



# Meteorología y Climatología

Ciencias

Ambientales



*ugr*

Universidad  
de Granada

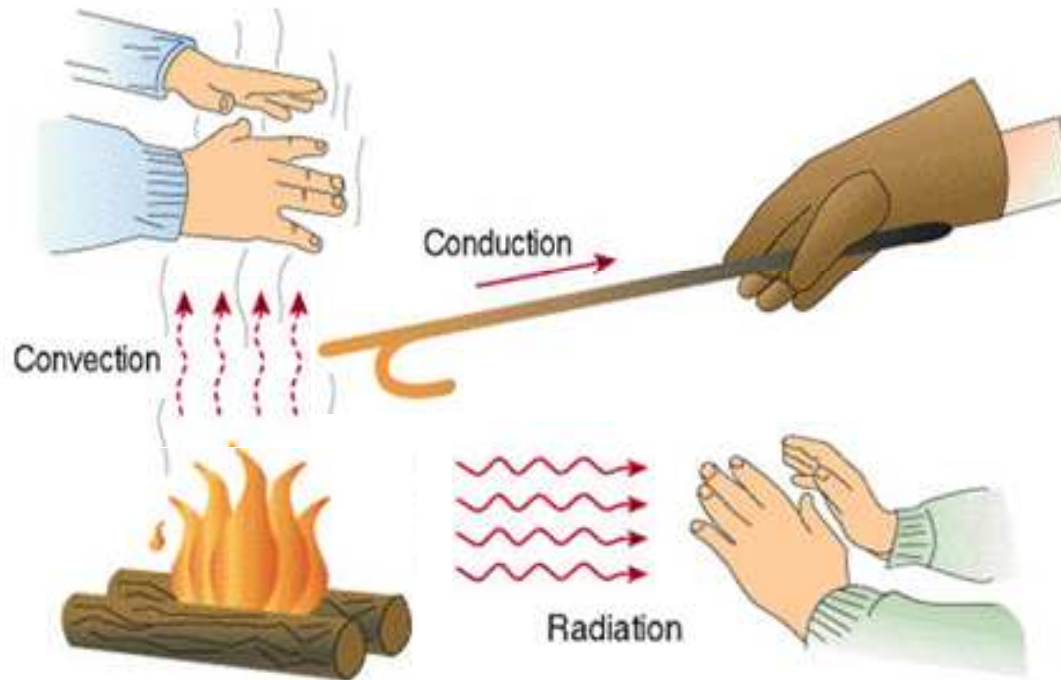
# **TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO**

- **Introducción**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
- **Radiación Solar.**
- **Radiación Térmica.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**

# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

- **Introducción**
  - **Radiación Electromagnética.**
  - **Espectro Electromagnético.**
  - **Magnitudes radiométricas.**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
- **Radiación Solar.**
- **Radiación Térmica.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**

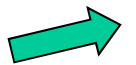
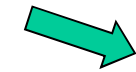
# MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR



Conducción

Convección

Radiación



Medio Material



Proceso a escala molecular

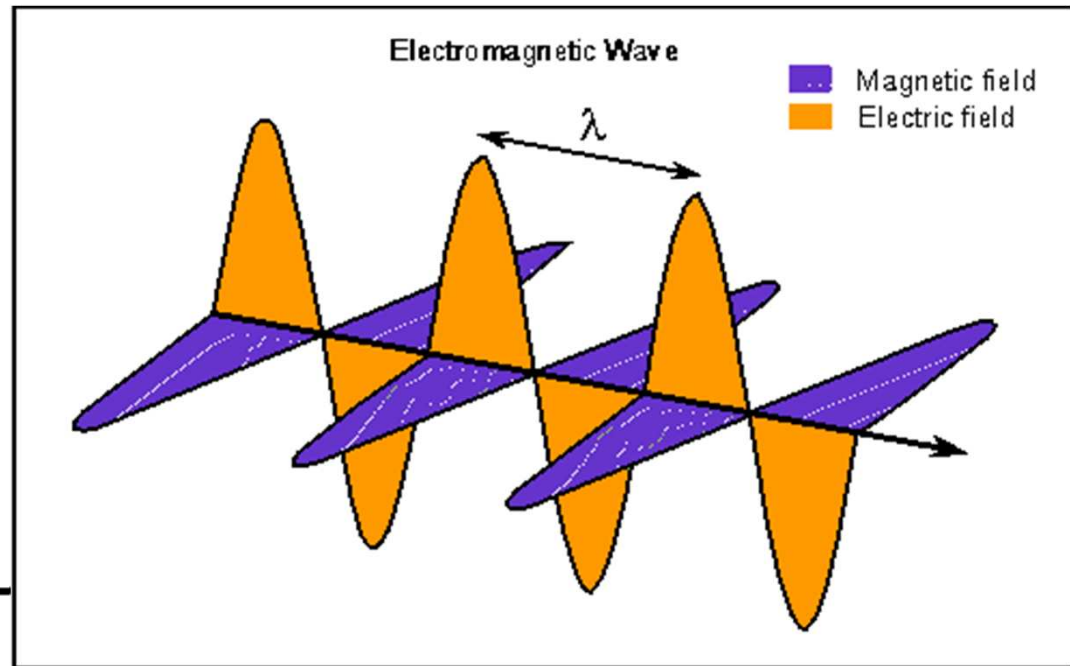
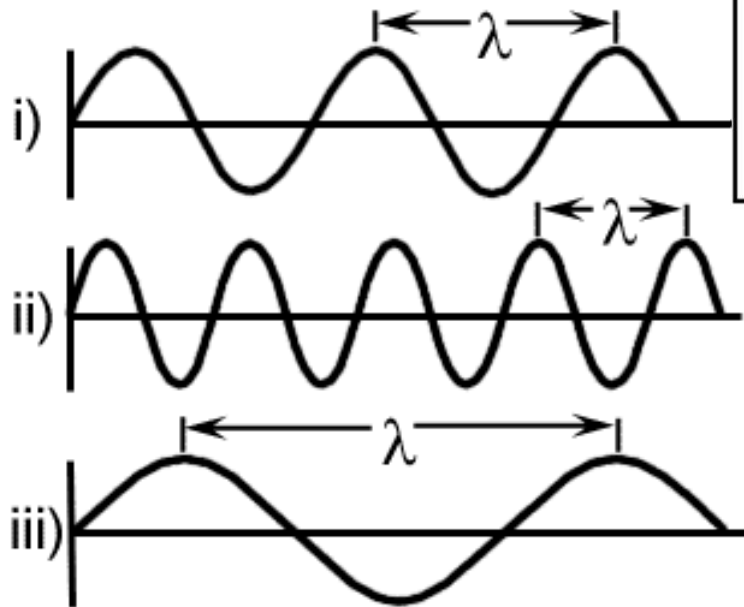
Movimiento Macroscópico

Ausencia de Medio Material

# RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

$$\lambda \nu = c$$

$$c = 2.99793 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

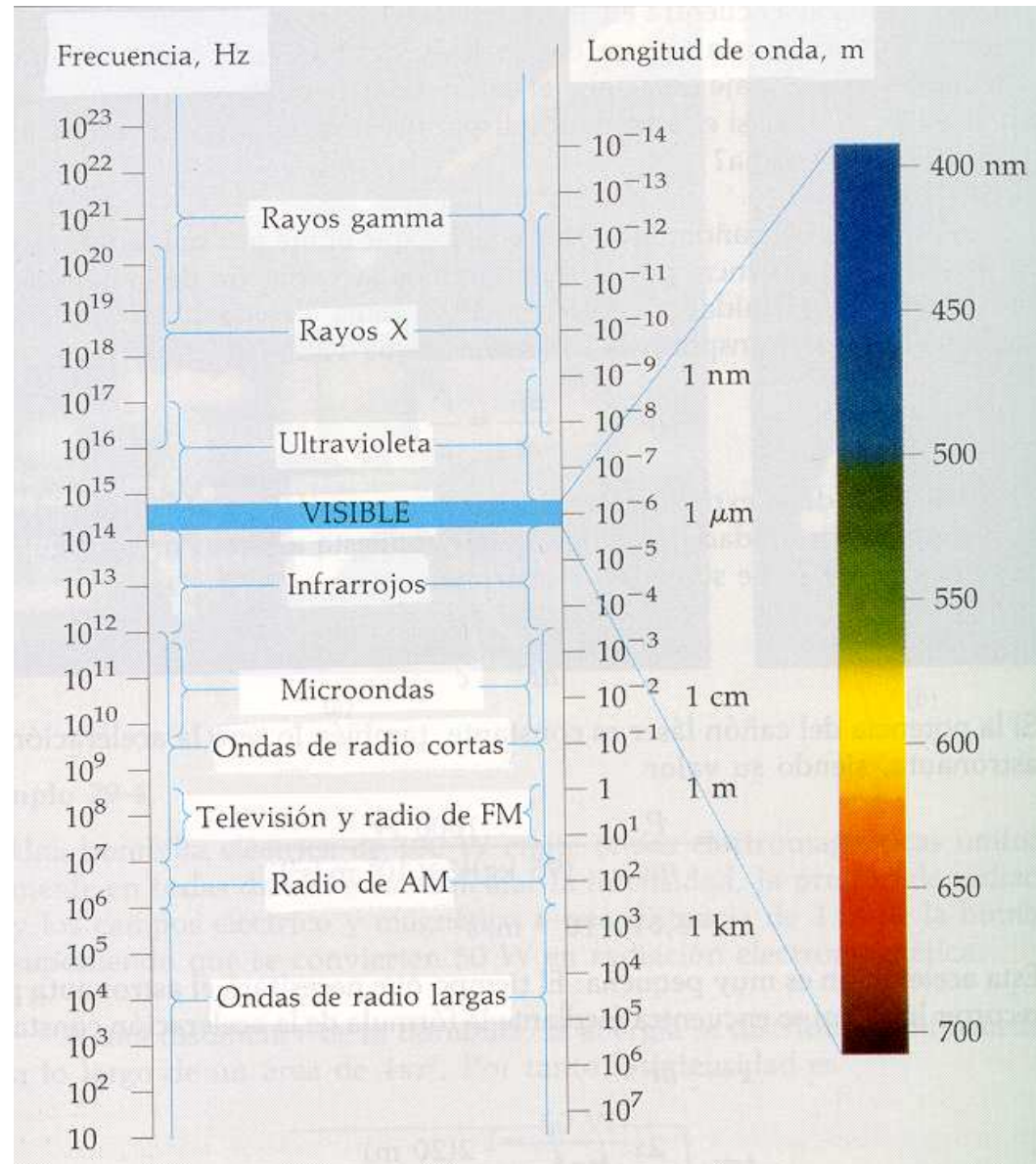


$$E = h \nu$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Constante de Planck

# ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



# MAGNITUDES RADIOMETRICAS

Concepto	Símbolo	Fórmula	Unidades
Energía Radiante	Q		J (Julios)
Flujo Radiante (potencia)	$\Phi$	dQ/dt	W (vatios)
Densidad de F.Radiante	F (Irradiancia)	d $\Phi$ / dA	W m <sup>-2</sup>
	E (Emitancia)	d $\Phi$ / dA	W m <sup>-2</sup>
Magnitudes monocromáticas			$\lambda + d\lambda$ ( $\mu\text{m}^{-1}$ )



$$\chi_{\lambda} = \frac{d\chi}{d\lambda}$$

# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

- **Introducción**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
  - **Cuerpo negro.**
  - **Leyes de la radiación.**
- **Radiación Solar.**
- **Radiación Térmica.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**

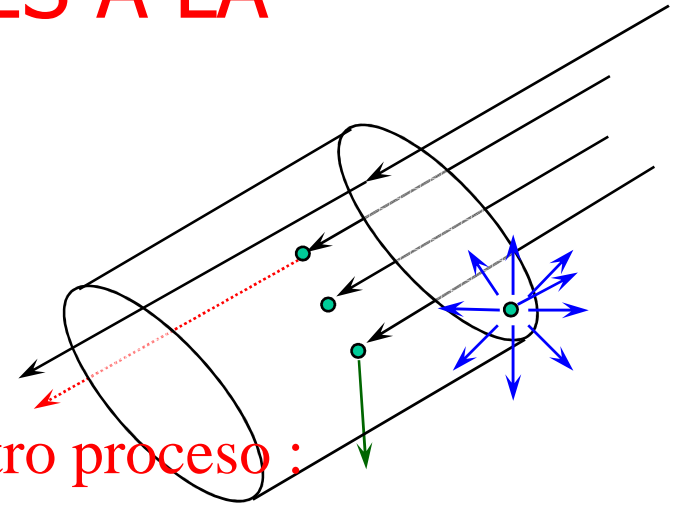


# PROCESOS RELEVANTES A LA RADIACIÓN

Fotón/onda E-M incidente en un medio:

**Transmisión** : sigue su trayectoria sin efecto ninguno del medio

**Extinción** : la trayectoria se anula por otro proceso :



casos

**Absorción** : la energía del fotón calienta algún elemento del medio

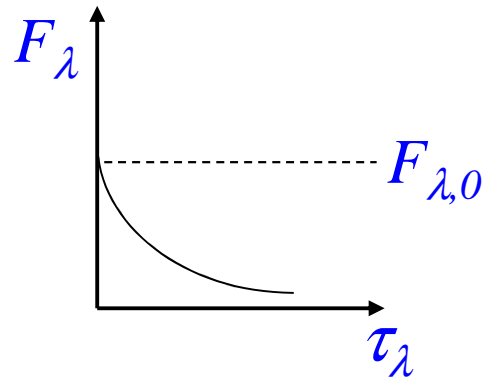
**Dispersión** : la onda E-M interactúa brevemente con algún elemento del medio, y cambia de dirección (nueva trayectoria)

**Reflexión** : dispersión (direccional) por los elementos del medio organizados en una *superficie*

Fotón originando en un medio:

**Emisión**: la energía el fotón enfría algún elemento del medio

# EXTINCIÓN DE LA RADIACIÓN



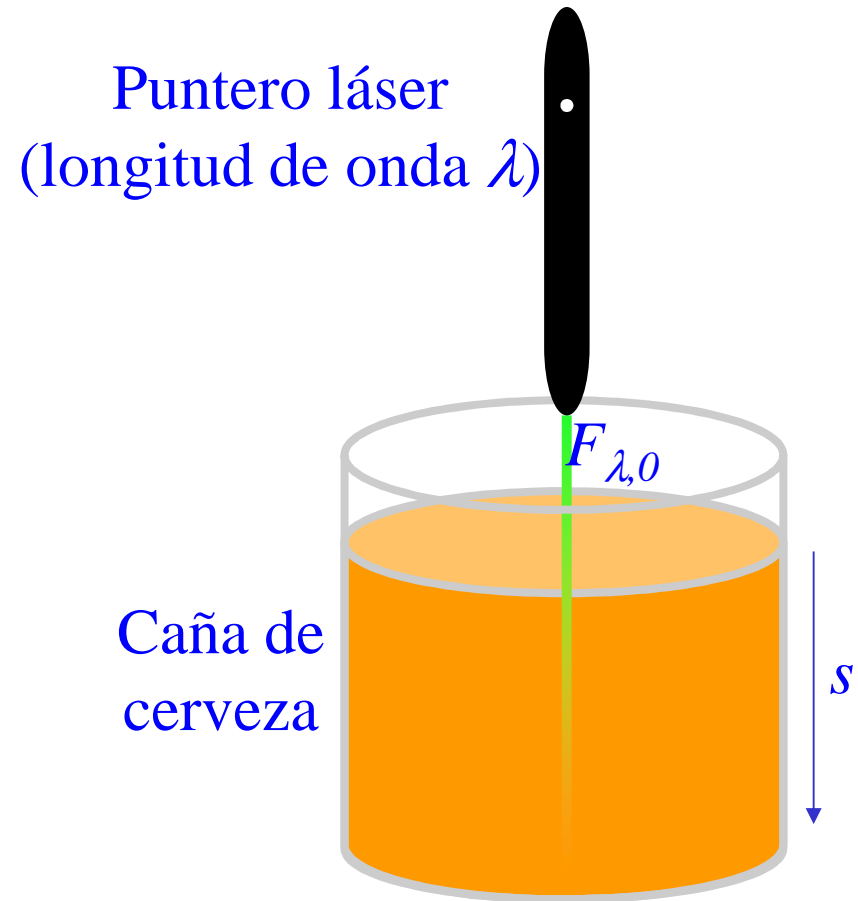
$$F_\lambda = F_{\lambda,0} e^{-\tau_\lambda}$$

**Espesor óptico:**  $\tau_\lambda = f(s, k_\lambda, \rho)$

$s$  – longitud de camino

$k_\lambda$  – coeficiente de extinción (propiedad de materia)

$\rho$  – densidad del medio (variable en la atmósfera)



# EXTINCIÓN DE LA RADIACIÓN

Decaimiento  
exponencial

$$dF_{\lambda} = -F_{\lambda} k_{\lambda} \rho ds$$

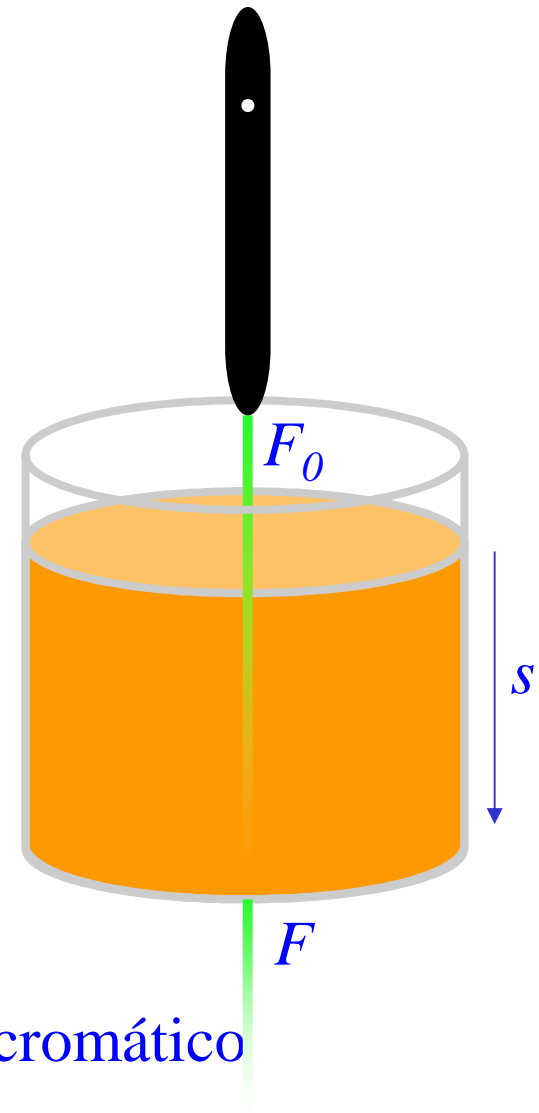
$k_{\lambda}$  coeficiente de extinción ( $L^2M^{-1}$ )

$\rho$  Densidad del medio ( $ML^{-3}$ )

$$F_{\lambda}(s) = F_{\lambda}(0) e^{-\int_0^s \rho k_{\lambda} ds'} = F_{\lambda}(0) e^{-\tau_{\lambda}}$$

$$\tau_{\lambda} = \int_0^s \rho k_{\lambda} ds'$$

$\tau_{\lambda}$  espesor óptico monocromático



# EXTINCIÓN DE LA RADIACIÓN

$$F_\lambda(s) = F_\lambda(0) e^{-\int_0^s \rho k_\lambda ds'} = F_\lambda(0) e^{-\tau_\lambda}$$

$$\tau_\lambda = \int_0^s \rho k_\lambda ds' \quad \tau_\lambda \text{ espesor óptico}$$

$$\delta_\lambda = \int_0^z \rho k_\lambda dz' \quad \delta_\lambda \text{ profundidad óptica}$$

(espesor óptico normal)

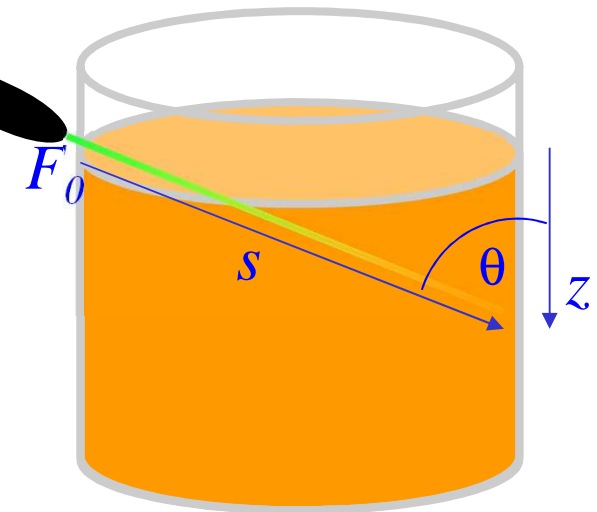
Medio homogéneo  $\rightarrow$   $k_\lambda$  independiente de  $s$

$$\rightarrow \tau_\lambda = k_\lambda \int_0^s \rho ds' = k_\lambda u$$

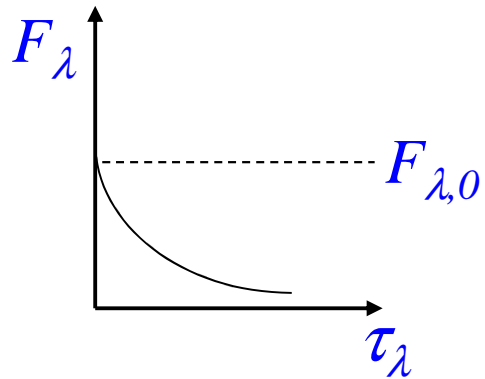
$$u = \int_0^s \rho ds' \quad \text{masa óptica o longitud de camino}$$

$$m = \frac{\tau_\lambda}{\delta_\lambda} = \frac{ds}{dz} = \frac{1}{\cos \theta} \quad \text{masa óptica relativa}$$

$\theta$  – ángulo cenital



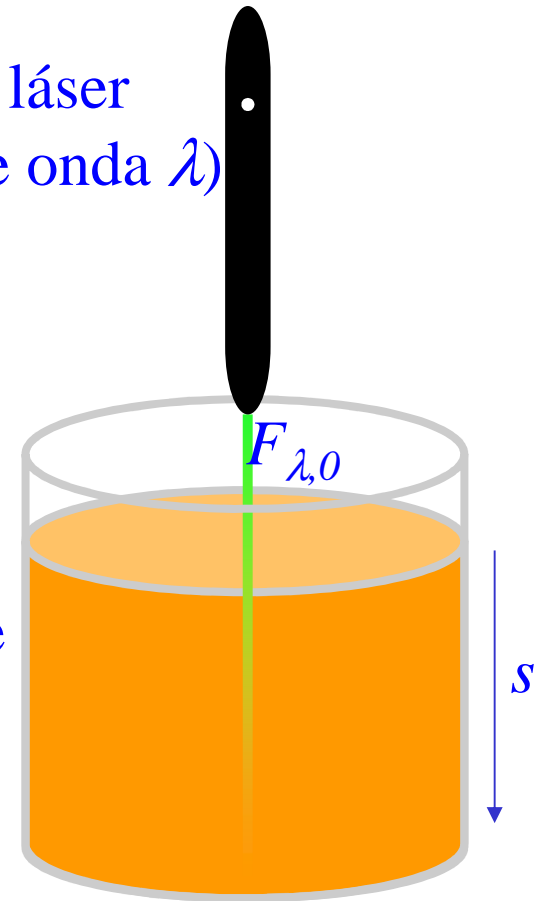
# EXTINCIÓN = ABSORCIÓN + DISPERSIÓN



Puntero láser  
(longitud de onda  $\lambda$ )

$$F_\lambda = F_{0\lambda} e^{-\tau_\lambda} \quad \tau_\lambda = \int_0^s \rho k_\lambda ds'$$

Caña de  
cerveza



$$k_\lambda = k_{a\lambda} + k_{s\lambda}$$

$k_\lambda$  – coeficiente de extinción

$k_{a\lambda}$  – coeficiente de absorción

$k_{s\lambda}$  – coeficiente de dispersión (“scattering”)

# MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS

$$T_{\lambda} = \frac{F_{\lambda}(s)}{F_{\lambda}(0)} = e^{-\tau_{\lambda}}$$

Transmisividad

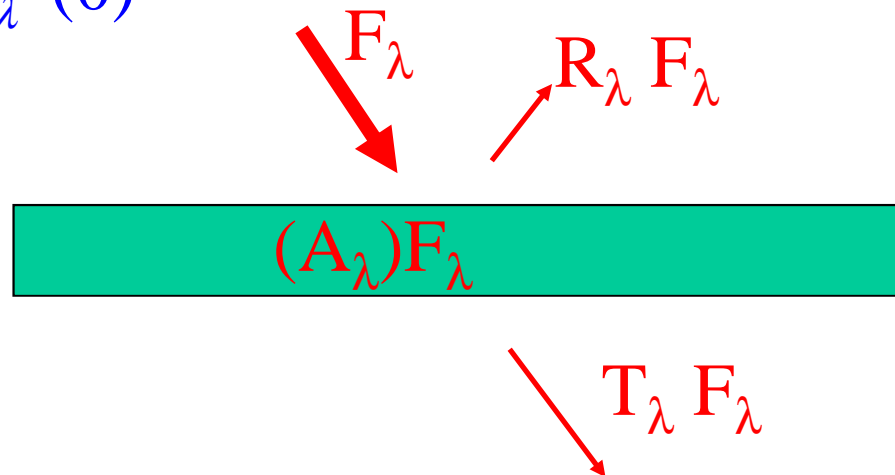
$$A_{\lambda} = \frac{AF_{\lambda}(0)}{F_{\lambda}(0)} = 1 - e^{-\tau_{a\lambda}}$$

Absortividad

$$R_{\lambda} = \frac{RF_{\lambda}(0)}{F_{\lambda}(0)} = 1 - e^{-\tau_{s\lambda}}$$

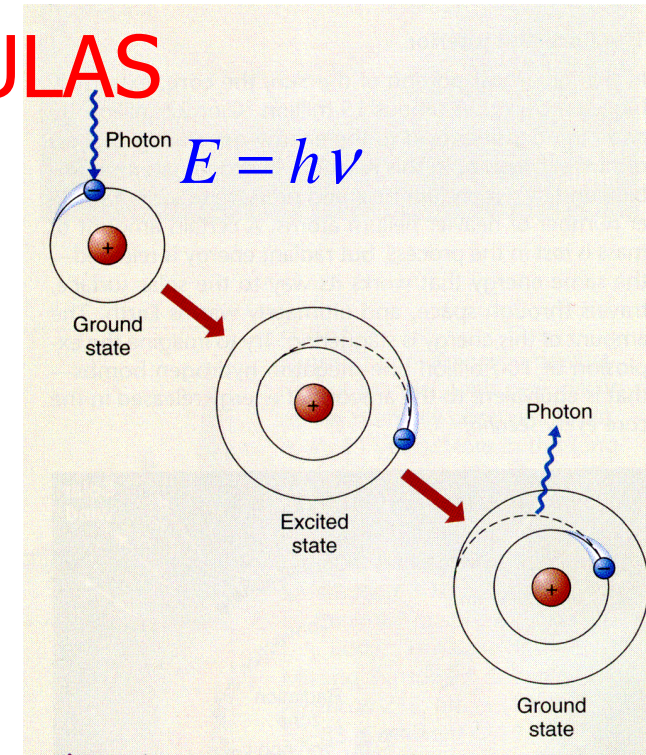
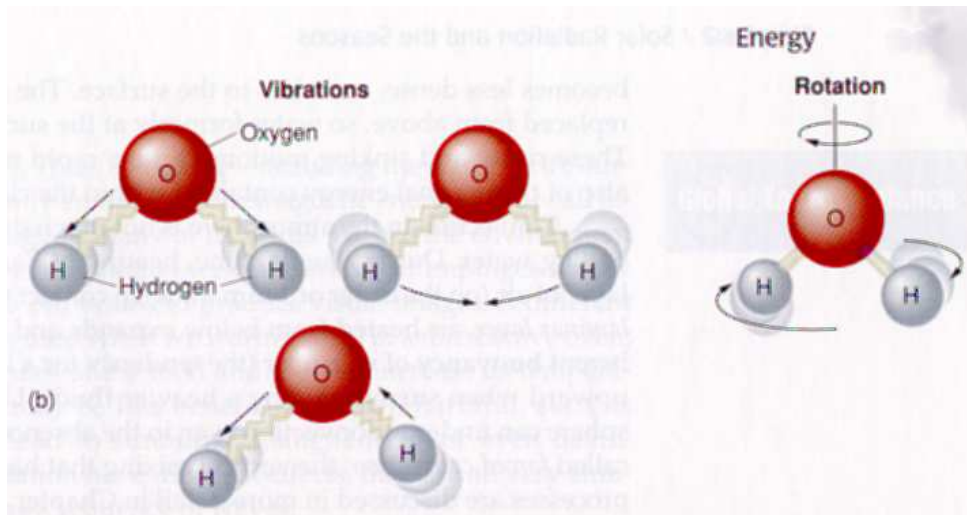
Reflectividad

(“albedo”)



$$T + A + R = 1$$

# ABSORCIÓN Y EMISIÓN DE RADIACIÓN POR LAS MOLÉCULAS

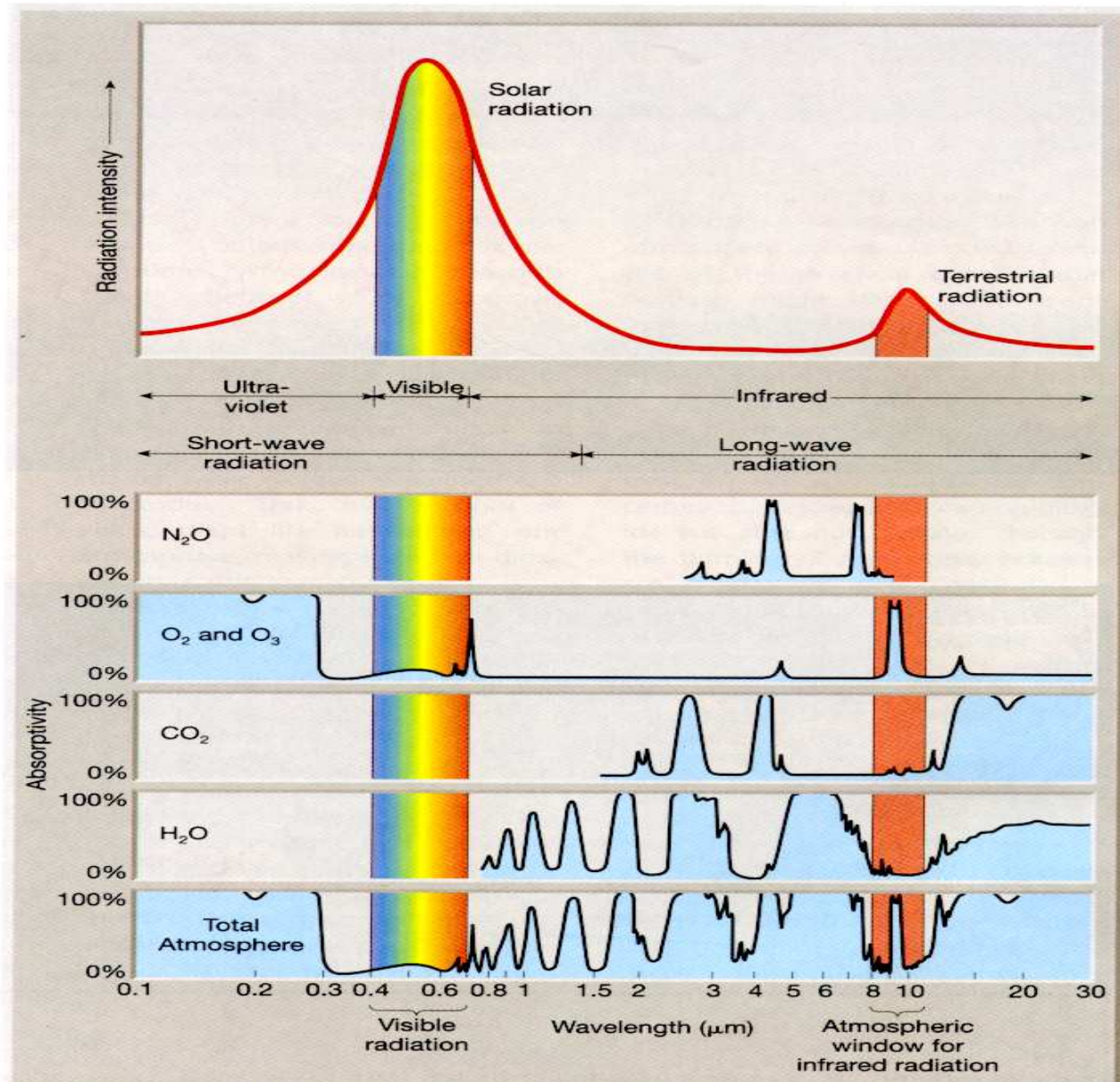


Cuantificación de los niveles de energía

Electrónica	⇒	Rayos X, UV, Visible
Vibracional	⇒	Infrarrojo
Rotacional	⇒	Infrarrojo, Microondas

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> Bandas Vibracionales-Rotacionales en Infrarrojo

