

Universidad de Chile  
Departamento de Geofísica

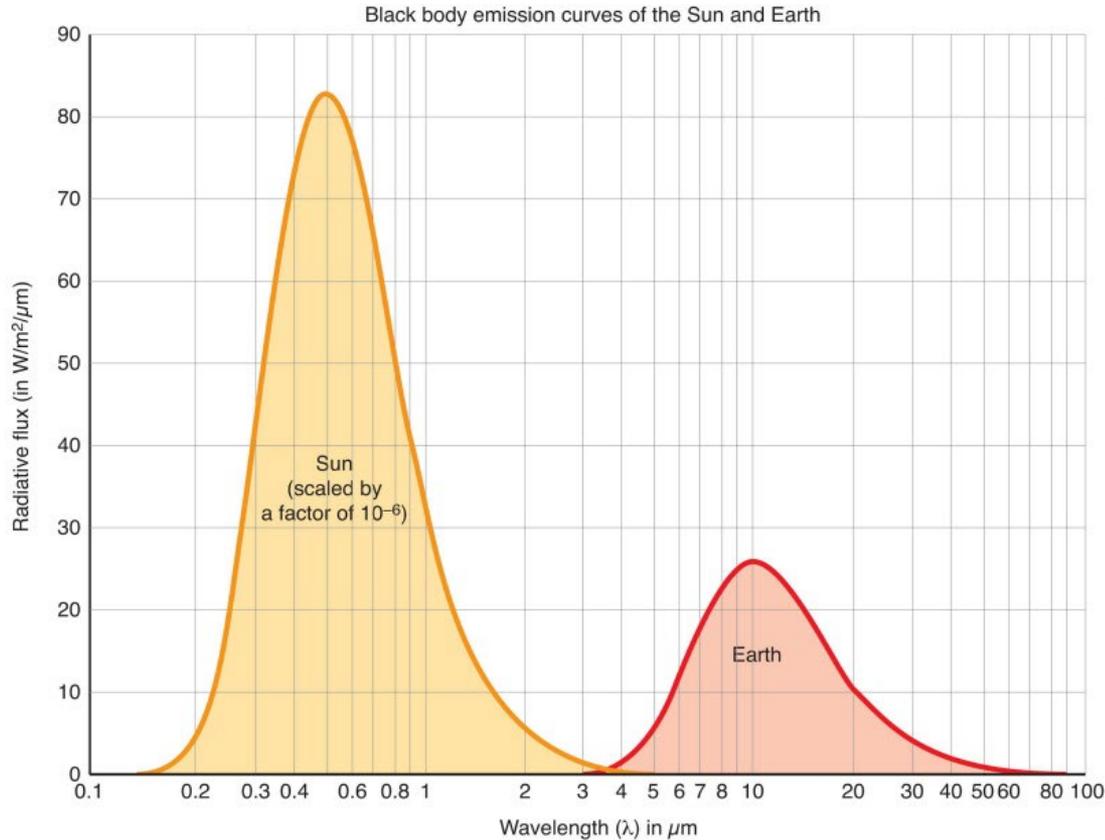
Introducción a la Meteorología

# Transferencia Radiativa II

## Radiación de Onda Larga / Terrestre

Prof. René Garreaud  
[www.dgf.uchile.cl/rene](http://www.dgf.uchile.cl/rene)

# Usando la ley de Planck...



???



$$T_{sol} = 5800 K \text{ (en superficie)}$$

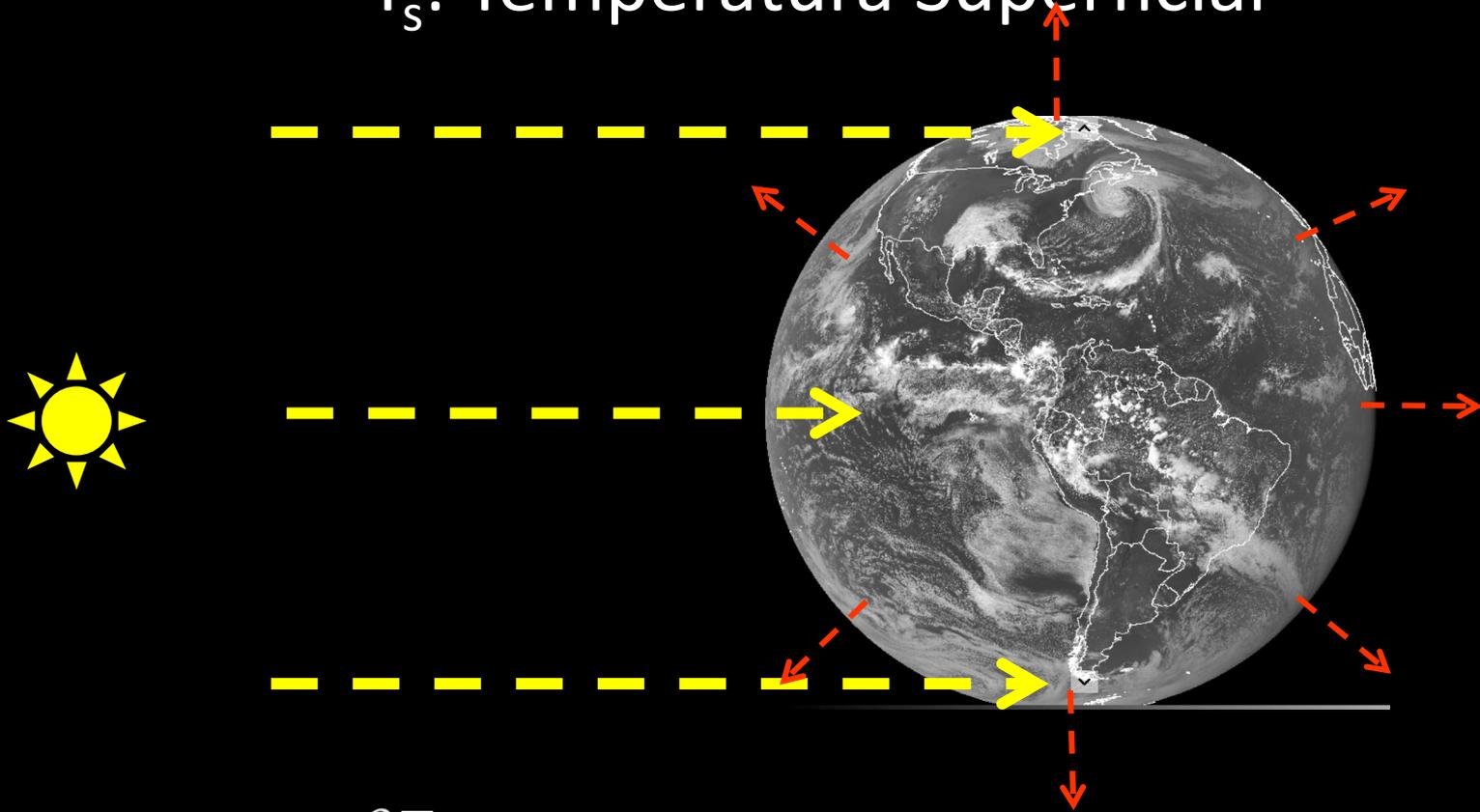
$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T} \approx 0.5 \mu m$$

$$T_{usted} = 27^\circ C = 300 K$$

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T} \approx 10 \mu m$$

# Balance de Energía Planetario

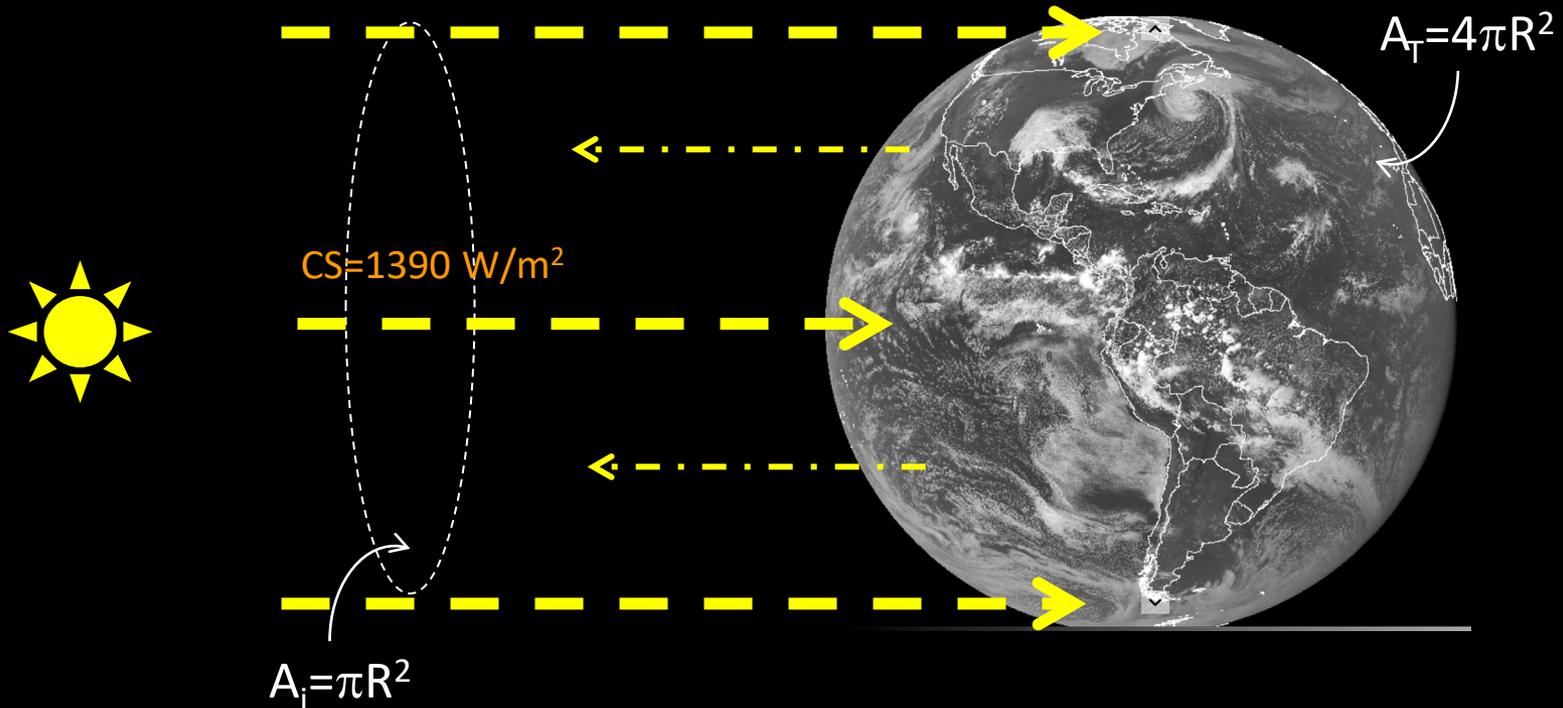
$T_s$ : Temperatura Superficial



$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = E_{sol} - E_{tierra} + E_{interna} + S$$

$$E_{sol} \approx E_{tierra} \rightarrow T_s^{equil}$$

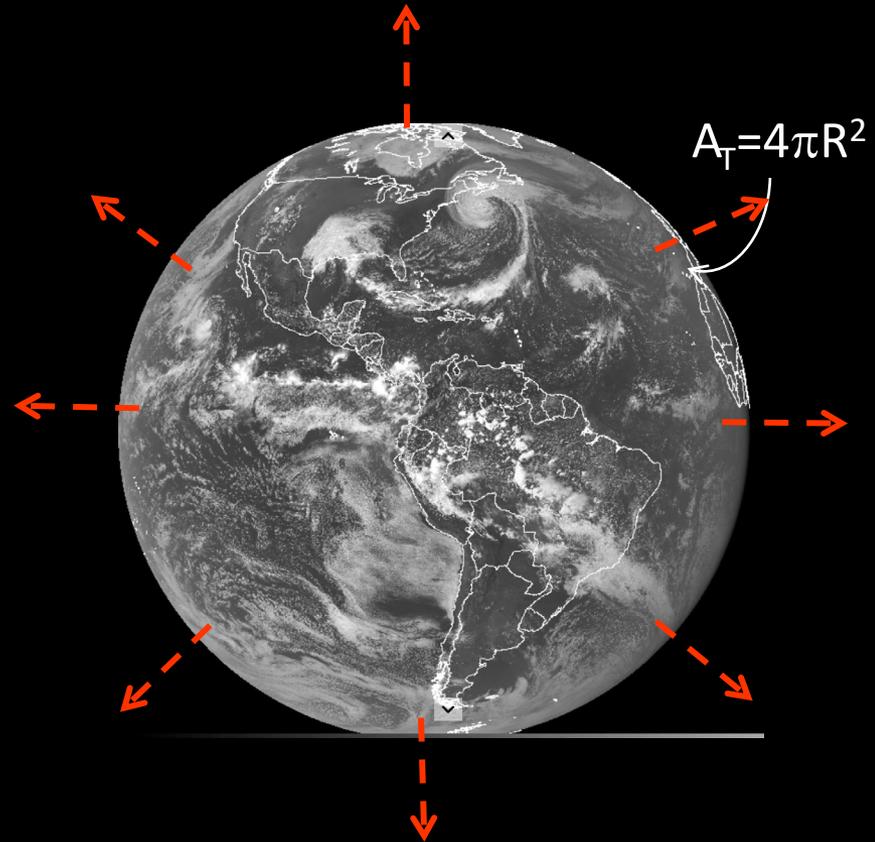
# Energía proveniente del sol



Energía Recibida por el planeta:  $E_s = (1 - \alpha) \cdot CS \cdot \pi \cdot R^2$  [W]

