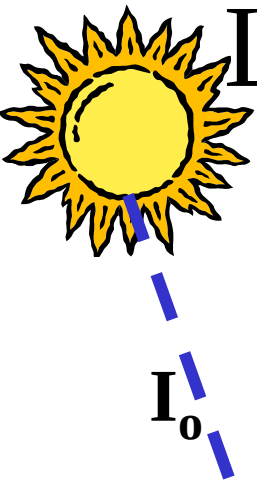
Sulfatos
Nitratos
Carbono

Bruma (“Haze”) en el este de EEUU

A hazy Washington, DC

- Menos radiación de onda corta alcanza el suelo
- La atmósfera permanece más húmeda





Ley de Bouguer–Lambert-Beer

$$dI_{\lambda} = -I_{\lambda} K N \sigma ds$$

$$ds = \sec \theta dz$$

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

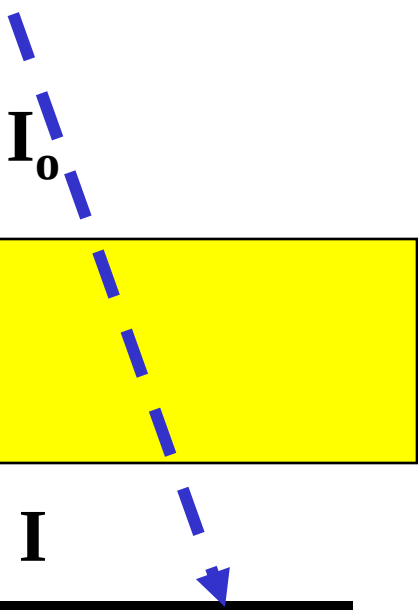
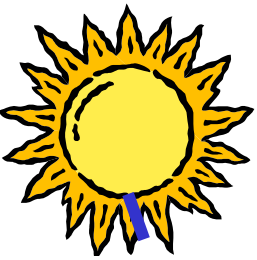
$$\tau_{\lambda} = \int_z^{\infty} K N \sigma dz$$

N Número
 σ Sección efectiva
 K Eficiencia

I



1852



Espesor óptico

$$I = I_0 e^{-b_{\text{ext}} z} = I_0 e^{-\tau}$$

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

$$b_{\text{abs}} = b_{\text{abs_gas}} + b_{\text{abs_part}}$$

$$b_{\text{scat}} = b_{\text{scat_gas}} + b_{\text{scat_part}}$$

Rayleigh scattering
(ca. $13.2 \times 10^{-6}/\text{m}$ para 520 nm)

