



semana 4: la Tierra en el espacio y su balance de energía

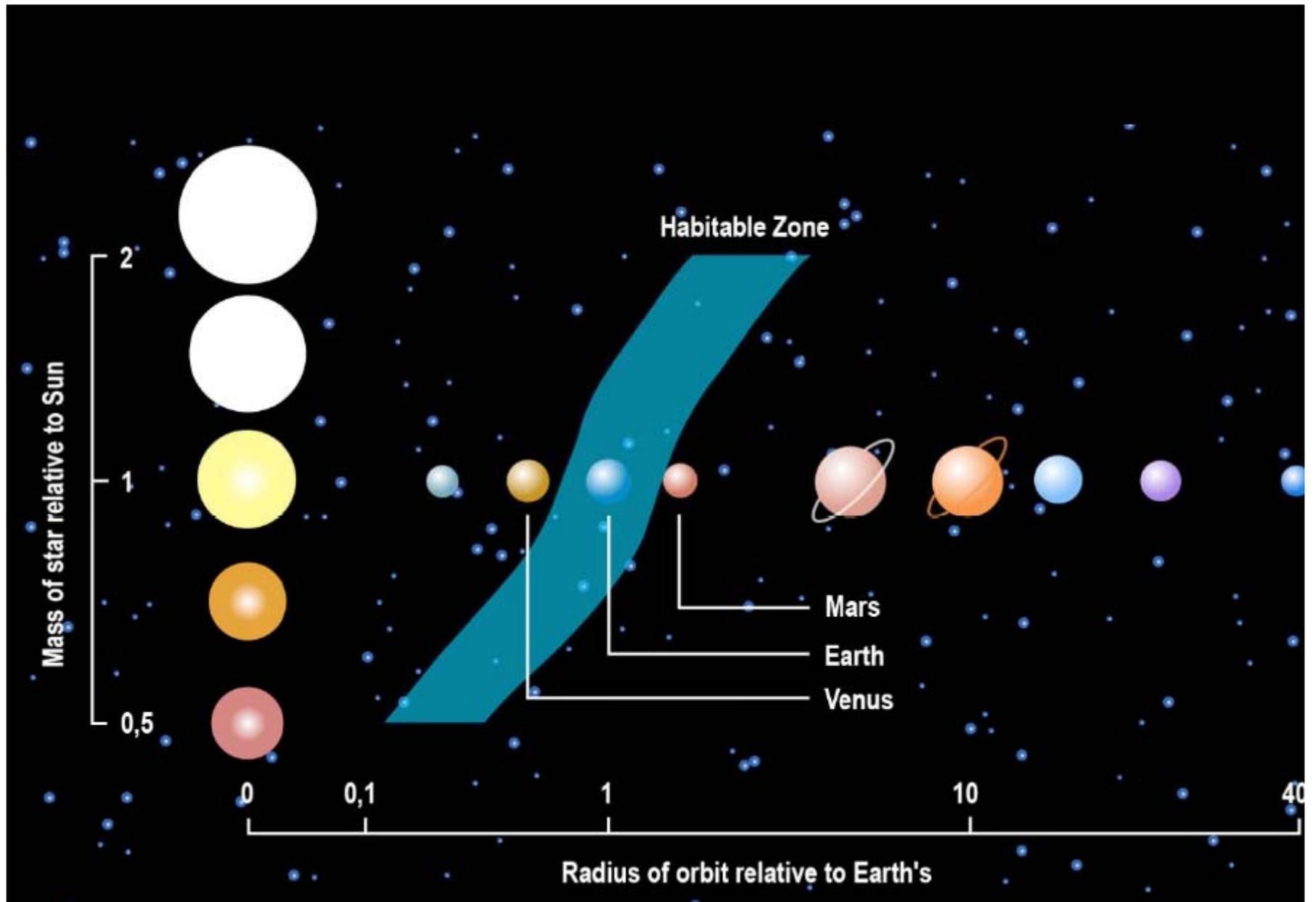
eh1d3 - calentamiento global:
un análisis científico-humanista

Martín Jacques Coper
martin@dgf.uchile.cl

contenidos

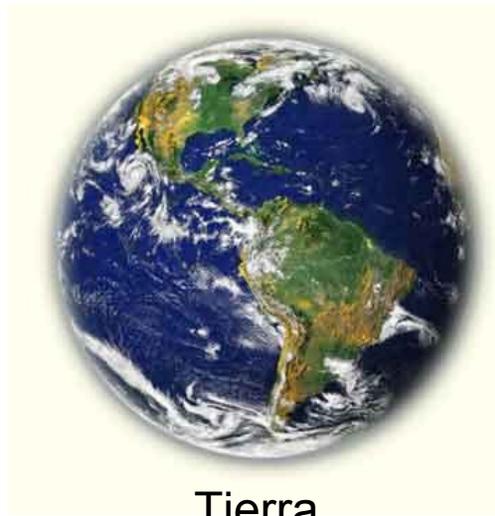


- la Tierra en el espacio
- radiación electromagnética
 - naturaleza de la radiación
 - interacción radiación-materia
 - radiación solar y terrestre
- balance de energía de la Tierra
- efecto invernadero
 - mecanismo físico
 - casos de la Tierra, Venus y Marte
- transmisión de la radiación por la atmósfera terrestre





Venus



Tierra



Marte

% vol	CO2 %	N2 %	O2 %	H2O %	HCl	HF	Psfc bars
Venus	96.5	3.5	<0.004	0.01	0.0004	0.000002	92
Marte	95.3	2.7	0.13	0.03	-	-	0.008
Tierra	0.03	78.1	21	<1	-	-	1.013



Fig. 2.36 Venus, Earth, Mars, and Jupiter from space. Venus and Jupiter are cloud covered. Not shown to scale. [Photographs courtesy of NASA.]

Table 2.5 Astronomical and atmospheric data for Earth and neighboring planets^a

Parameter	Venus	Earth	Mars	Jupiter
Radius (km $\times 10^3$)	6,051	6,371	3390	66,911
Gravity (m s ⁻²)	8.87	9.80	3.71	24.79
Distance from sun (AU)	0.72	1.000	1.524	5.20
Length of year (Earth years)	0.615	1.000	1.88	11.86
Length of day (Earth days)	117	1.000	1.027	0.41
Orbital eccentricity	0.0067	0.0167	0.093	0.049
Orbital obliquity	2.36	23.45	25.19	3.13
Dominant constituent (% by volume)	CO ₂ (96.5)	N ₂ (78.1)	CO ₂ (95.3)	H ₂ (90)
Secondary constituent (% by volume)	N ₂ (3.5)	O ₂ (21)	N ₂ (2.7)	He (10)
Surface pressure (hPa)	92,000	997	8 ^b	>>10 ⁶
Surface temperature (K)	737	288	210	
Diurnal temperature range (K)	~0	10	40	

^a Based on *Planetary Fact Sheets* on NASA Web site; Mars surface data based on records at the Viking 1 Lander site.

^b Varies seasonally from 7.0 hPa during the austral winter, when Mars is farthest from the sun, to 9.0 hPa during the austral summer.

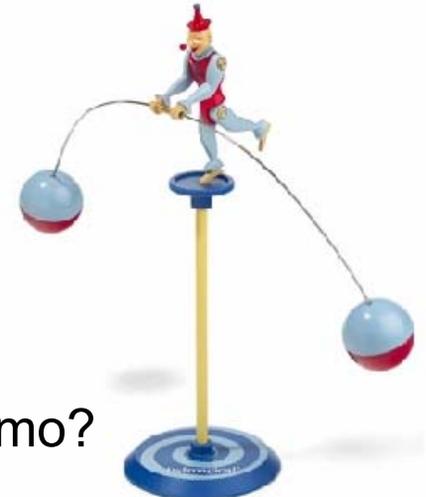
el planeta habitable

- los océanos
 - sumidero de C
 - origen de la vida (fotosíntesis)
 - la retroalimentación con T
- la distancia al Sol y la gravedad
 - cambio relación O₂ y CO₂
 - ciclo hidrológico
- tectonismo
- la *protección* de los planetas masivos
- ...y de la Luna!
- y la rotación?