$\alpha$  = albedo planetario (RS reflejada): 0.3 para la tierra

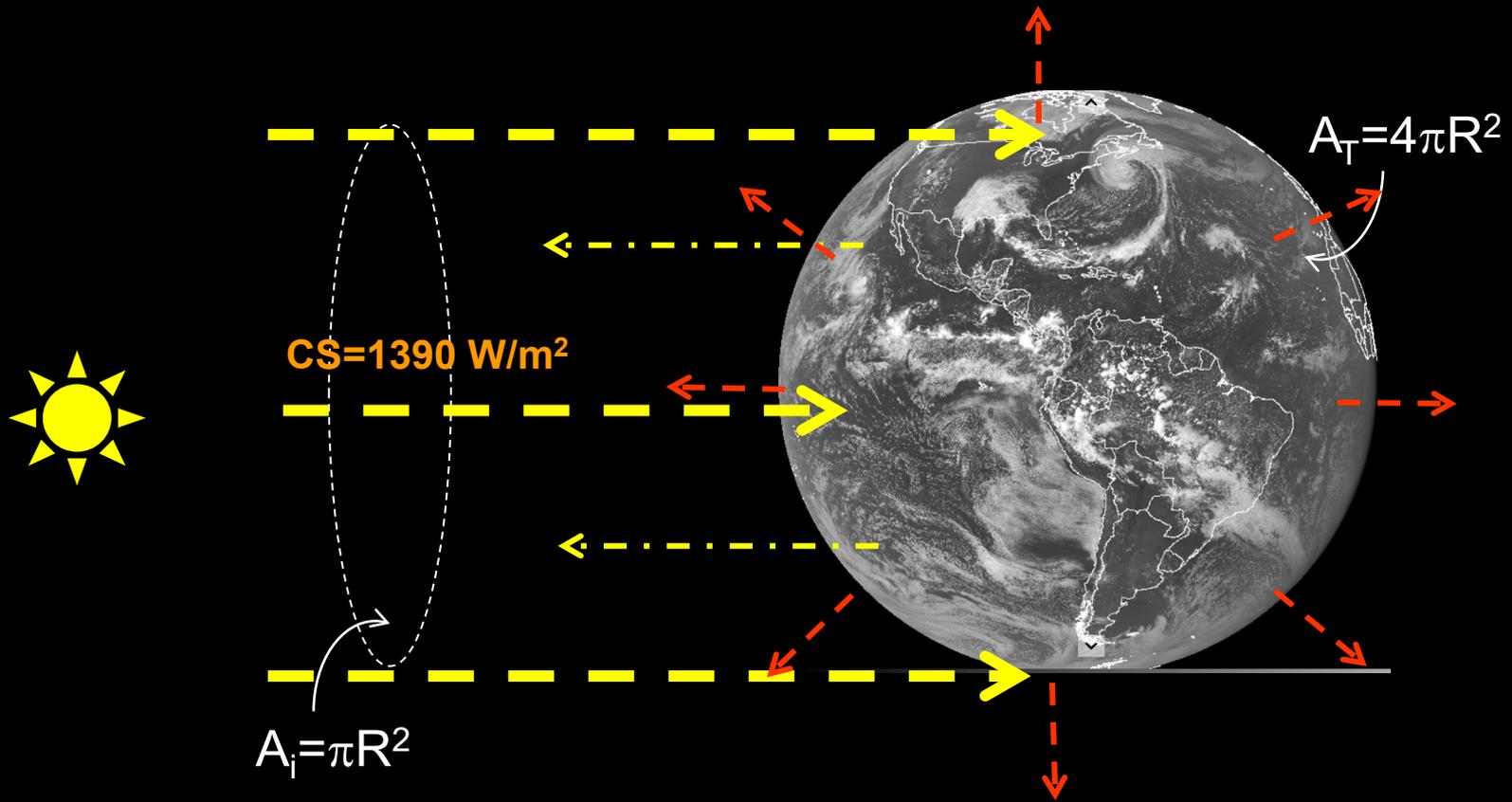
# Energía emitida por el planeta



Energía emitida por el planeta

$$E_t = e_t \cdot (4\pi \cdot R^2) = (\varepsilon \sigma T_e^4) \cdot (4\pi \cdot R^2) \text{ [W]}$$

# Temperatura de Equilibrio Planetario: $T_e$

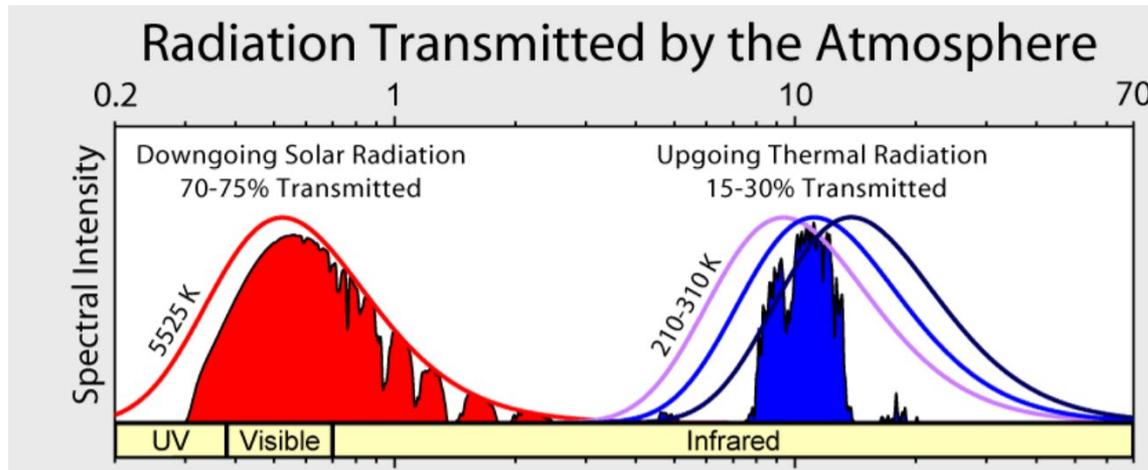
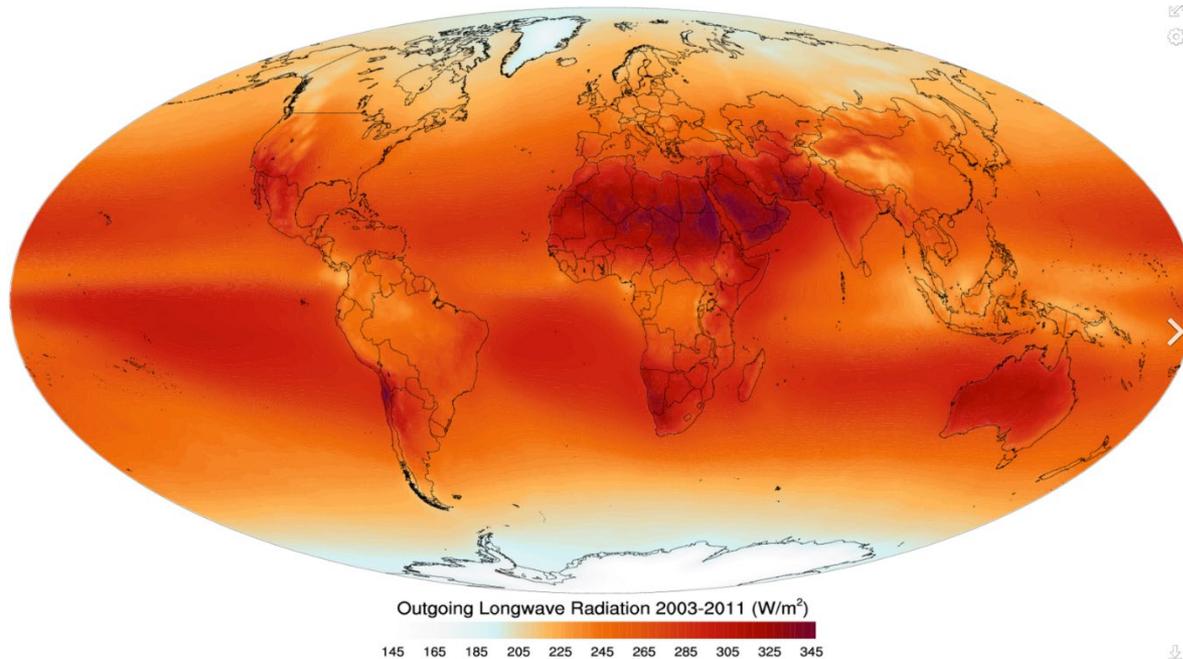


$$(1-\alpha) \cdot CS \cdot \pi \cdot R^2 = e_t \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^2 \rightarrow e_t = 241 \text{ W/m}^2 \rightarrow$$

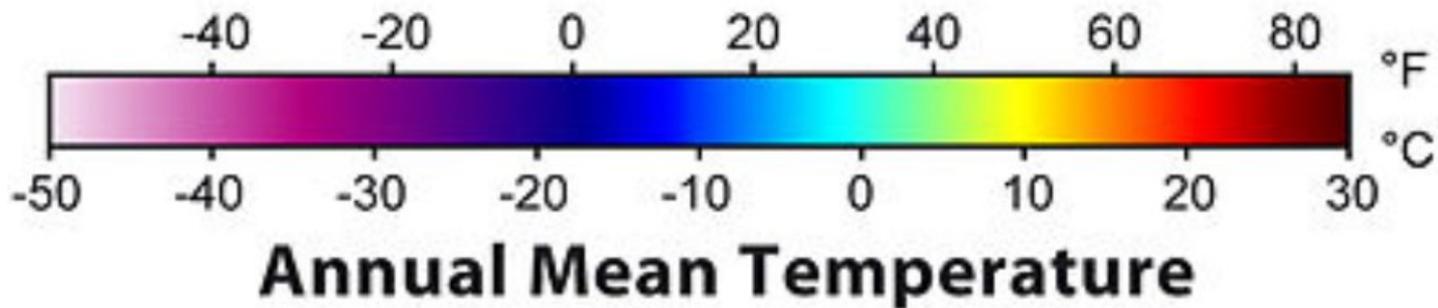
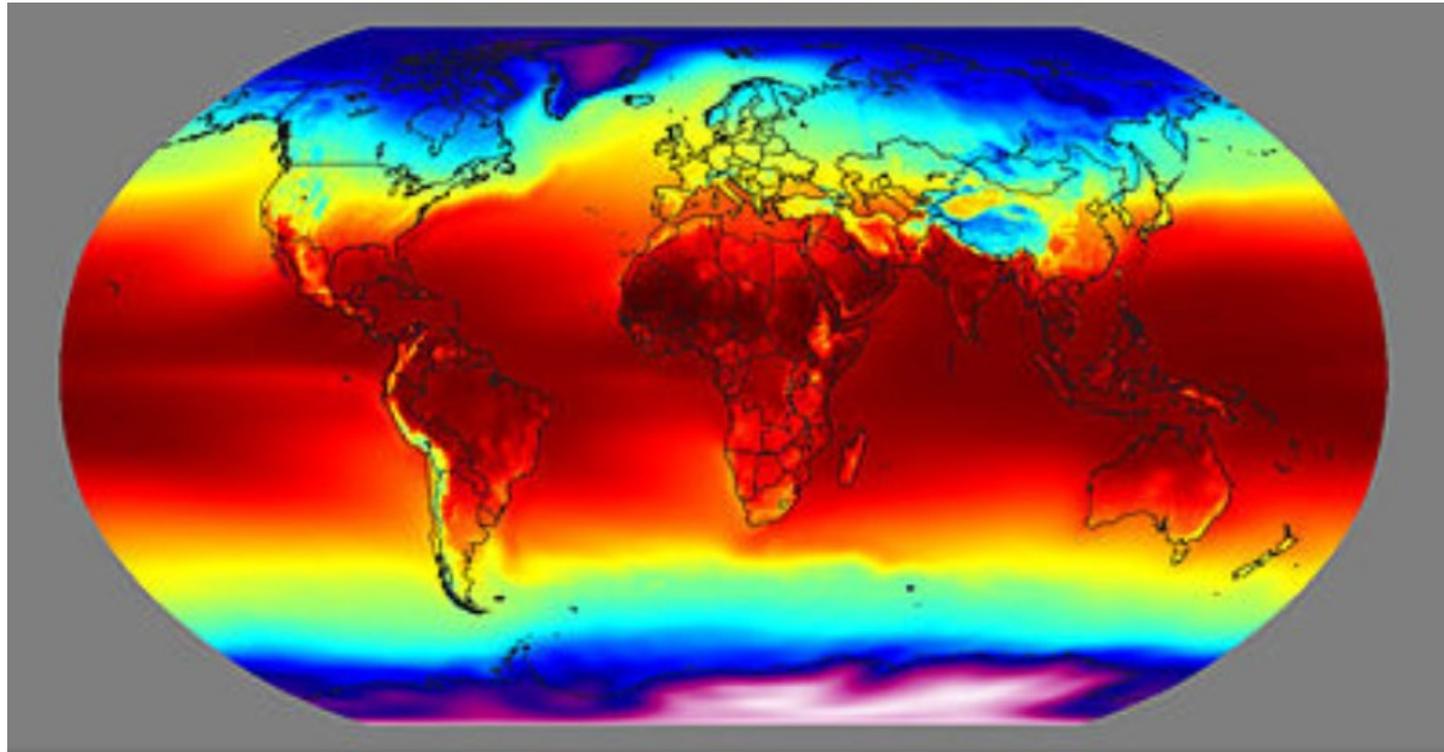
$$T_e = 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C} \rightarrow \lambda_{\text{max}} \sim 10 \mu\text{m} \Rightarrow \text{Rad Onda Larga}$$