# ABSORCIÓN DE RADIACIÓN POR GASES ATMOSFÉRICOS



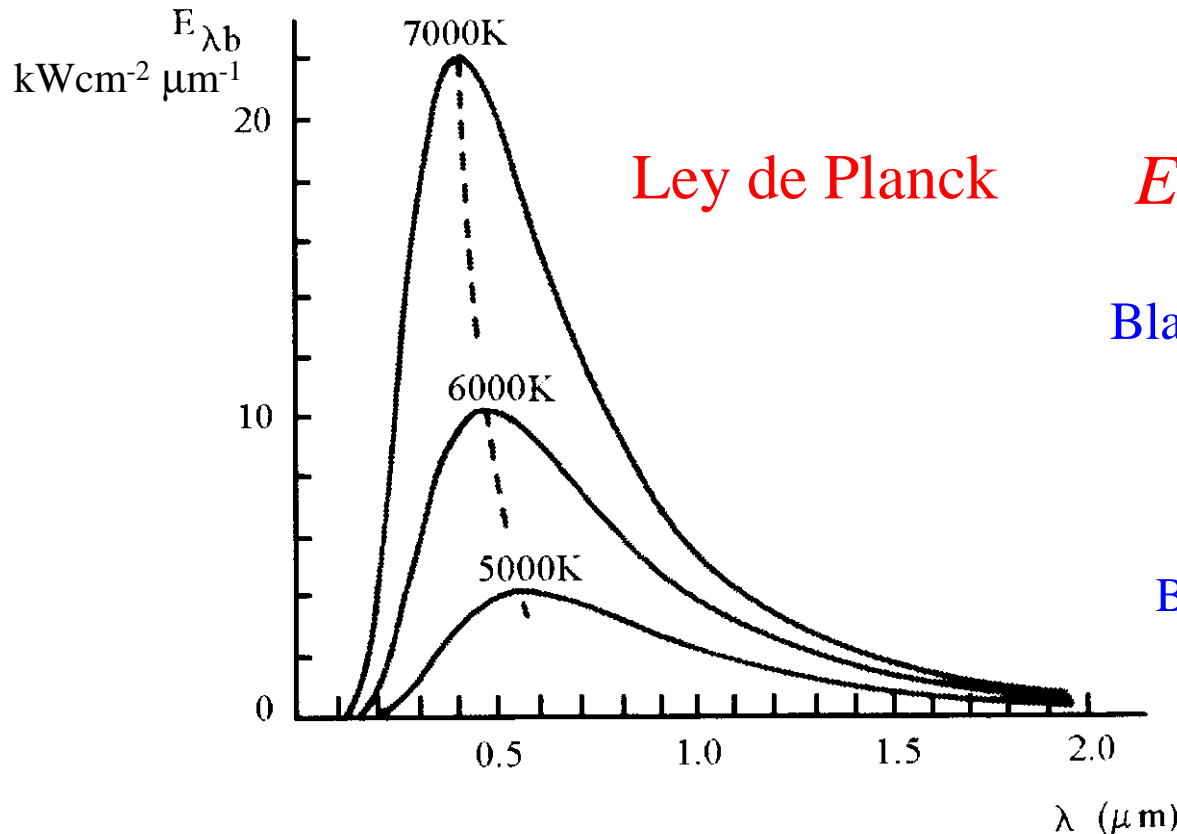
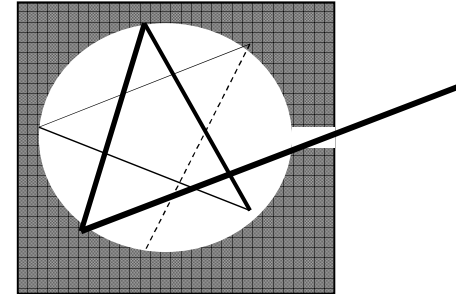


# CUERPO NEGRO

Equilibrio radiativo  $\longrightarrow$  Energía emitida = Energía absorbida  $\longrightarrow T = \text{cte}$

Cuerpo negro: Absorbedor perfecto  $A_\lambda = 1$

Cavidad aislada en equilibrio térmico  $\longrightarrow$



$$E_{\lambda(b)} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

Blackbody

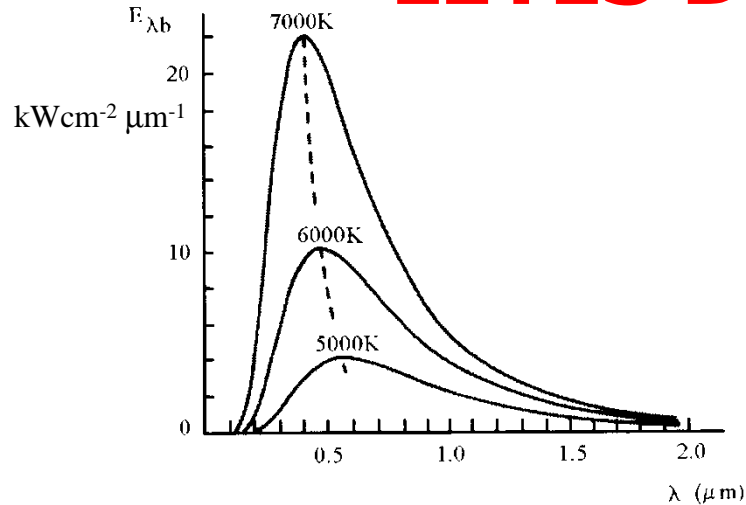
Planck  $c = 2.9973 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Boltzmann  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

Dos consecuencias de mucho interés

# LEYES DEL CUERPO NEGRO



Ley de Planck

$$E_{\lambda b} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

1. Integrando:  $E_b = \int_0^\infty \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda = \sigma T^4$

Ley de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

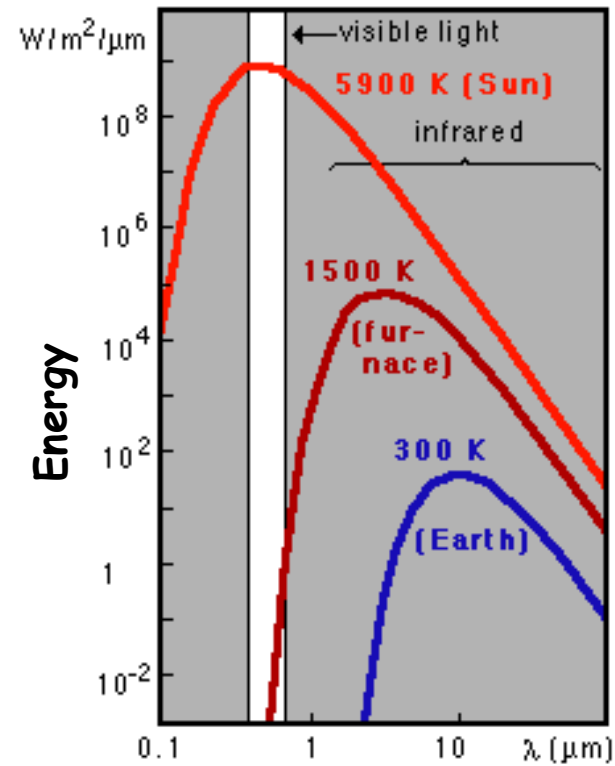
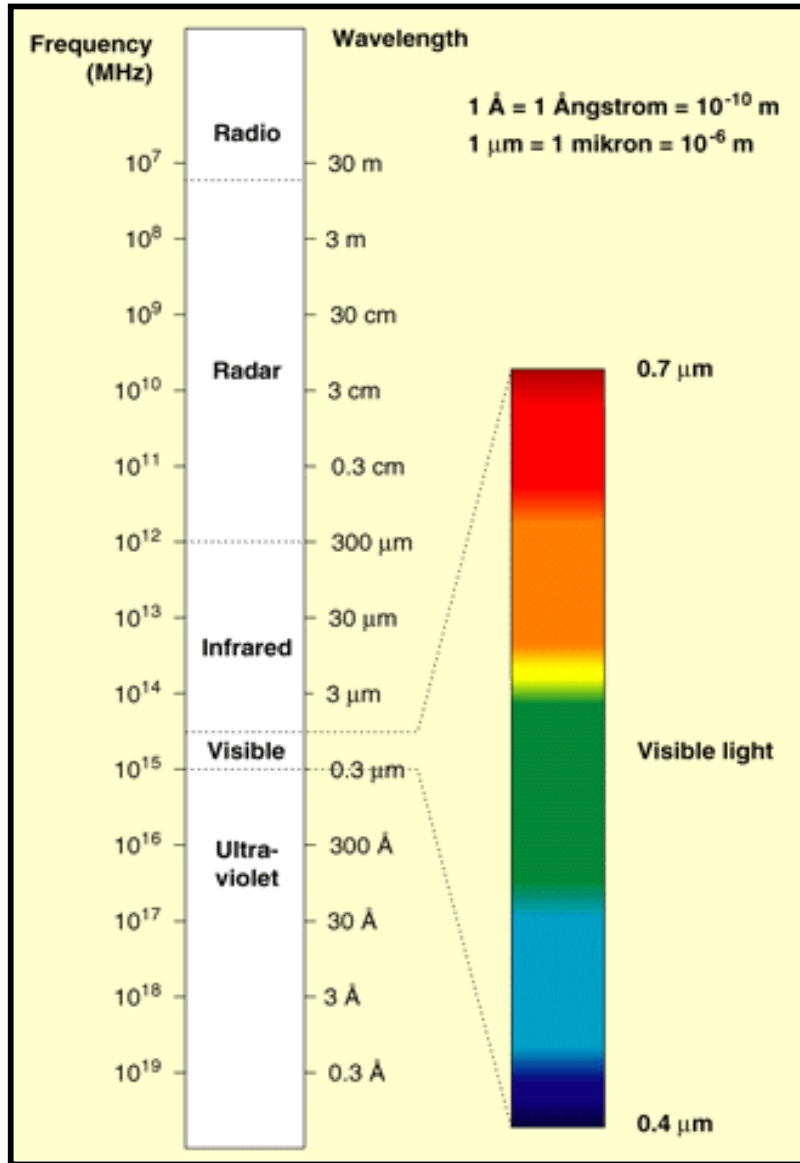
2. Diferenciando:  $\frac{dE_{\lambda b}}{d\lambda} = 0$

$$\lambda_{\max} = (2898 \mu\text{mK}) / T$$

Ley de Wien

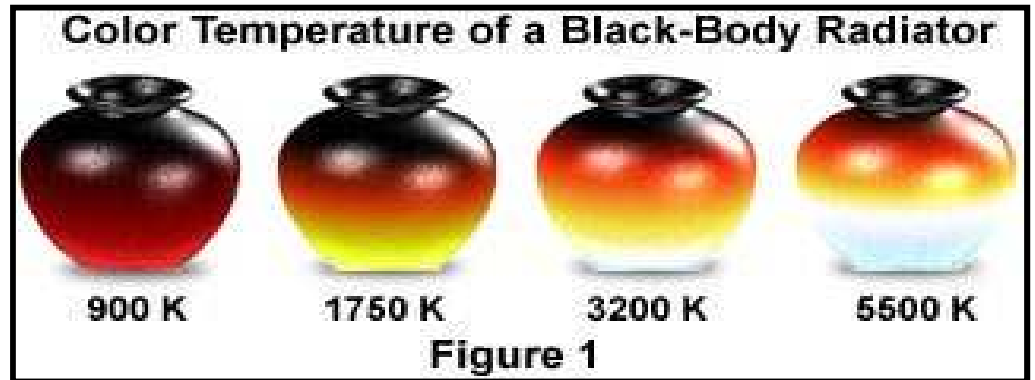
(desplazamiento)

# LEYES DEL CUERPO NEGRO

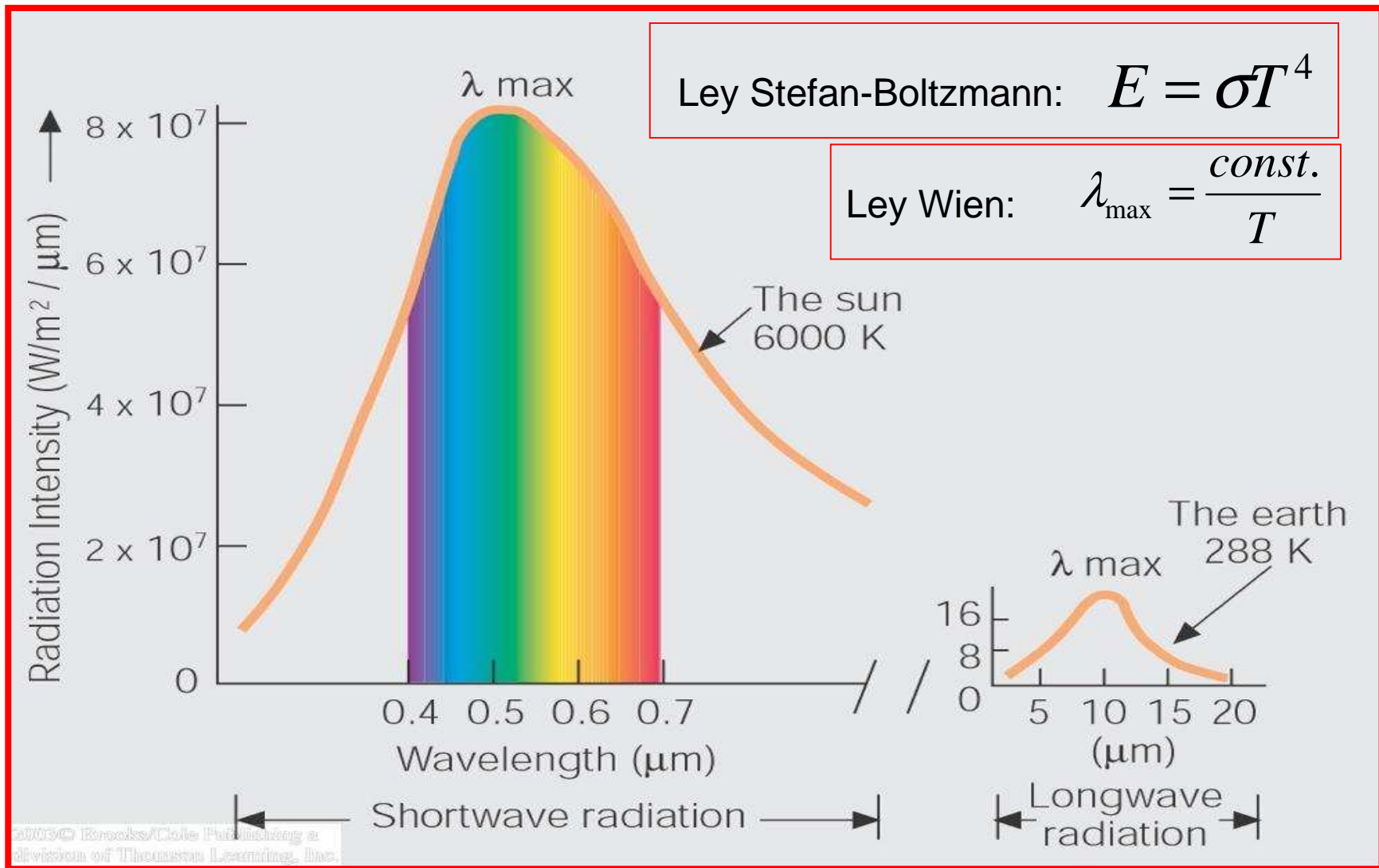


$$E = \sigma T^4$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\text{const.}}{T}$$



# LEYES DEL CUERPO NEGRO



El Sol emite  $\sim(6000/288)^4 \sim 188,000$  veces más energía que la Tierra!!!

# LEY DE KIRCHHOFF

Cuerpo negro  $F_{\lambda b}^a = F_{\lambda}^i$       Cuerpo negro  $A_{\lambda}=1$

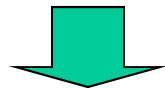
Cuerpo no negro  $F_{\lambda}^a = A_{\lambda} F_{\lambda}^i \rightarrow A_{\lambda} < 1$

$$F_{\lambda}^i = F_{\lambda}^a + F_{\lambda}^r = A_{\lambda} F_{\lambda}^i + R_{\lambda} F_{\lambda}^i \quad A_{\lambda} + R_{\lambda} = 1$$

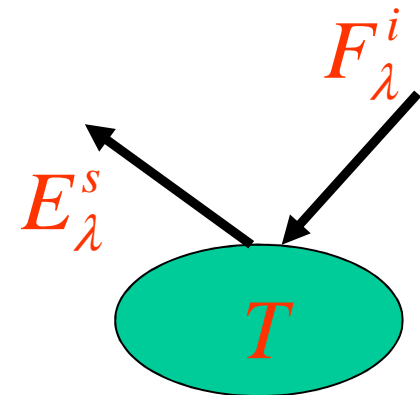
$R_{\lambda}$  Reflectividad

Cuerpo en equilibrio radiativo  $\rightarrow T = \text{cte}$

$$F_{\lambda}^i = E_{\lambda}^s \rightarrow A_{\lambda} F_{\lambda}^i + R_{\lambda} F_{\lambda}^i = E_{\lambda}^e + R_{\lambda} F_{\lambda}^i$$



$$E_{\lambda}^e = A_{\lambda} F_{\lambda}^i$$



# LEY DE KIRCHHOFF

Emisividad  $\epsilon_\lambda$        $\epsilon_\lambda = E_\lambda^e / E_{\lambda b}$

En condiciones de equilibrio termodinámico

$$A_\lambda = \epsilon_\lambda$$

Cuerpo negro  $A_\lambda = \epsilon_\lambda = 1$

Cuerpo no negro  $A_\lambda = \epsilon_\lambda < 1$

**La ley de Kirchhoff exige Equilibrio Termodinámico Local (LTE), (T uniforme y  $L_\lambda$  isotrópica en un pequeño volumen).  
Válido en la atmósfera por debajo de 60 km ( $p > 0.01$  mb)**

# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

- **Introducción**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
- **Radiación Solar.**
  - **El Sol. Espectro Solar.**
  - **Geometría Solar.**
  - **Radiación Solar en la Atmósfera.**
- **Radiación Térmica.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**

# EL SOL

Principales

Componentes: H 75%  
He 25%

$$R_s = 696 \cdot 10^5 \text{ km}$$

$$M_s = 1.99 \cdot 10^{32} \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{núcleo}} = 150 \text{ g cm}^{-3}$$

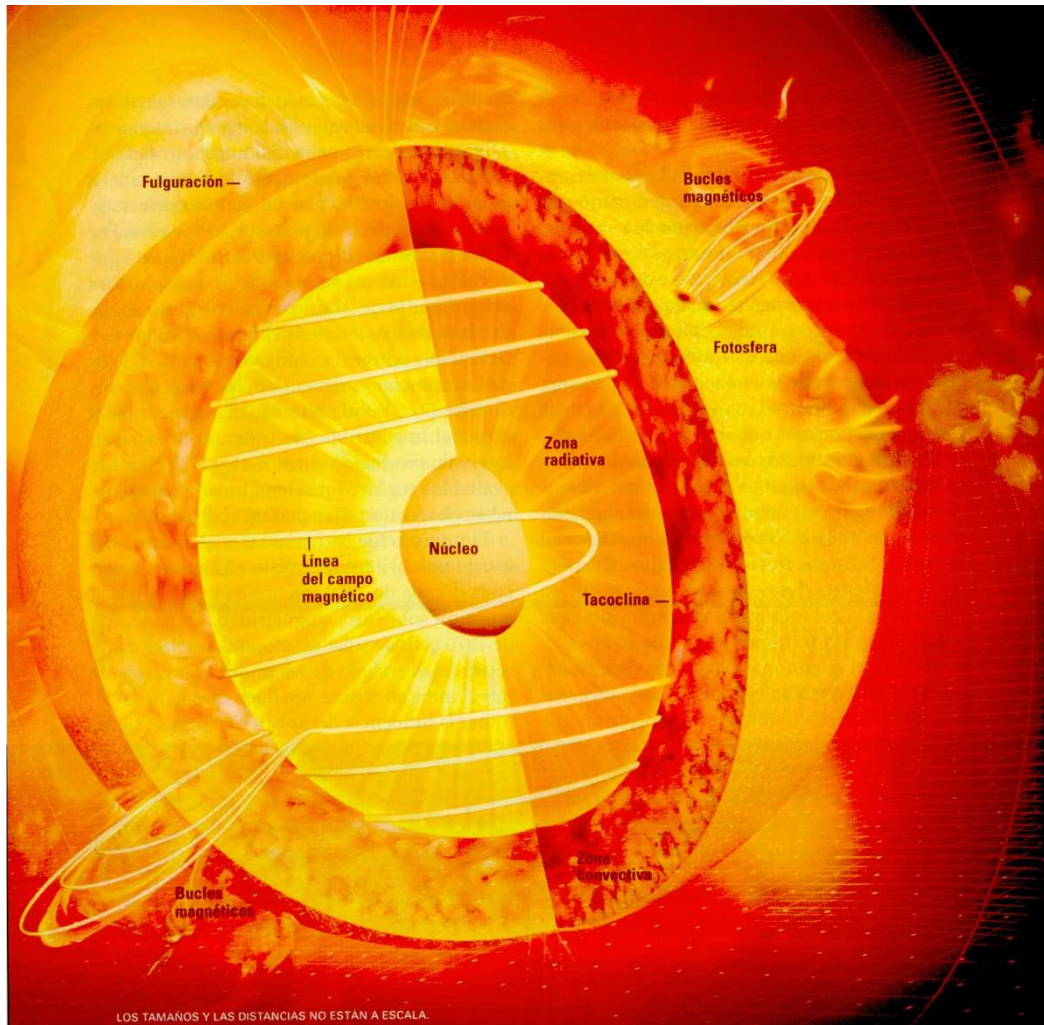
$$\rho_{\text{fotos}} = 10^{-7} \text{ g cm}^{-3}$$

$$\rho_{\text{media}} = 1.4 \text{ g cm}^{-3}$$

Reacciones de  
Fusión Nuclear

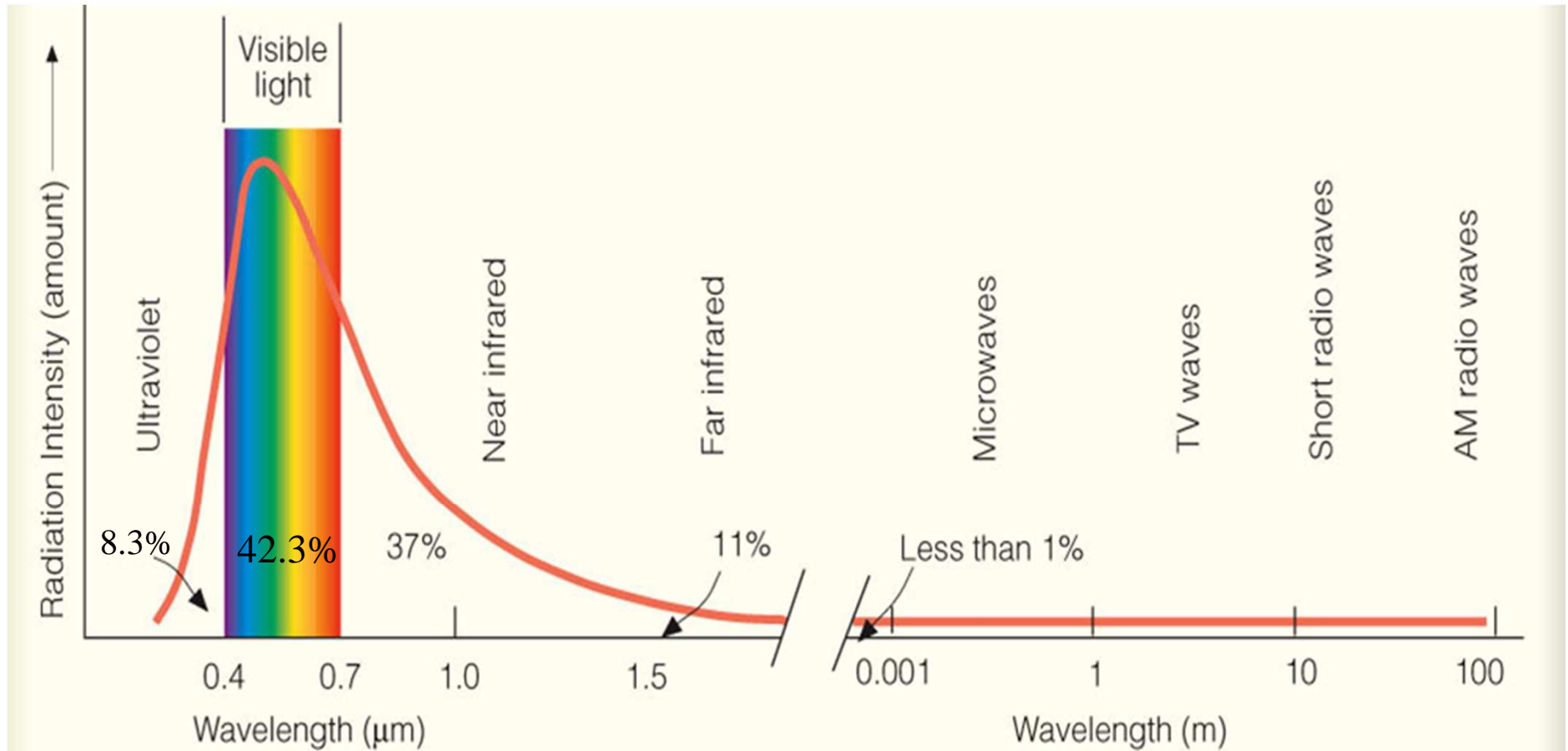
$$\text{Núcleo } 5 \cdot 10^6 \text{ K}$$

$$\text{Fotosfera } \sim 6000 \text{ K}$$





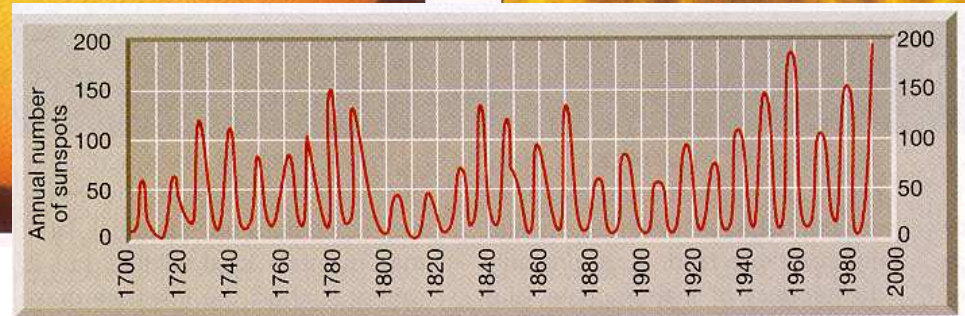
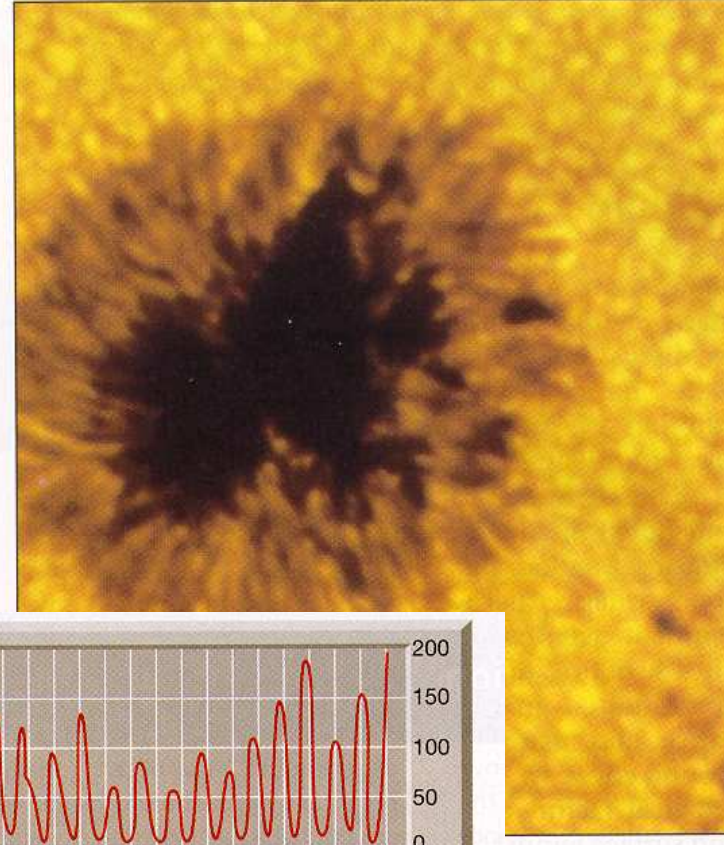
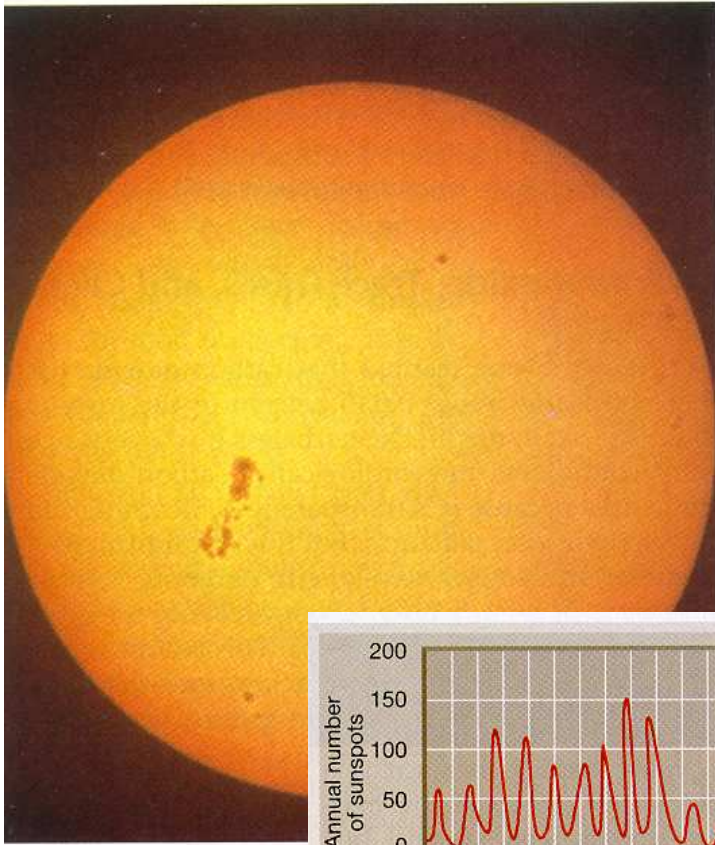
# EL SOL: RADIACIÓN EMITIDA



Fotosfera ~6000 K →

Máxima emisión ~0.474 μm  
Emisión UV-VIS-NIR

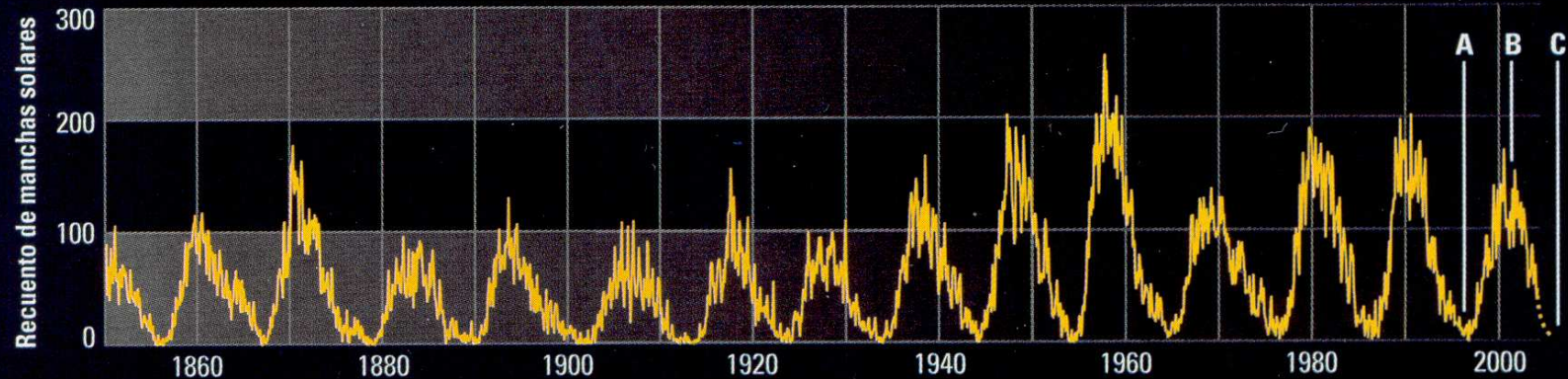
# MANCHAS SOLARES



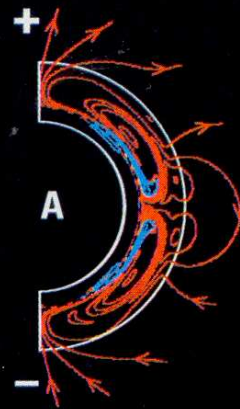
**Tamaño D  $\approx$  10000 km-150000 km**  
**Limitadas a  $\pm 40^\circ$  del ecuador solar**  
**Temperatura más baja  $\sim 4000$  K**

**Ciclos de manchas solares (11 años)**  
**Polaridad Magnética ciclo de 22 años**  
**Conexión Cambio Climático?**

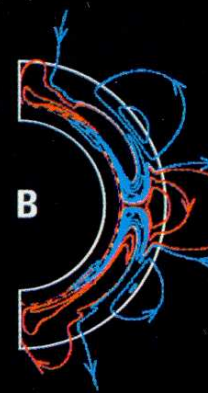
# MANCHAS SOLARES



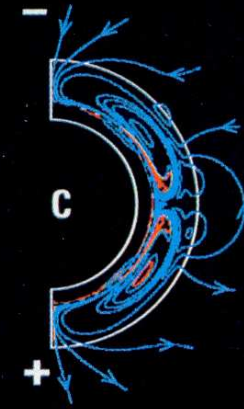
Durante un mínimo solar, el campo magnético es más intenso cerca de los polos (A, rojo). El máximo solar (B) se produce cuando la fuerza del campo se concentra cerca del ecuador, creando tormentas que pueden afectar a la Tierra. Para el siguiente mínimo (C), una nueva polaridad (azul) ha sido transmitida por el plasma a través de la zona convectiva.