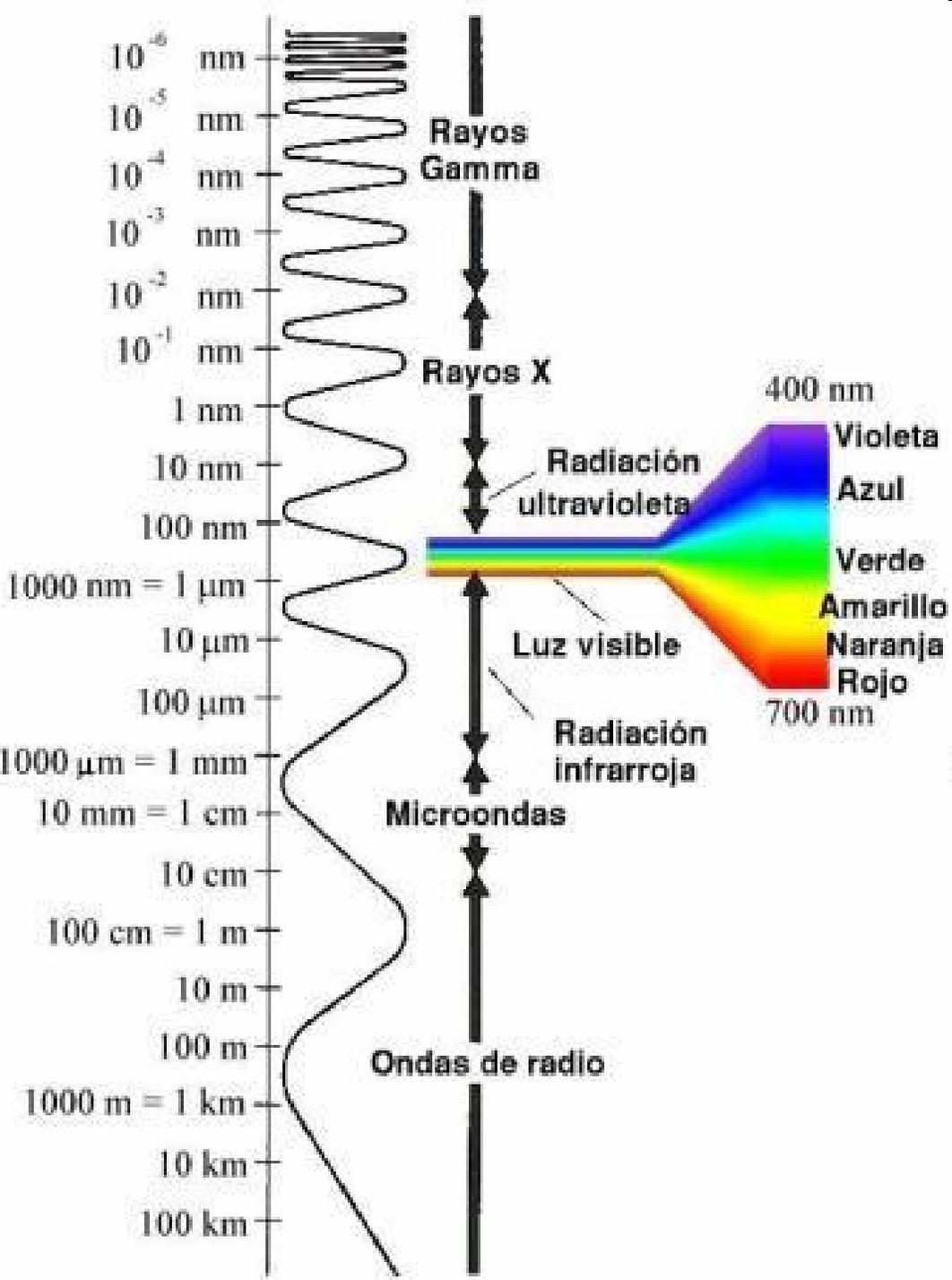
comparativamente...

- Venus
 - alta T → no tiene océanos
 - sin biósfera, no hay fotosíntesis ni formación de carbonatos (foraminíferas, p.ej.)
 - CO₂ en la atmósfera (pesada) y O₂ en la corteza
- Marte
 - baja T → no tiene océanos
 - planeta pequeño
 - enfriamiento 'rápido' → ausencia de tectonismo?
 - gravedad?



Naturaleza de la radiación

- La radiación está compuesta por ondas electromagnéticas (e-m) que transfieren energía de un lugar a otro sin precisar un medio material.
- La radiación electromagnética puede ser considerada como compuesta por ondas o partículas (fotones).
- Los fotones al moverse, con la velocidad de la luz c , llevan consigo campos magnéticos y eléctricos que oscilan con una cierta frecuencia
- Una onda e-m puede ser caracterizada de una de las siguientes variables: su frecuencia (f), período (p), **longitud de onda (λ)**, número de onda (k) o energía ($E=hf$).
- El espectro e-m es el conjunto de radiaciones de todo λ posible y se divide en regiones. Por ejemplo: ultravioleta, visible, infrarroja.



Interacción radiación-materia

- Radiaciones de diferentes longitudes de onda en esencia son lo mismo, pero difieren en el tipo de interacción que tienen con la materia.
- Rayos Gama y X son ionizantes pues tienen energía suficiente para separar electrones de átomos y moléculas.
- RUV puede romper moléculas en sus átomos: fotólisis.
- Luz visible e infrarroja modifican los estados de vibración y rotación de las moléculas

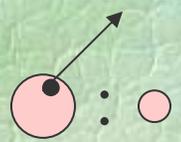


Interacción radiación-materia:

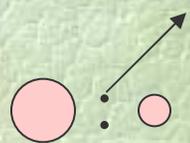
Energía fotón

Long. de onda

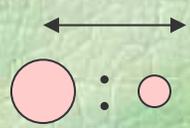
Ionización



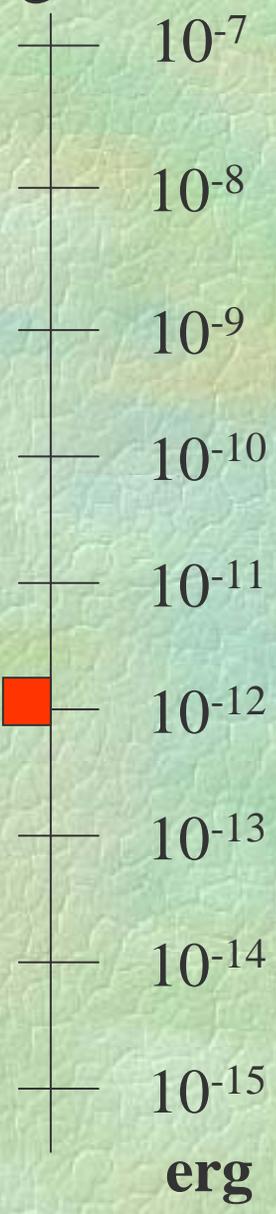
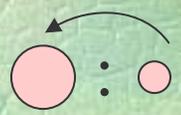
Fotólisis