# Mirando desde afuera

## ROL emergente promedio global: 241 Wm<sup>-2</sup>



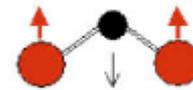
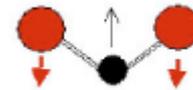
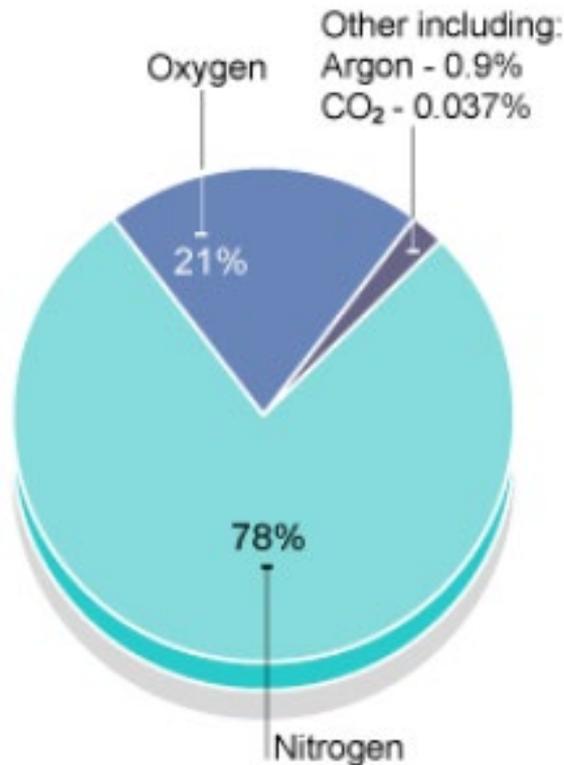
Temperatura superficial promedio (12 meses, 40 años)  
global: +15°C = 288 K →  $E_t \approx 374 \text{ W/m}^2$



# Efecto invernadero y cambio climático

Algo pequeño tiene un efecto grande...

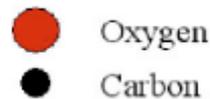
CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O and other gasses absorb longwave radiation emitted by the surface...