Marzo de 1996



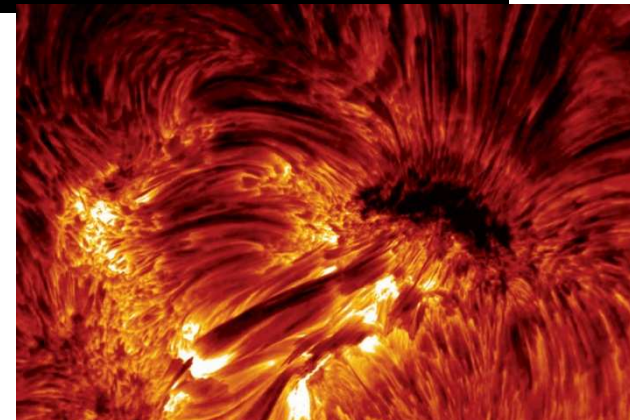
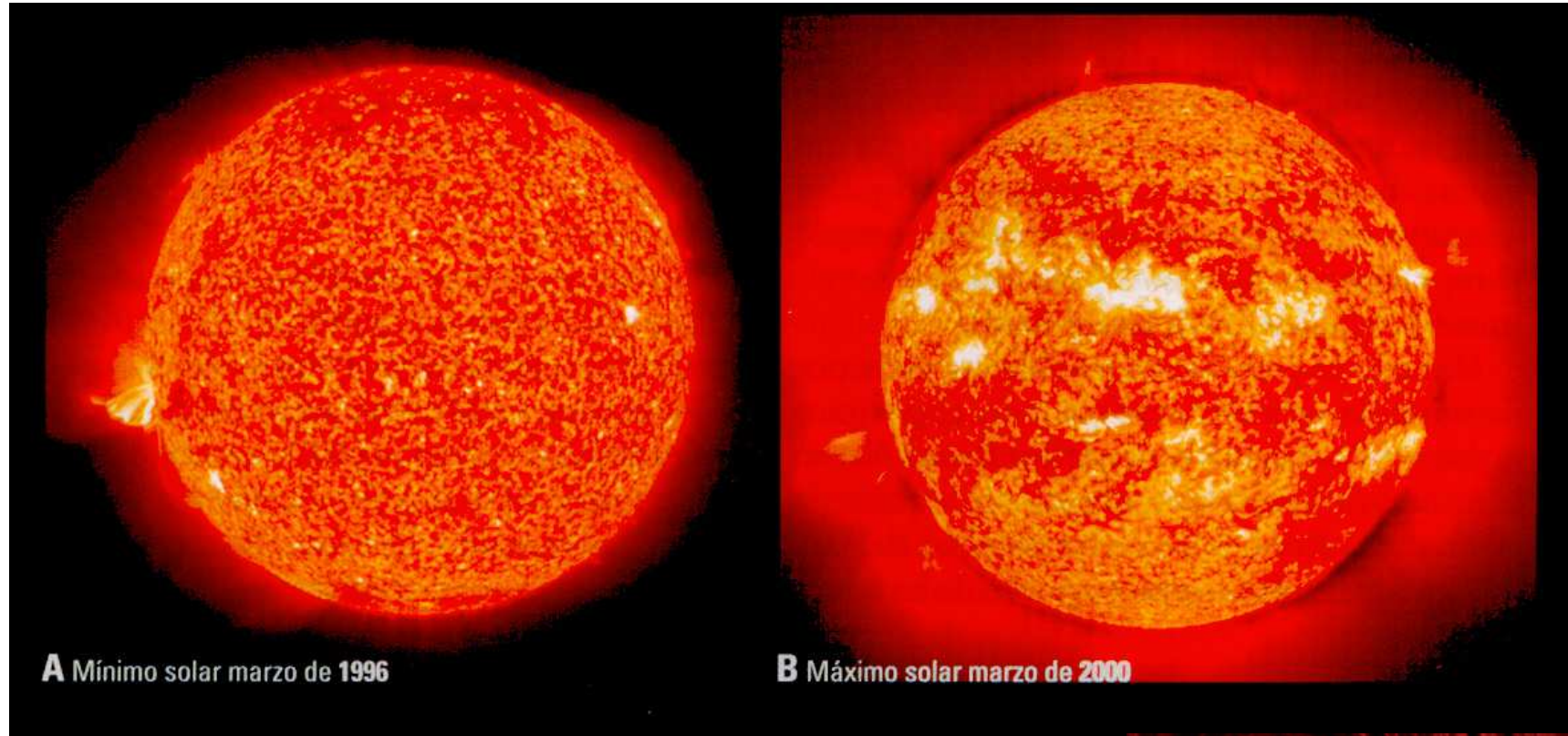
Marzo de 2000



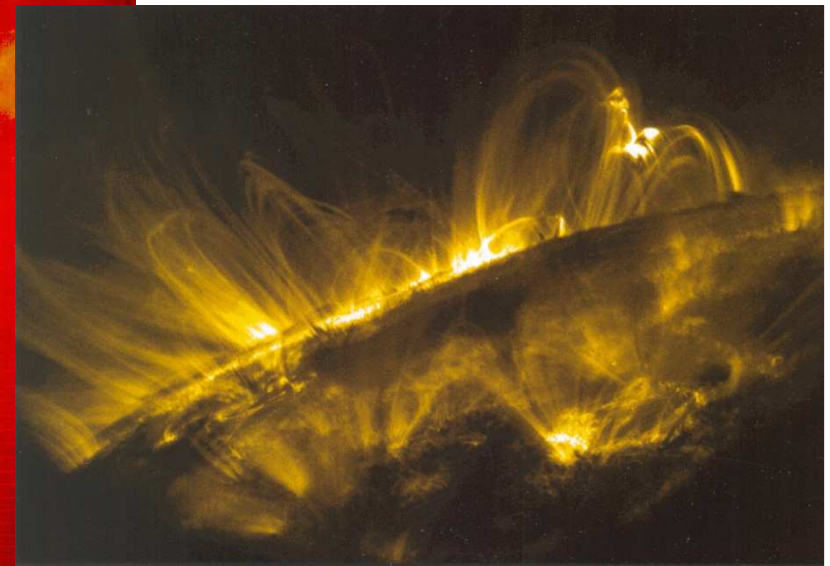
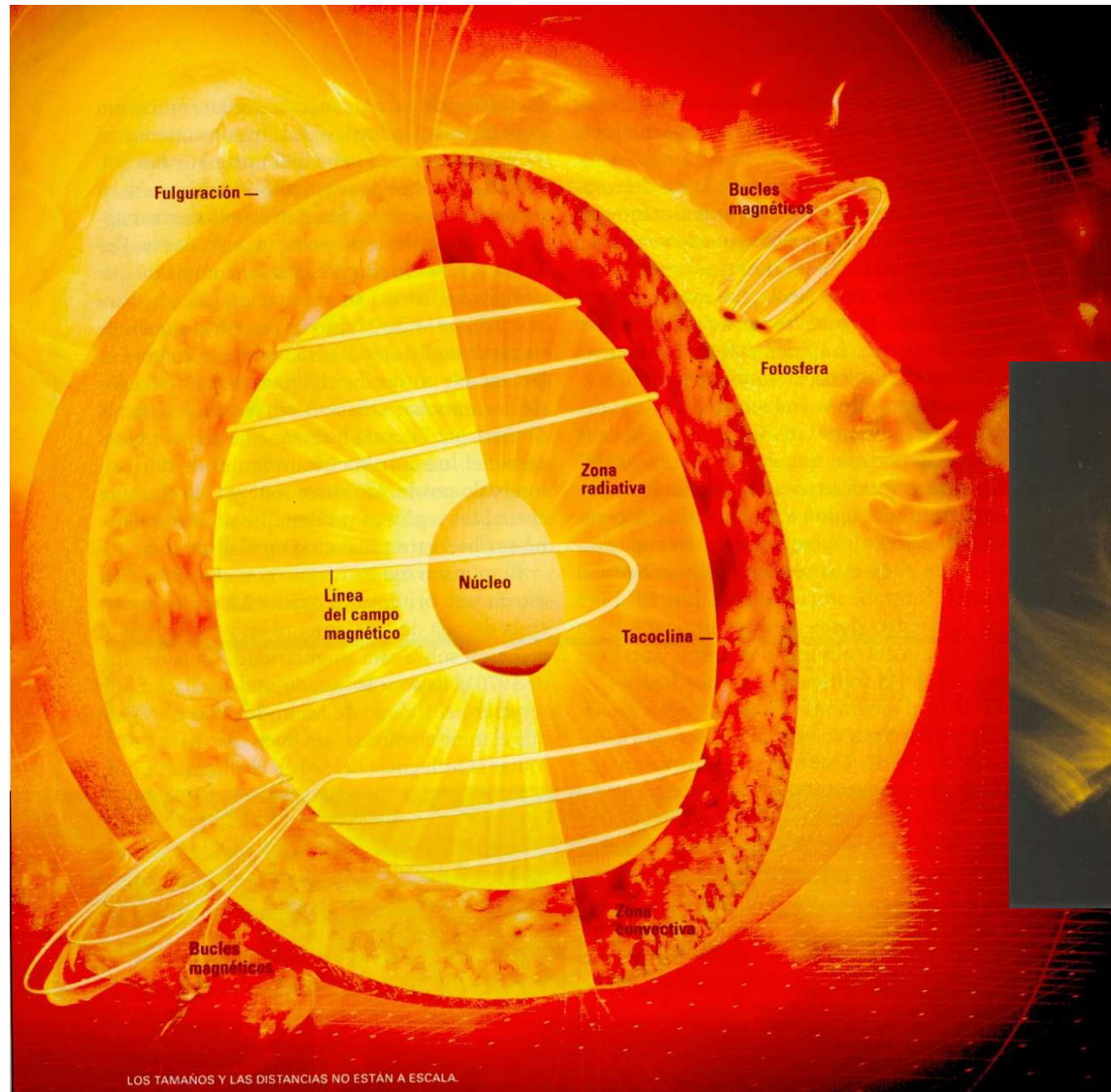
Previsto para marzo de 2007



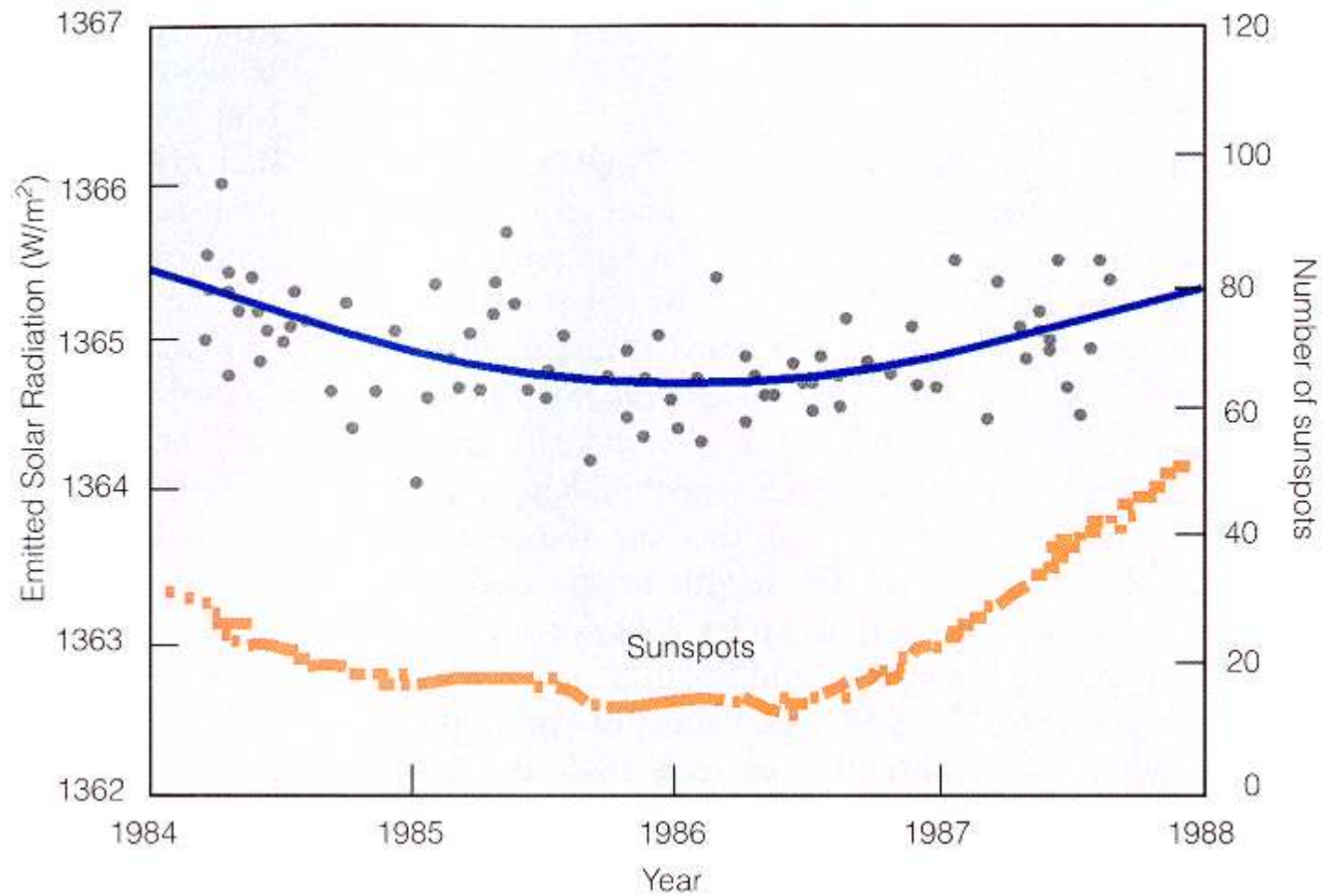
# MANCHAS SOLARES



# EL SOL



# ACTIVIDAD SOLAR



# ORBITA SOLAR



## DISTANCIA TIERRA-SOL, $r$

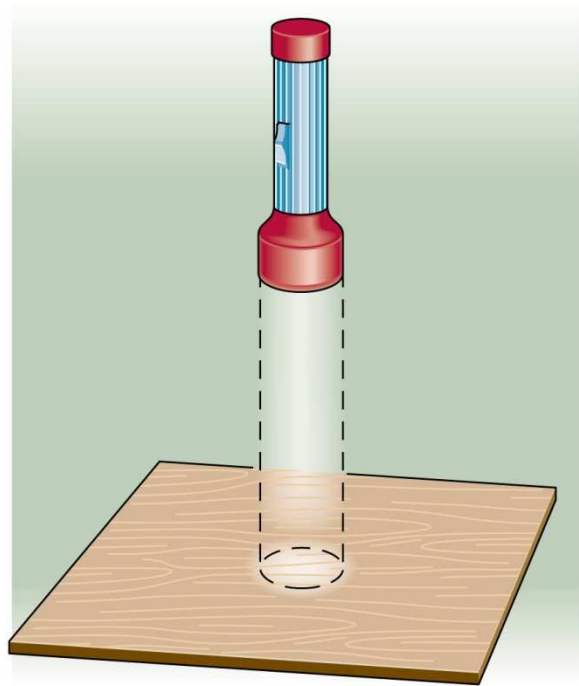
$$(r_o/r)^2 = 1.000110 + 0.034221\cos\Gamma + 0.001280\text{sen}\Gamma + 0.000077\text{sen}2\Gamma$$

$$\Gamma = [2\pi(J-1)]/365 \quad J \text{ día del año ( } J = 1 \text{ para el 1 de Enero).}$$

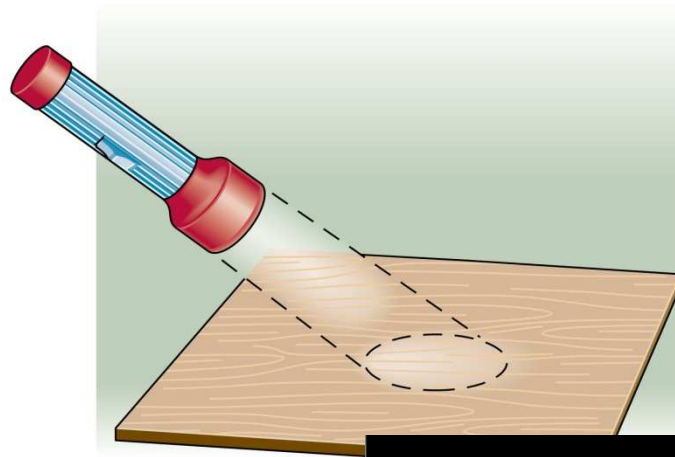
$$(r_o/r)^2 = 1 + 0.033 \cos (2 \pi J/365) \quad J \text{ día del año}$$

# ÁNGULO SOLAR

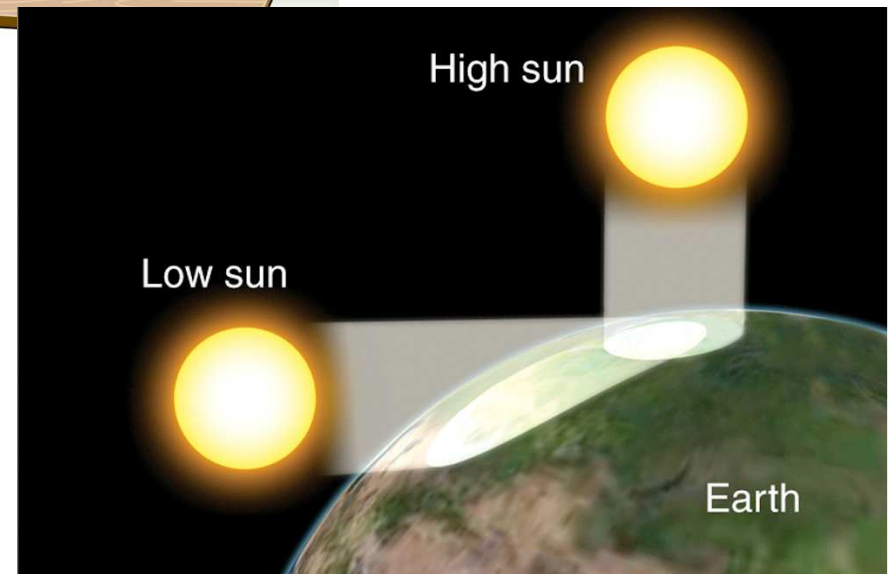
Al aumentar la superficie iluminada se reduce la energía que nos llega por unidad de área



(a)



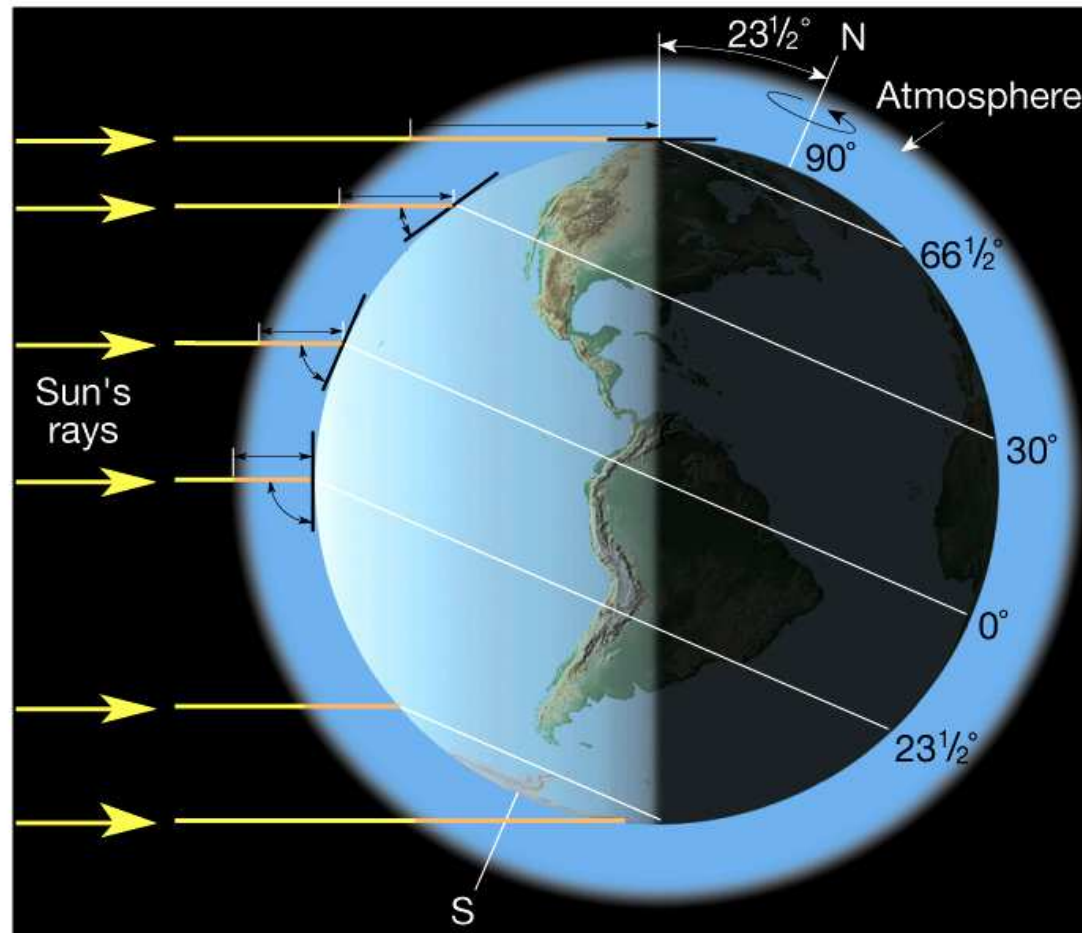
(b)



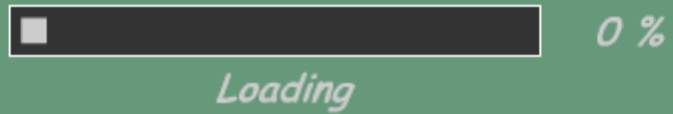


# ÁNGULO SOLAR

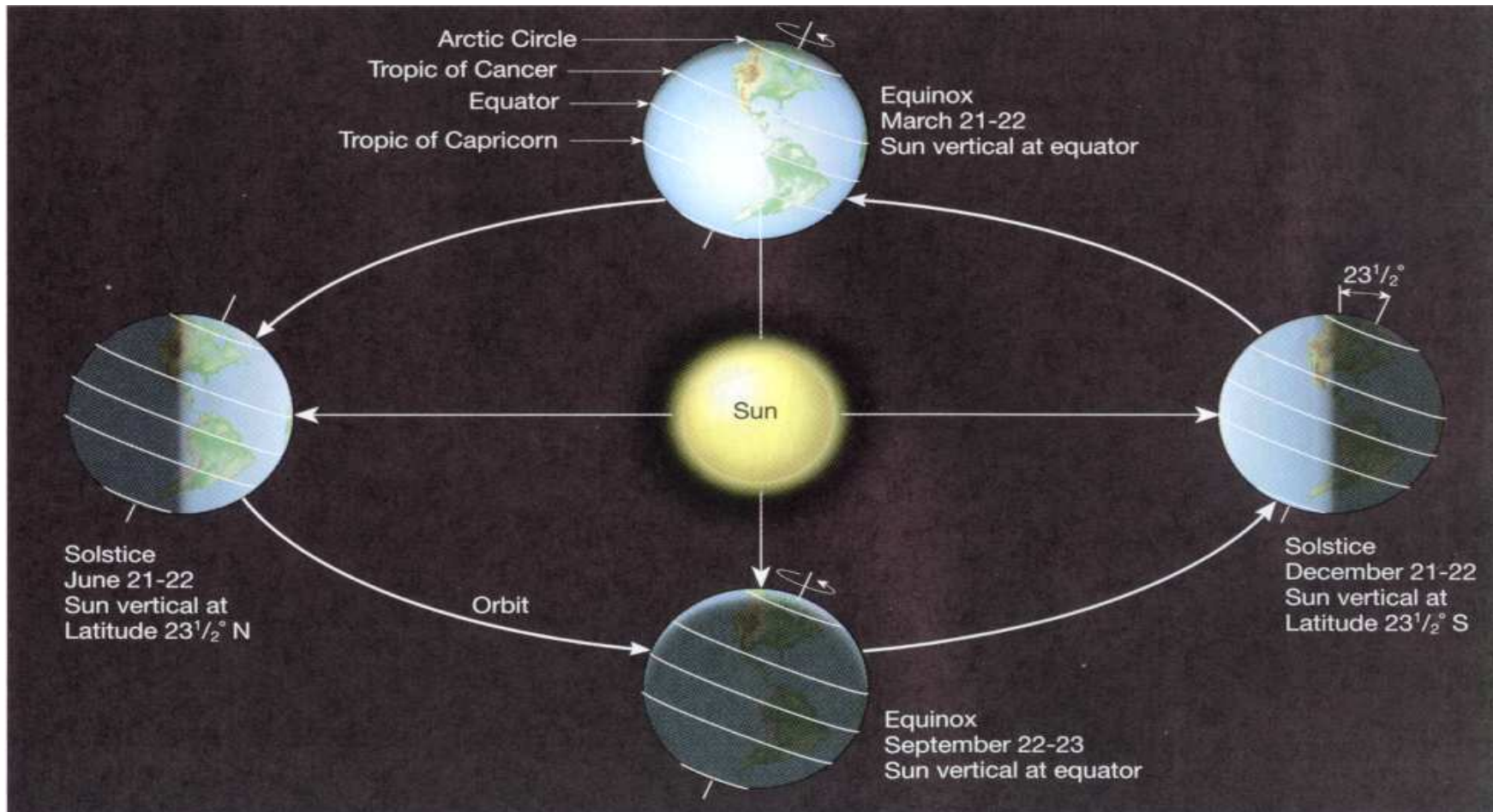
Los rayos solares inciden con diferente ángulo las diferentes regiones del planeta. Este ángulo varía con el tiempo.



# Earth's Seasons

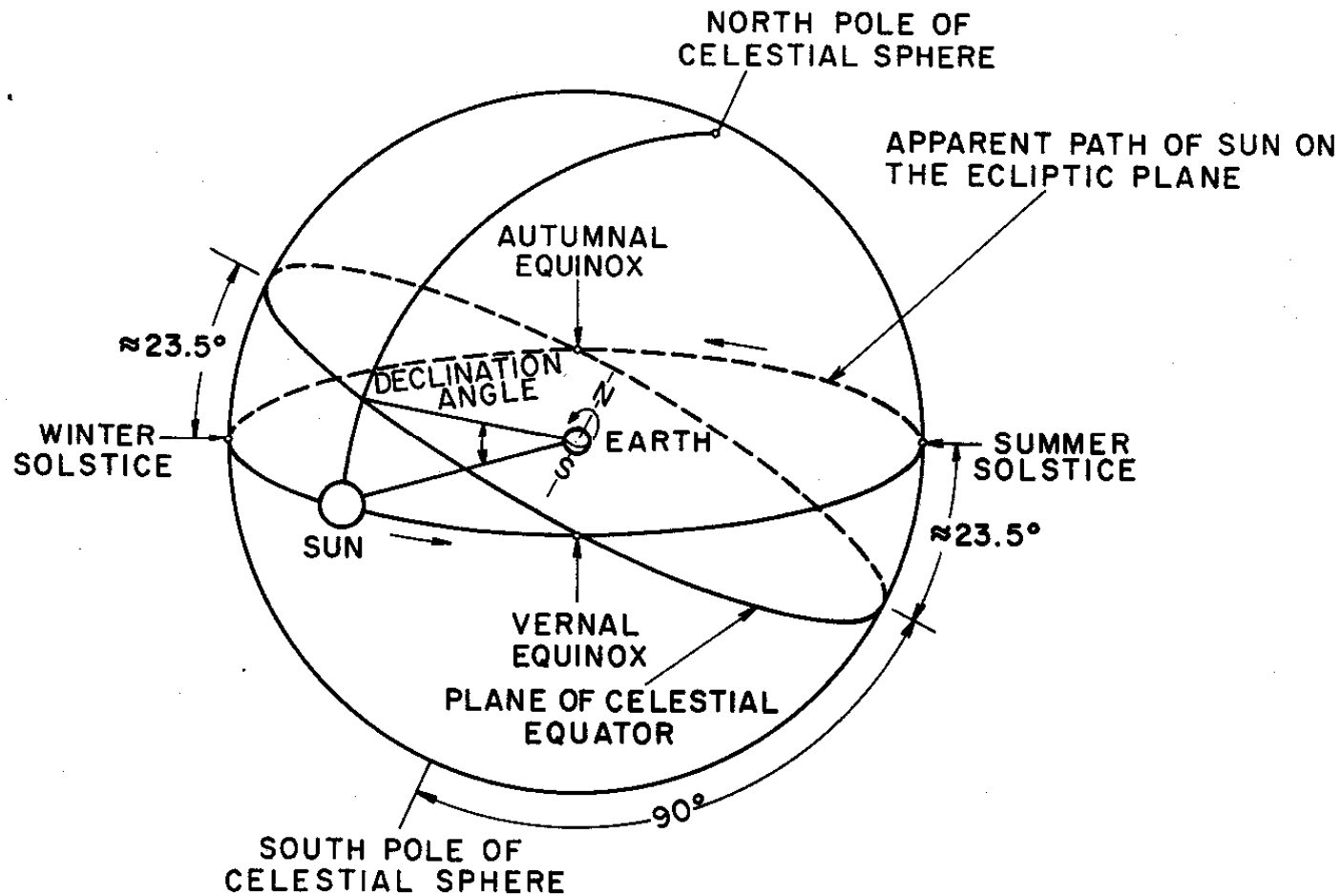


# ORBITA SOLAR



El eje de rotación terrestre forma un ángulo de  $23.5^\circ$  con la perpendicular al plano de la eclíptica (plano que incluye al Sol y la Tierra en todo momento)

# DECLINACIÓN SOLAR

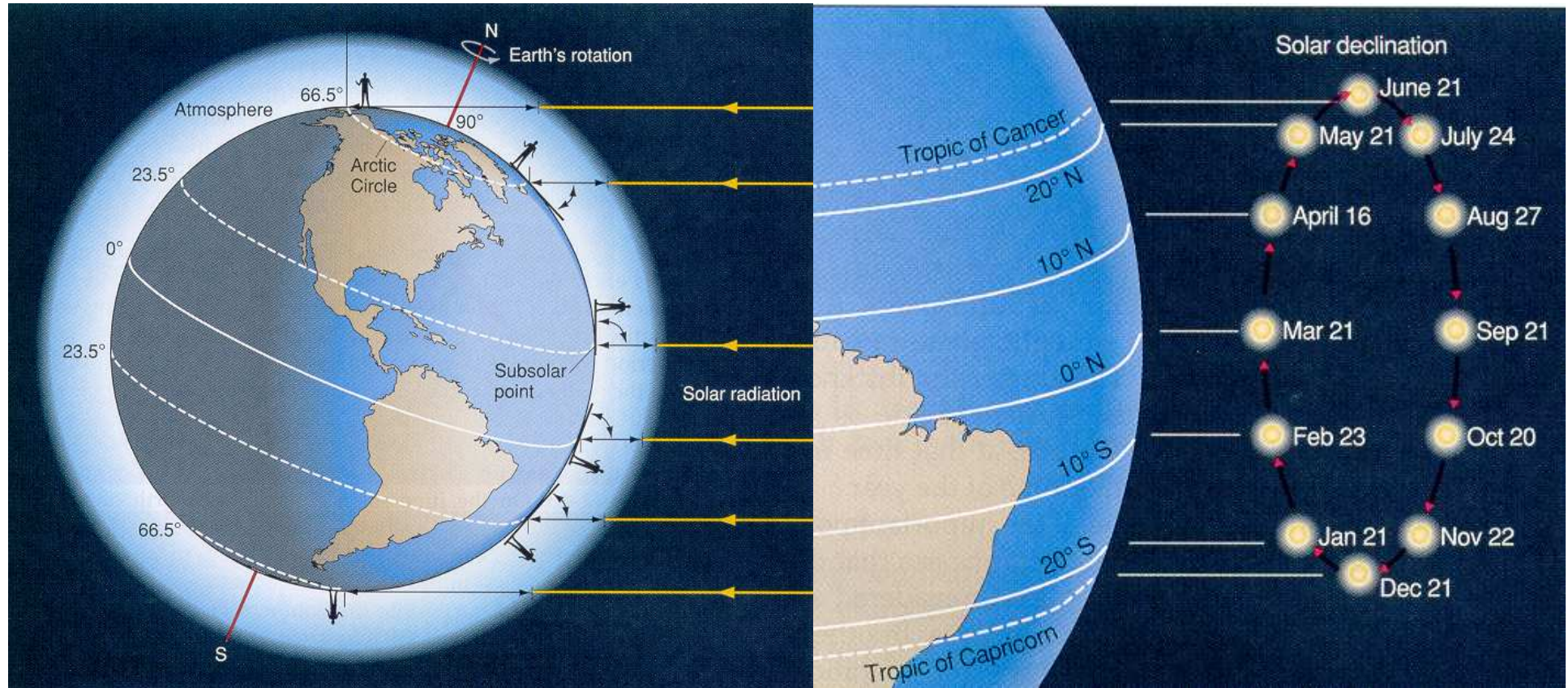


**Declinación solar:** ángulo formado por la línea que une los centros de la Tierra y el Sol y el plano ecuatorial

$$-23^{\circ} 27' \leq \delta \leq 23^{\circ} 27' \quad \delta=0$$

solsticio de invierno      solsticio de verano      equinoccios

# DECLINACIÓN SOLAR

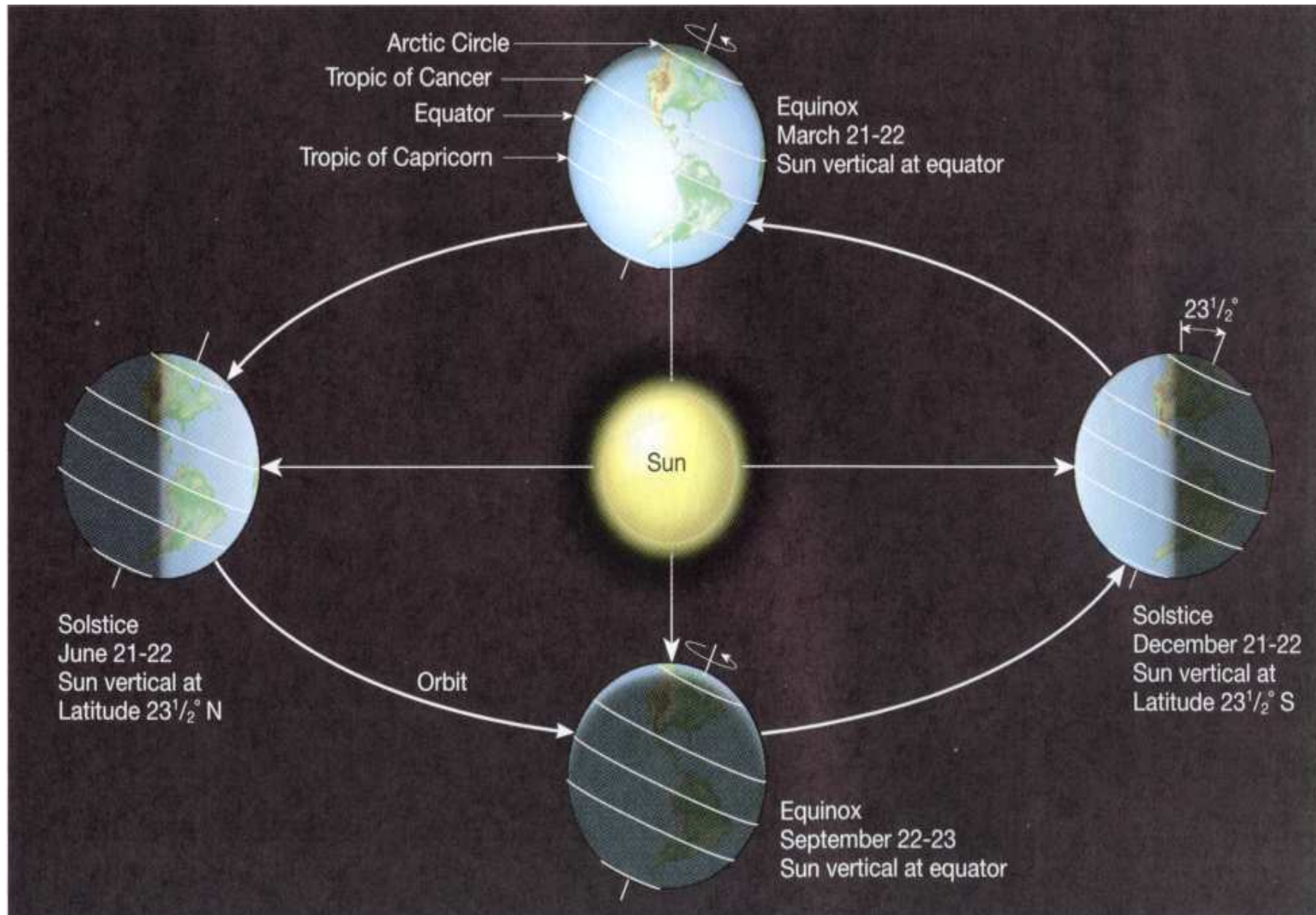


Declinación Solar: Ángulo formado por la línea que une los centros del sol y la Tierra con el plano ecuatorial terrestre.