Vibración



Rotación



Rayos X

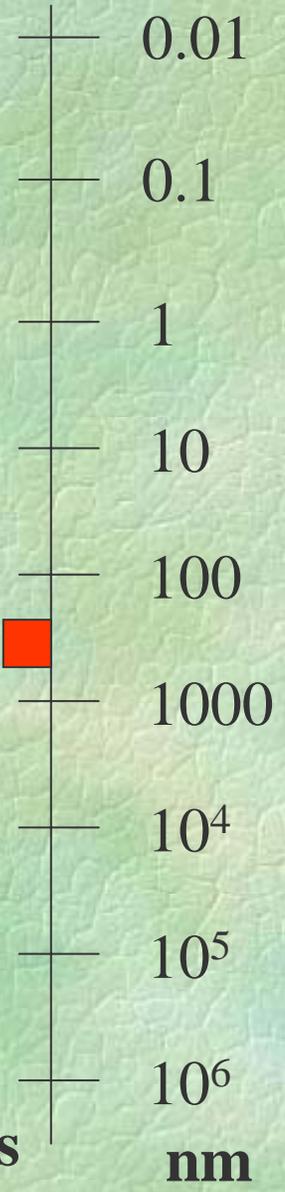
UV

Visible

IR

IR lejano

Microondas

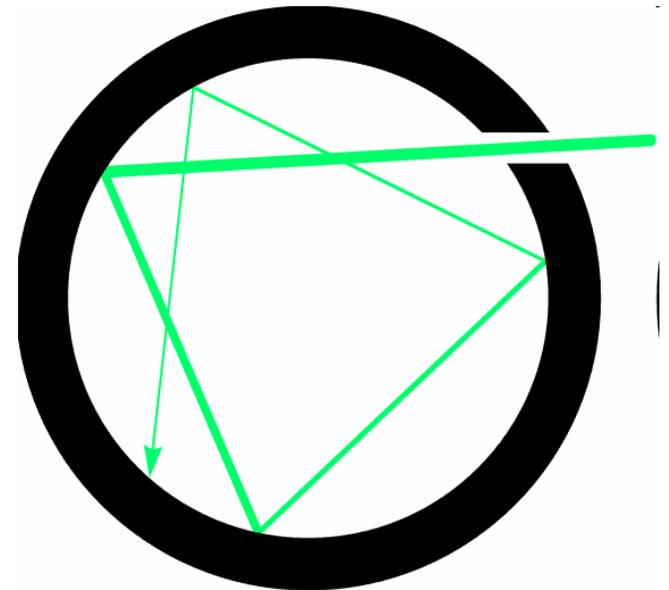


Radiación solar y terrestre

Leyes de radiación para cuerpos negros

Ley de Wien:

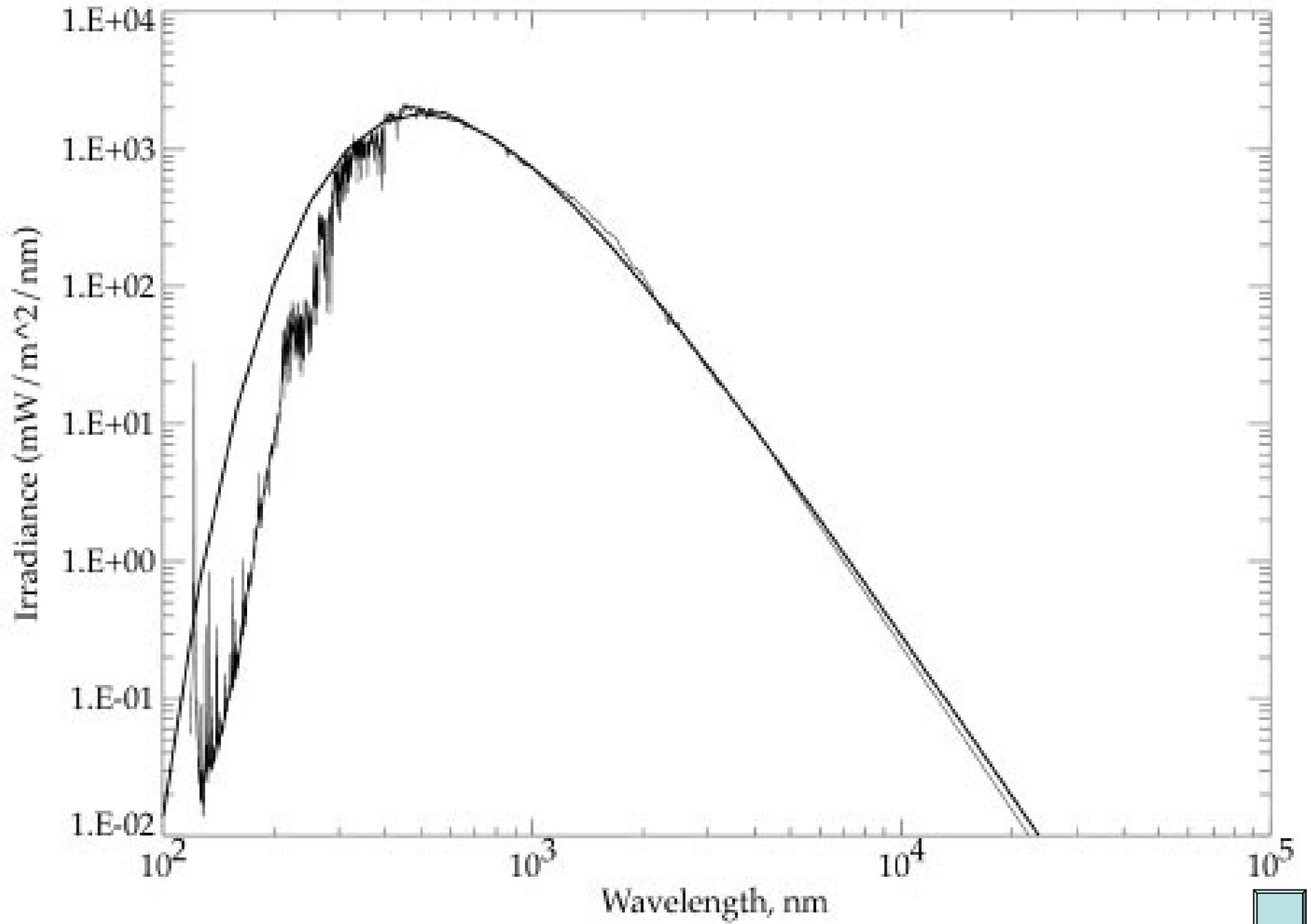
$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T} \quad \mu m$$



Ley de Stefan-Boltzmann:

$$B(T) = \sigma T^4 \quad \sigma = 5.67 \times 10^{-8} \quad W / m^2 K^4$$

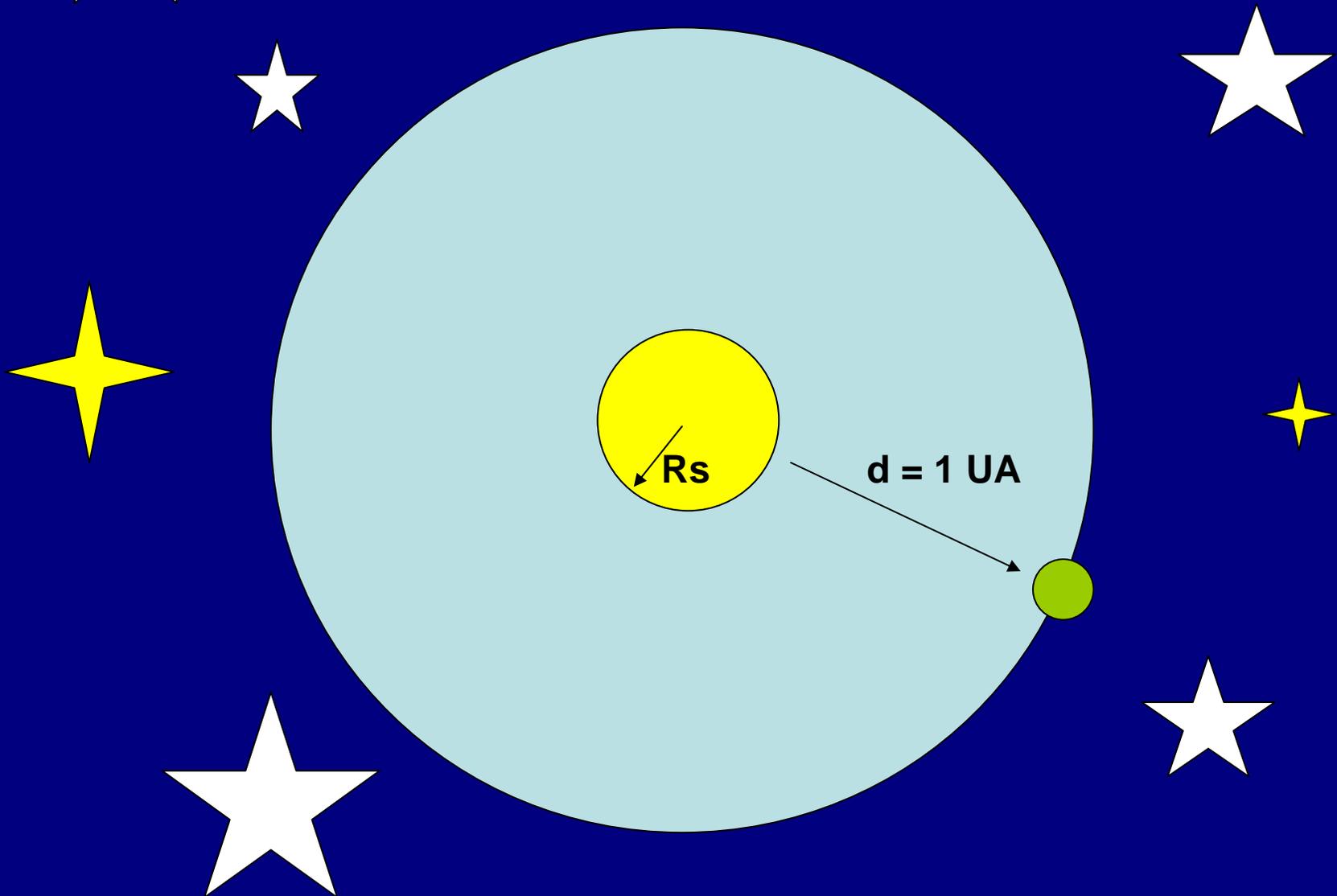
Extraterrestrial Solar Irradiance at 1 A.U.



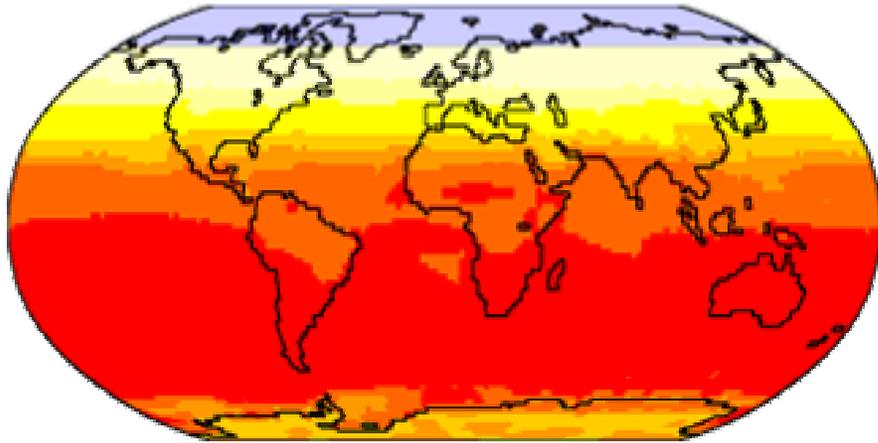
Radiación del Sol

- La radiación solar proviene de la fotosfera que tiene una temperatura alrededor de 5700°K con un máximo espectral a los 500 nm. Un 99% de la energía viene en el intervalo UV+VIS+IR.
- En ondas largas la emisión solar ajusta bien a emisión de un cuerpo negro a 5700°K , pero hacia ondas cortas aparecen primero líneas de absorción de elementos en la atmósfera solar y luego pérdidas por ionización.
- La energía total proveniente del sol varía poco y su valor en el exterior de la atmósfera es de $1353 \pm 21 \text{ W/m}^2$ a una distancia de 1 AU ($149.6 \times 10^6 \text{ km}$) del sol. Entre perihelio y afelio existe una diferencia de 7%.