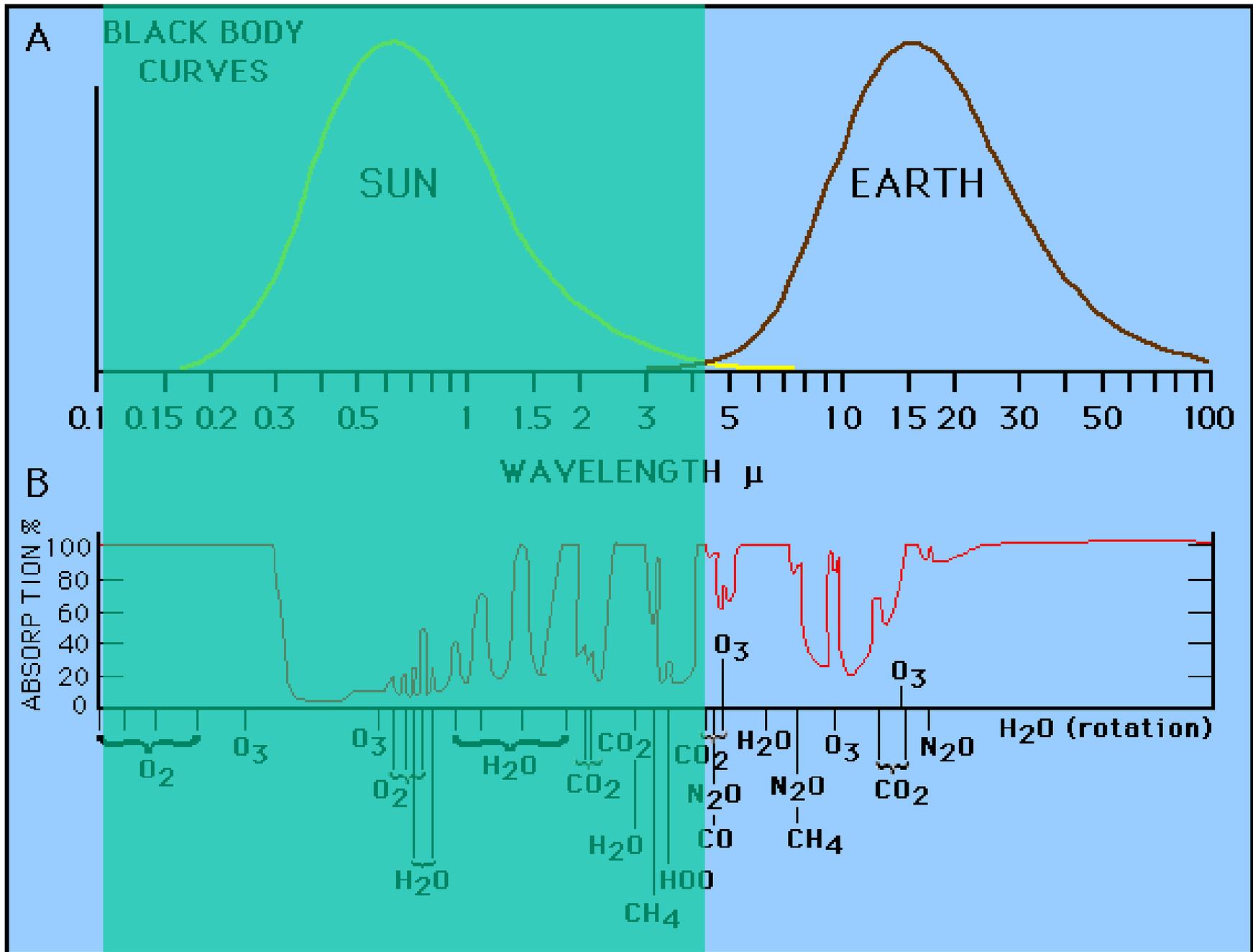


Symmetric Stretch  
1366 cm<sup>-1</sup>

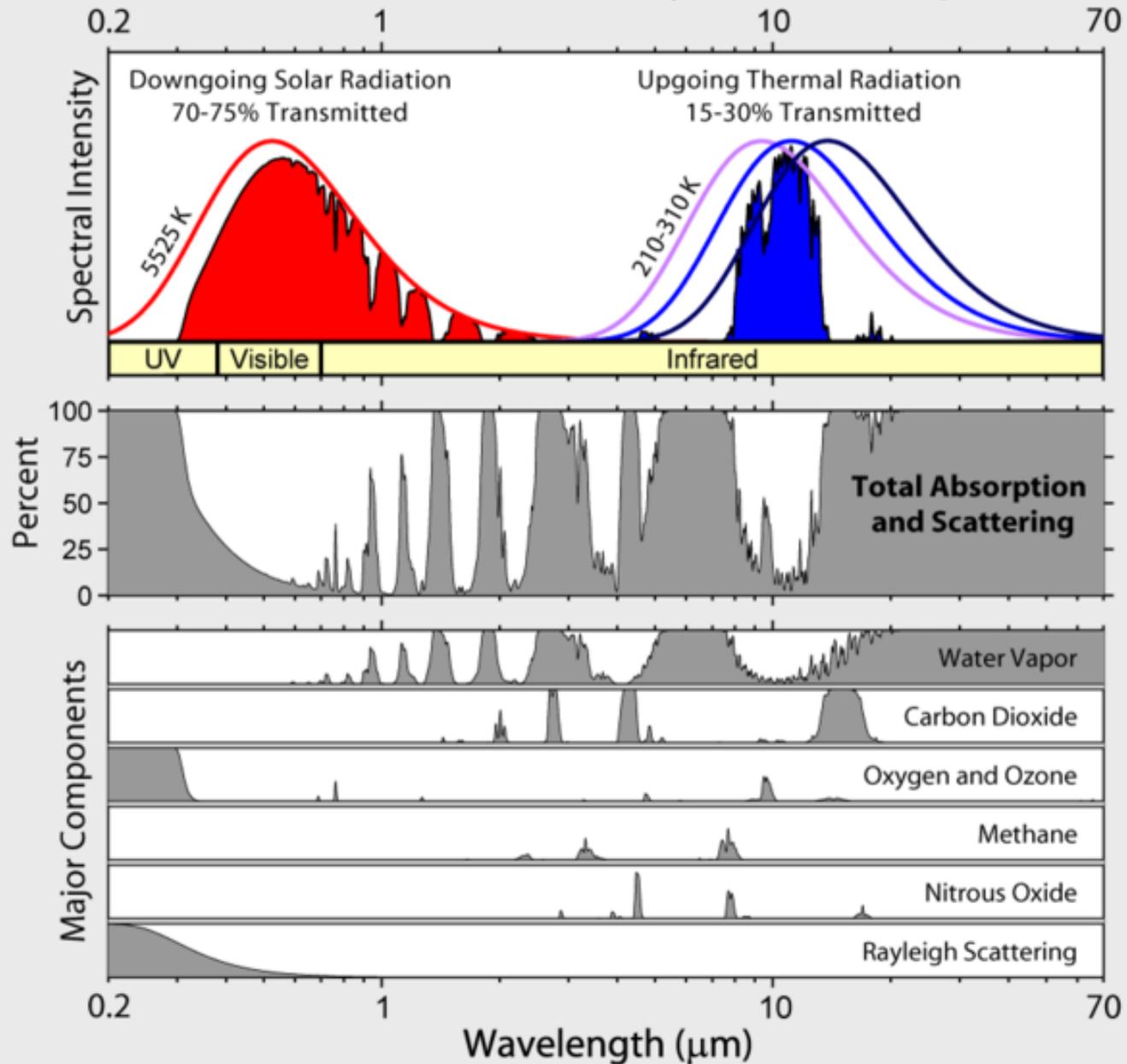
Bending Mode  
667 cm<sup>-1</sup>

Asymmetric Stretch  
2349 cm<sup>-1</sup>

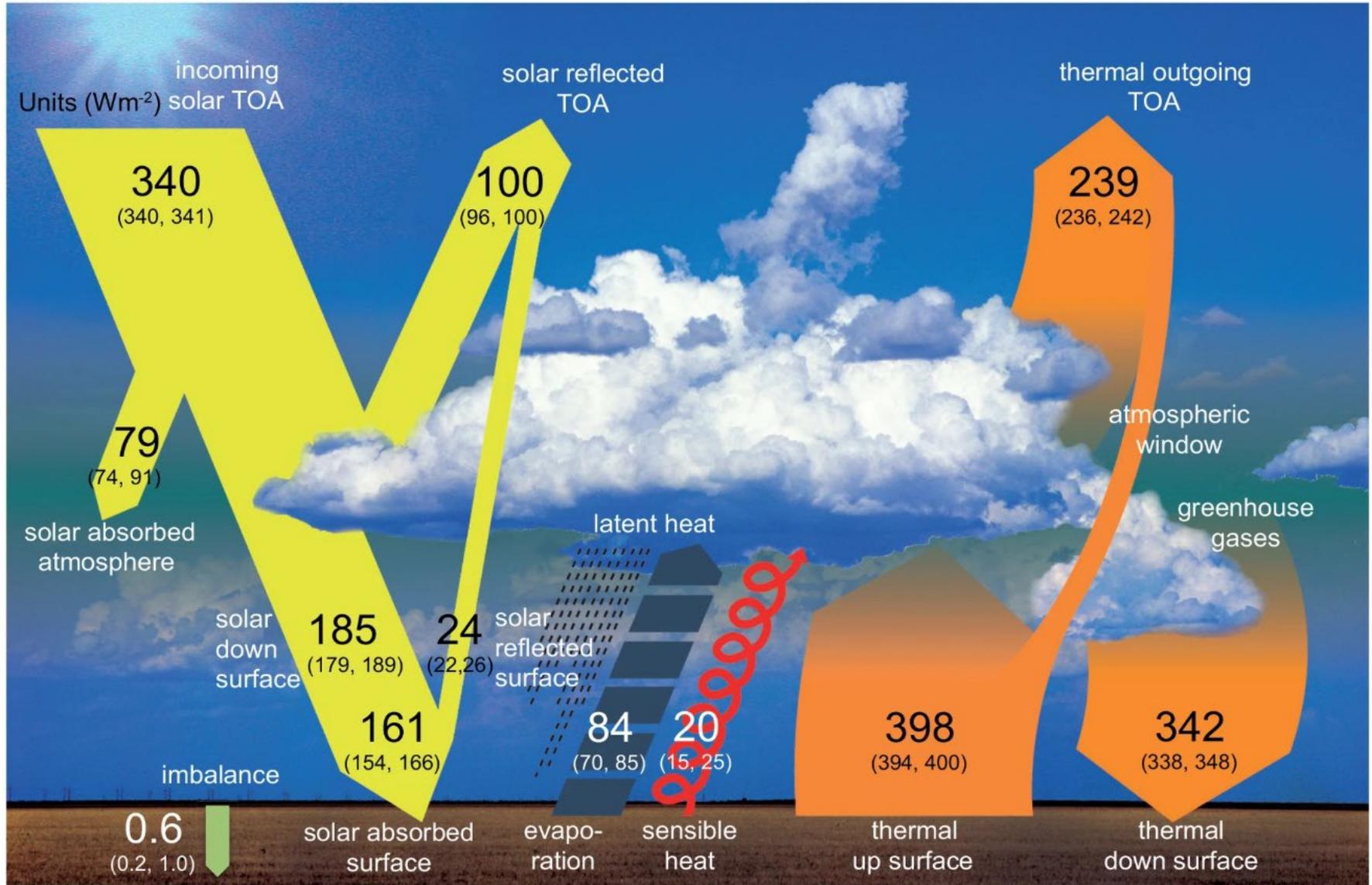




# Radiation Transmitted by the Atmosphere

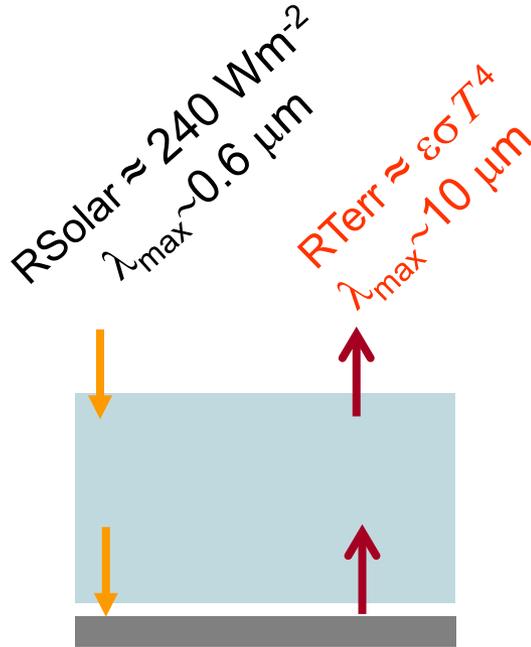


# Balance de Energía Global y Efecto Invernadero



# Modelos (muy) simples de la atmosfera terrestre

En estado estacionario ( $\partial T / \partial t = 0$ ) en cada nivel  $E_{\uparrow} = E_{\downarrow}$



$$T_e = T_0 \approx -18^\circ\text{C}$$

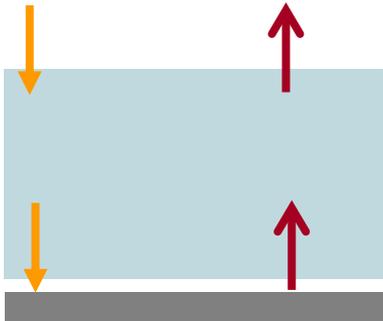
Atmósfera 100%  
transparente a ROC y ROL.

# Modelos (muy) simples de la atmosfera terrestre

En estado estacionario ( $\partial T / \partial t = 0$ ) en cada nivel  $E_{\uparrow} = E_{\downarrow}$

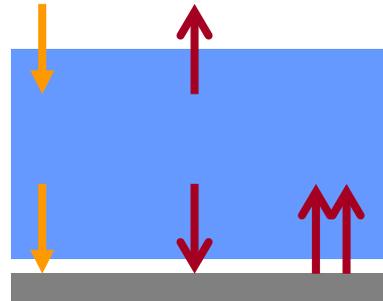
$R_{\text{Solar}} \approx 240 \text{ Wm}^{-2}$   
 $\lambda_{\text{max}} \sim 0.6 \mu\text{m}$

$R_{\text{Terr}} \approx \epsilon \sigma T^4$   
 $\lambda_{\text{max}} \sim 10 \mu\text{m}$

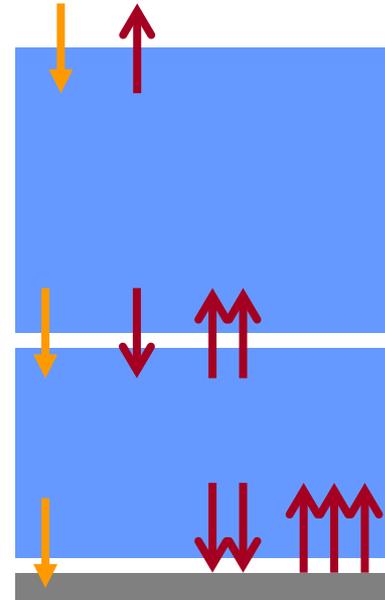


$$T_e = T_0 \approx -18^\circ\text{C}$$

Atmósfera 100% transparente a ROC y ROL.



$$T_e = (2)^{1/4} T_0 \approx 15^\circ\text{C}$$



$$T_e = (3)^{1/4} T_0 \approx 30^\circ\text{C}$$

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

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...

# Un modelo (muy) simple de efecto invernadero

Para el planeta tierra:

$$E=241 \text{ W/m}^2$$

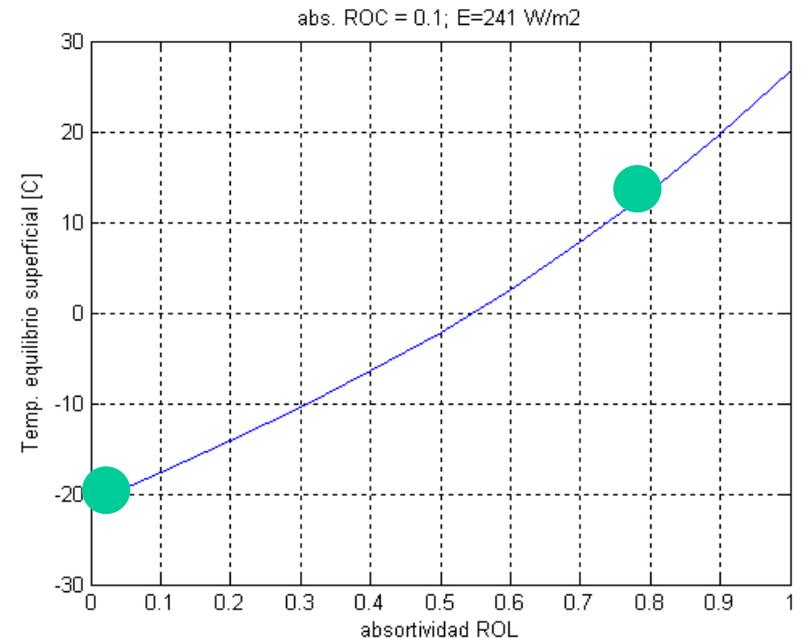
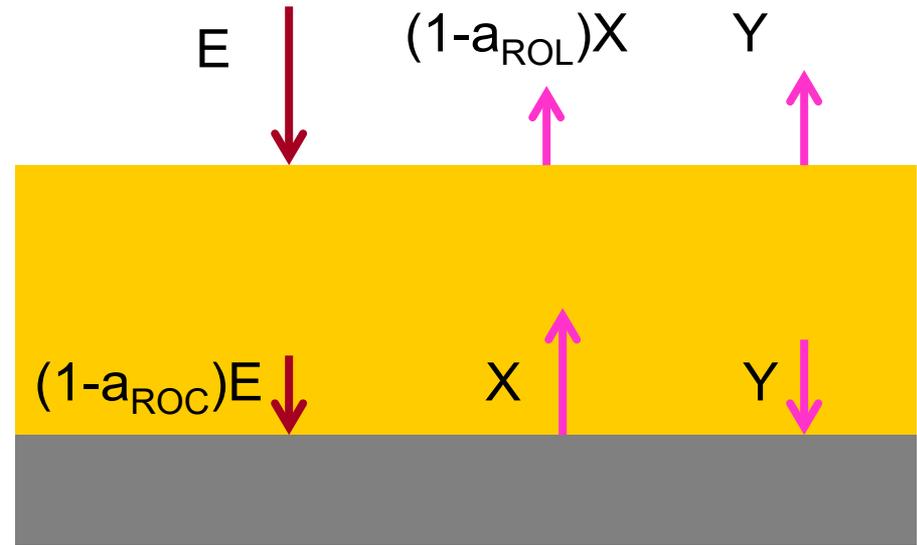
$$a_{\text{ROL}}=0.8 \text{ y } a_{\text{ROC}}=0.1$$

$$\text{Bal. Rad. al tope} \quad (1-a_{\text{ROL}})X + Y = E$$

$$\text{Bal. rad. superficie} \quad (1-a_{\text{ROC}})E + Y = X$$

$$X = \sigma T_s^4 = E (2-a_{\text{ROC}}) / (2-a_{\text{ROL}})$$

→  $T_s$  aumenta si se incrementa  $a_{\text{ROL}}$



## Completar la siguiente tabla....C1!

Planeta	Constante Solar ( $W/m^2$ )	Albedo	T. Equil. Teorica [C]	Temp. Observada desde fuera [C]	Temp. Superficial observada [C]
Mercurio		0.06		169	?
Venus		0.78		-46	+477
Tierra		0.30		-18	+15
Marte		0.17		-57	-47
Jupiter		0.45		-148	?

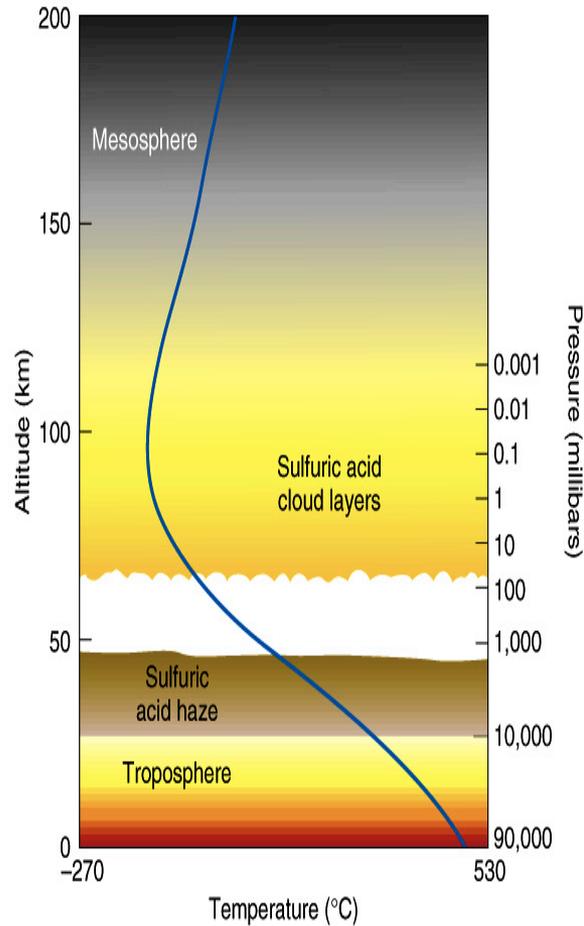
Recuerde emplear  $^{\circ}K$  en las formulas y luego convertir a  $^{\circ}C$ .