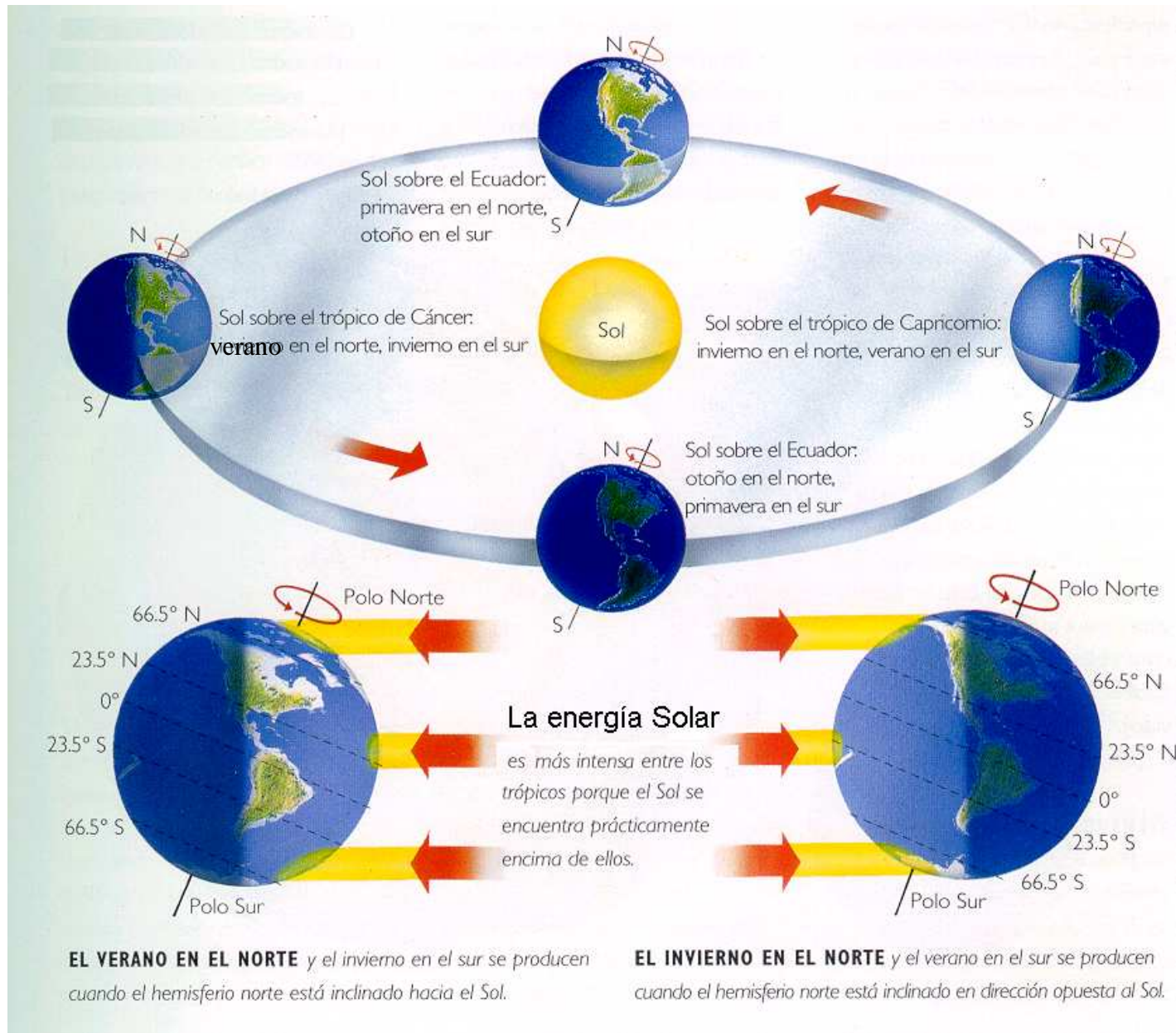
Localiza la latitud para la cual el sol presenta incidencia normal a medio día.

Varia entre  $\pm 23.5^\circ$ .

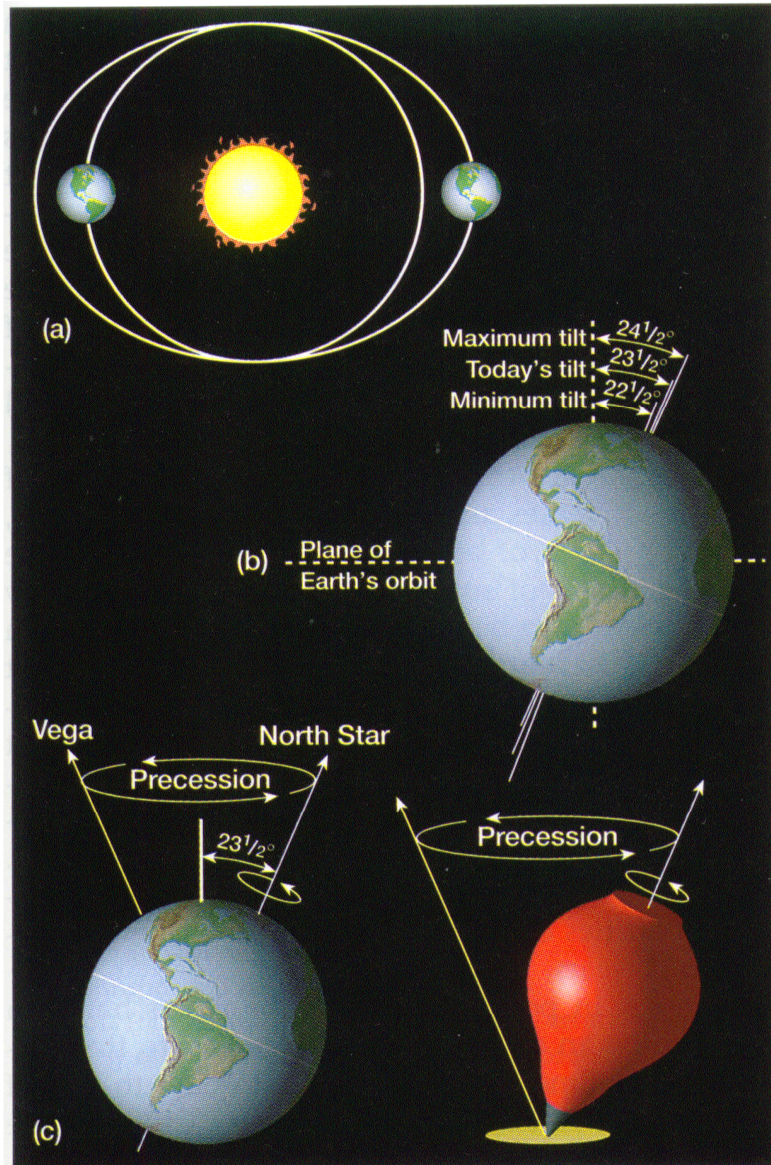
# ORBITA SOLAR. ESTACIONES.



# ORBITA SOLAR. ESTACIONES.



# VARIACIONES ORBITALES TERRESTRES



Perturbaciones de la órbita elíptica provocadas por la atracción gravitatoria del resto de los planetas del Sistema solar:

- ❖ Excentricidad  $e \in (0, 0.07)$   $\tau_e \sim 10^5$  años.  
(elíptico, no circular)
- ❖ Oblicuidad  $\psi \in (22.1^\circ, 24.5^\circ)$   $\tau_\psi \sim 4 \times 10^4$  años.  
(variación en la máxima declinación)
- ❖ Precesión del perihelio P  $\tau_P \sim 2 \times 10^4$  años  
(wobble=tambalearse)

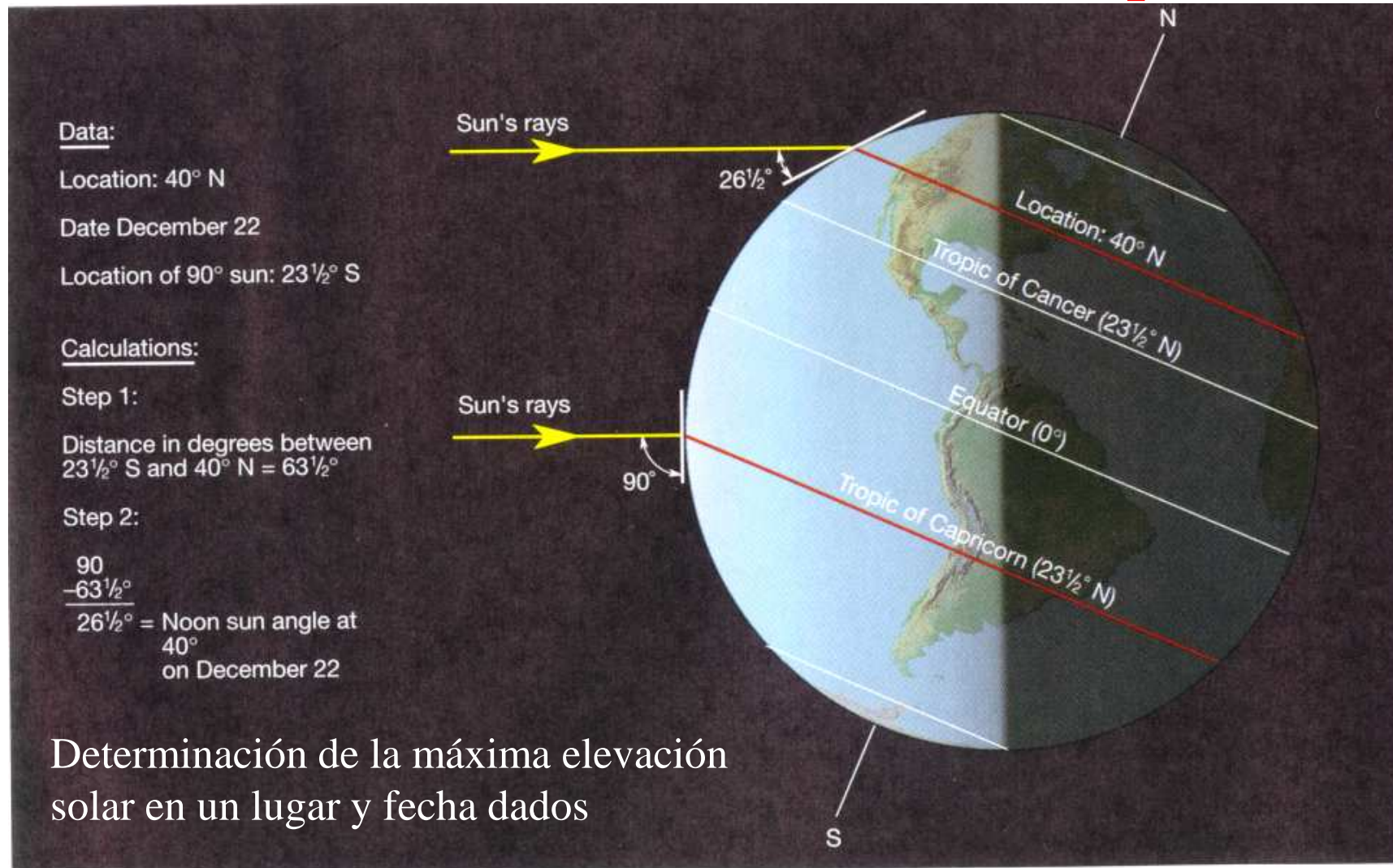
Actualmente

- $e = 0.017$
- $\psi = 23.45^\circ$
- P: 5 de Enero.

Figure 14-8 Orbital variations. (a) The shape of Earth's orbit



# ÁNGULO CENITAL SOLAR ( $\Theta_z$ )



$$\cos \theta_z = \text{sen } \delta \text{ sen } \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \text{sen } \alpha$$

declinación

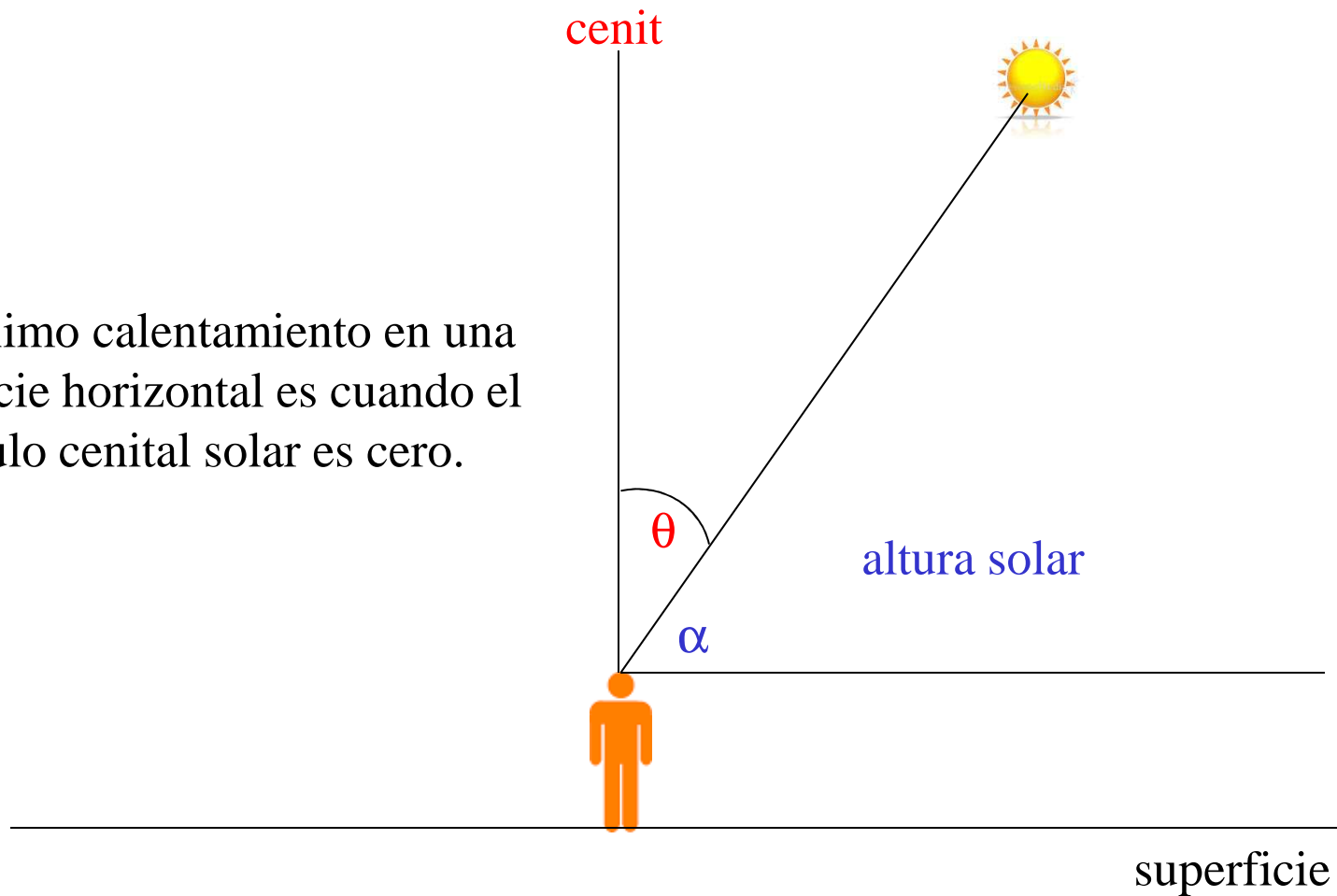
latitud

horario

altura solar

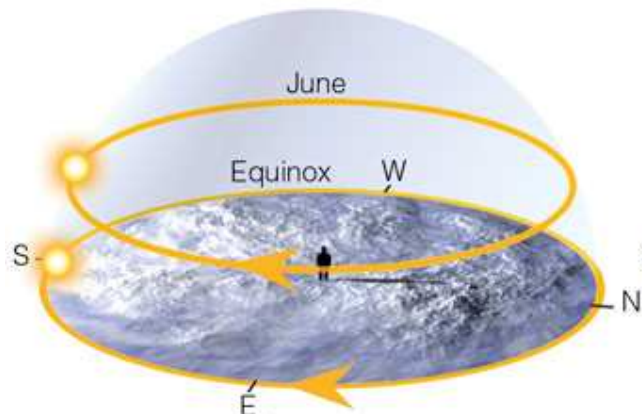
# ÁNGULO CENITAL SOLAR ( $\Theta_z$ )

El máximo calentamiento en una superficie horizontal es cuando el ángulo cenital solar es cero.

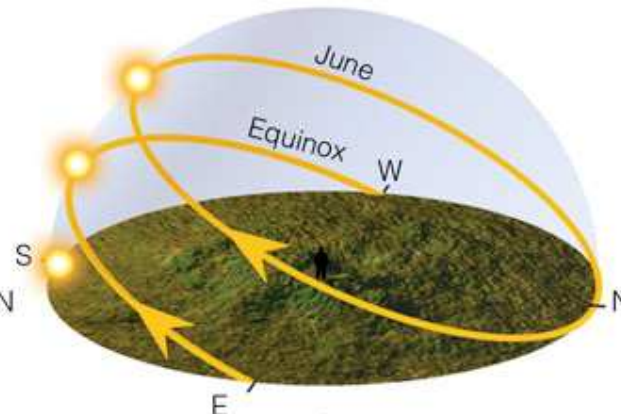


El **ángulo cenital solar** y la **altura solar** son ángulos complementarios

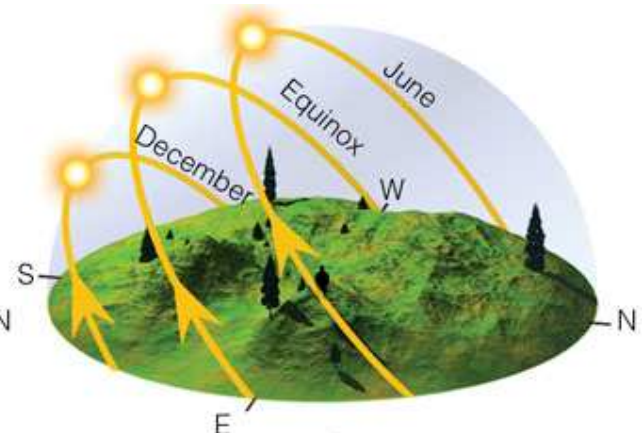
# La posición del Sol en el Cielo



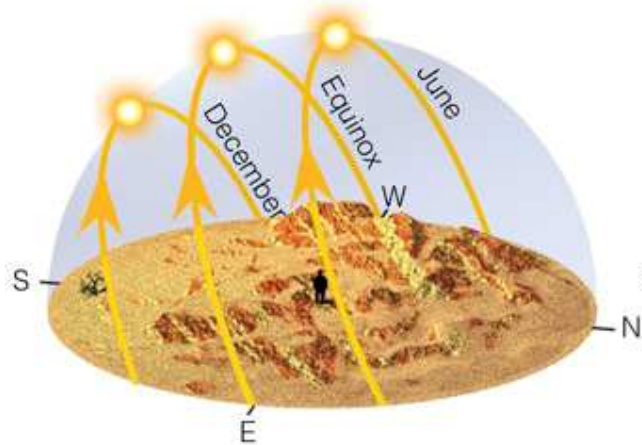
(a) North Pole,  $90^{\circ}\text{N}$



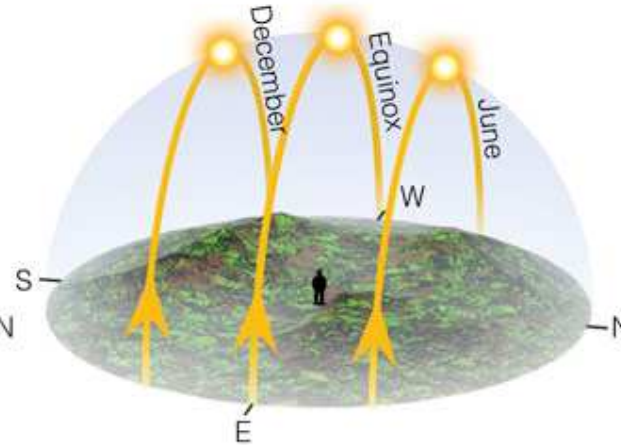
(b) Arctic Circle,  $66\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$



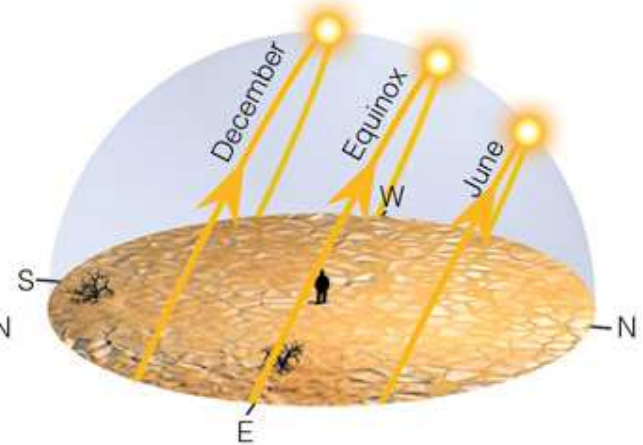
(c) Middle latitudes,  $40^{\circ}\text{N}$



(d) Tropic of Cancer,  $23\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$

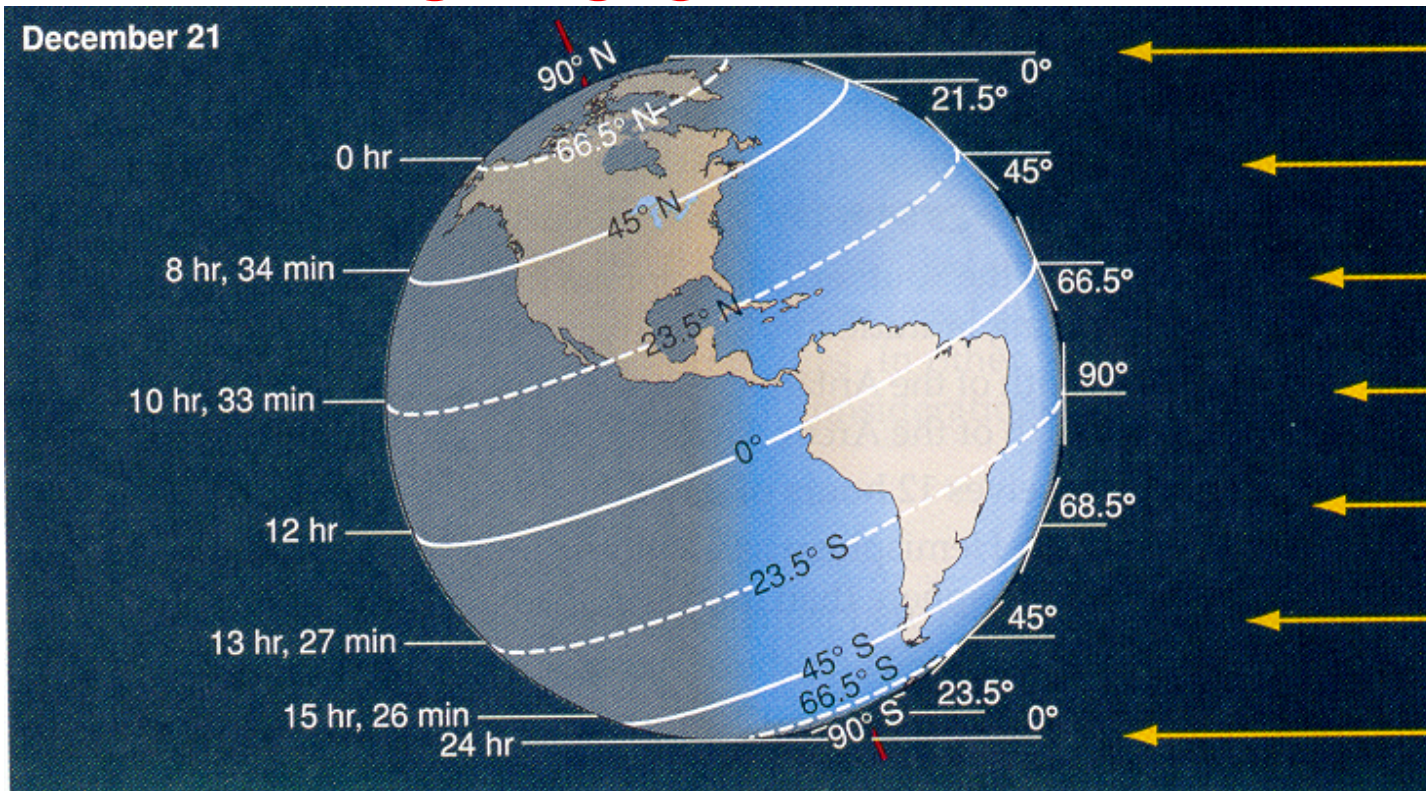


(e) Equator,  $0^{\circ}$



(f) Tropic of Capricorn,  $23\frac{1}{2}^{\circ}\text{S}$

# DURACIÓN DEL DÍA

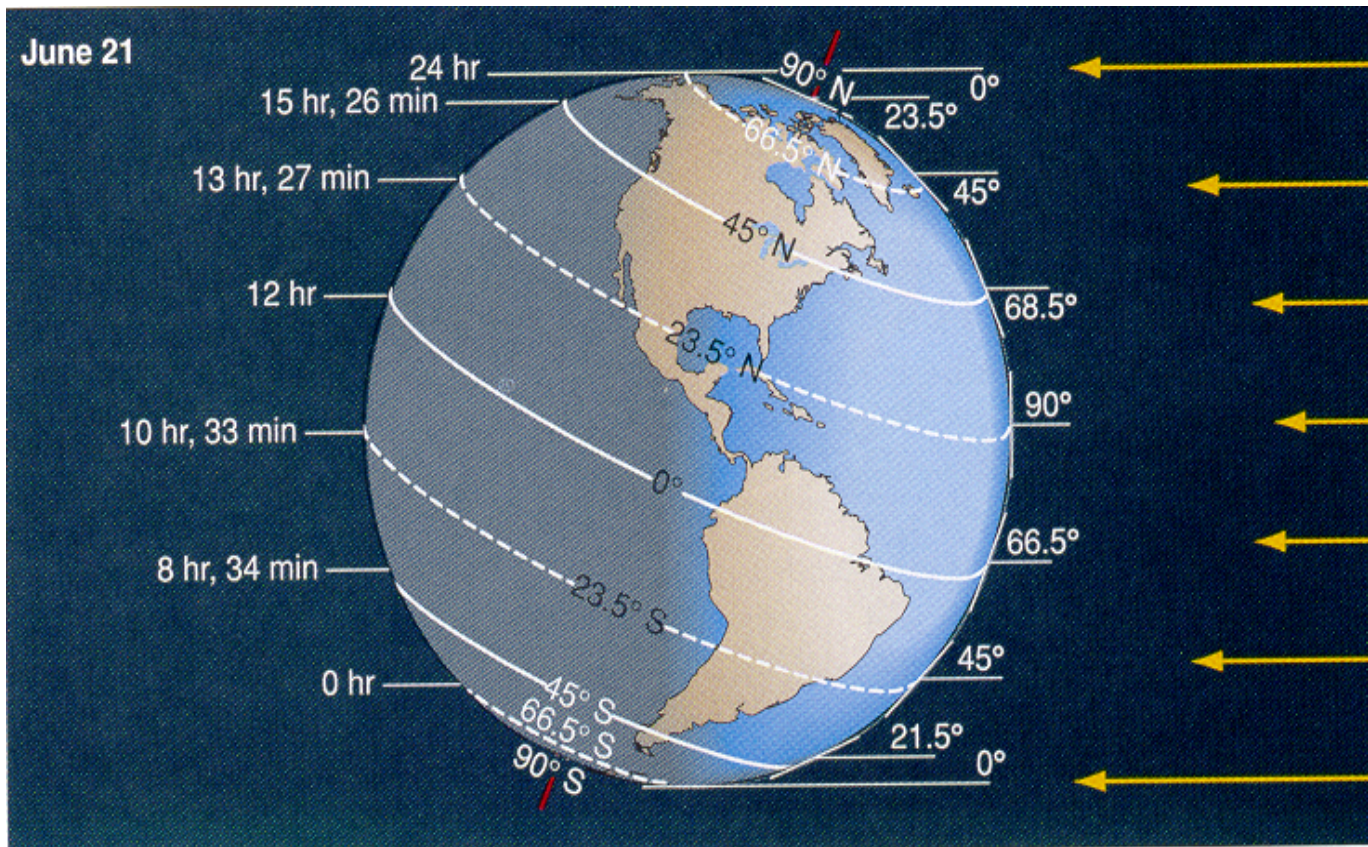


## **Solsticio de Invierno:**

- \* Mayor duración del día en el Hemisferio Sur.**
- \* Latitudes mayores de 66.5°N noche de 24 h.**
- \* Latitudes mayores de 66.5°S día de 24 h.**