la 'constante' solar

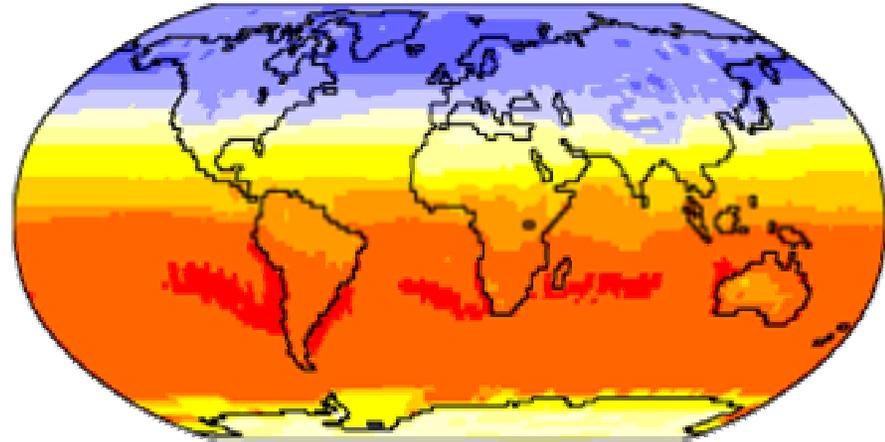


Short-Wave Radiation

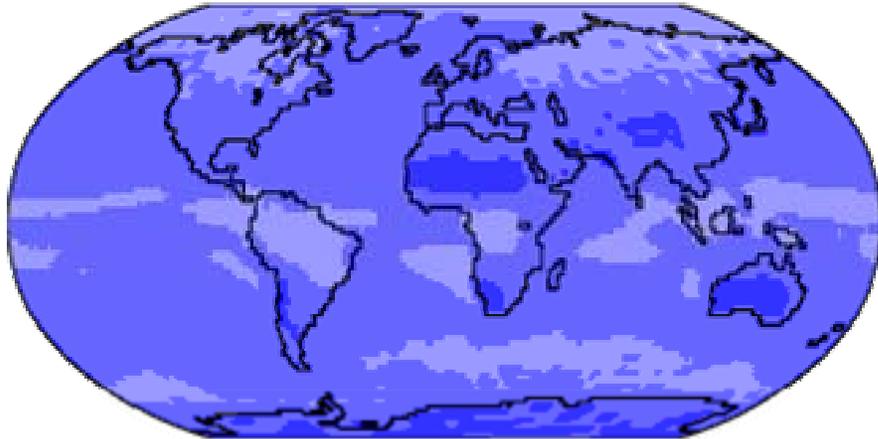


Dec

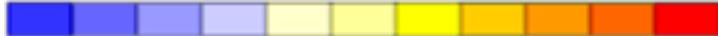
Net Radiation



Long-Wave Radiation



-100 -50 -25 0 25 50 100 125 150 200 W/m²

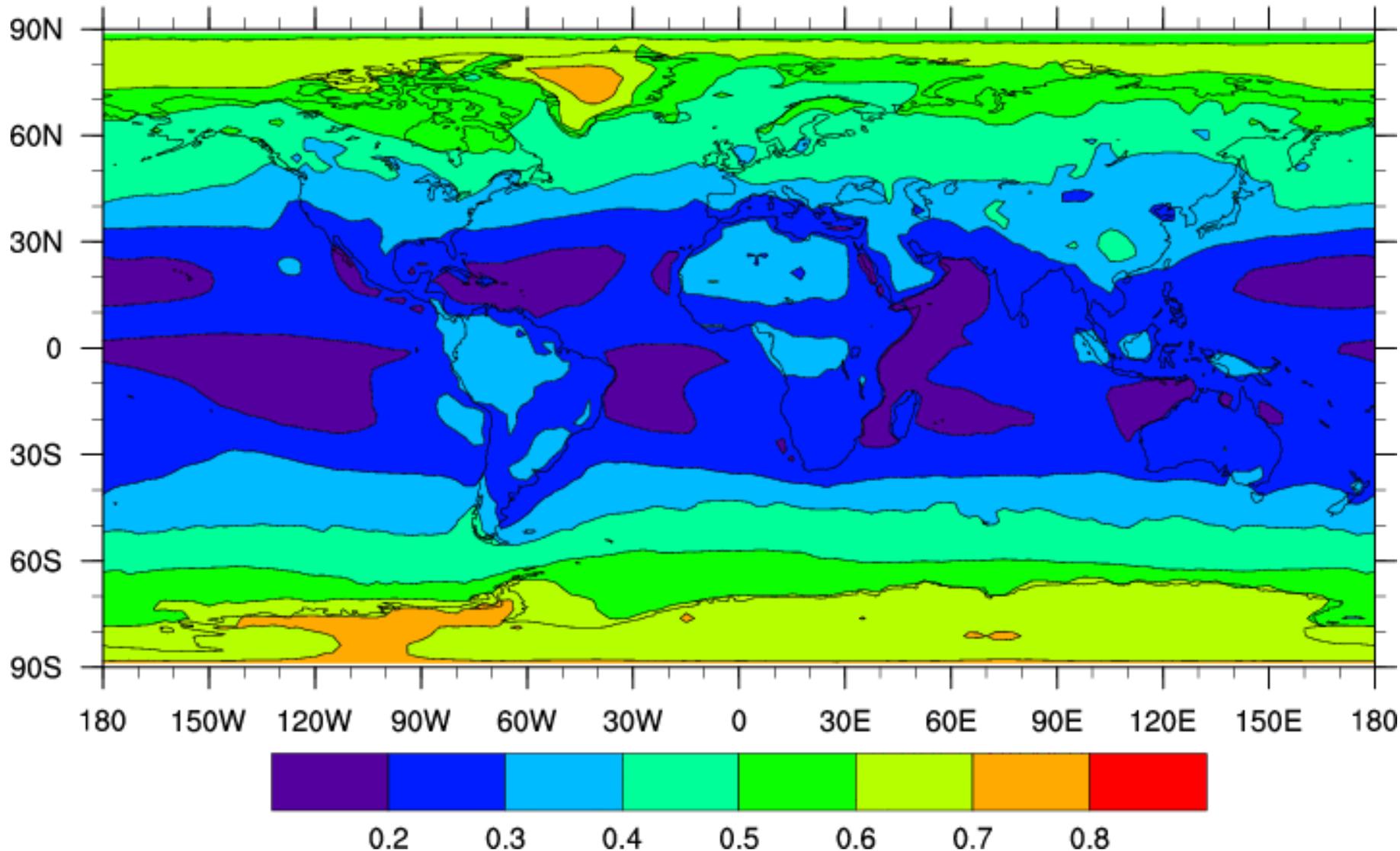


Data: NCER/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

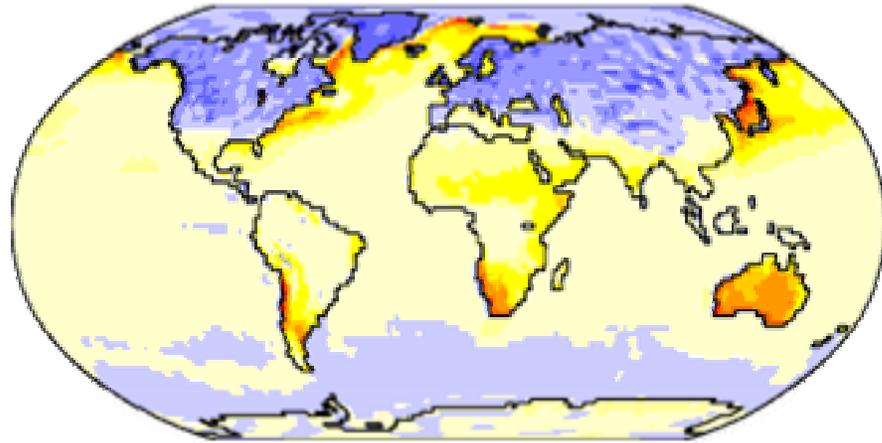
Annual Mean

Albedo

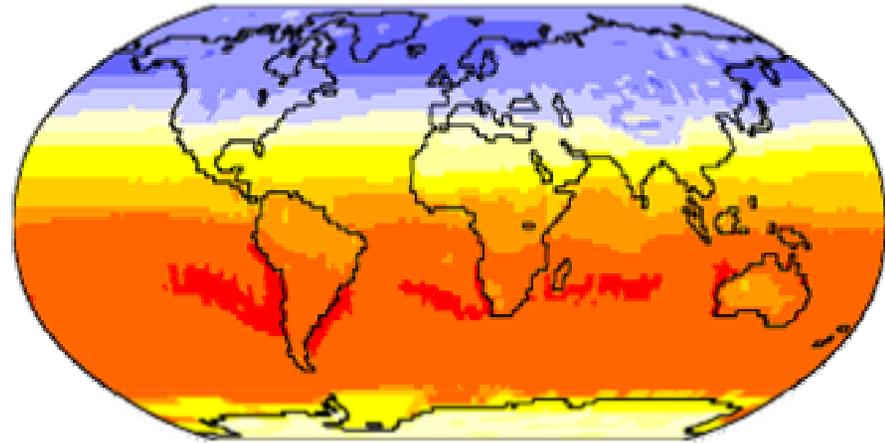
fraction



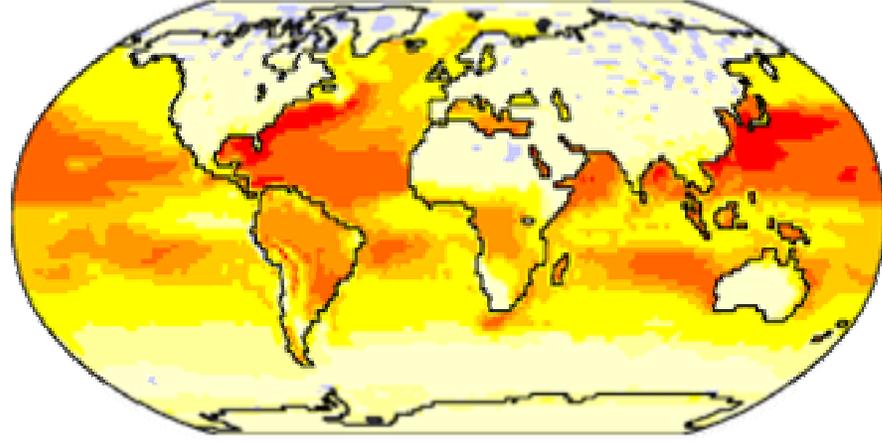
Sensible Heat Flux



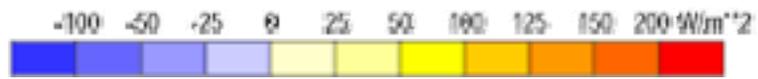
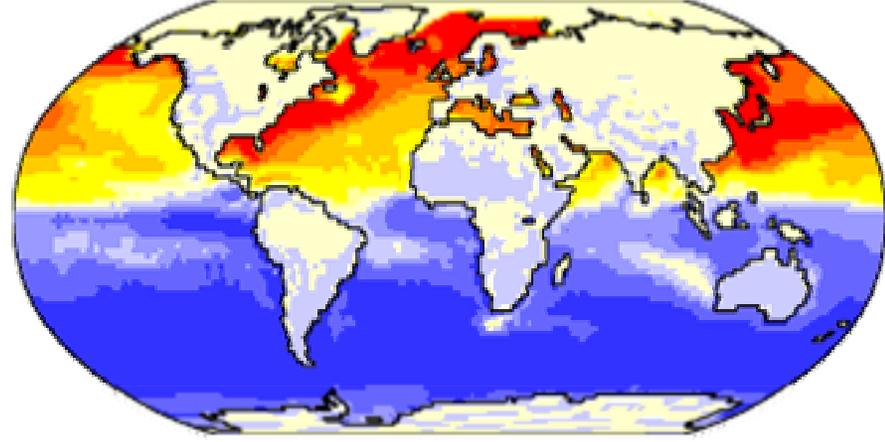
Net Radiation