¿por qué la Venus observado desde afuera es más frío que la Tierra pese a estar mas cerca del sol?

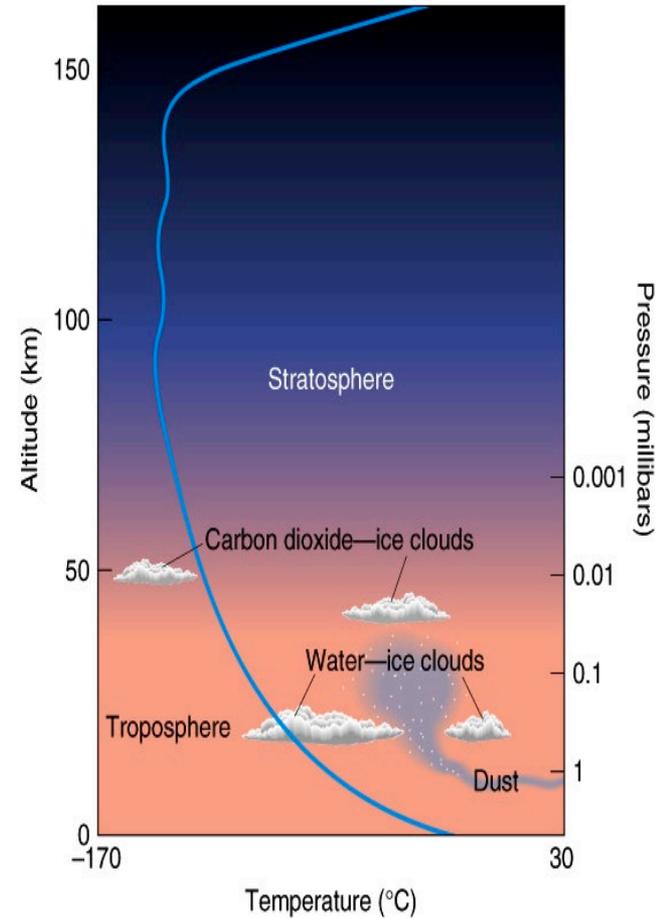
¿qué planeta tiene el mayor y menor efecto invernadero?¿cuáles son las gases invernadero mas relevantes en cada caso?

¿qué puede explicar la discrepancia en el caso de Júpiter?

# Venus

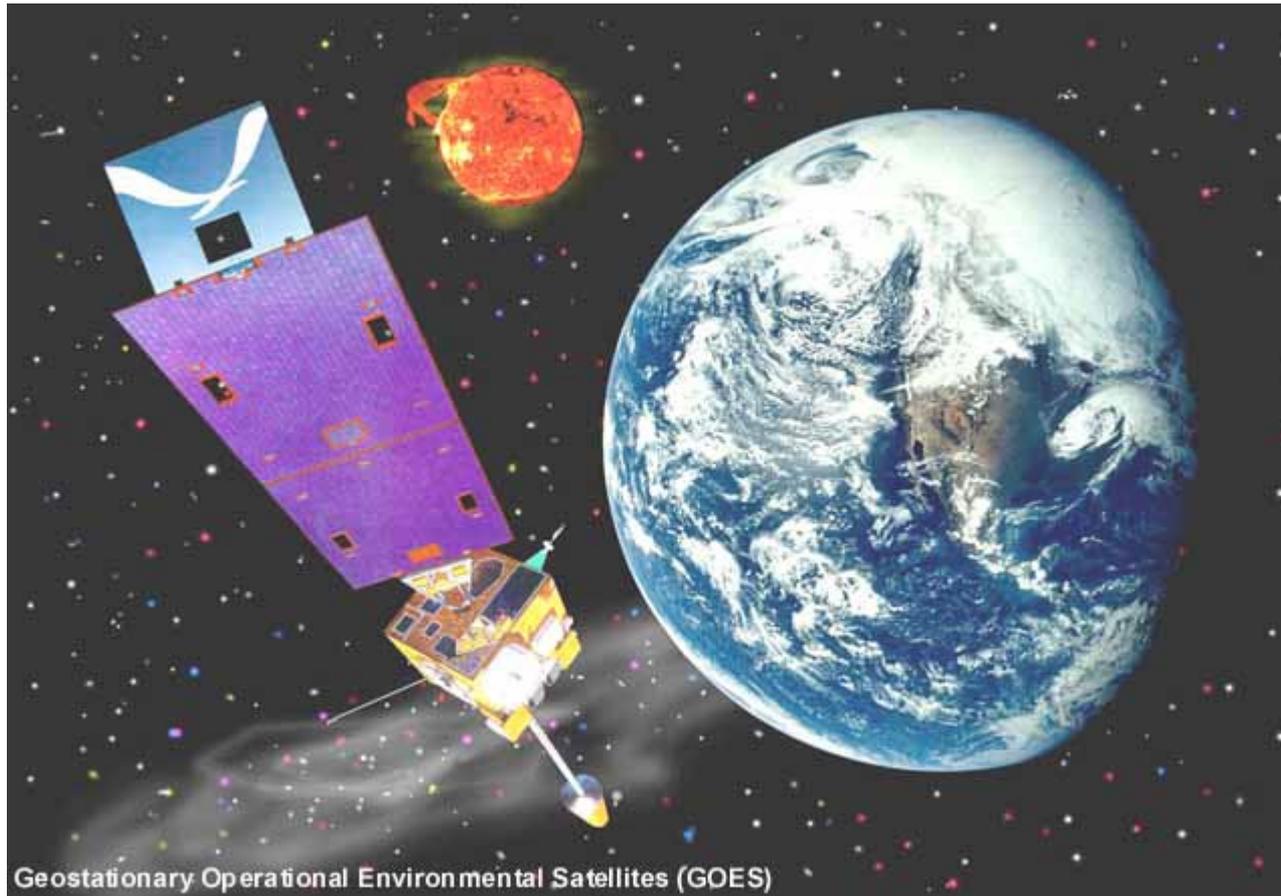


# Marte



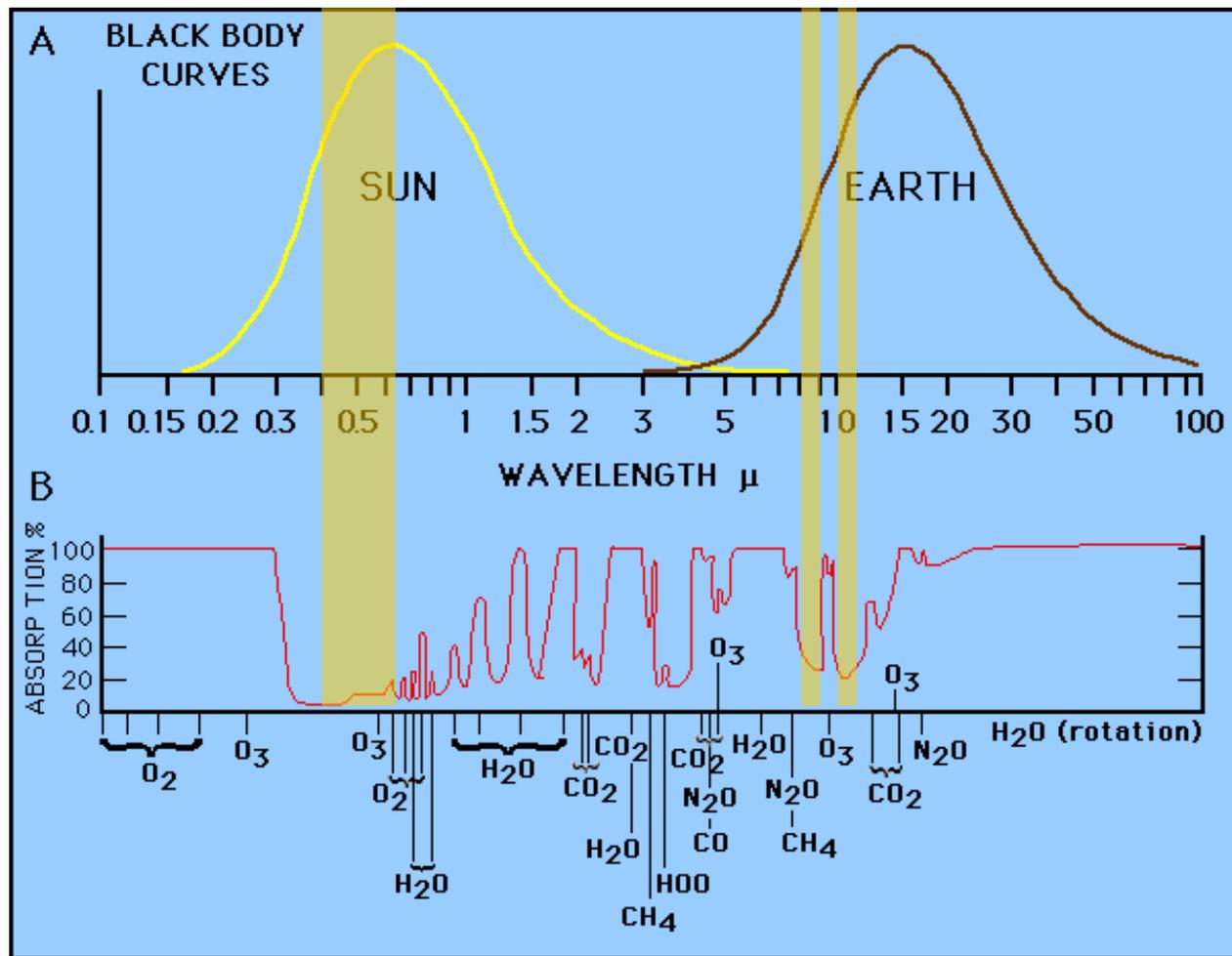
Que similitudes/diferencias existen entre la atmósfera de la Tierra, Marte y Venus?  
Como es la estructura vertical de Júpiter, Saturno, etc...?

## Aplicación: Imágenes Satelitales en Meteorología



Satélite GOES-16: Geoestacionario (siempre a  $80^{\circ}\text{W}$ ),  
36.000 km sobre la superficie del planeta.