**Ecuador: Día de 12 horas todo el año.**

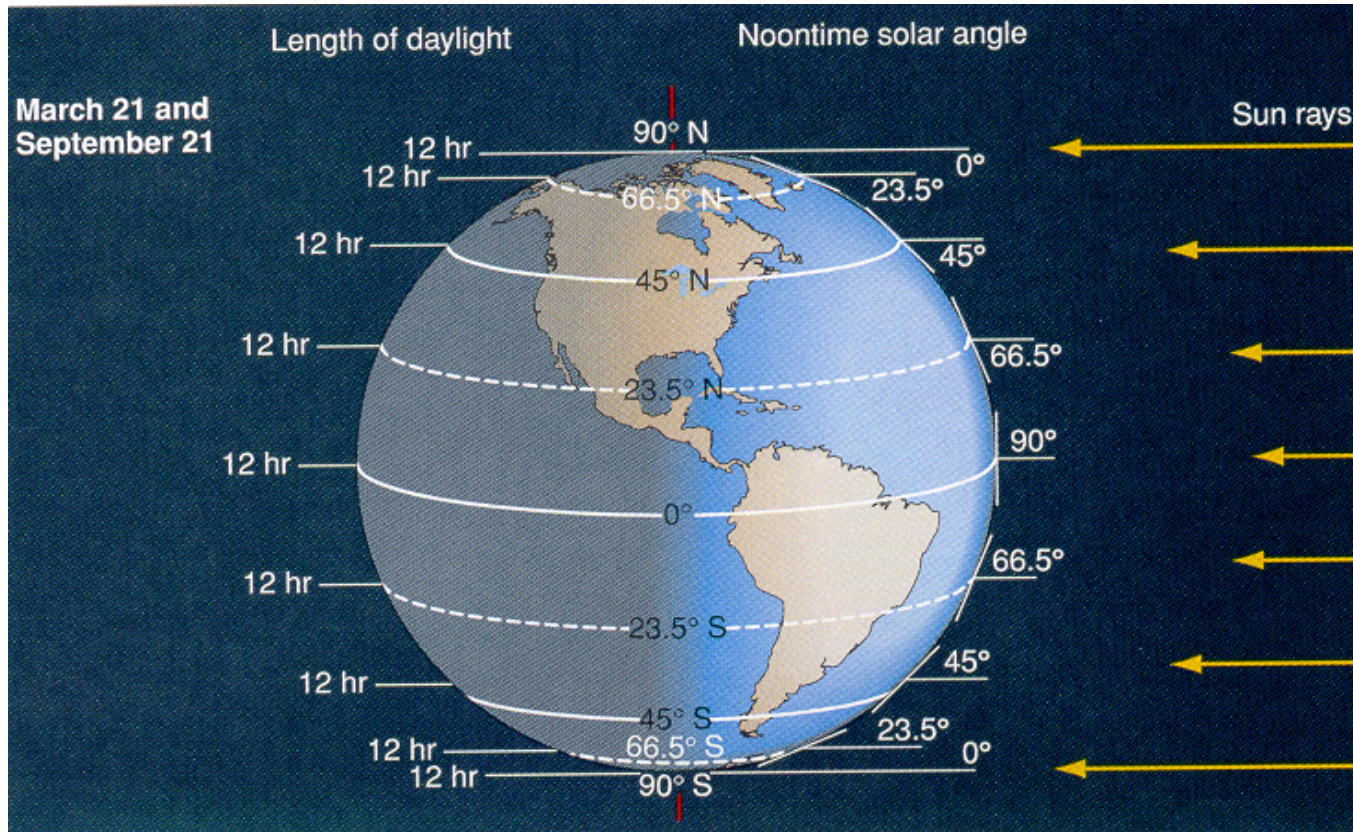
# DURACIÓN DEL DÍA



## **Solsticio de Verano:**

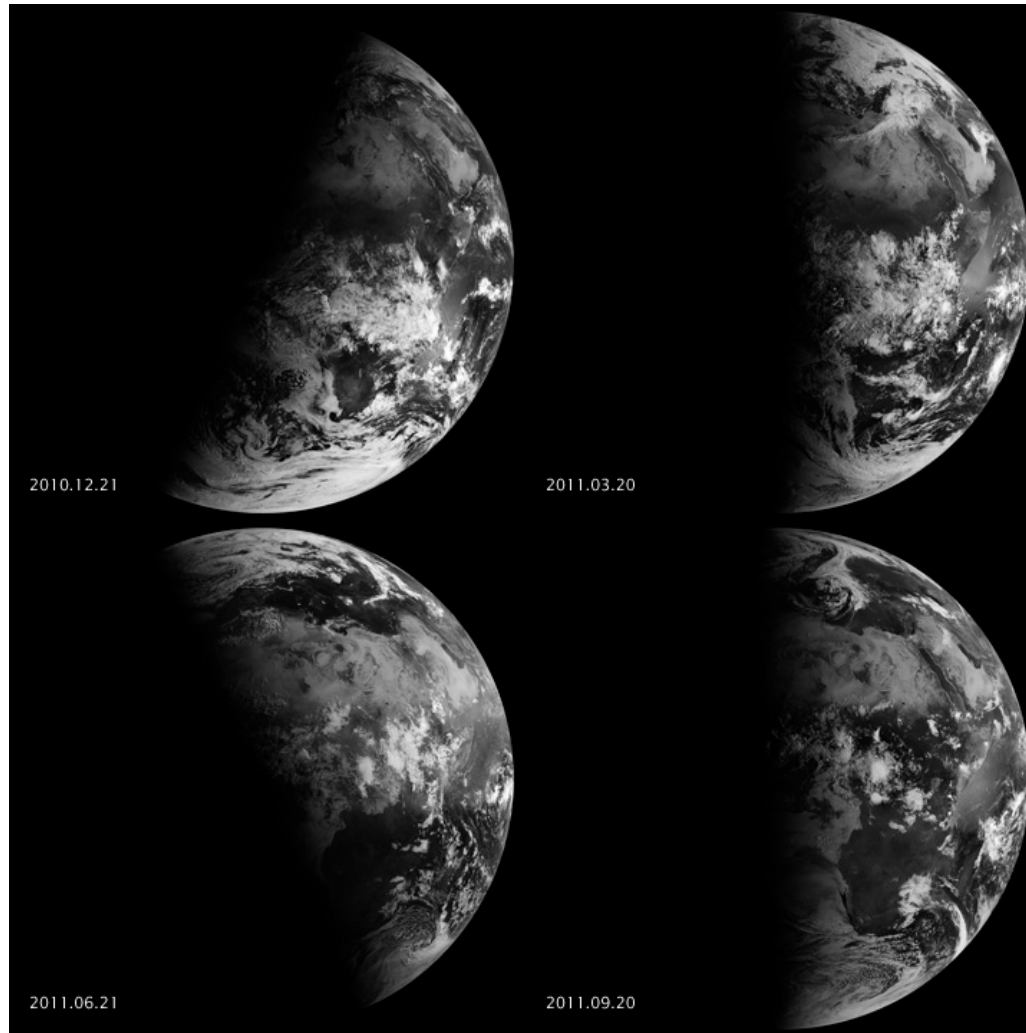
- \* Mayor duración del día en el Hemisferio Norte.**
- \* Latitudes mayores de 66.5°N día de 24 h.**
- \* Latitudes mayores de 66.5°S noche de 24 h.**

# DURACIÓN DEL DÍA



**Equinoccio: Día de 12 horas en todas las latitudes.**

# EQUININOCIOS Y SOLSTICIOS



NASA images and animation by Robert Simmon, using data ©2010 [EUMETSAT](http://EUMETSAT.org).  
Instrument: Meteosat

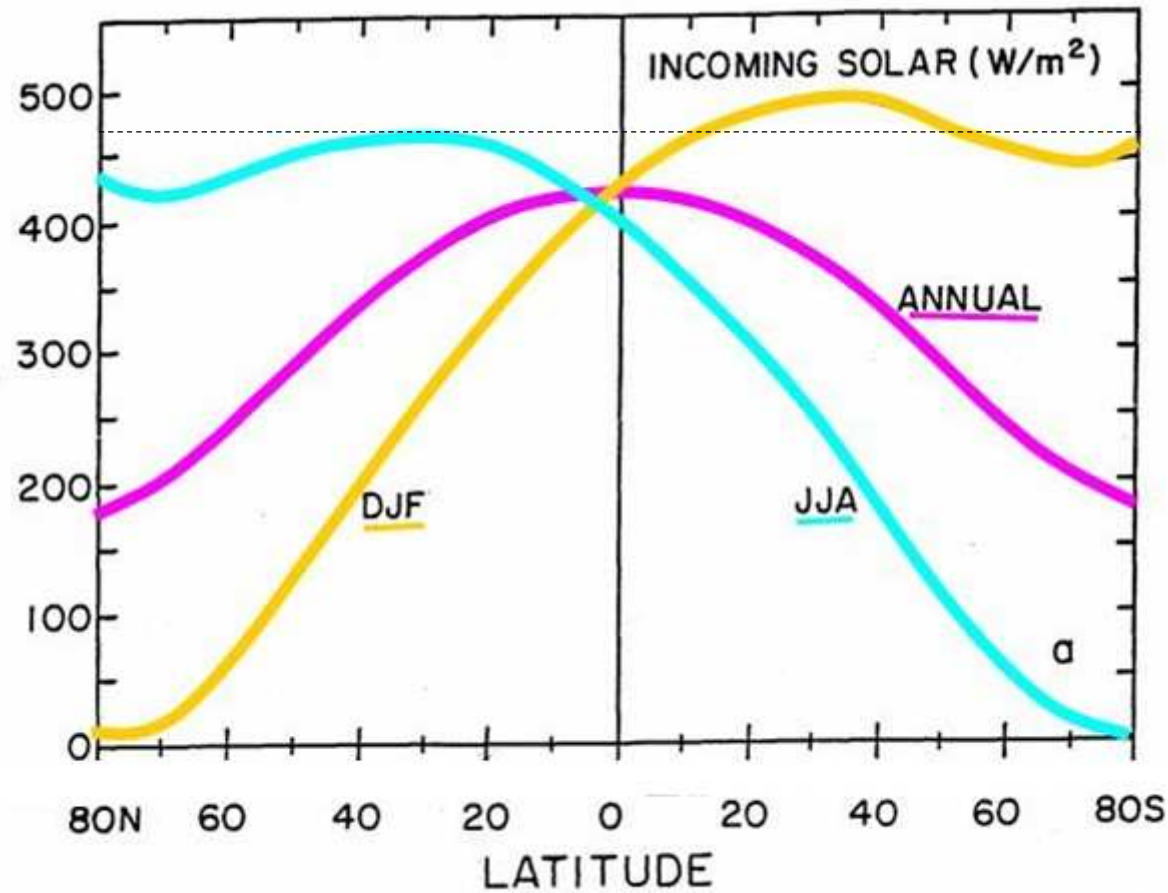
# DURACIÓN DEL DÍA



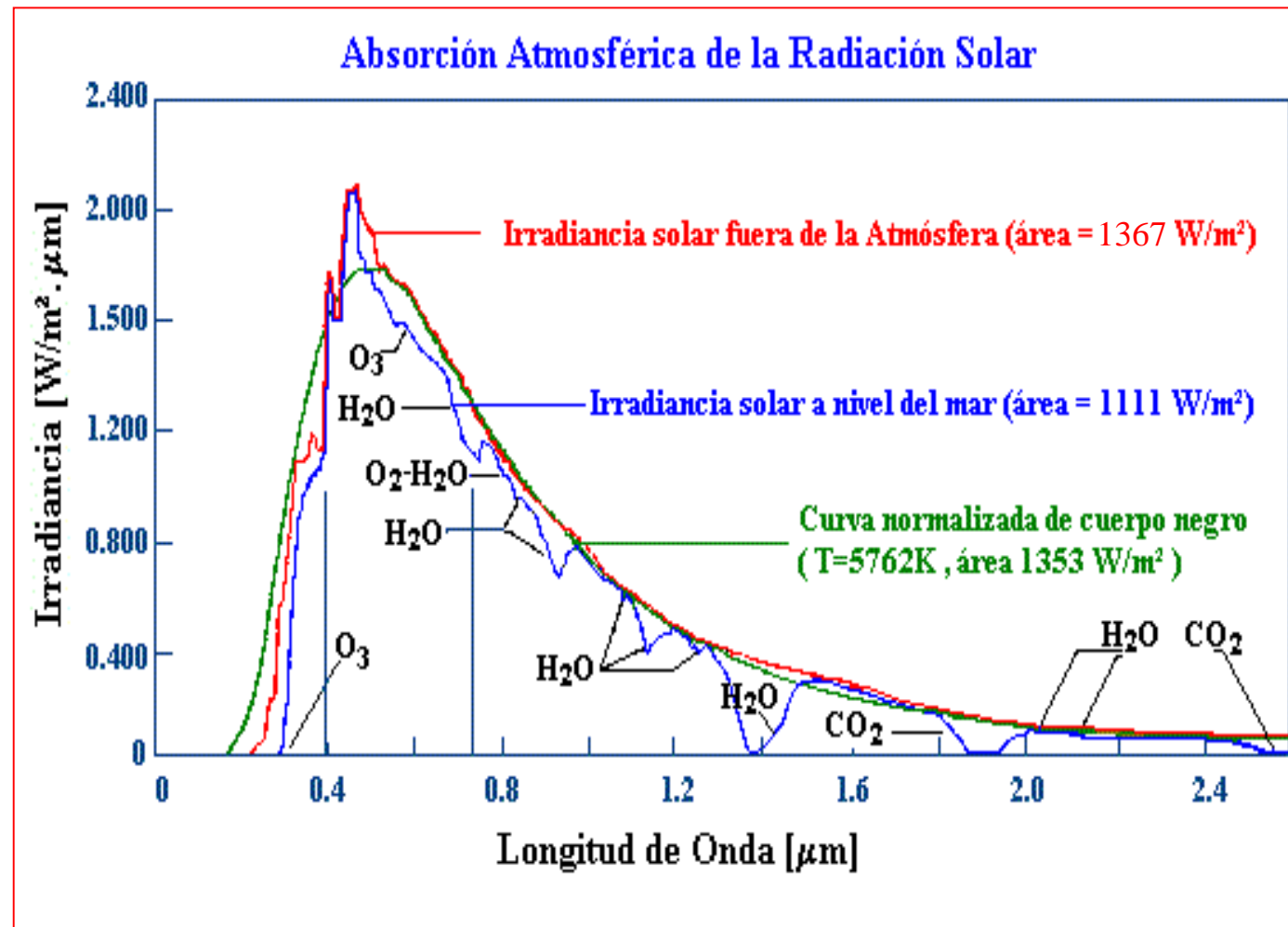
**Día de 24 horas en latitudes de los círculos polares durante el verano del correspondiente hemisferio**



# ENERGÍA SOLAR DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL Y LATITUDINAL

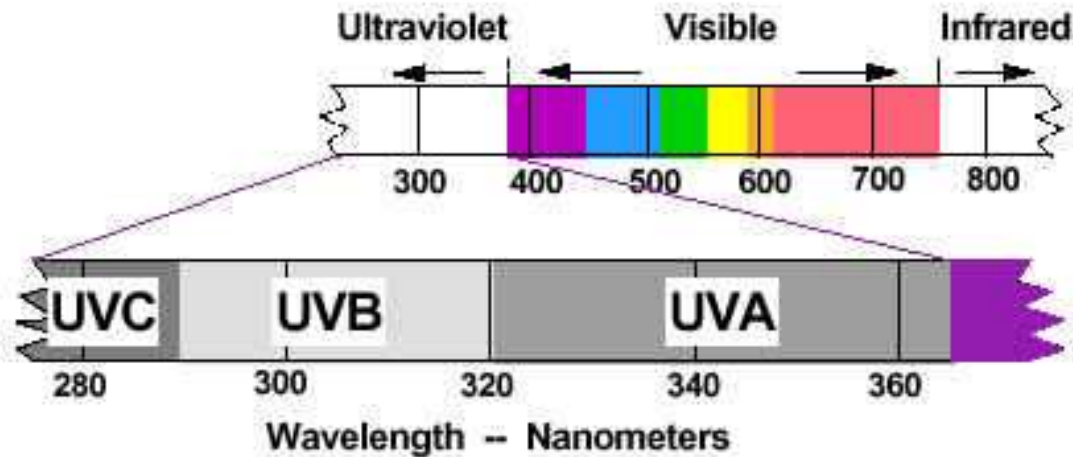


# ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA ATMÓSFERA TERRESTRE



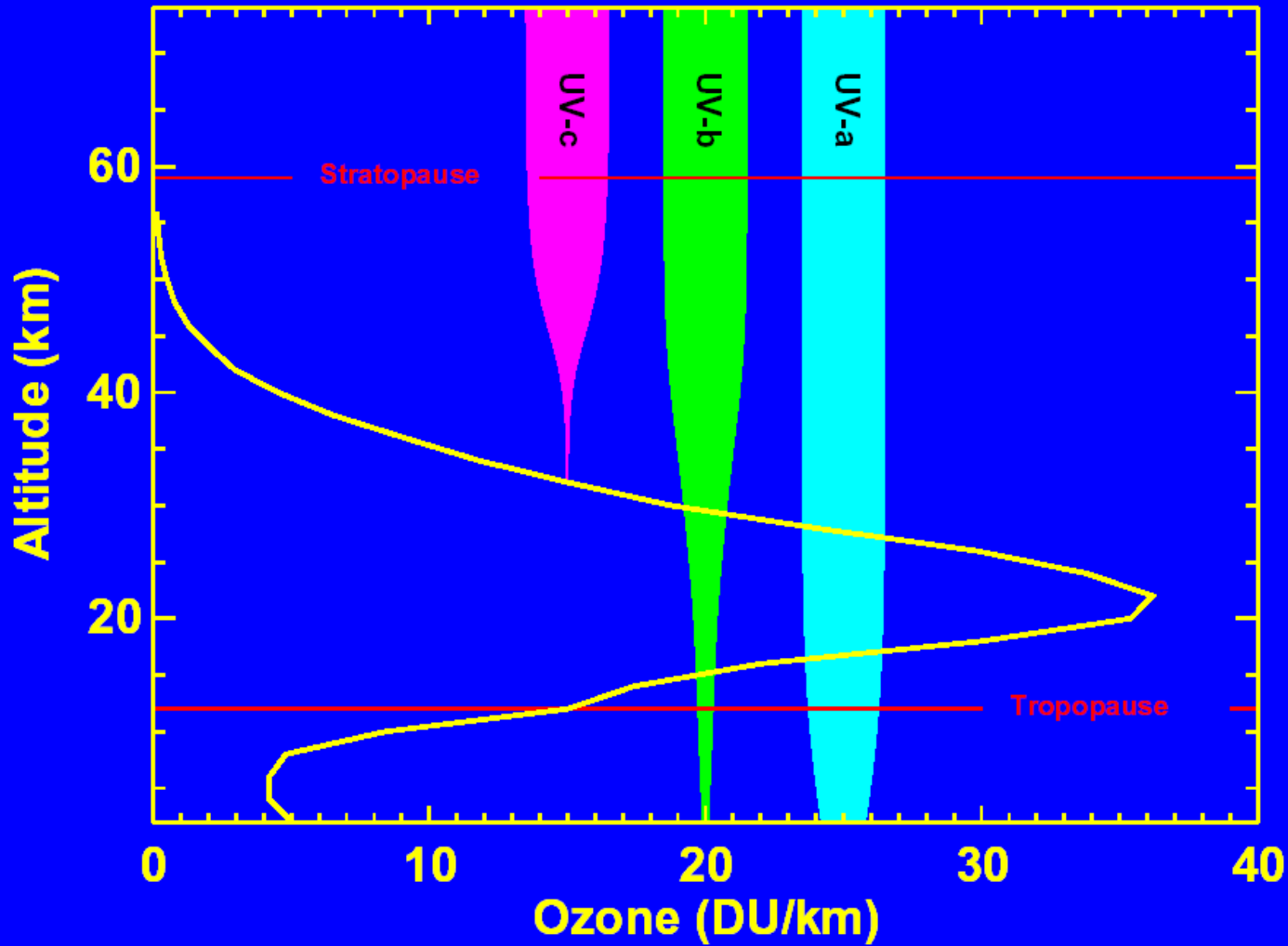
# RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

## ULTRAVIOLET SPECTRUM

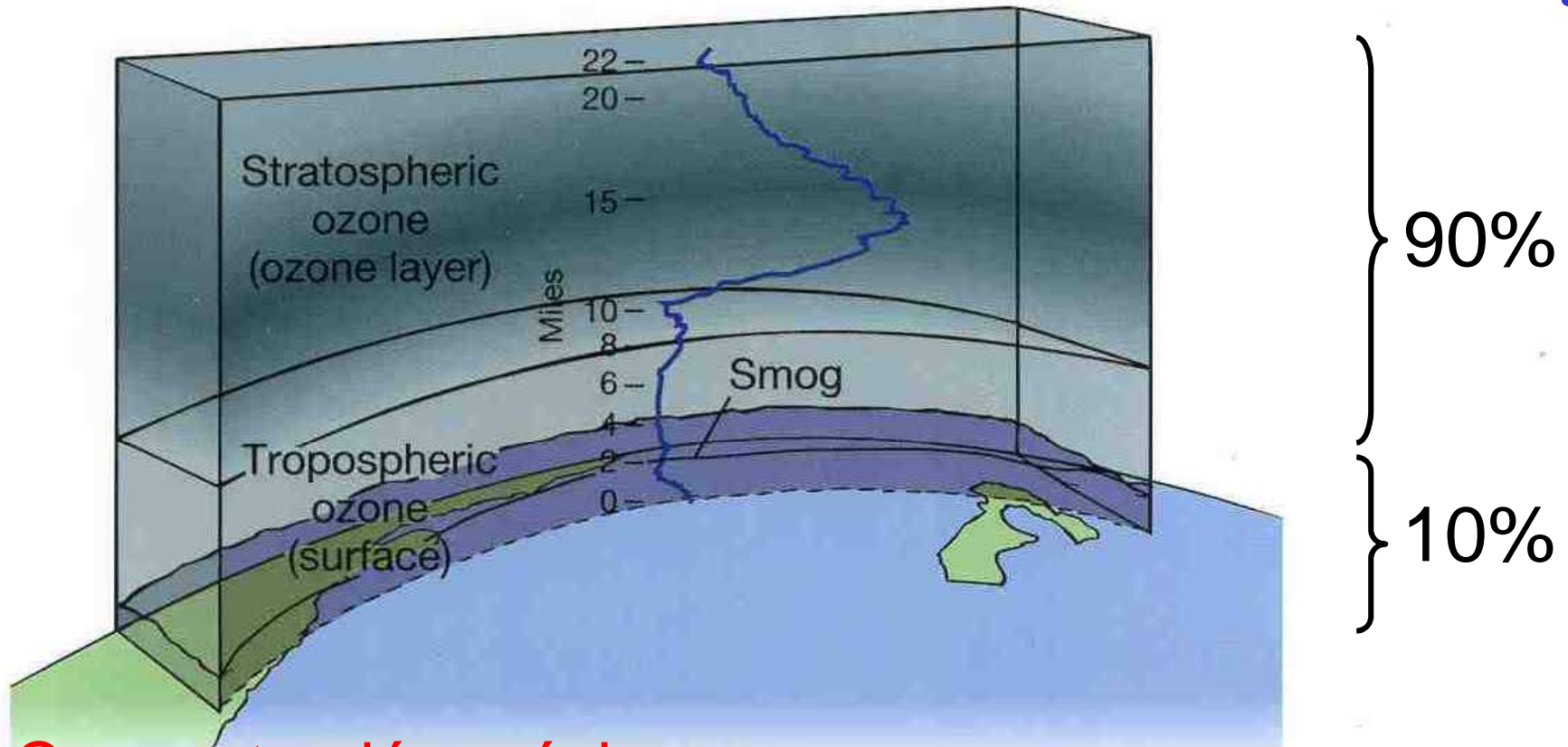


Región	$\lambda$	% Energía
Infrarrojo	>700 nm	49.4
Visible	400-700 nm	42.3
UVA	315-400 nm	6.3
UVB	280-315 nm	1.5
UVC	100-280 nm	0.5

# OZONO-UV

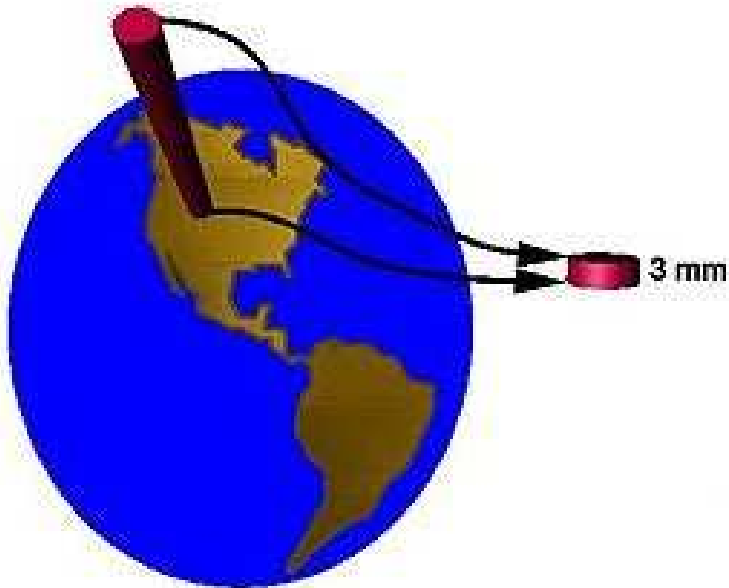


# DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE O<sub>3</sub>



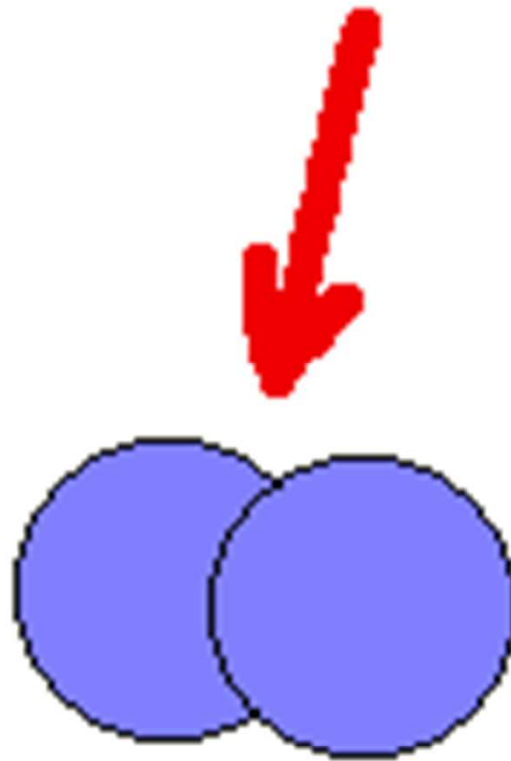
Concentración máxima  
~30 km en regiones tropicales  
~20 km in regiones polares

# MEDIDA DEL O<sub>3</sub> EN COLUMNA



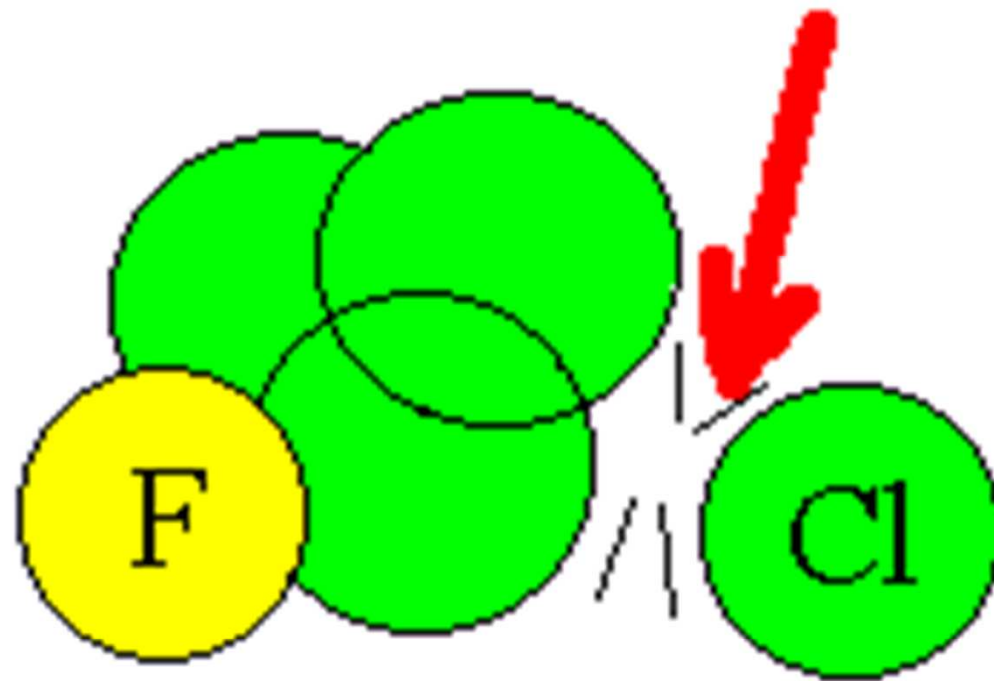
- **Unidades Dobson (DU)**  
unidad de medida del ozono presente en la columna atmosférica
- **1 DU = espesor de ozono de 0.01 mm a 0°C y 1 atm.**
- **Valor medio para la Tierra 320 DU (= capa de 3.2 mm de espesor NTP , o  $8.6 \times 10^{16}$  moléculas)**

# CREACIÓN DE OZONO



- 1) Un rayo UV muy energético colisiona con una molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>)

# CFC-OZONO



- 1) Un rayo UV libera un cloro de la molécula de CFC

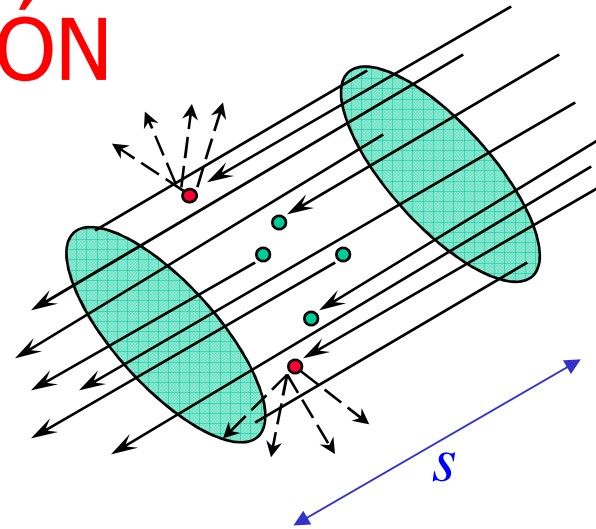


# DISPERSIÓN

$$dF_\lambda = -F_\lambda k_{s\lambda} \rho ds$$

$k_{s\lambda}$  coeficiente de dispersión ( $L^2M^{-1}$ )

$\rho$  Densidad del medio ( $ML^{-3}$ )



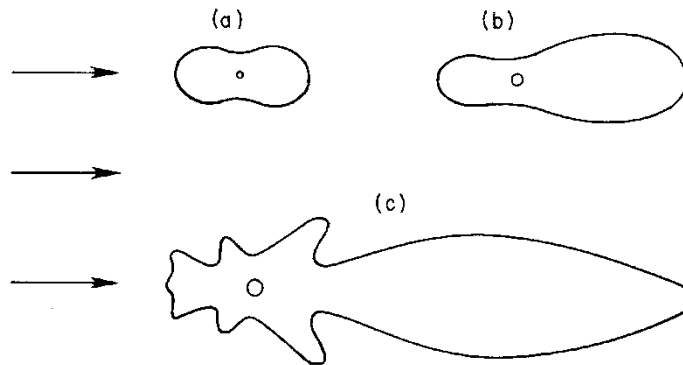
Patrones de Dispersión

a) P. Pequeña

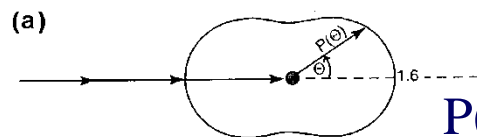
b)

P. Grande

c) P. Más Grande

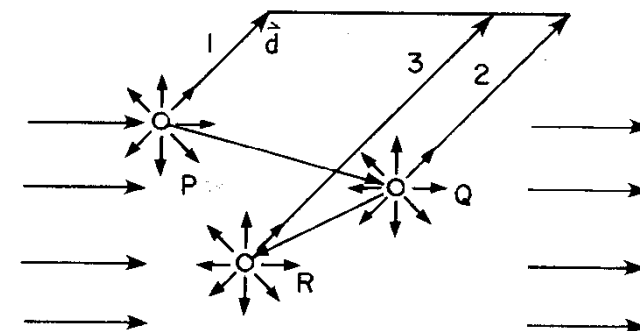
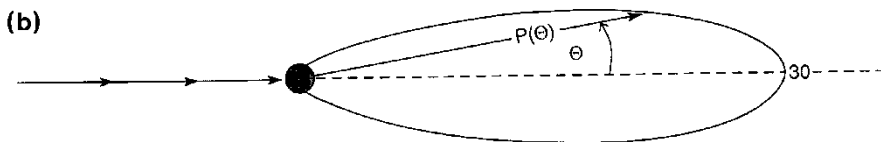