Latent Heat Flux



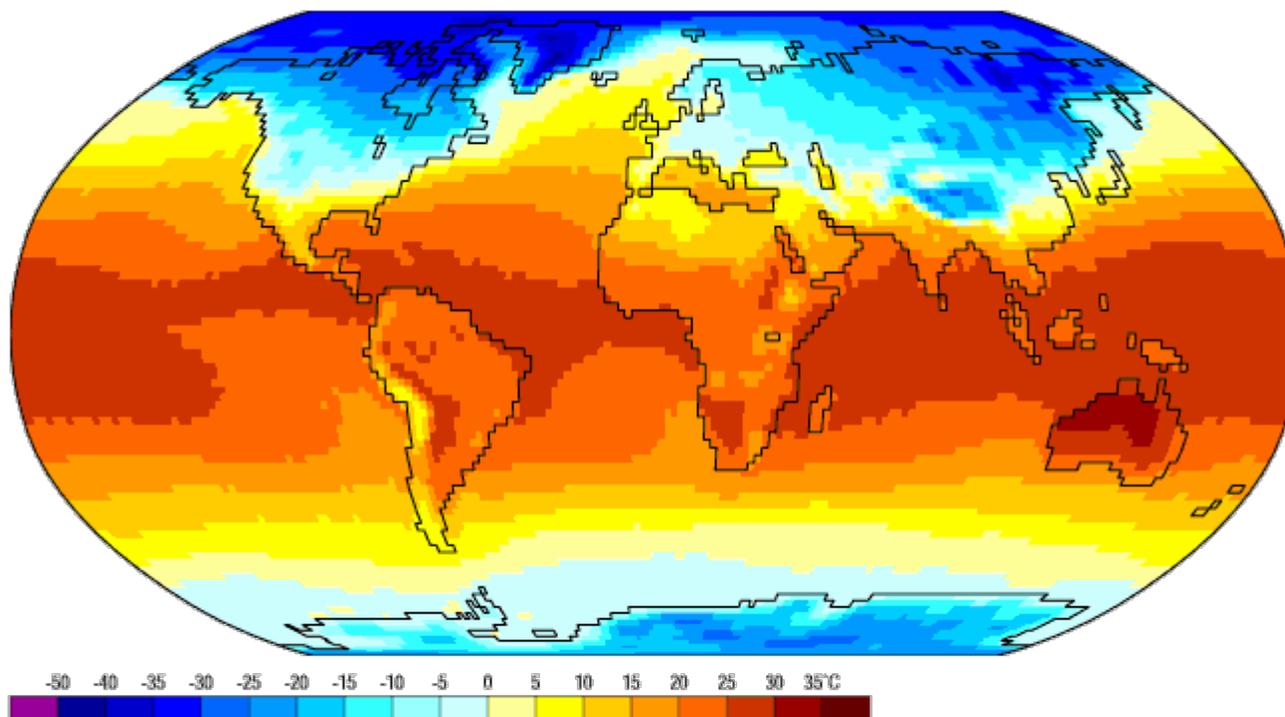
Storage Change



Data: NCER/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

Air Temperature

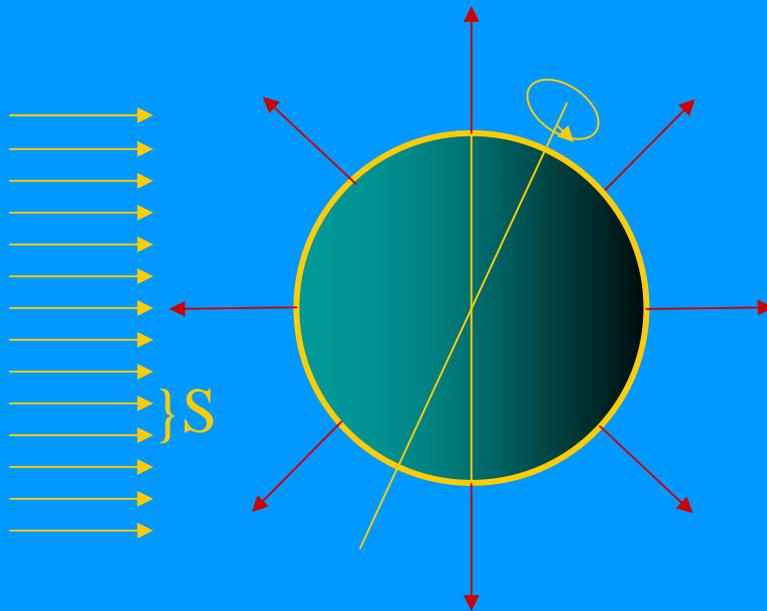
Dec



Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

E. absorbida = E. emitida

$$S(1-a)\pi r^2 = \sigma T_e^4 4\pi r^2$$



	T_e	T_s	EI	Psfc
V	-46	477	523	90
T	-18	15	33	1
M	-57	-47	10	0.007

$$S/4(1-a) = \sigma T_s^4 / f$$

$$f = (T_s/T_e)^4 = 1.63 = (273+15)^4 / (273-18)^4$$

$$T_s^4 = \frac{S}{4\sigma} (1-a) f \quad dT_s = \frac{T_s}{4} \left[\frac{dS}{S} - \frac{da}{1-a} + \frac{df}{f} \right]$$