$$b_{\text{scat_part}} \approx k[\text{aerosol}]$$

$$D \in [0.1 - 1.0 \mu\text{m}]$$

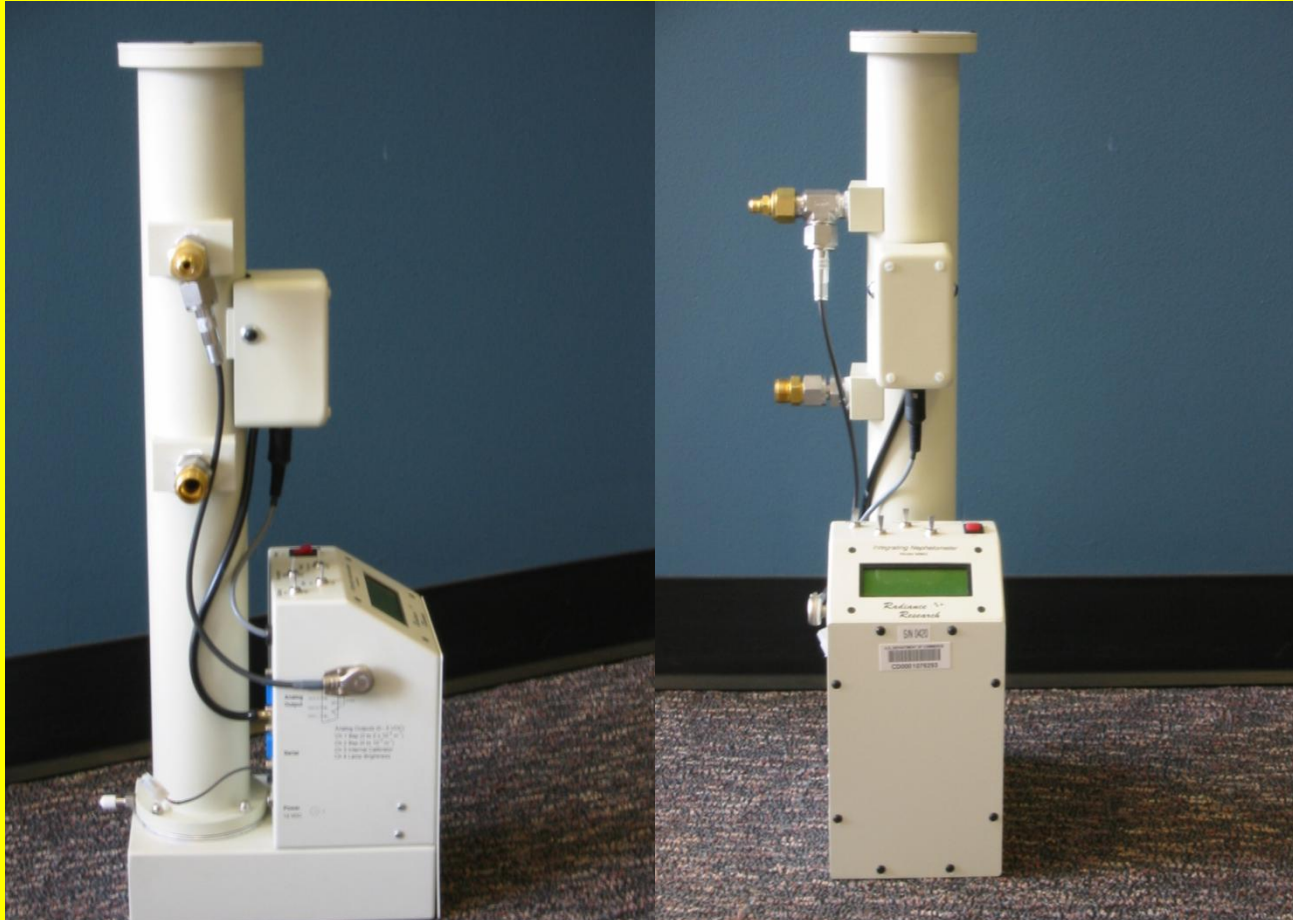
50 - 95% de b_{ext}

$$I = I_0 e^{-b_{\text{ext}} z} = I_0 e^{-\tau}$$

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{scat}} + b_{\text{abs}} = b_{\text{scat_gas}} + b_{\text{abs_gas}} + b_{\text{abs_part}} + b_{\text{scat_part}}$$

$b_{\text{abs_part}}$ 5-10% remoto
 $b_{\text{abs_part5}}$ 50% urbano

Nefelómetro: ¿cómo funciona?, ¿qué mide?