Dispersión múltiple

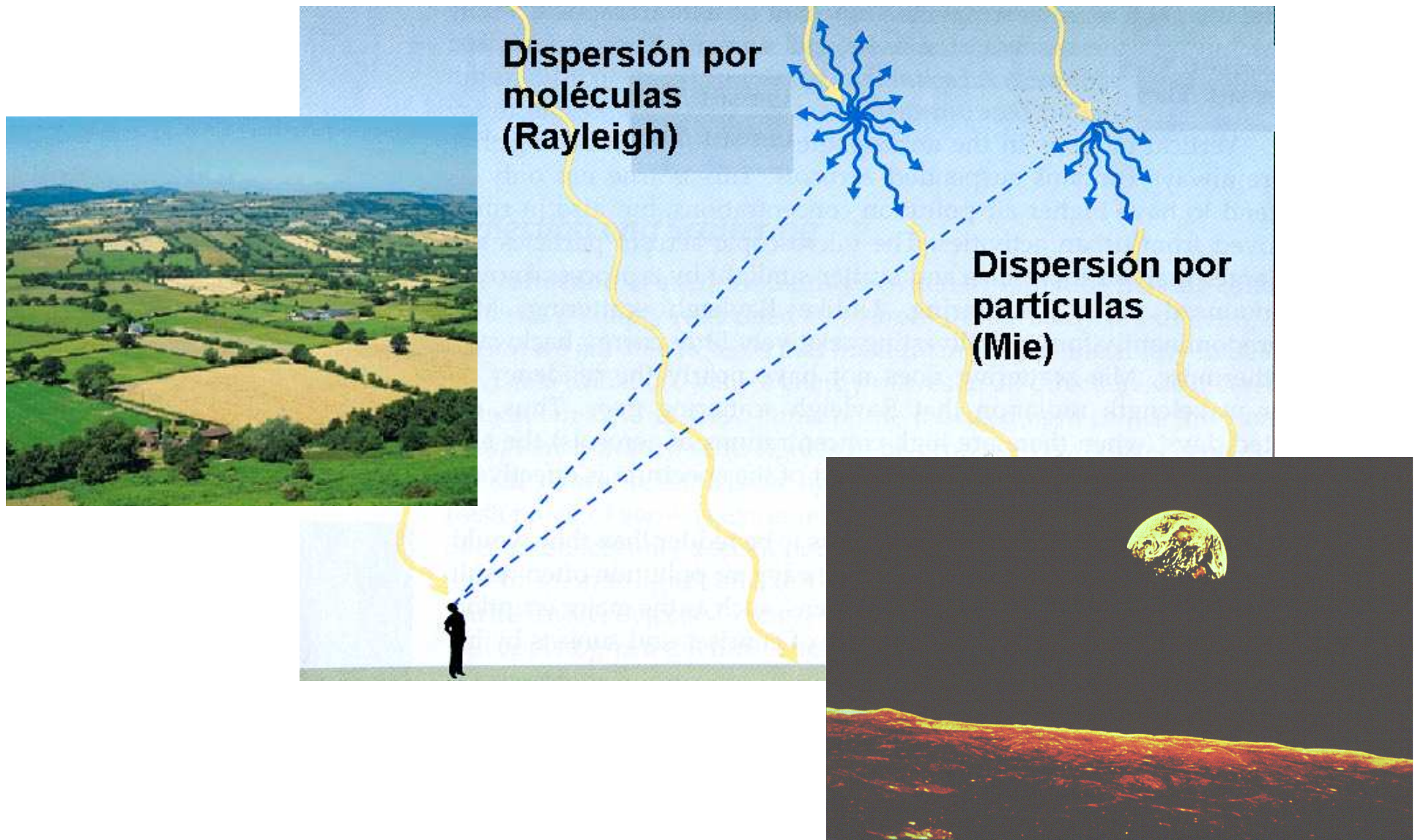


$P(\Theta)$  Función de Fase

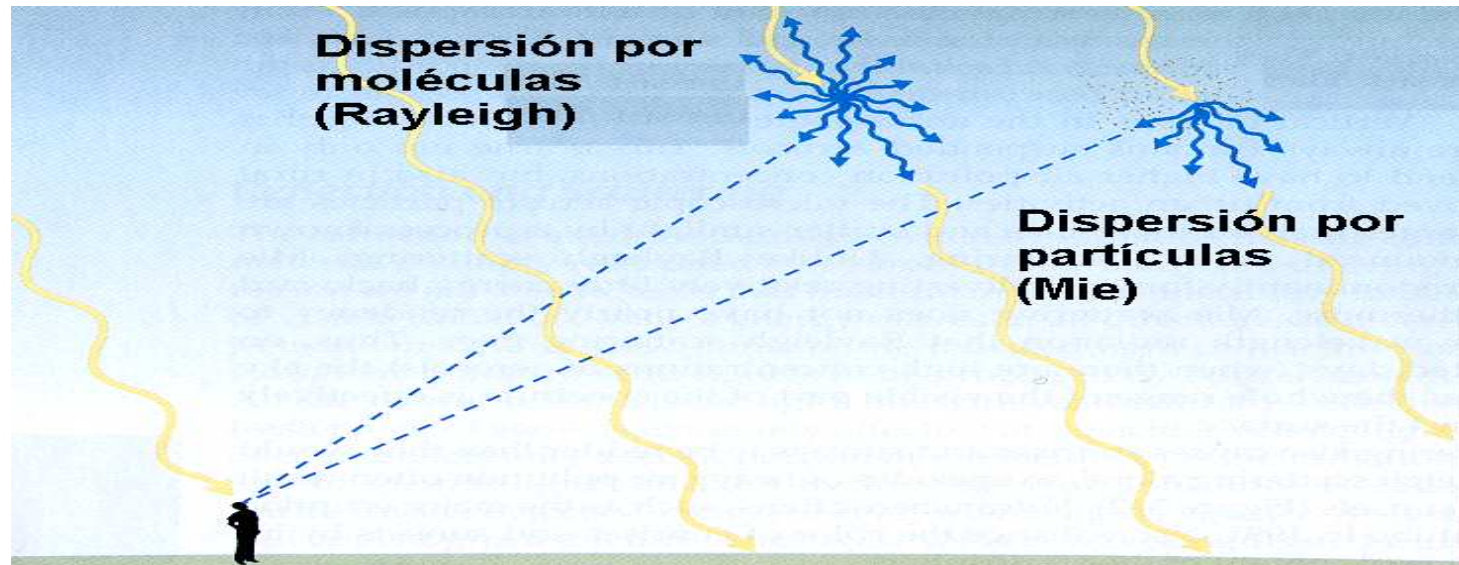
$\Theta$  Ángulo de dispersión



# DISPERSIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR



# DISPERSIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR



$$\pi D/\lambda \ll 1$$

Dispersión de Rayleigh  
(Moléculas  $D \approx 0.1 \text{ nm}$ )

$$0.1 < \pi D/\lambda < 50$$

Dispersión de Mie  
(Aerosoles  $D (0.1 \text{ nm} \rightarrow 10 \mu\text{m})$ )

$$\pi D/\lambda > 50$$

Reflexión difusa (Raro atmósfera)

$D$  radio de la partícula dispersante

# DISPERSIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

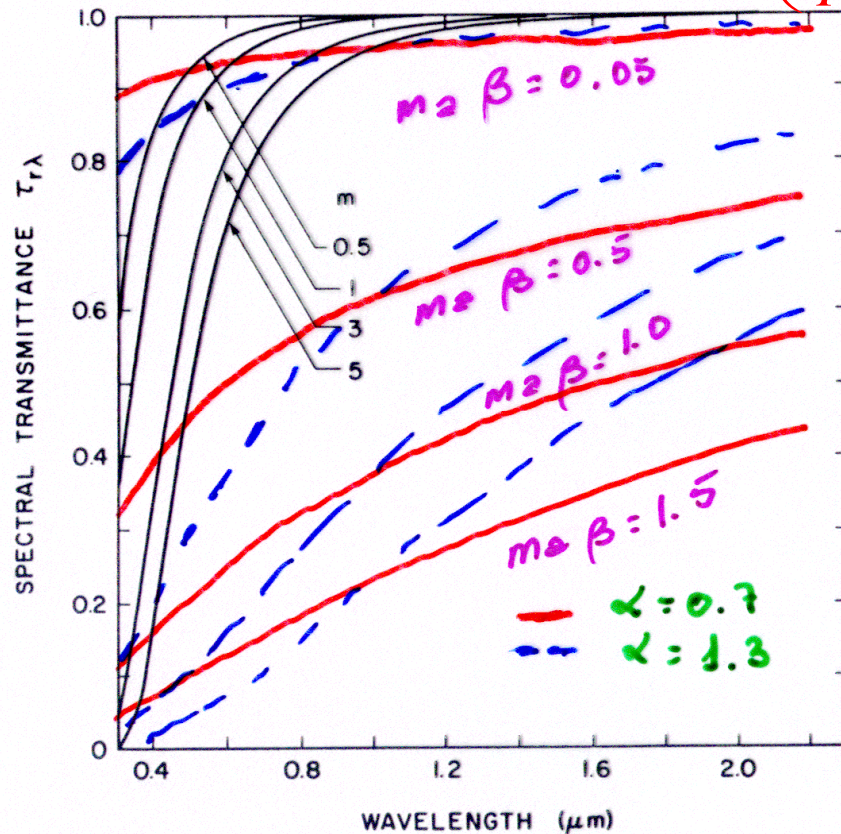
## TRANSMITANCIA RAYLEIGH

## TRANSMITANCIA MIE

$$T_{R\lambda} = \frac{F_\lambda}{F_{o\lambda}} = e^{-0.008735 \lambda^{-4.08} m_a}$$

$$T_{A\lambda} = \frac{F_\lambda}{F_{o\lambda}} = e^{-\beta\lambda^{-\alpha} m_a}$$

$$m_a = \left( \frac{p}{p_0} \right) \frac{\int_0^\infty \rho ds}{\int_0^\infty \rho dz}$$



Atmósfera     $\beta$      $\alpha$     VIS(km)

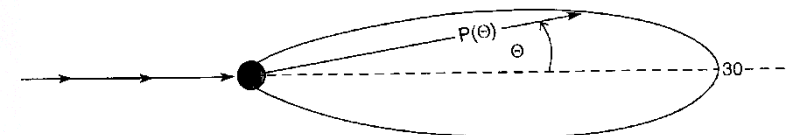
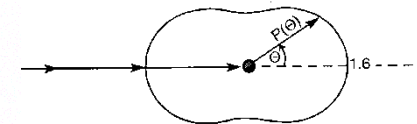
Limpia    0.00    1.3    340

Clara    0.10    1.3    28

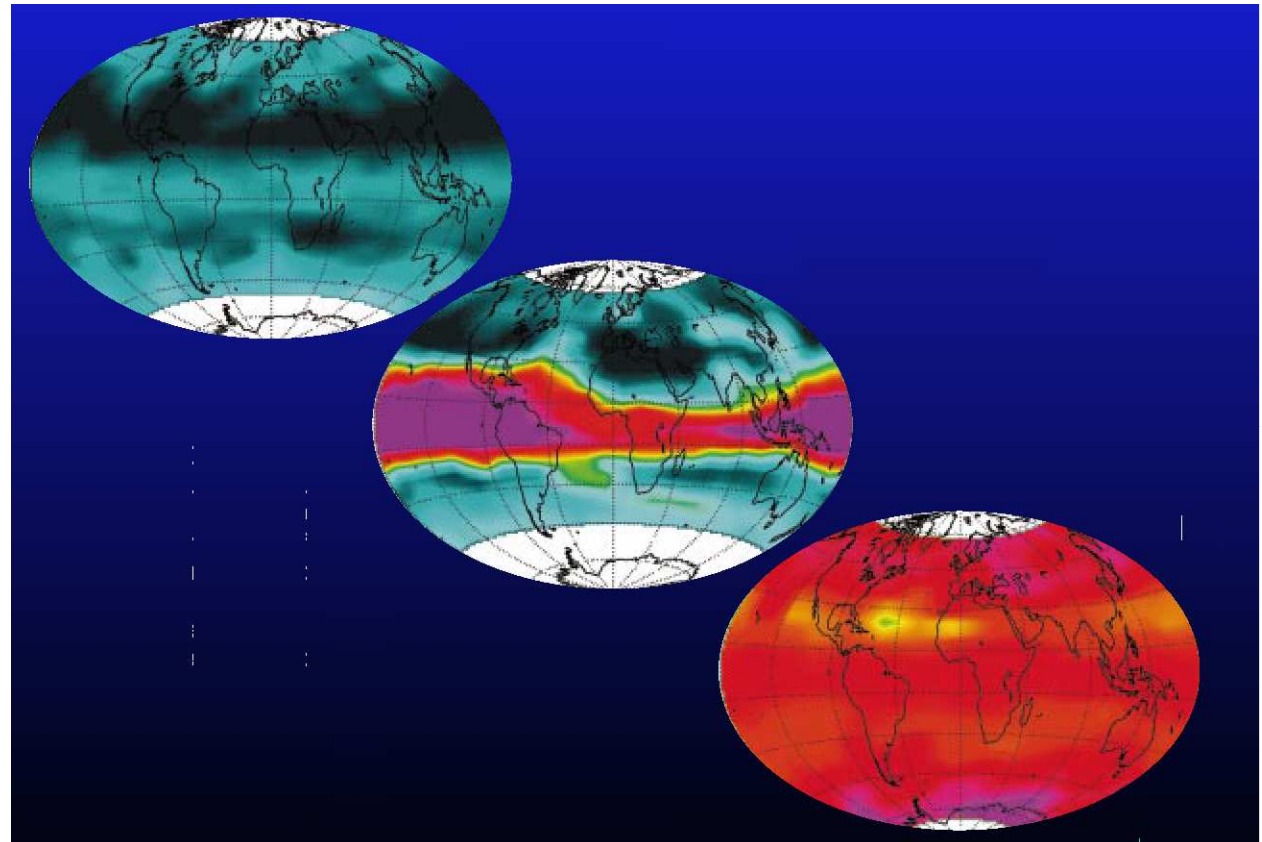
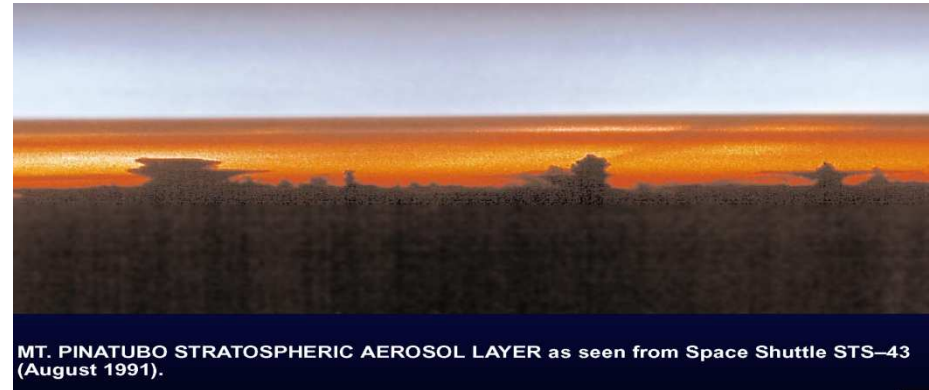
Turbia    0.20    1.3    11

Muy turbia    0.40    1.3    <5

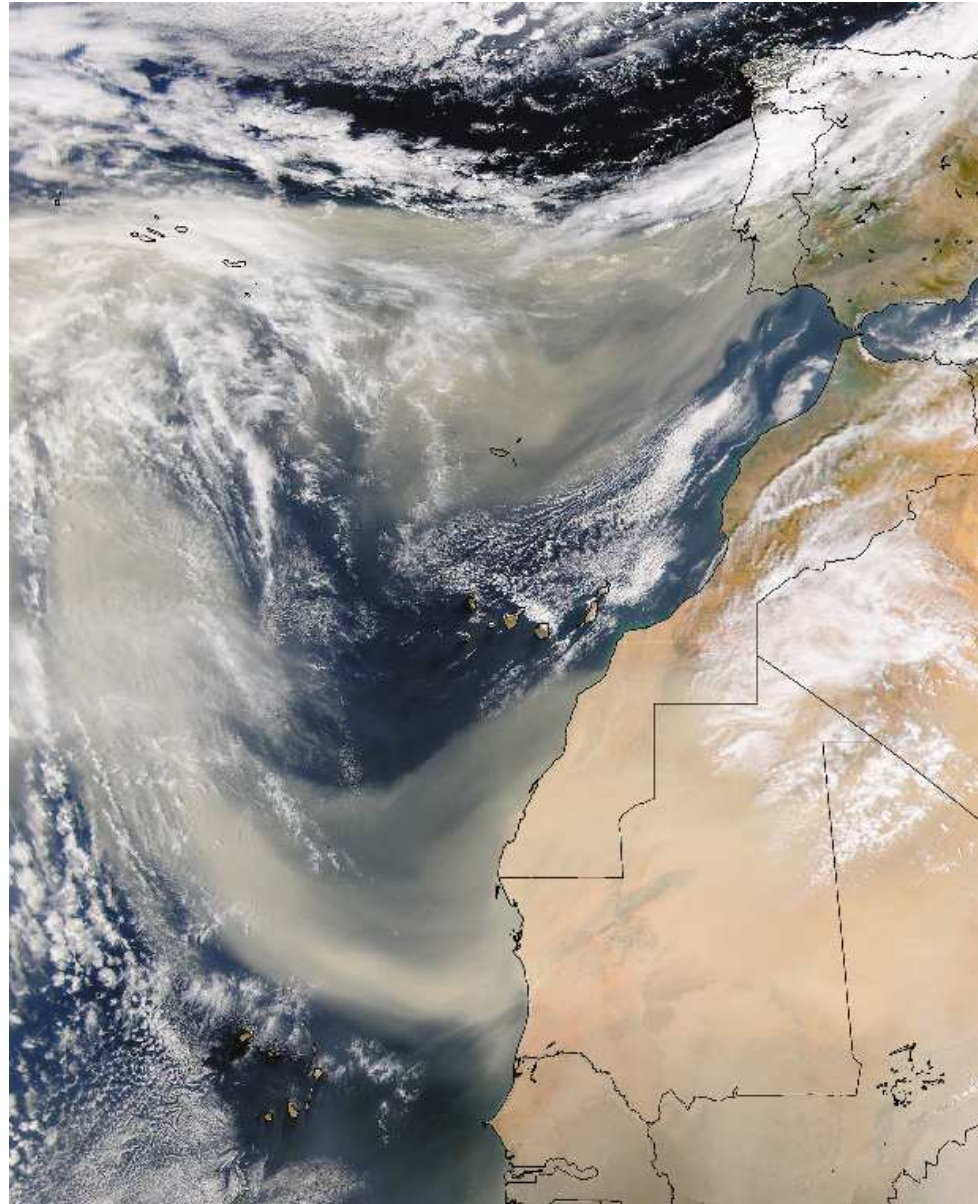
— Rayleigh  
- - - Mie



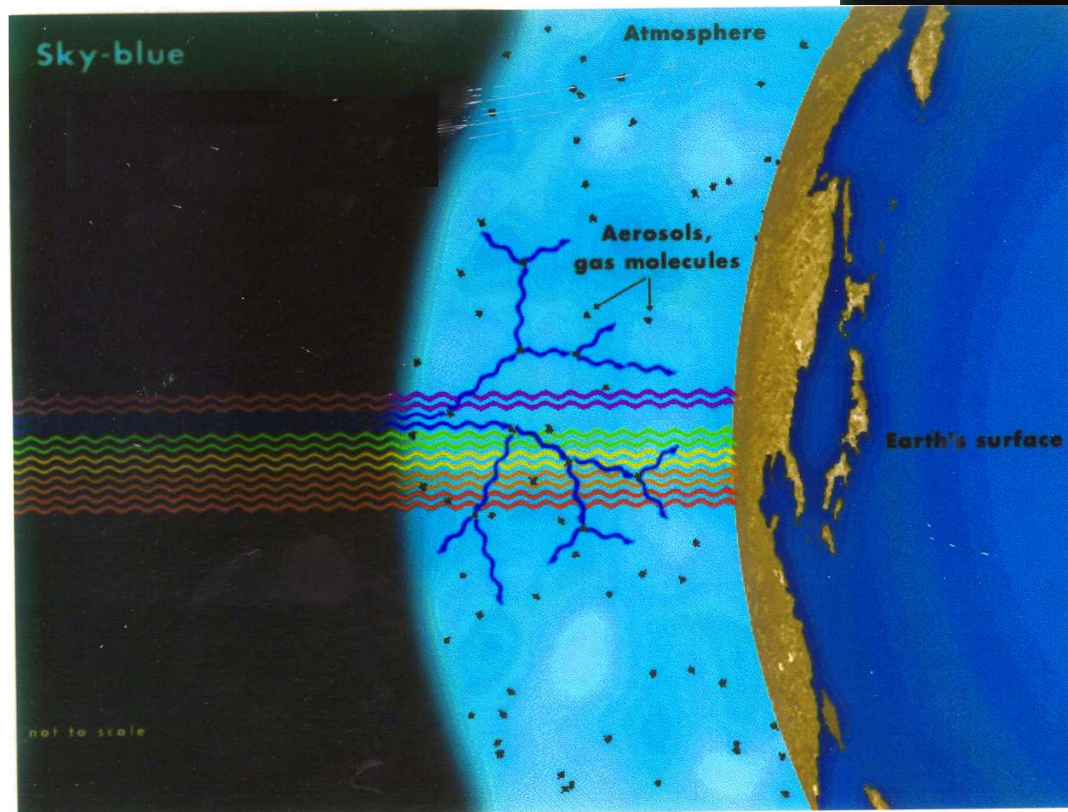
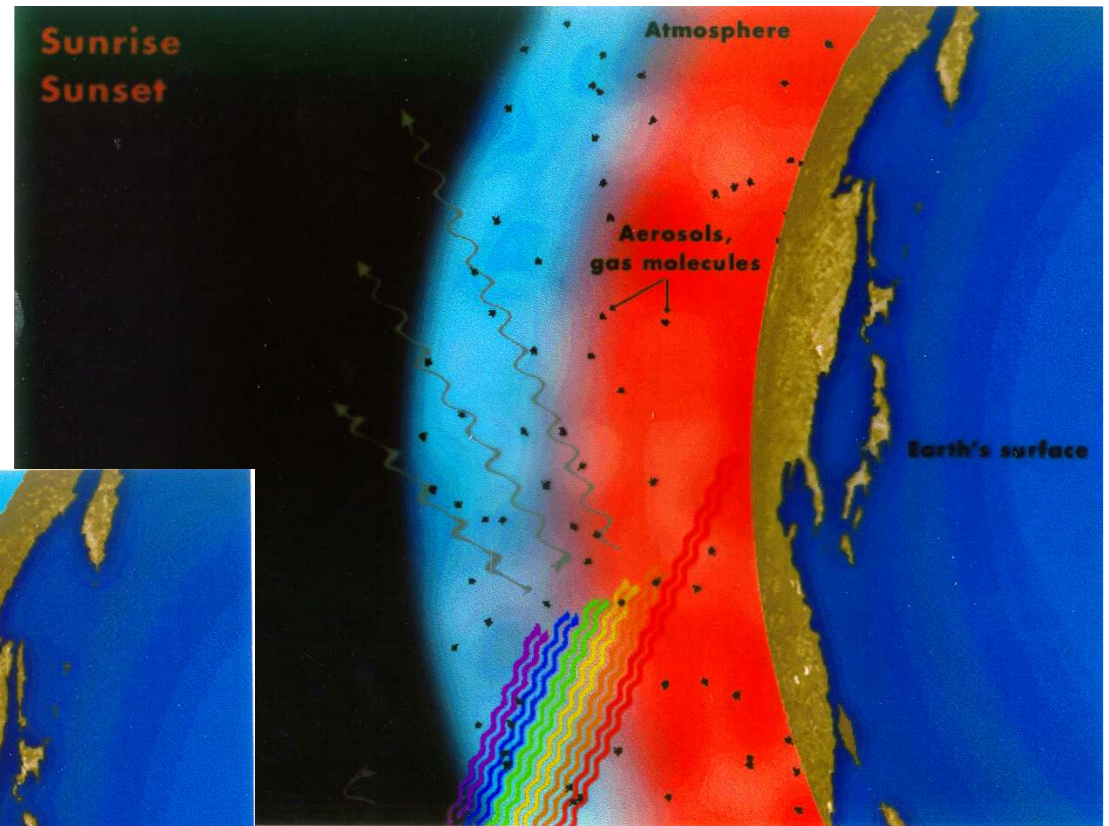
# AEROSOL VOLCÁNICO



# TRANSPORTE DE AEROSOLES POLVO SAHARIANO



# EFFECTOS DE LA DISPERSIÓN



# EFFECTOS DE LA DISPERSIÓN





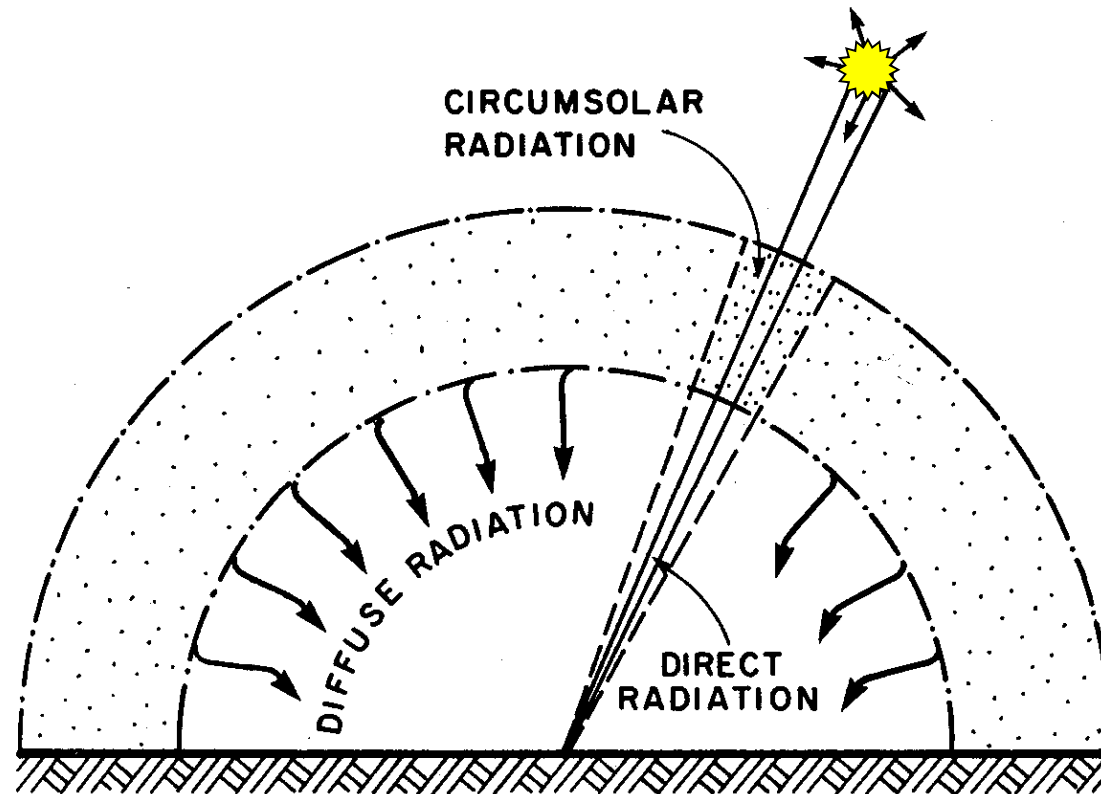
# RADIACIÓN SOLAR EN SUPERFICIE

$$F_{\lambda} = F_{n\lambda} \cos \theta_z + F_{d\lambda}$$

$F_{\lambda}$  Irradiancia global

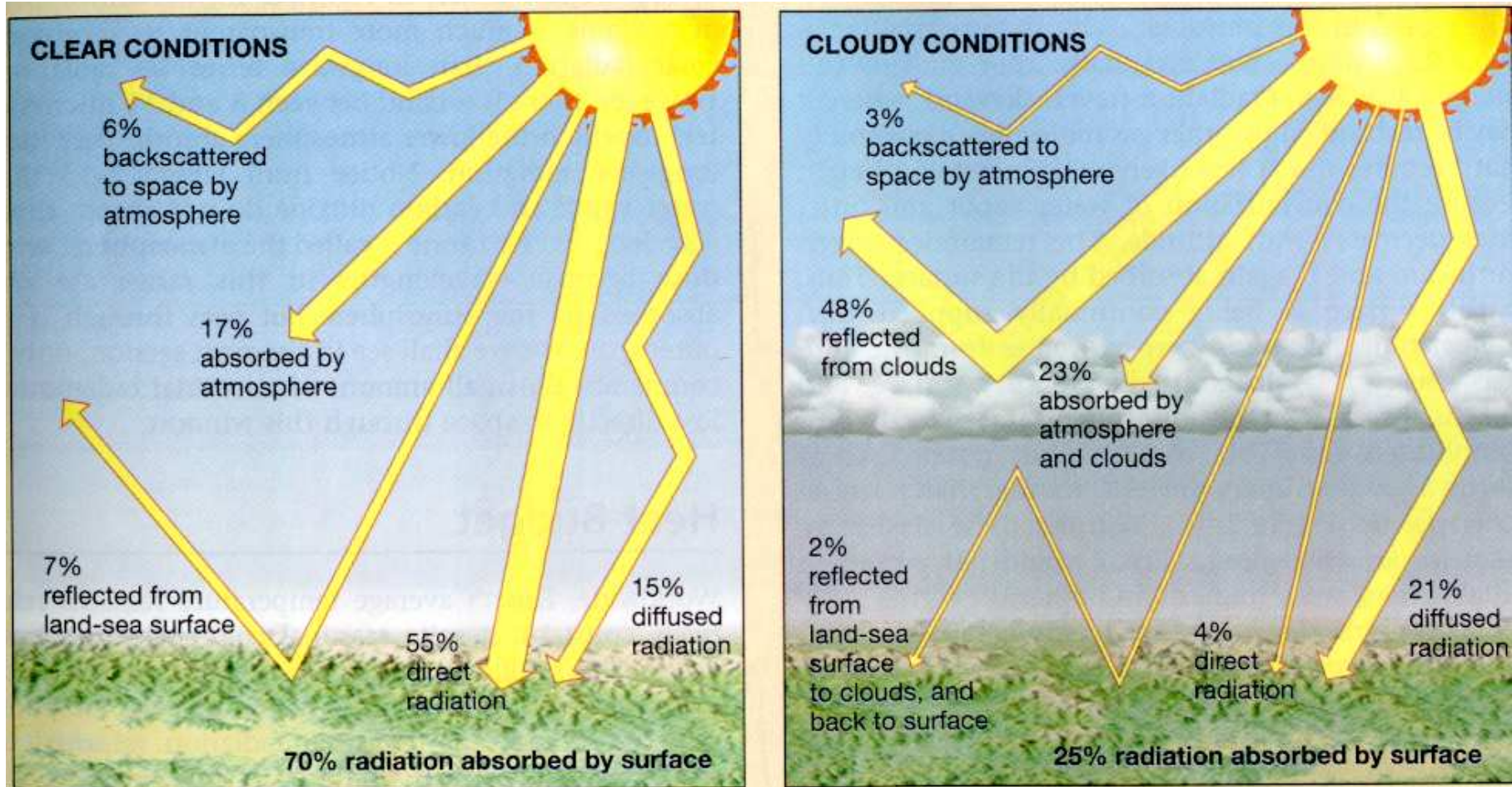
$F_{n\lambda}$  Irradiancia directa

$F_{d\lambda}$  Irradiancia difusa

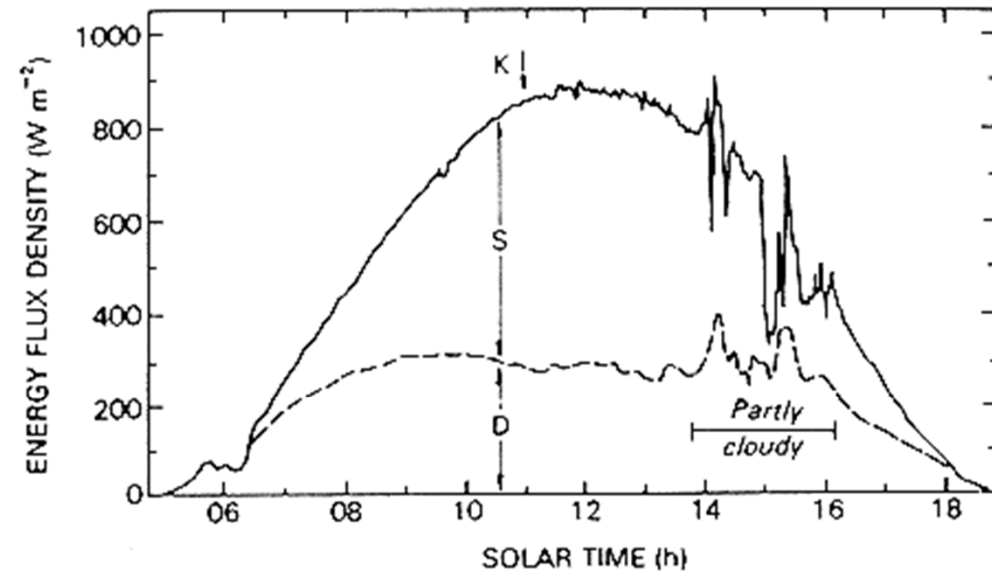


Direct, diffuse, and circumsolar radiation.