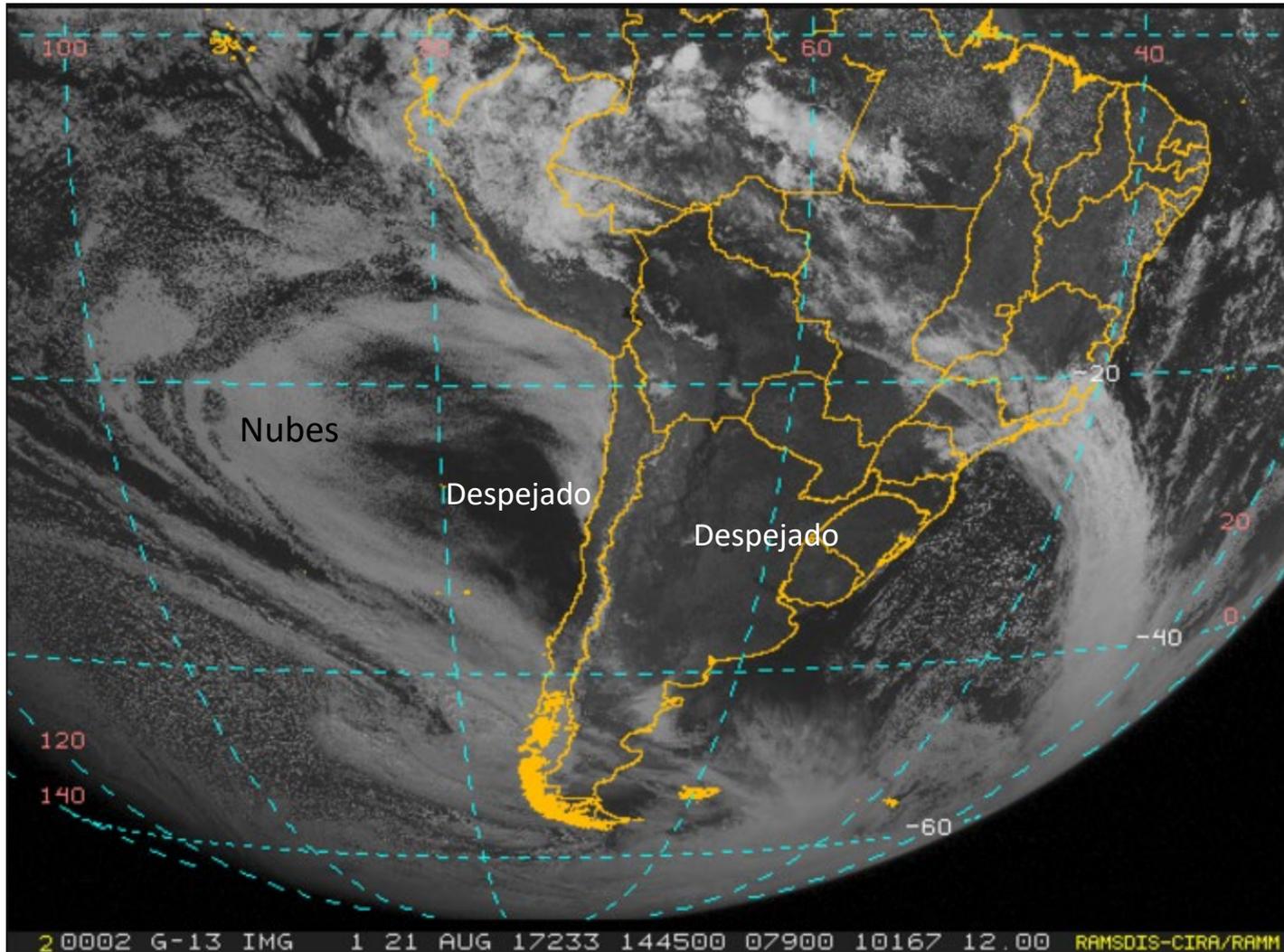
## Ventana VIS



Recordemos que la atmósfera es transparente a la ROC. Entonces un satélite “mirando” hacia la tierra en el rango 0.4-0.7  $\mu\text{m}$  vera la radiación reflejada por la superficie del planeta o las nubes sobre ella.

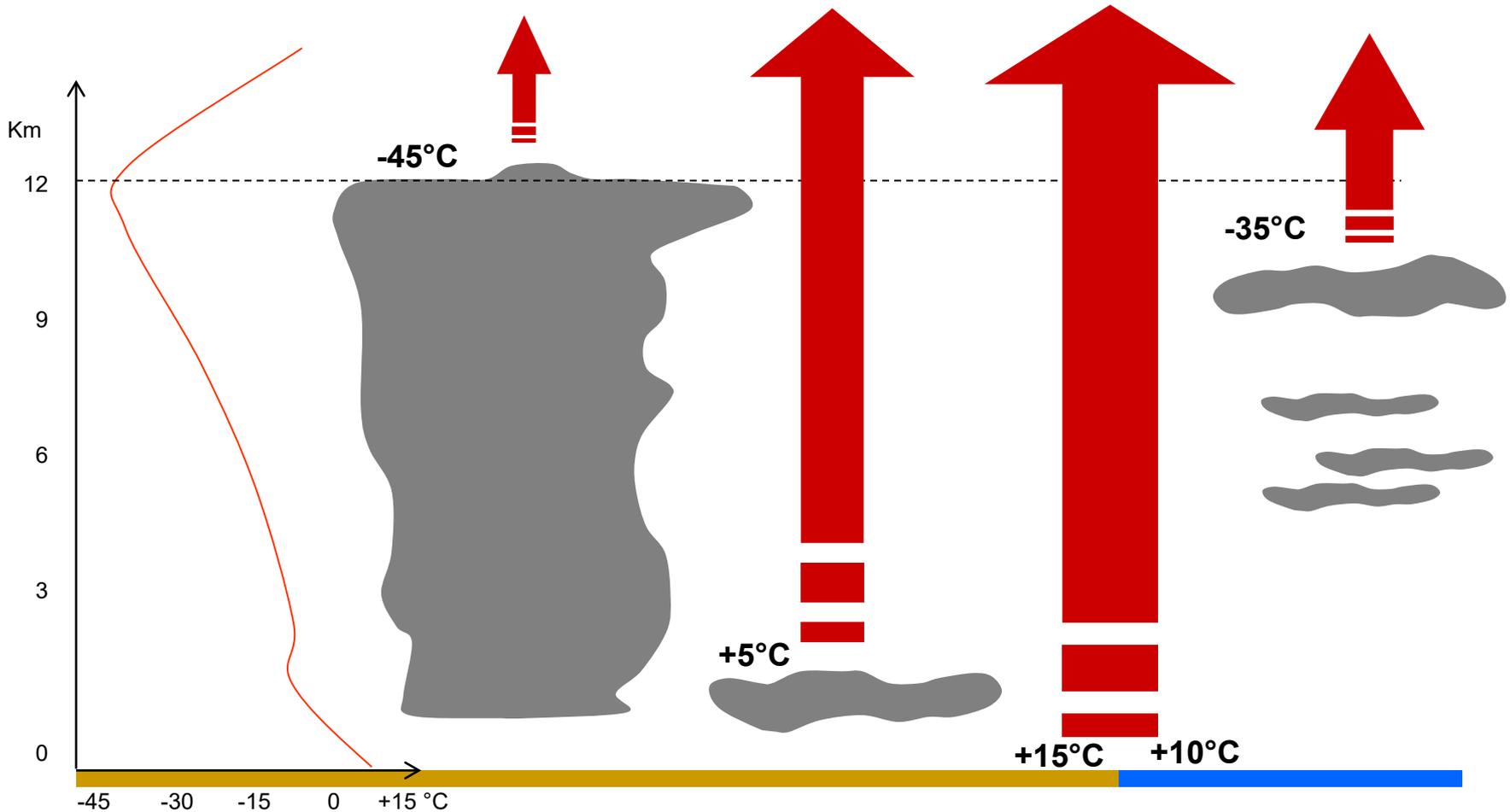
Las diferencias de reflectividad (energía reflejada y recibida por el satélite) permiten distinguir diversos rasgos: zonas con nubes, océanos, continentes, nieve, etc.

# Canal Visible

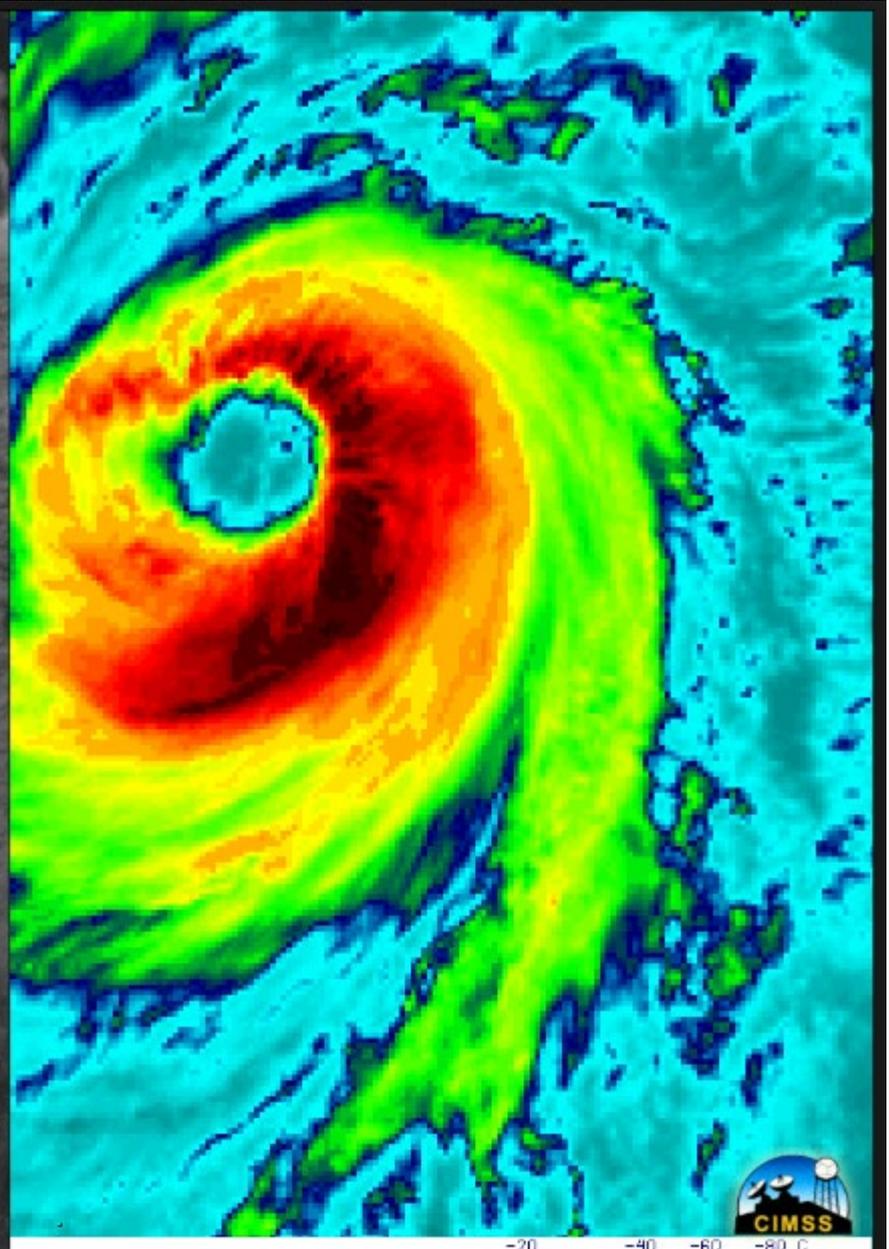
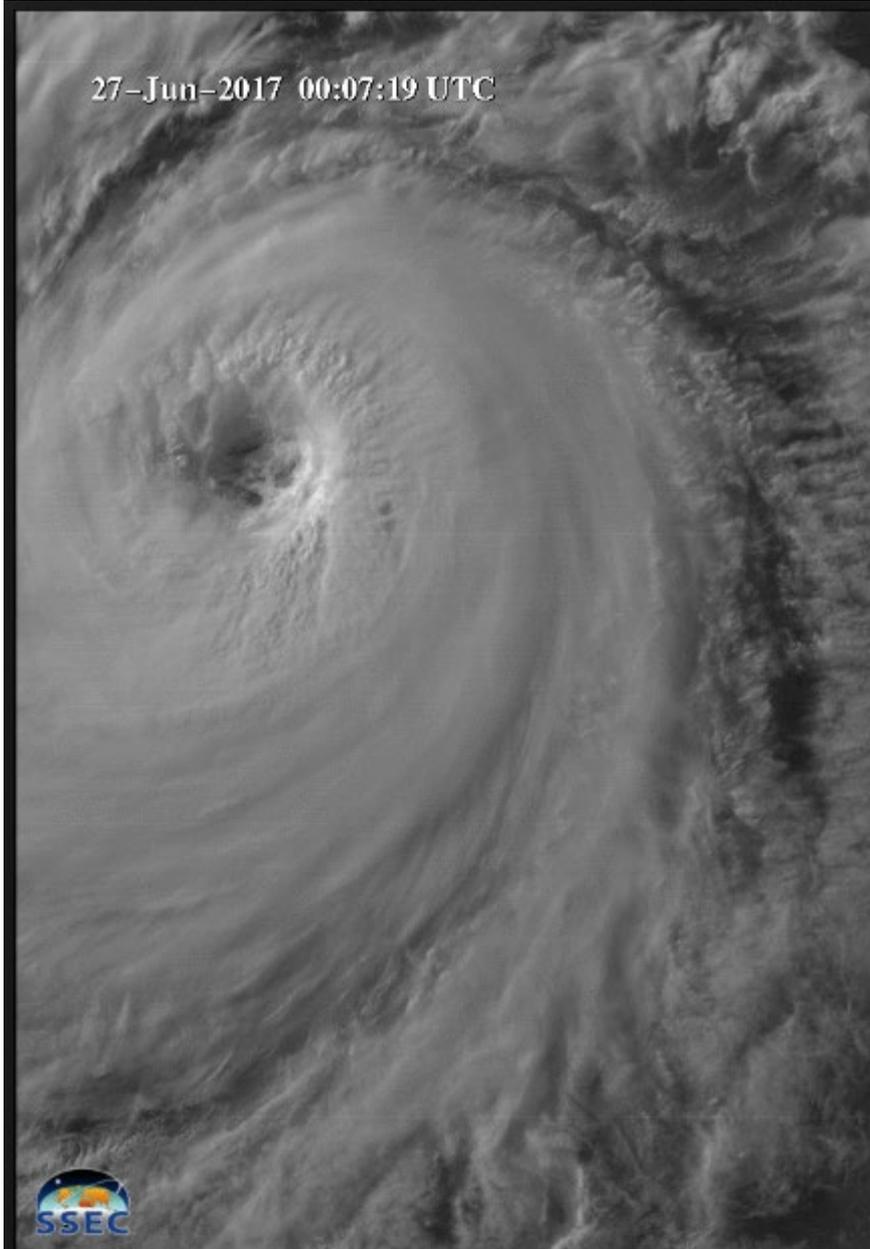