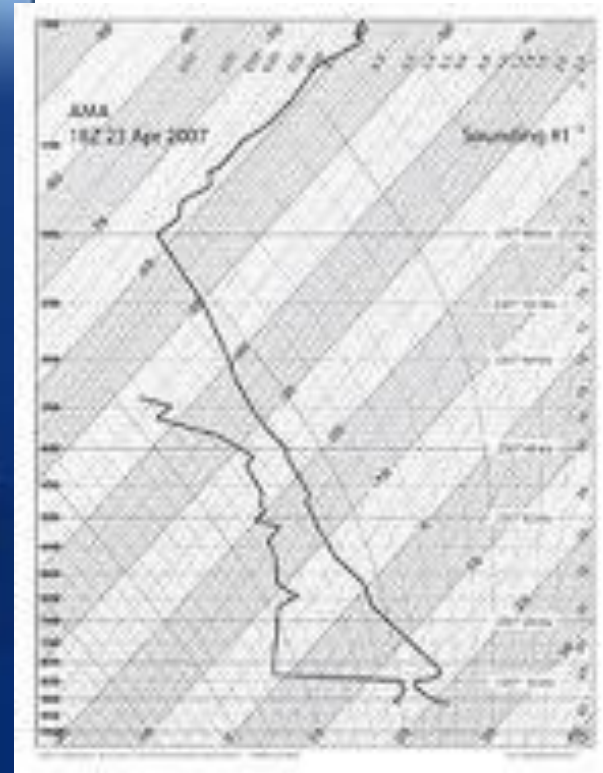
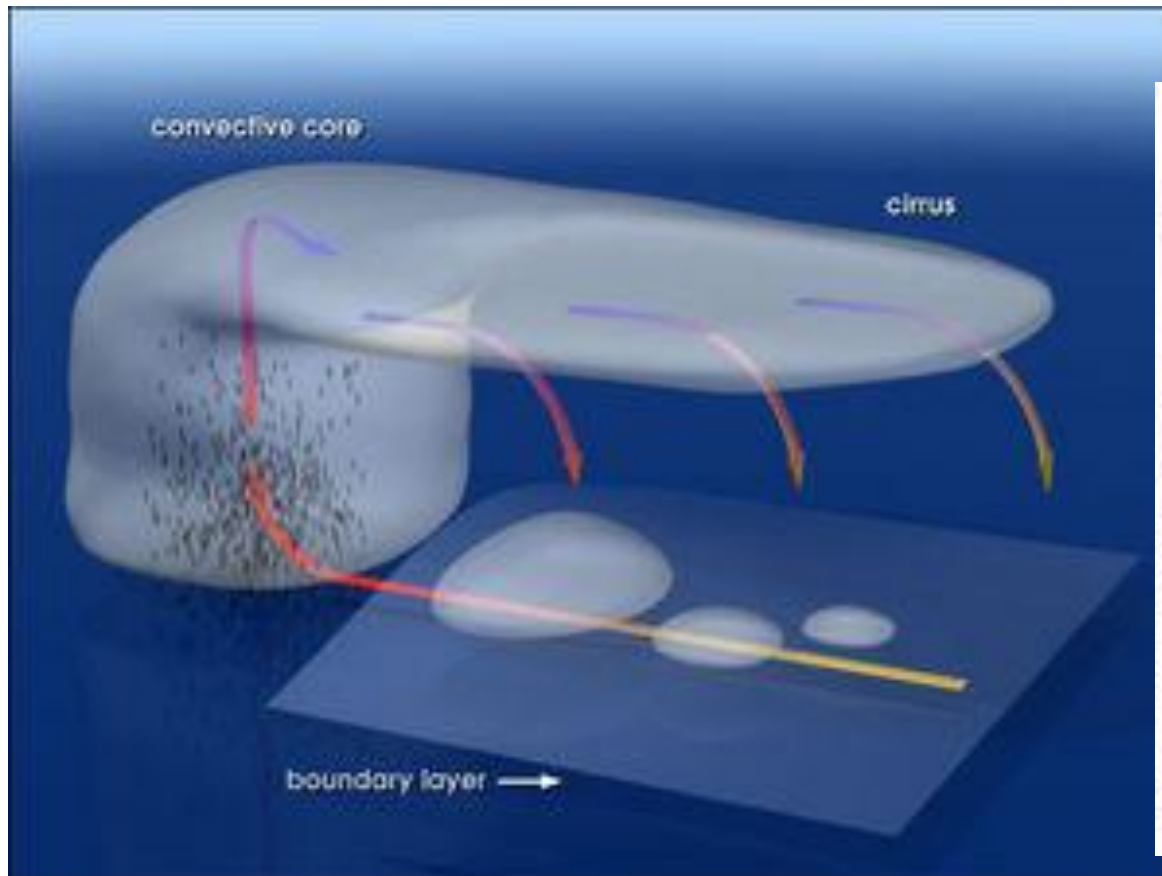


LGK 2011

http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aero/instrumentation/RR_neph.html

Próximamente

Termodinámica y estabilidad atmosférica



Para el control del Jueves

18:15 hrs

- Contenidos

- Sistema climático
- Ecuación hipsométrica
- Radiación de cuerpo negro

- Estructura

1. Conceptos
2. Apl. de hipsométrica
3. Apl. de balance radiativo



Lecturas de hoy (1)

- Obligatoria
 - Wallace and Hobbs, Atmospheric Science (Ch. 4.: 4.4)
- Opcional
 - <http://www.epa.gov/air/visibility/what.html>
 - Heintzenberg, J. and Charlson, R.J., "Design and applications of the integrating nephelometer: A review," *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, 13, 987-1000, 1996.
- Más sobre interacciones entre luz y partículas
 - GF500 (Física de la Atmósfera)
 - FI??? Electrodinámica



Lecturas de hoy (2)

- 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>
 - <http://celebrating200years.noaa.gov/historymakers/solomon/>
 - IPCC, 2007
- Más sobre transferencia radiativa
 - GF3004 (Sistema Climático)
 - GF500 (Física de la Atmósfera)