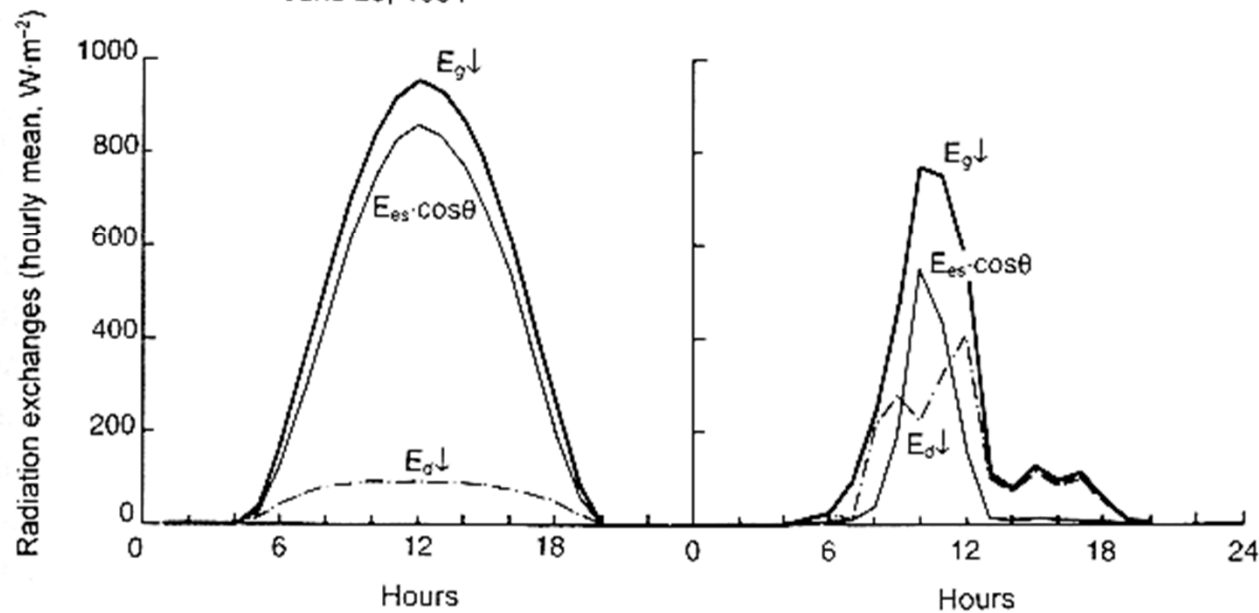
# RADIACIÓN SOLAR EFECTO DE LAS NUBES



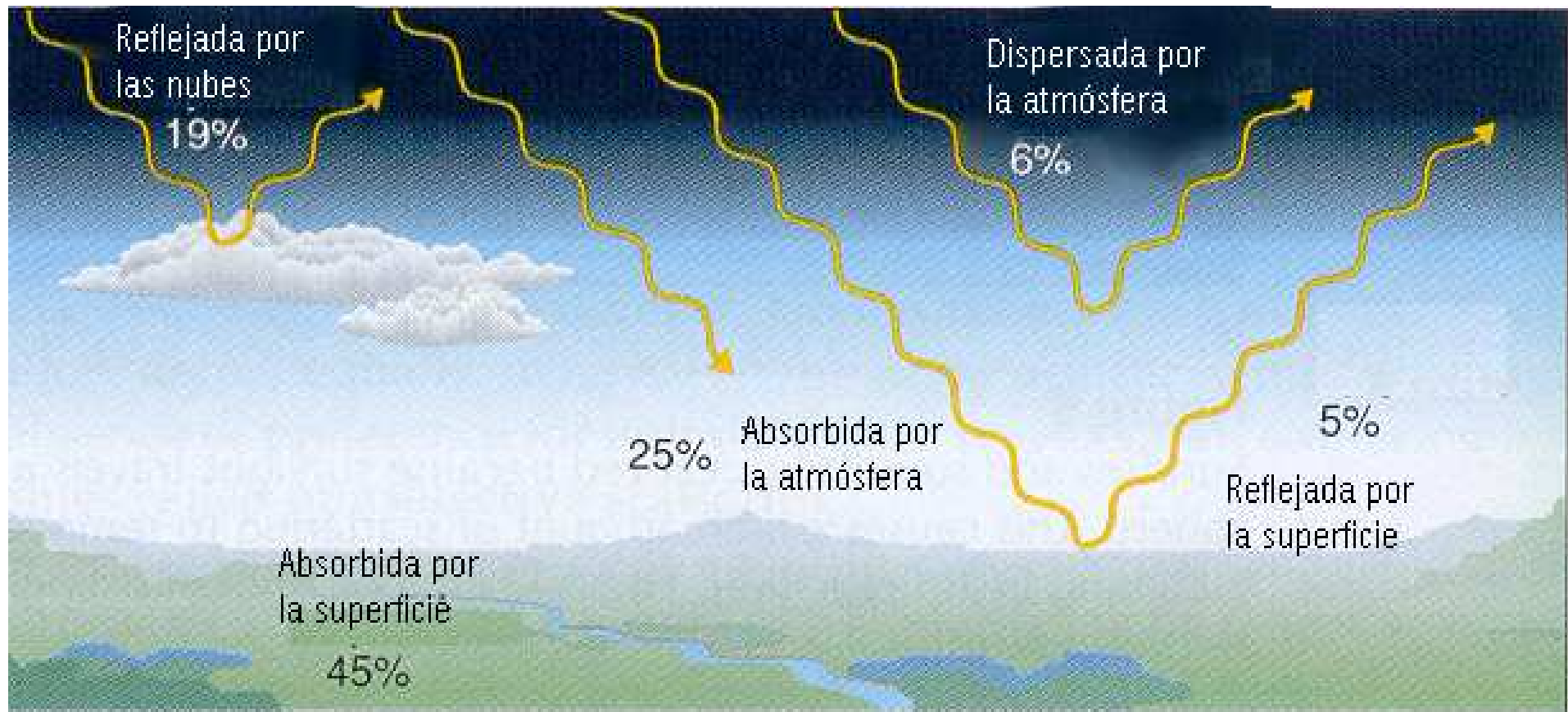
# RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DIFUSA



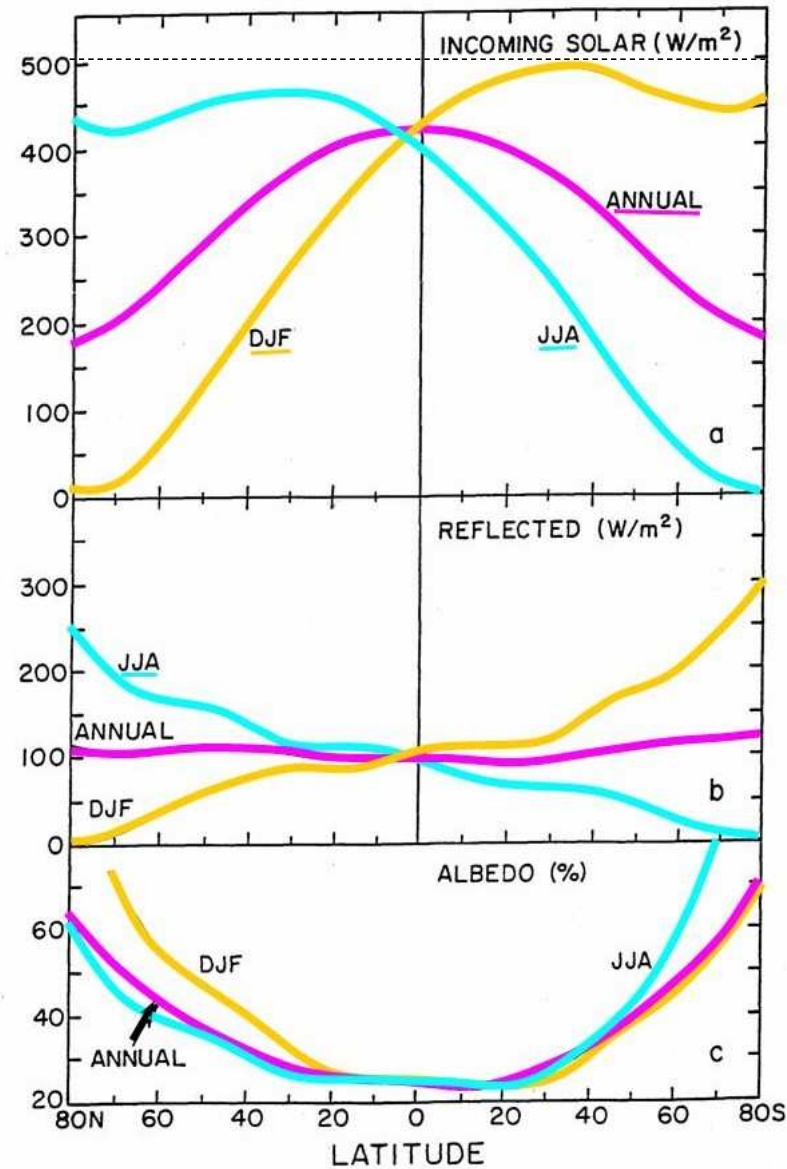
June 29, 1991



# BALANCE DE RADIACIÓN SOLAR



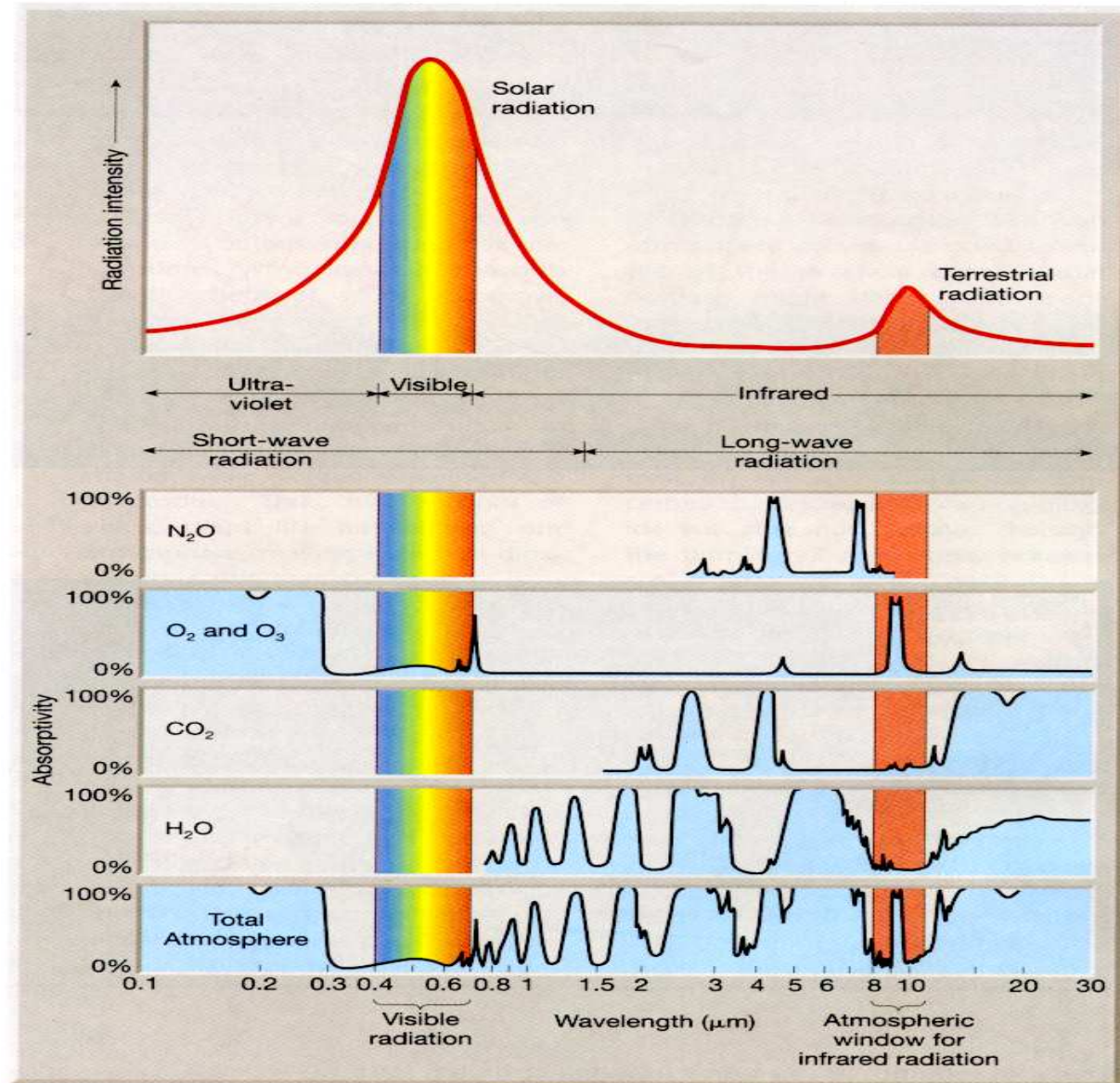
# ENERGÍA SOLAR DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL Y LATITUDINAL



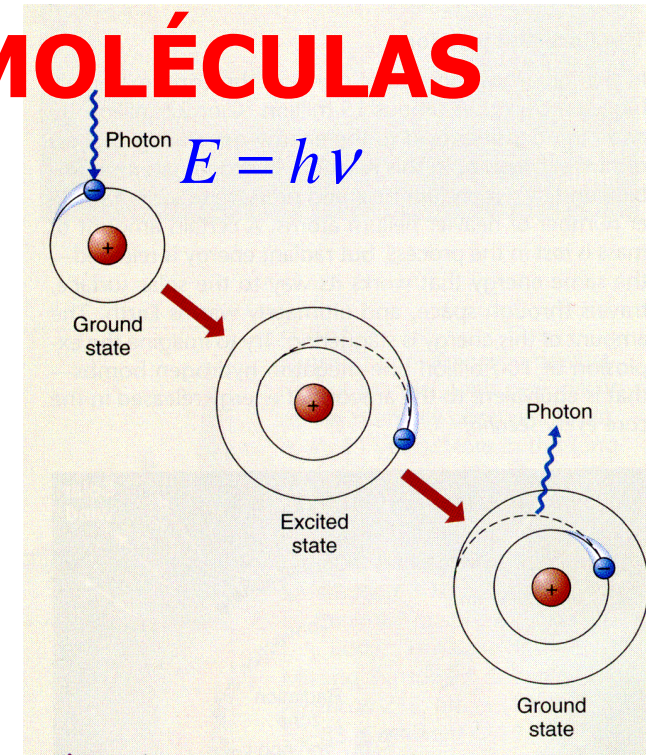
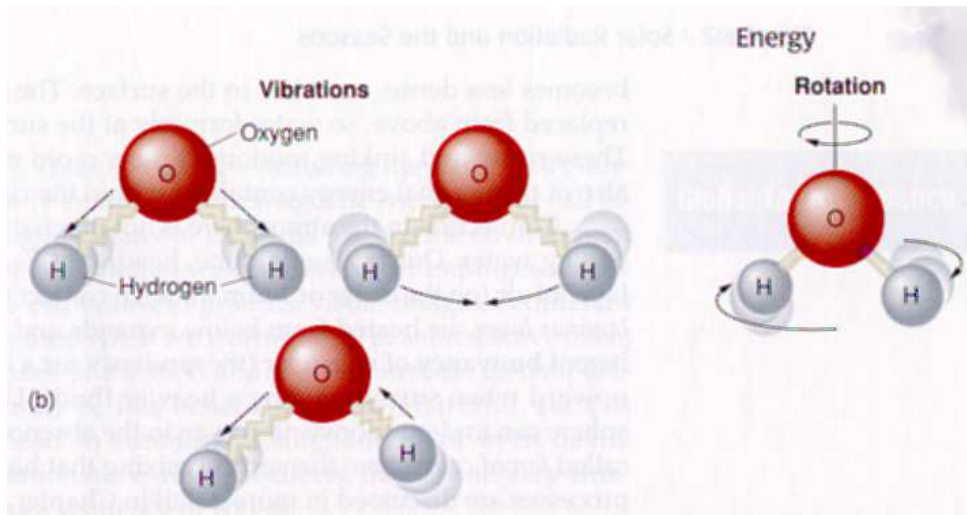
# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

- **Introducción**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
- **Transporte radiativo.**
- **Radiación Solar.**
- **Radiación Térmica.**
  - **Absorción por gases atmosféricos.**
  - **Efecto Invernadero.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**

# RADIACIÓN TÉRMICA



# ABSORCIÓN Y EMISIÓN DE RADIACIÓN POR LAS MOLÉCULAS



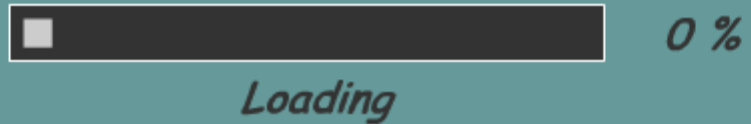
Cuantificación de los niveles de energía

- Electrónica → Rayos X, UV, Visible
- Vibracional → Infrarrojo
- Rotacional → Infrarrojo, Microondas

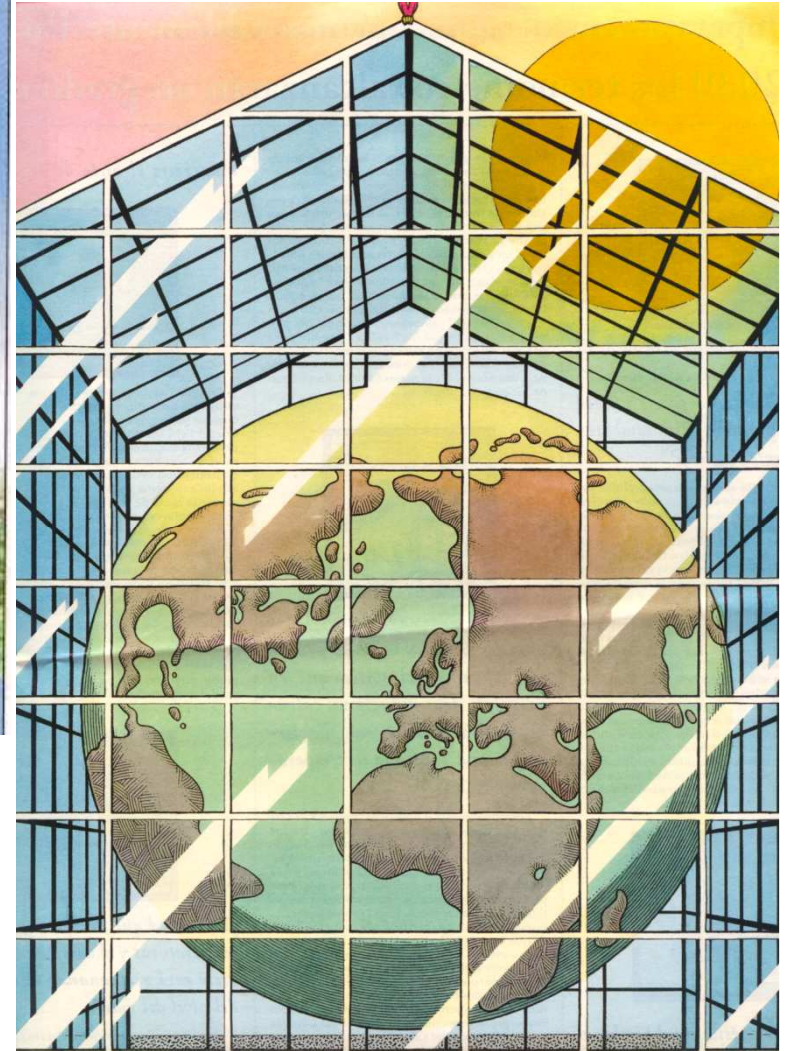
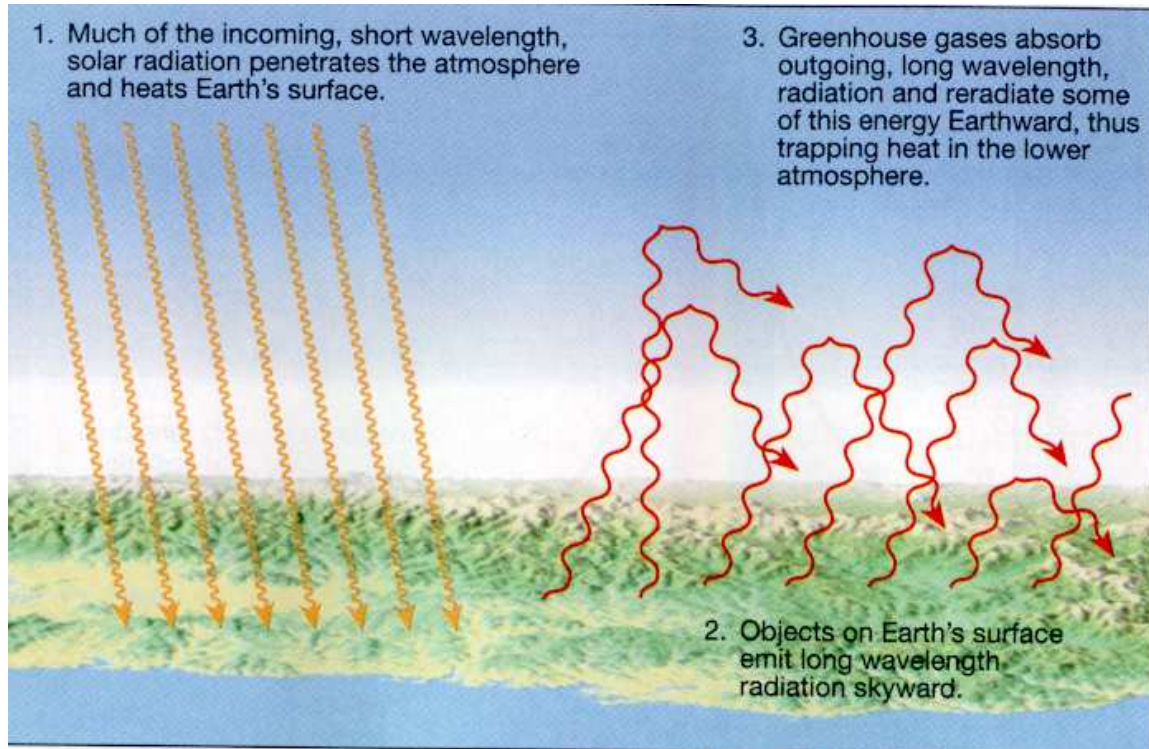
CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> Bandas Vibracionales-Rotacionales en Infrarrojo



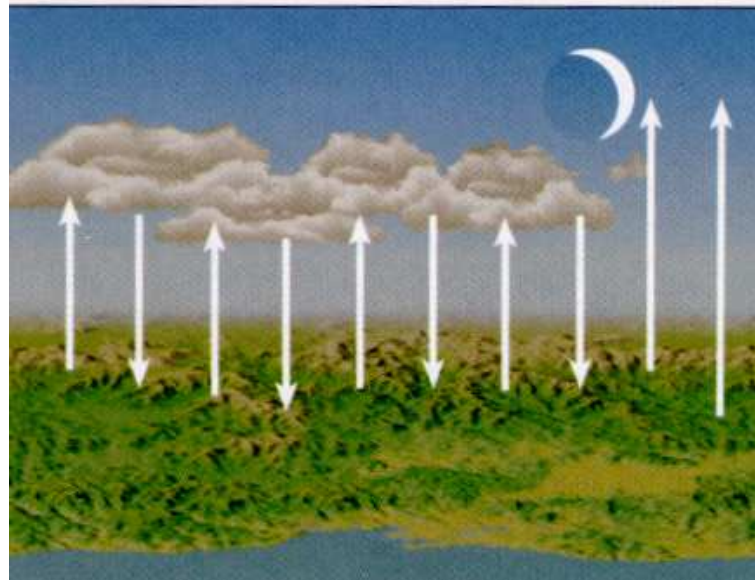
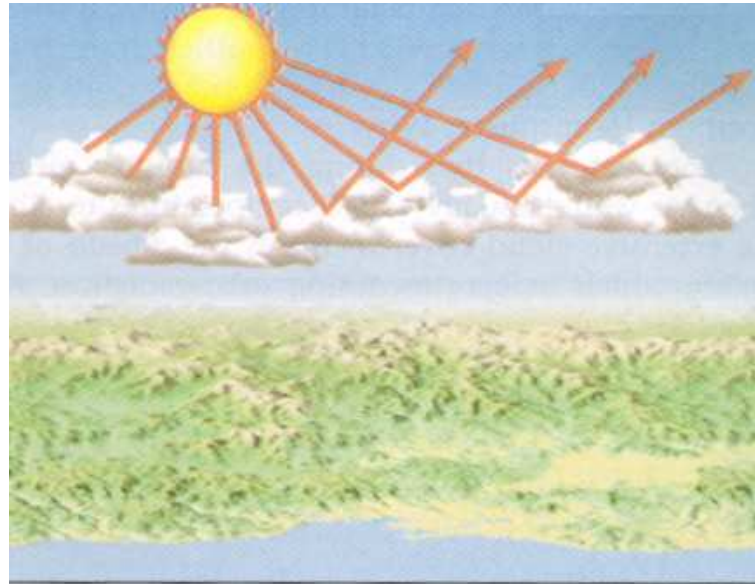
# The Greenhouse Effect



# RADIACIÓN TÉRMICA. EFECTO INVERNADERO



# EFECTO DE LAS NUBES SOBRE LA RADIACIÓN SOLAR Y TÉRMICA

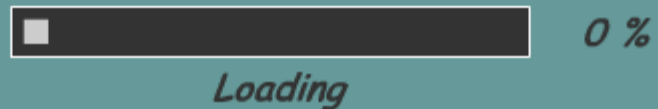


# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

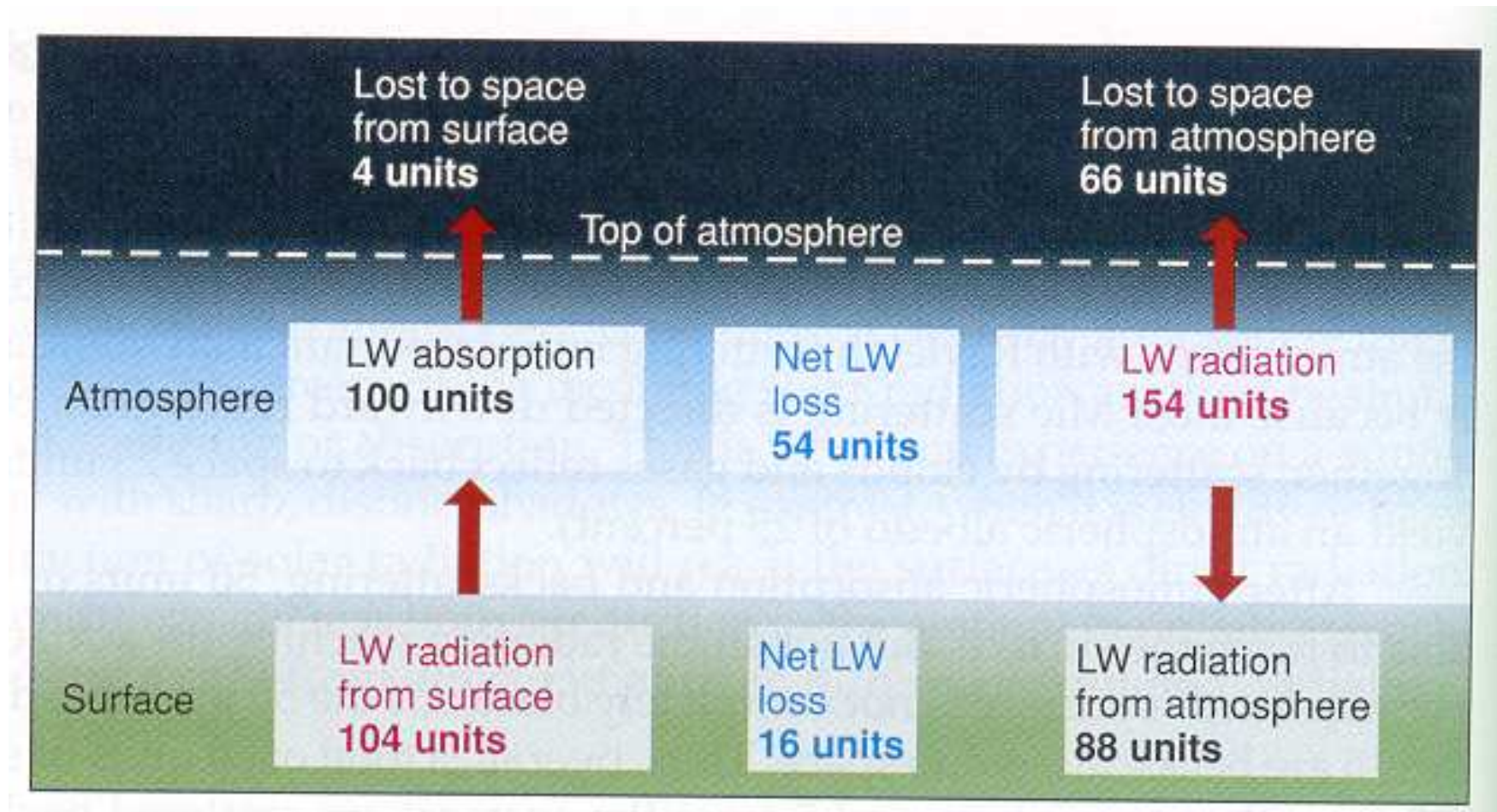
- Introducción
- Absorción, emisión y dispersión.
- Transporte radiativo.
- Radiación Solar.
- Radiación Térmica.
- **Balance de radiación**
- Instrumentos radiométricos.
- Teledetección.