$E^* = \sigma T^4$  + Major part of "earth" Energy in IR band + Atmospheric IR Windows  
→ IR satellite measurements can be used to estimate "surface" temperatures and eventually cloud top height  
Caveats: Obscuring effects, atmospheric effects, no info. on cloud depth



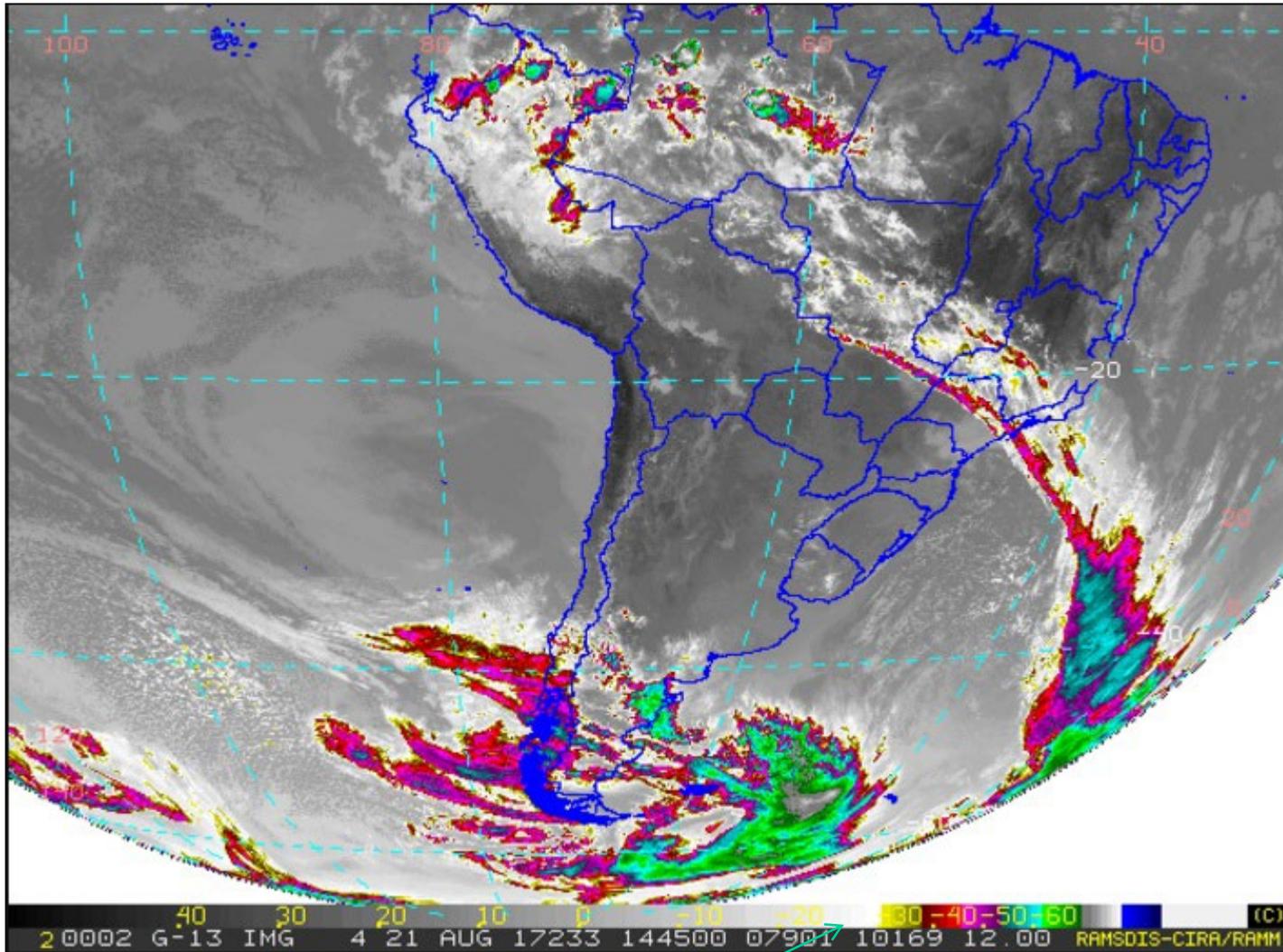
27-Jun-2017 00:07:19 UTC



GOES-16 VISIBLE 0.64 UM (BAND 2) 00:07:19 UTC 27-JUN-2017

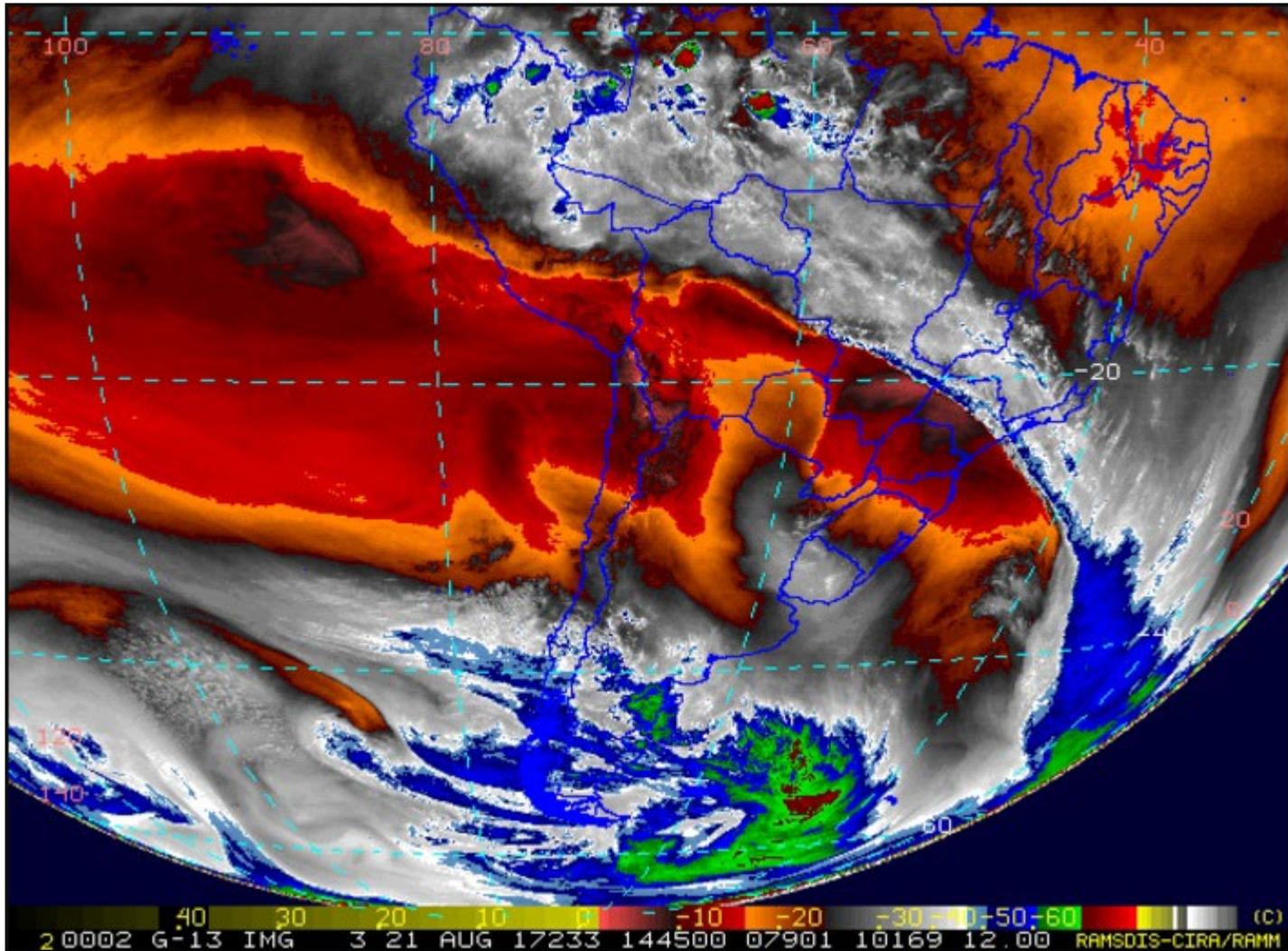
GOES-16 INFRARED 10.3 UM (BAND 13) 00:07:19 UTC 27-JUN-2017

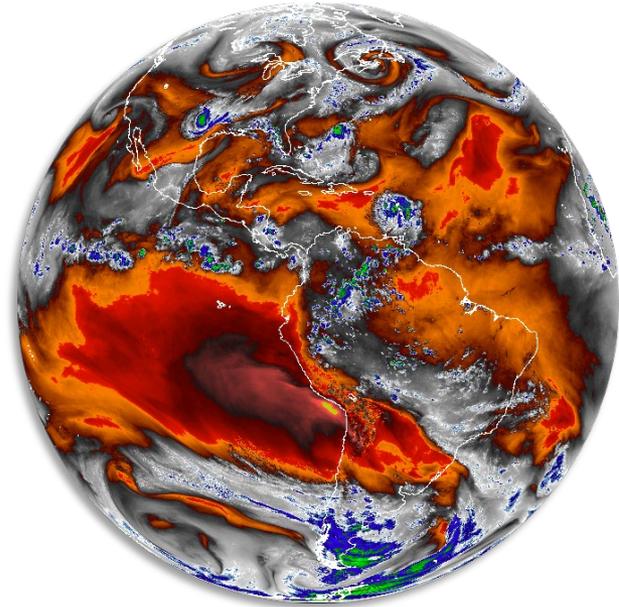
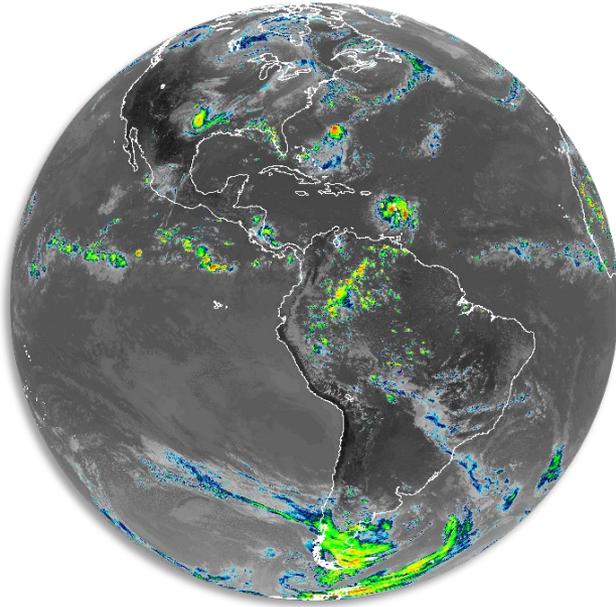
# Canal Infrarojo