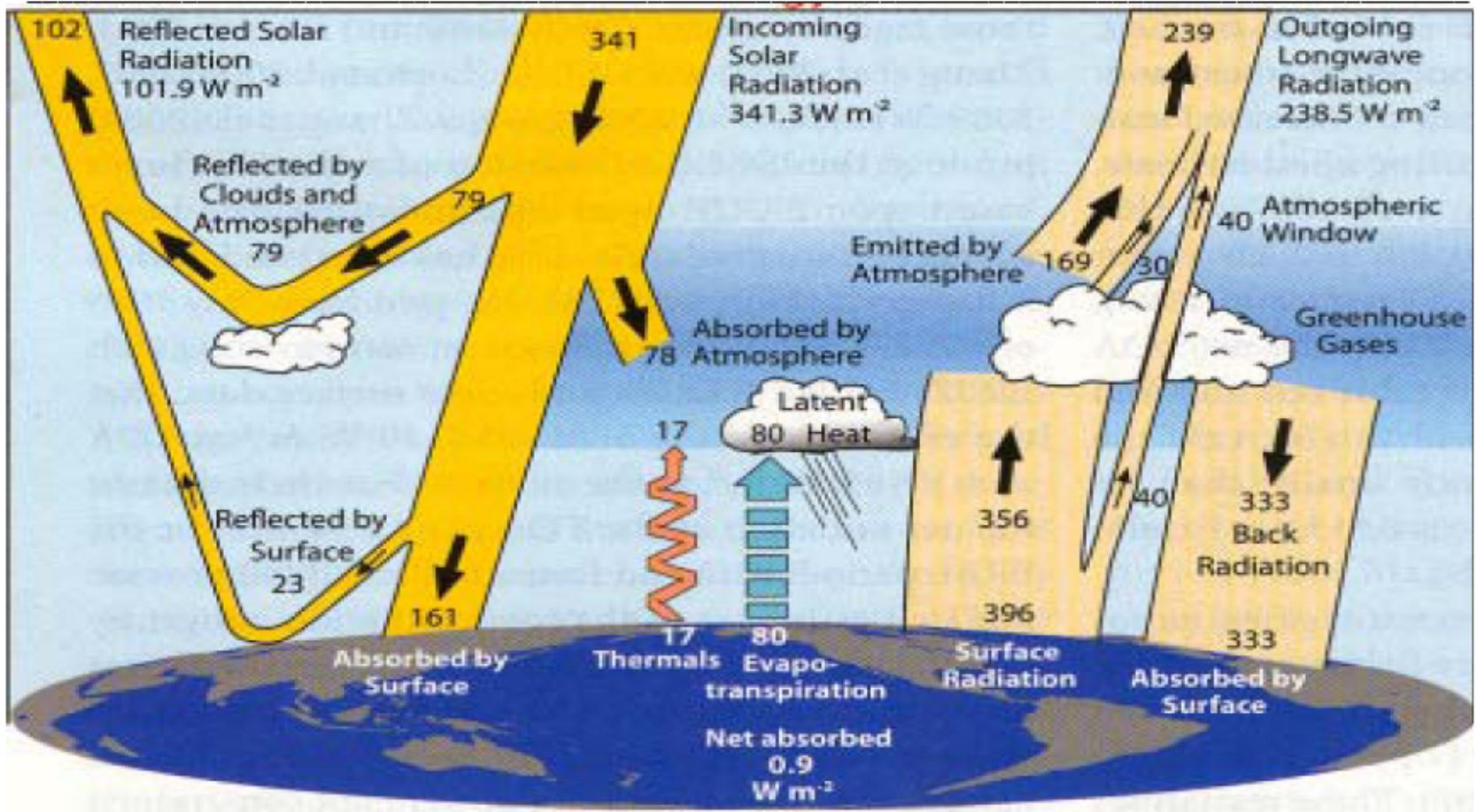
$S = 1370 \text{ W/m}^2$

$a = 0.3$ albedo

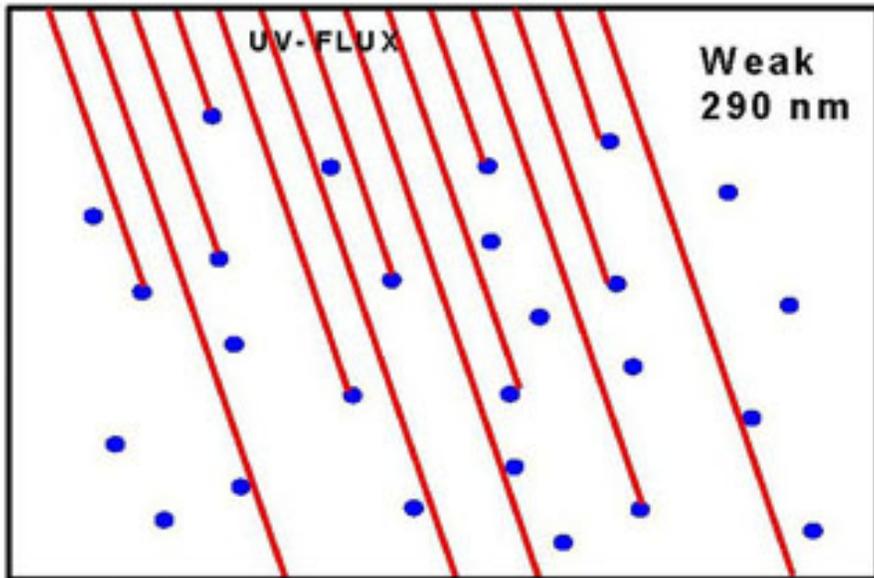
$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