Temperatura de brillo

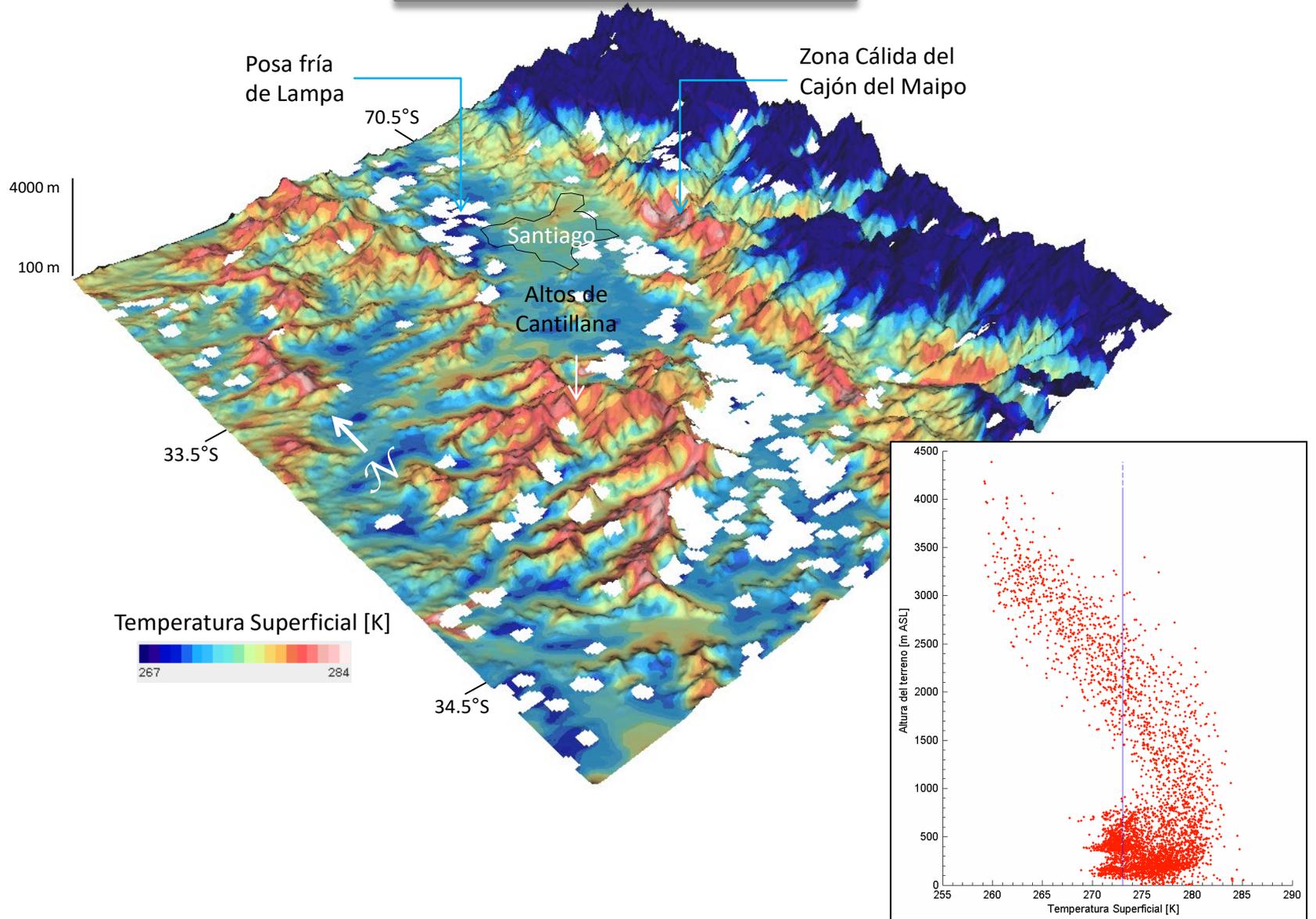
# Canal Vapor de Agua





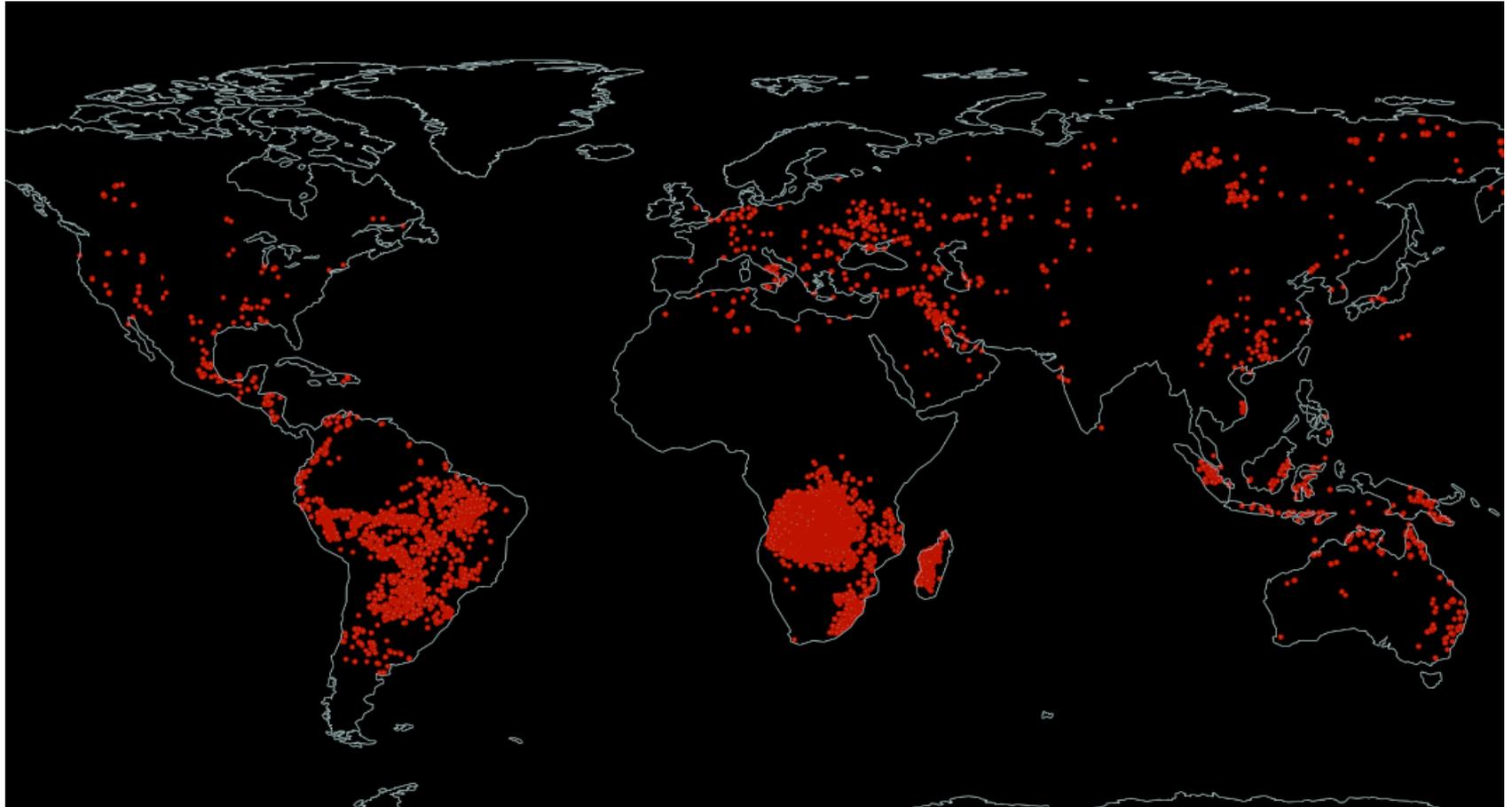
# MODIS-LST

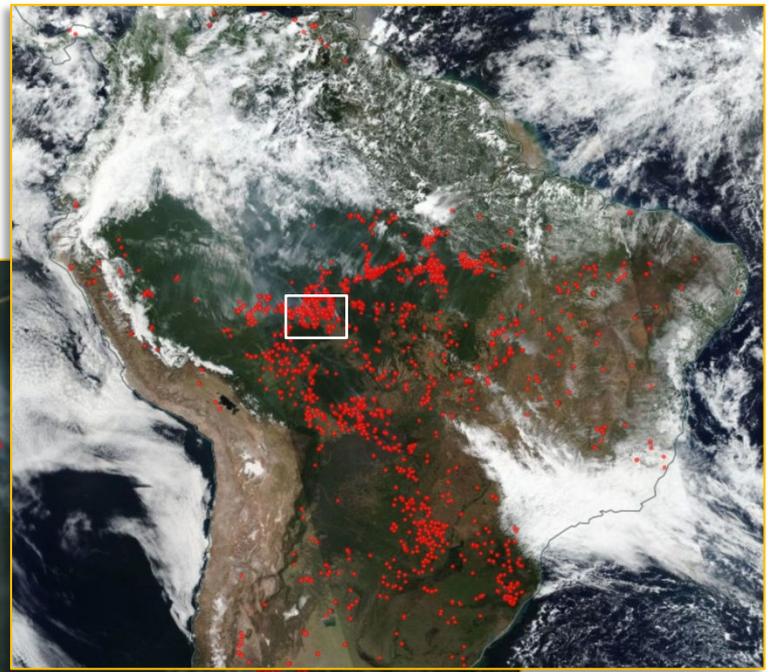
17-06-2007 05:15 HL



# Detección de grandes incendios: Anomalías térmicas

## Pixel Satellite MODIS: 250 m

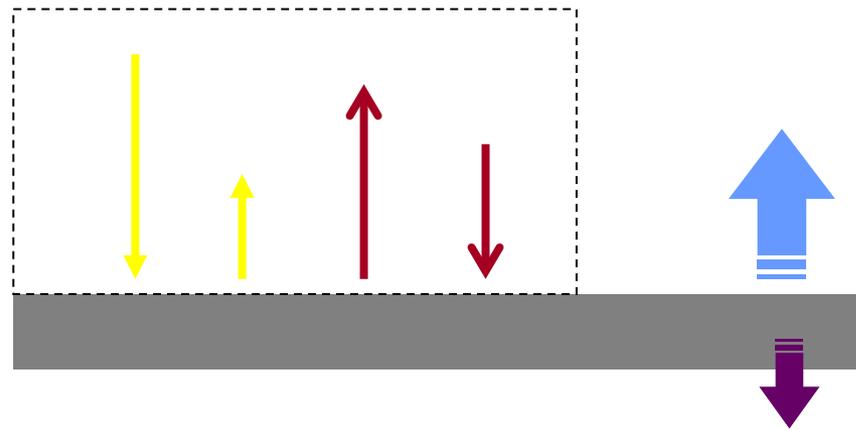




# Otra aplicación muy relevante: Balance de Energía Superficial (Lab 1)

Radiación Neta

$$RN = OC\downarrow + OC\uparrow + OL\downarrow + OL\uparrow$$



$$\rho C_p h \frac{\partial T}{\partial t} = OC\downarrow + OC\uparrow + OL\uparrow + OL\downarrow + Ft + G$$

Todos los términos anteriores pueden ser medidos 😊 o estimados ☹️

Tabla 1: Ecuaciones para estimar la radiación de onda corta y larga.

	Ecuación	Variables
→	Burridge y Gadd (1974): $RS \downarrow = S(0,6 + 0,2sen\psi)(1 - 0,4\sigma_{CH})(1 - 0,7\sigma_{CM})(1 - 0,4\sigma_{CL})sen\psi$	$sen\psi, \sigma_{CH}, \sigma_{CM}$ y $\sigma_{CL}$
→	Burridge y Gadd (1974): $RS \uparrow = -aRS \downarrow$	$a$
	Burridge y Gadd (1974): $ROL^* = (-96,4Wm^{-2})(1 - 0,1\sigma_{CH} - 0,3\sigma_{CM} - 0,6\sigma_{CL})$	$\sigma_{CH}, \sigma_{CM}$ y $\sigma_{CL}$
	Paltridge y Platt (1976): $ROL^* = \sigma_{SB}T_a^4(0,94 \cdot 10^{-5}T_a^2 - 1) - 0,3\epsilon_{IR}\sigma_{SB}T_a^4C$	$\epsilon_{IR}, T_0, T_a$ y $C$
→	Stefan-Boltzmann: $ROL \uparrow = \epsilon_{IR}\sigma_{SB}T_0^4$	$\epsilon_{IR}$ y $T_0$
→	Swinbank's (1963): $ROL \downarrow = 0,94 \cdot 10^{-5}\sigma_{SB}T_a^6$	$T_a$
	Idso (1981): $ROL \downarrow = [0,7 + 5,95 \cdot 10^{-5}e_a exp(1500/T_a)]\sigma_{SB}T_a^4$	$e_a$ y $T_a$

$\sigma_{CH}$  = fracción nubosidad alta

$\sigma_{CM}$  = fracción nubosidad media

$\sigma_{CL}$  = fracción nubosidad baja

$\psi$  = complemento del ángulo cenital

$e_a$  = presión de vapor ( $hPa$ )

$\sigma_{SB} = 5,67 \cdot 10^{-8} (Wm^{-2}K^4)$

$\epsilon_{IR}$  = emisividad superficial (Tabla 2)

$a$  = albedo superficial (Tabla 2)

$T_0$  = temperatura del suelo (K)

$T_a$  = temperatura del aire (K)

$C$  = fracción de cielo cubierto

$S$  = constante solar ( $1360 W/m^2$ )

Introducción a la Meteorología – Rad. Onda Larga  
UCH / FCFM / DGF – R. Garreaud

Tabla 2: Albedo superficial y emisividad superficial para distintas superficies.

Tipo de suelo	Albedo ( $a$ )	Emisividad ( $\epsilon_{IR}$ )
Tierra/cemento	0,05-0,40	0,90-0,98
Desierto	0,20-0,45	0,84-0,91
Césped	0,16-0,26	0,90-0,95
Suelo agrícola	0,15-0,25	0,90-0,99
Bosque	0,15-0,20	0,97-0,98
Agua	0,03-0,10	0,92-0,97
Nieve	0,40-0,95	0,82-0,99
Hielo	0,20-0,45	0,92-0,97