Sol	Nubes	G.E.Inv.
	Hielo	H₂O CO₂
	Aeros	CH₄ N₂O
		CFC

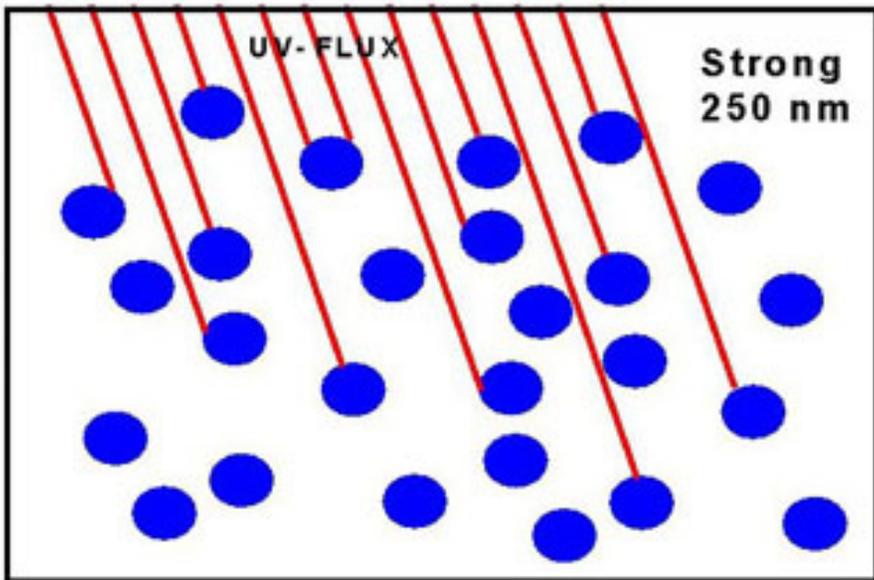
balance energético de la Tierra



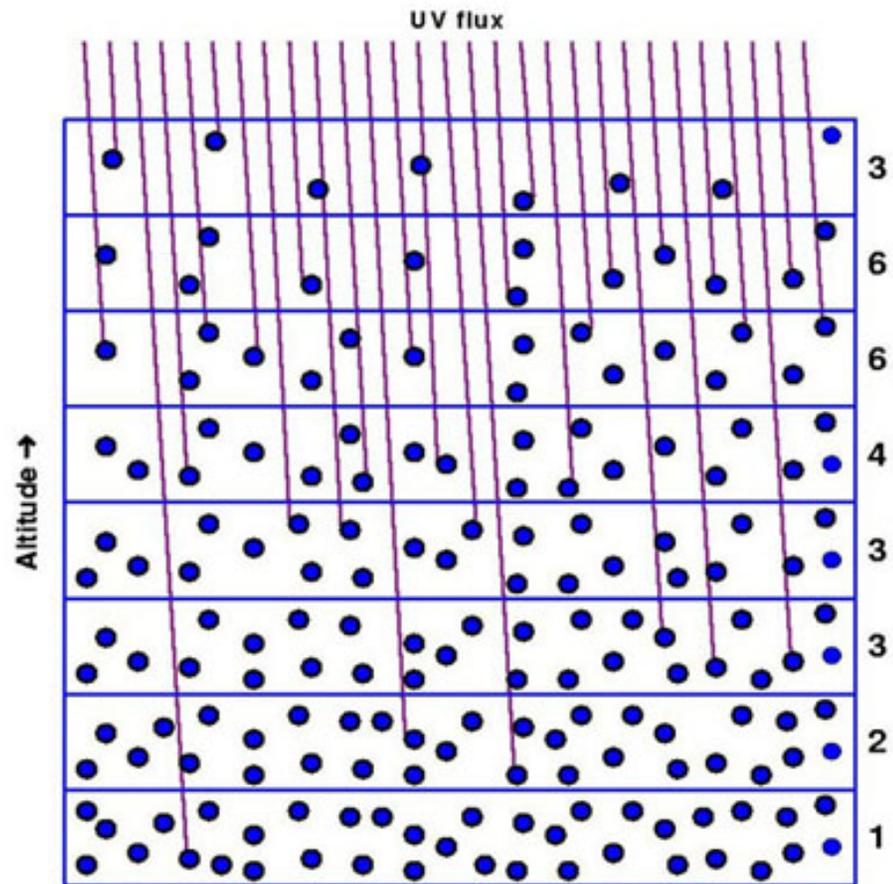
UV Cross sections



Some penetration to surface



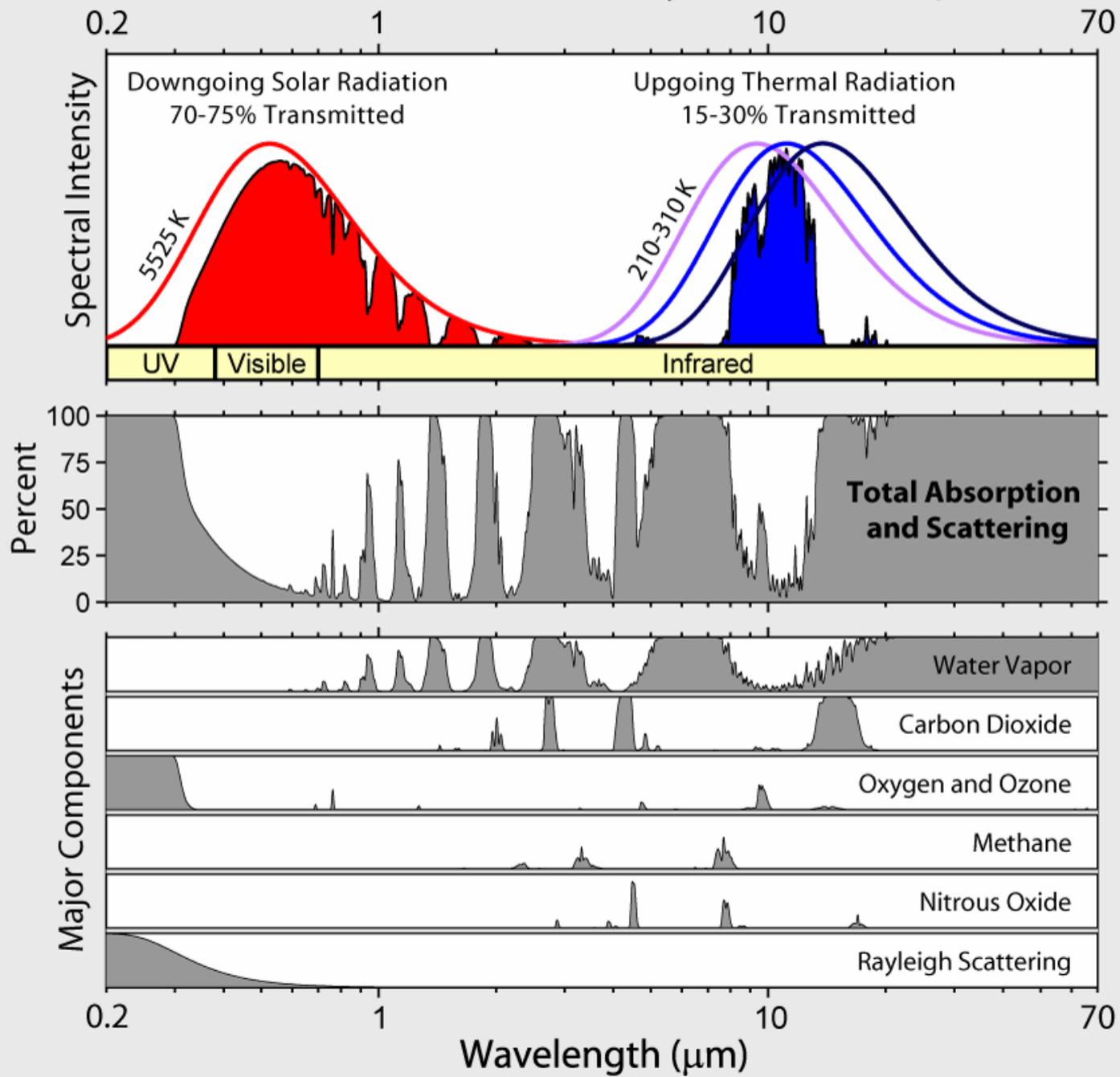
No penetration to surface

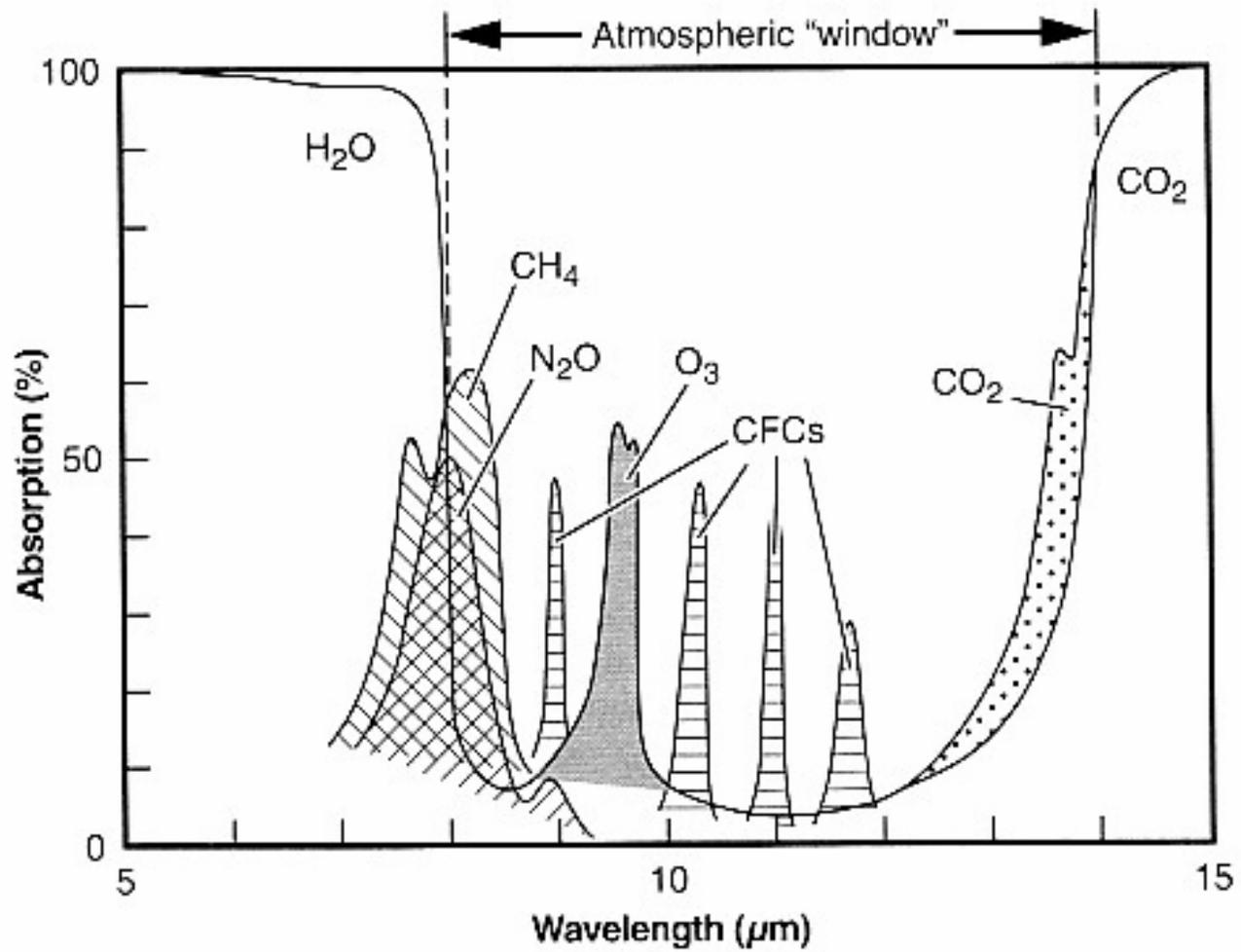


- Density of molecules decreases with higher altitude, and absorption is proportional to the density of the molecules and the cross-section.
- Greatest absorption occurs in the middle layers where the density-cross section product has become large enough for significant absorption.

$$dI_{\lambda} = -k_{\lambda} \rho I_{\lambda} ds$$

Radiation Transmitted by the Atmosphere





Espectro de absorción de la atmósfera en región de la ventana. Se ilustran las principales moléculas absorbentes y el tamaño relativo de sus bandas de absorción.

bibliografía principal



WALLACE, J. M. & HOBBS. P. V. 2006. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*, 2nd edition.