# Balance de Energía

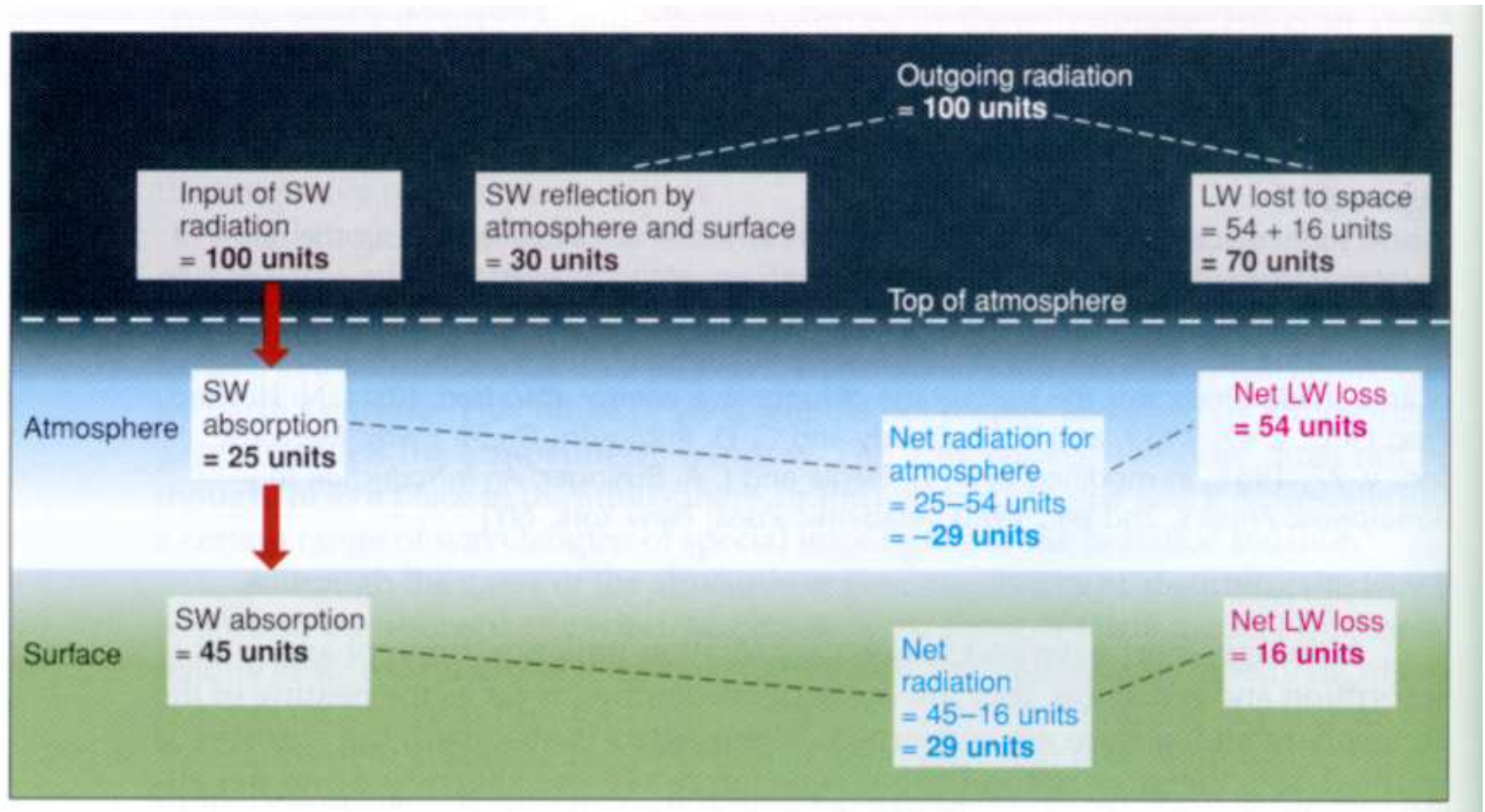
- La energía entrante en el sistema Tierra-Atmósfera iguala a la energía que sale



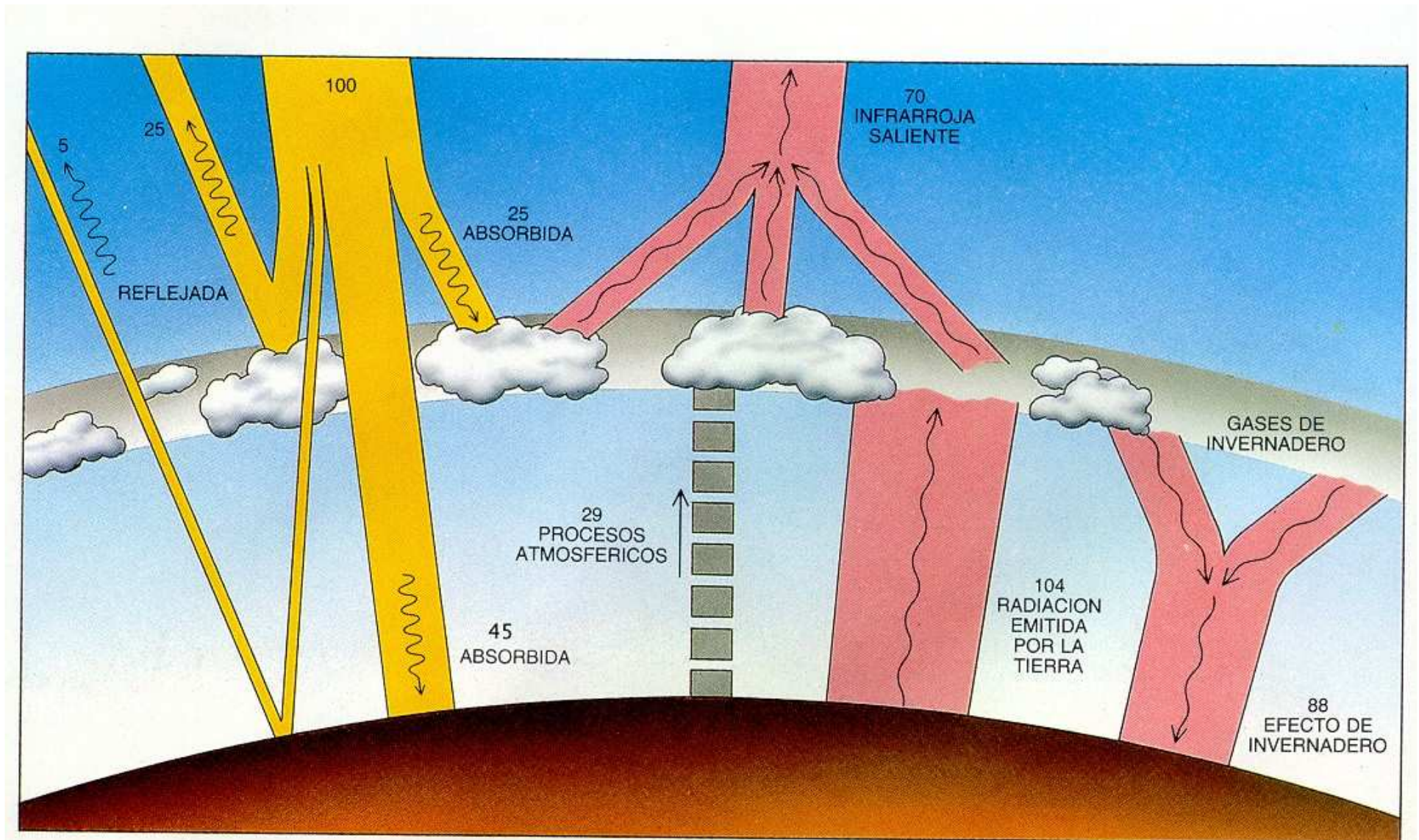
# BALANCE DE RADIACIÓN TÉRMICA



# BALANCE DE RADIACIÓN TIERRA-ATMÓSFERA



# BALANCE DE ENERGÍA SISTEMA TIERRA-ATMÓSFERA





# BALANCE DE ENERGÍA TIERRA-ATMÓSFERA DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL

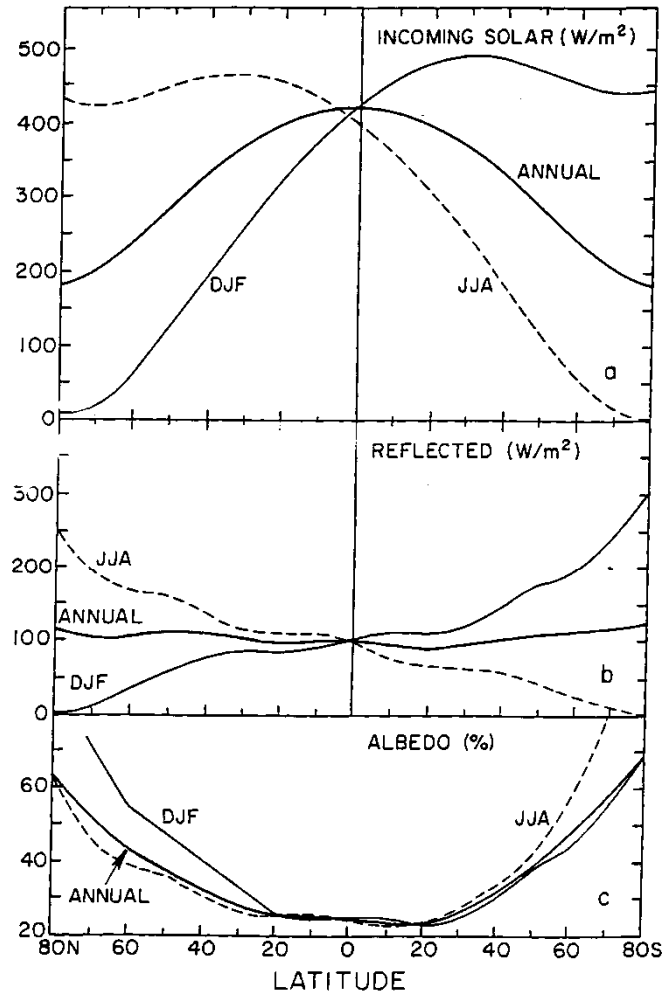


FIG. 3.7 (a) Zonal mean solar radiation reaching the top of the atmosphere showing averages over June–August (JJA), December–February (DJF), and the entire year. (Figure 3.6 has the same annual average curve.) (b) Similar to (a) except showing the amount of solar energy reflected by the earth, atmosphere, and ocean. (c) Similar to (a) but showing the albedo, expressed as a percentage. From Campbell and Vonder Haar (1980) and Oort and Peixóto (1983).

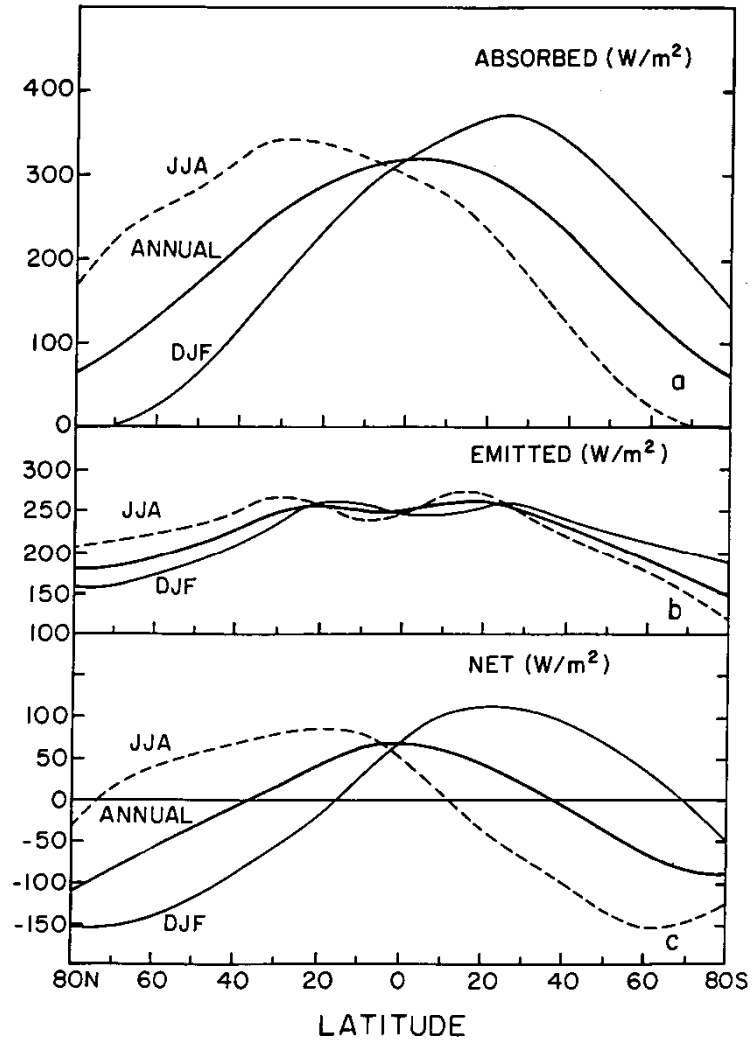
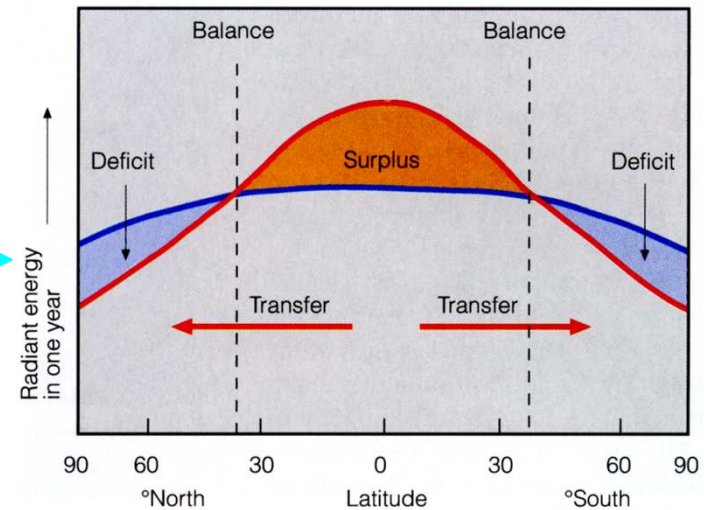
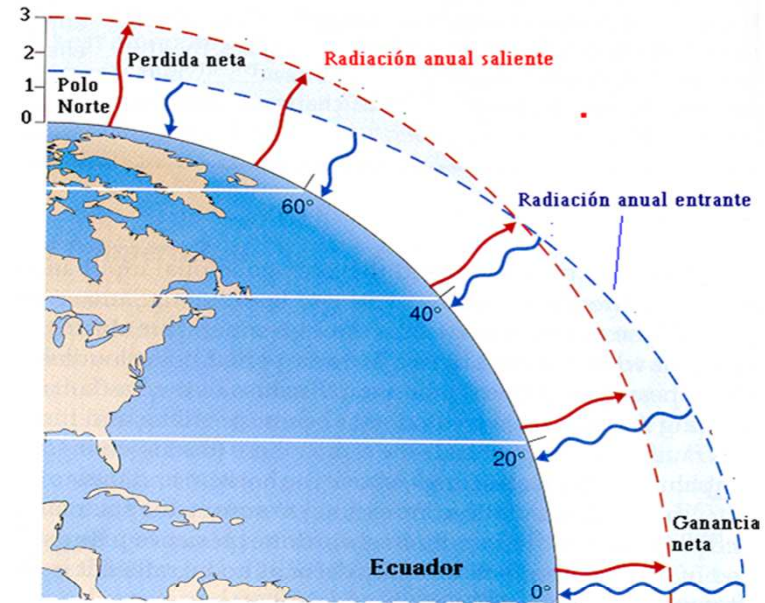
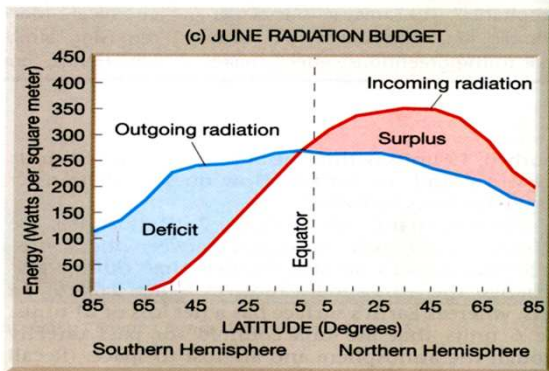
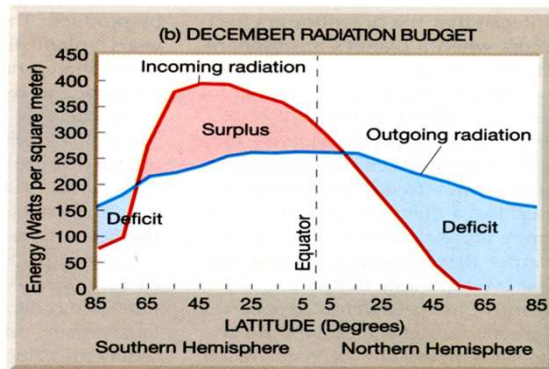
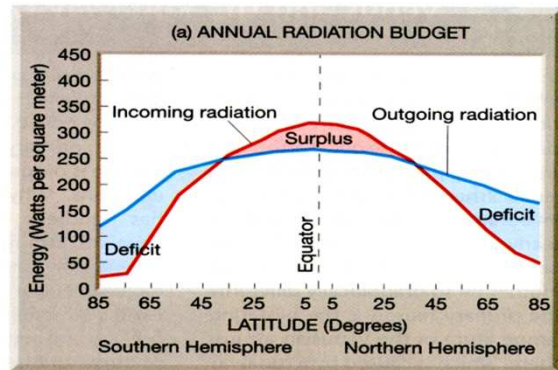
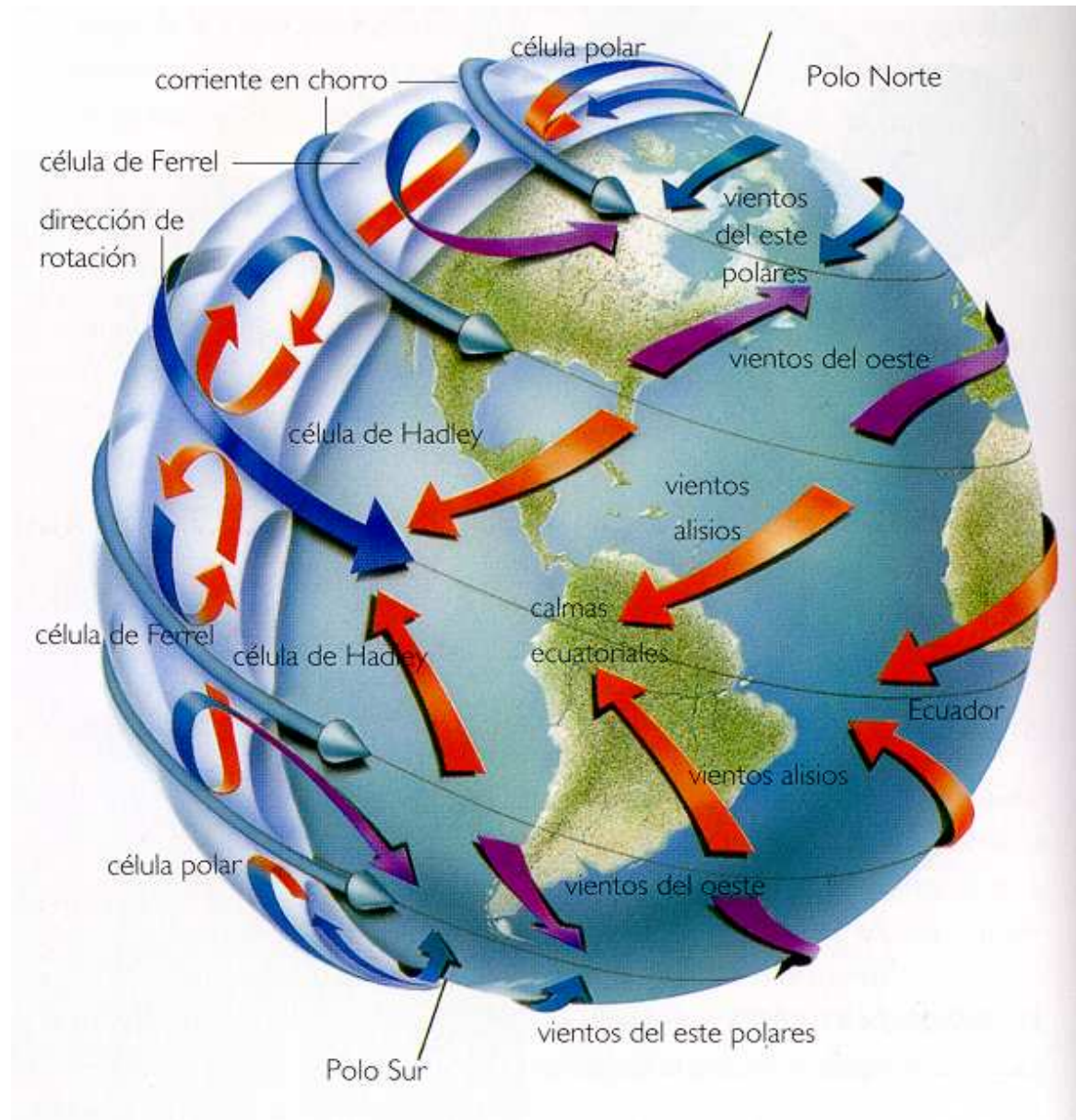


FIG. 3.8 Similar to Figure 3.7. (a) The amount of solar radiation absorbed during three time periods. (b) Similar to (a) except showing the longwave terrestrial emission. (c) The net radiation absorbed is shown. From Campbell and Vonder Haar (1980) and Oort and Peixóto (1983).

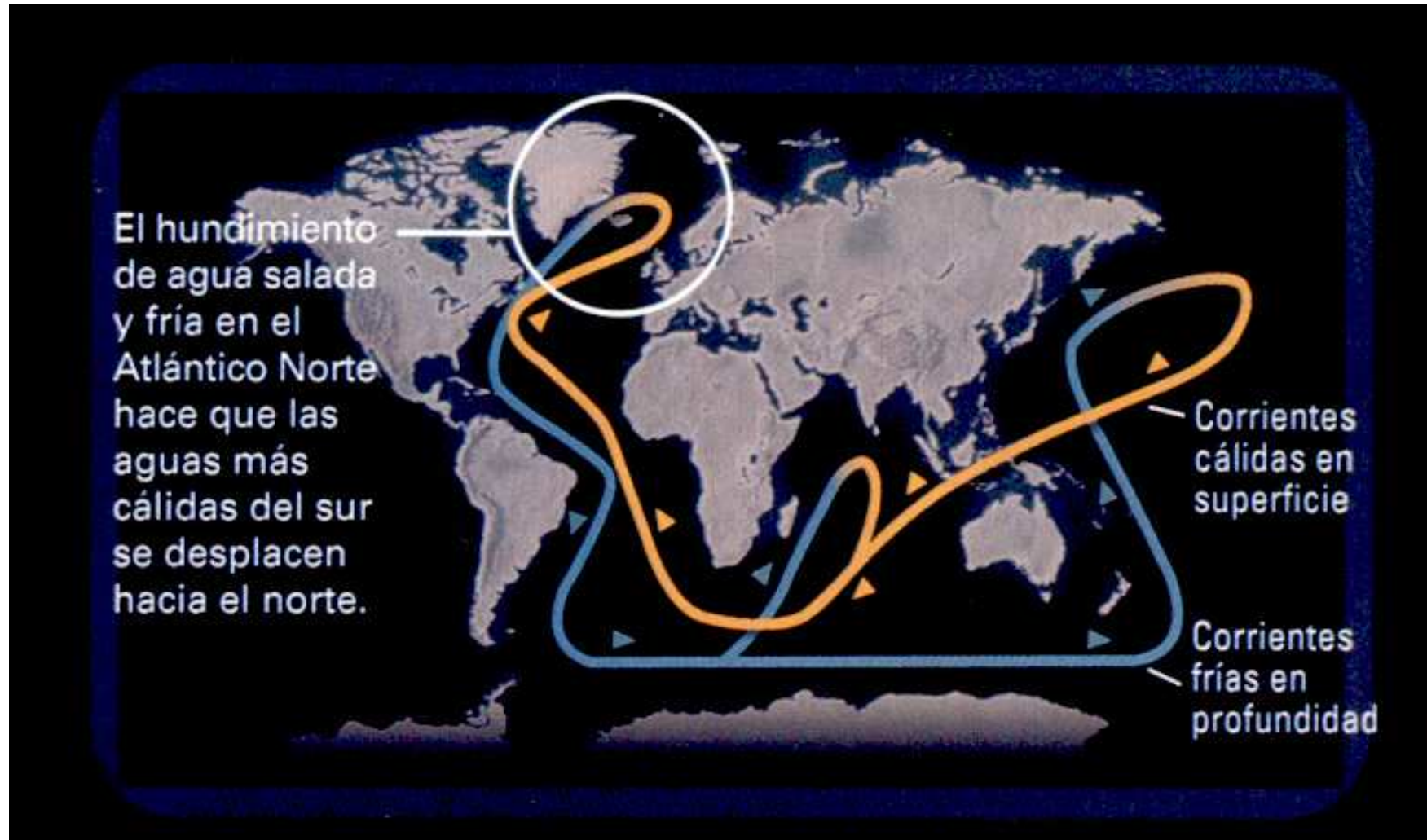
# BALANCE DE ENERGÍA TIERRA-ATMÓSFERA DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL



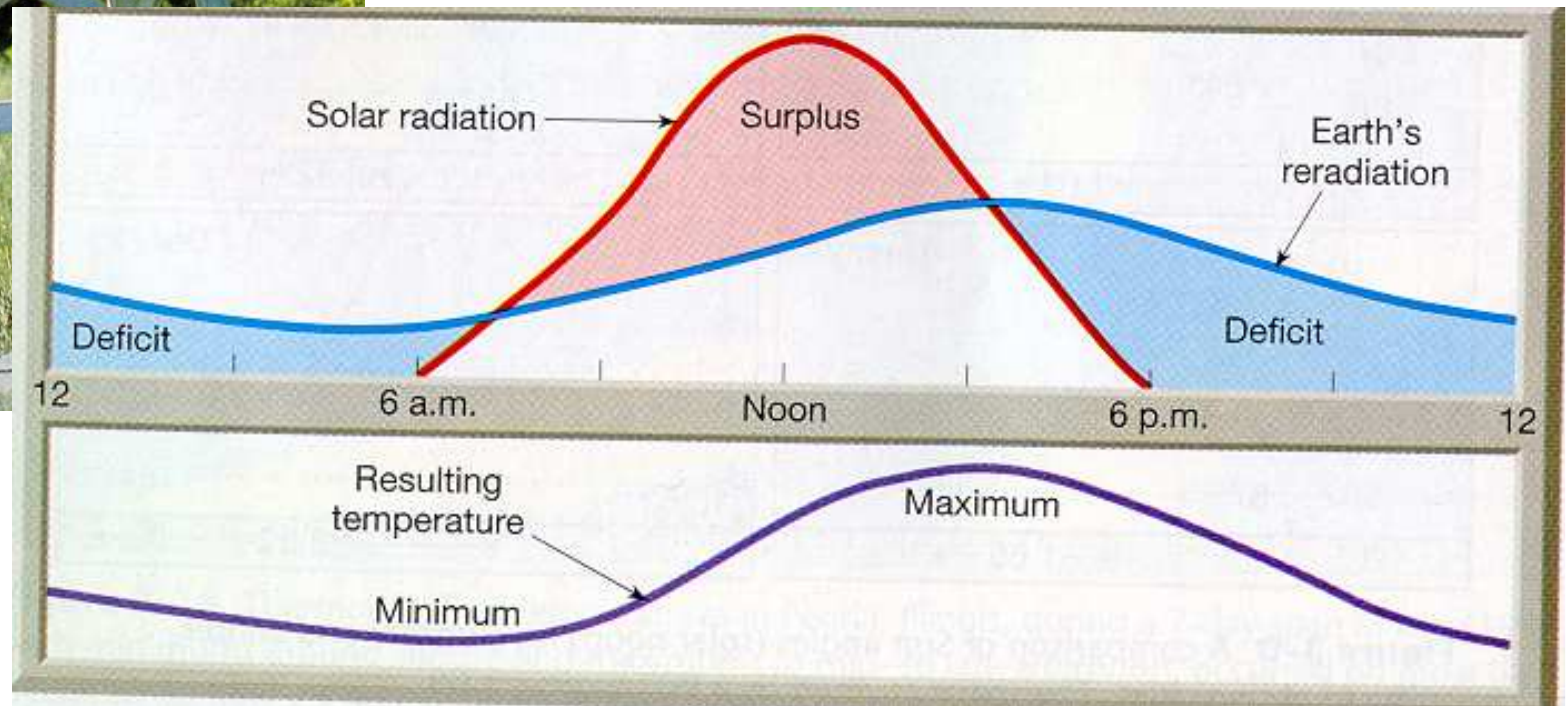
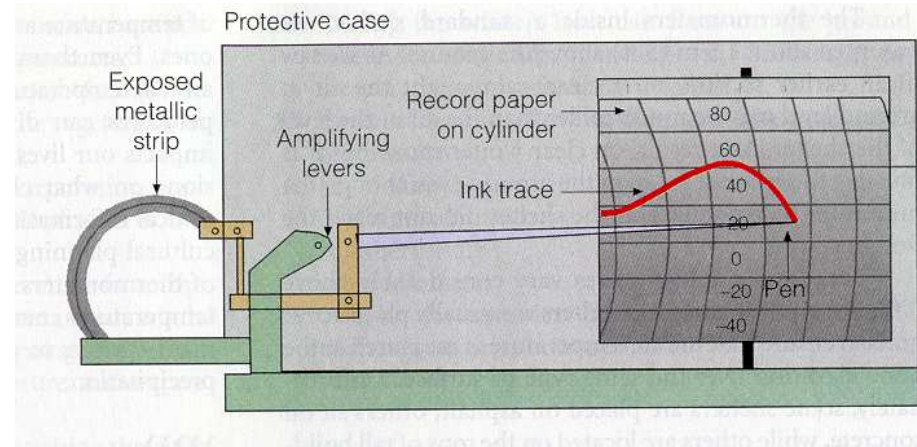
# CIRCULACIÓN GENERAL



# CORRIENTE TERMOHALINA

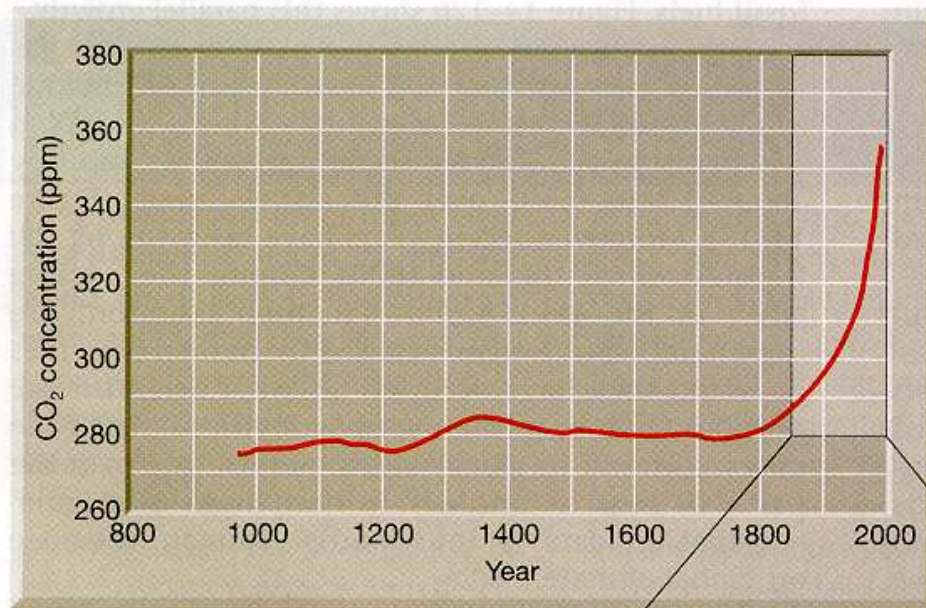


# TEMPERATURA-RADIACIÓN



# AUMENTO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

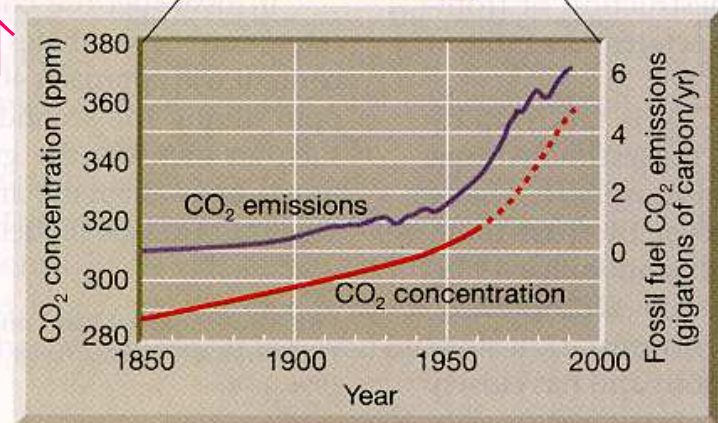
CO<sub>2</sub>  
H<sub>2</sub>O  
O<sub>3</sub>  
CH<sub>4</sub>  
CFC'S



(a)

Si  $[CO_2] \uparrow \Rightarrow \tau$  (transmisividad)  $\downarrow \Rightarrow A \downarrow \Rightarrow T \uparrow$

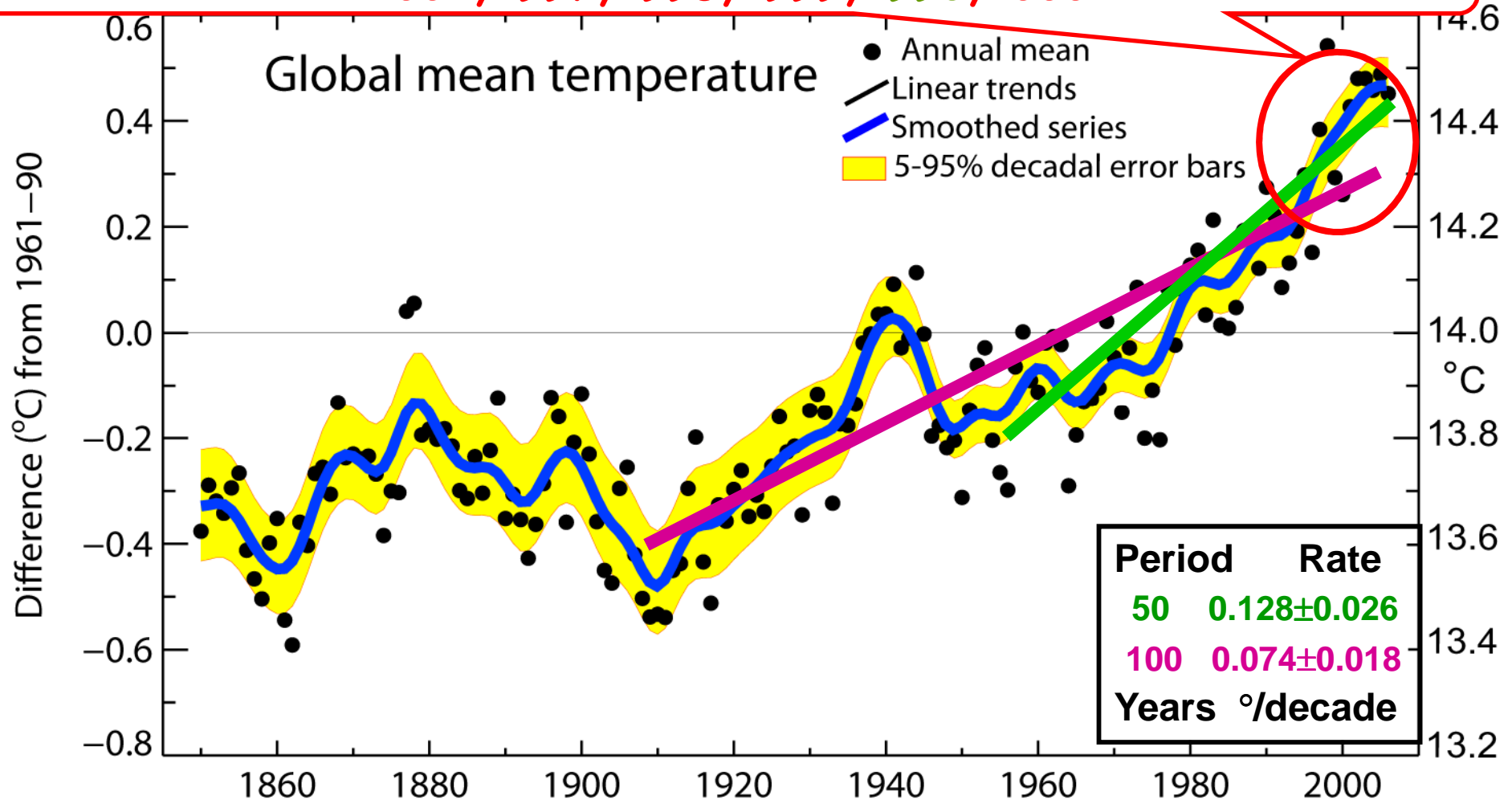
La concentración actual de CO<sub>2</sub> (354 ppmv) es un 25% superior a su valor pre-industrial.



(b)

# Crecimiento de la Temperatura Media Global a un ritmo creciente

Los 12 años más cálidos: 1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006, 2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000



Aumento de la temperatura media 1906-2005 de  $(0.74 \pm 0.18)^\circ\text{C}$

# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

- **Introducción**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
- **Transporte radiativo.**
- **Radiación Solar.**
- **Radiación Térmica.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**



# HELIOGRAFOS



# RADIÓMETROS



# ESPECTRORRADIÓMETROS



# FOTÓMETROS



# BANDAS DE SOMBRA

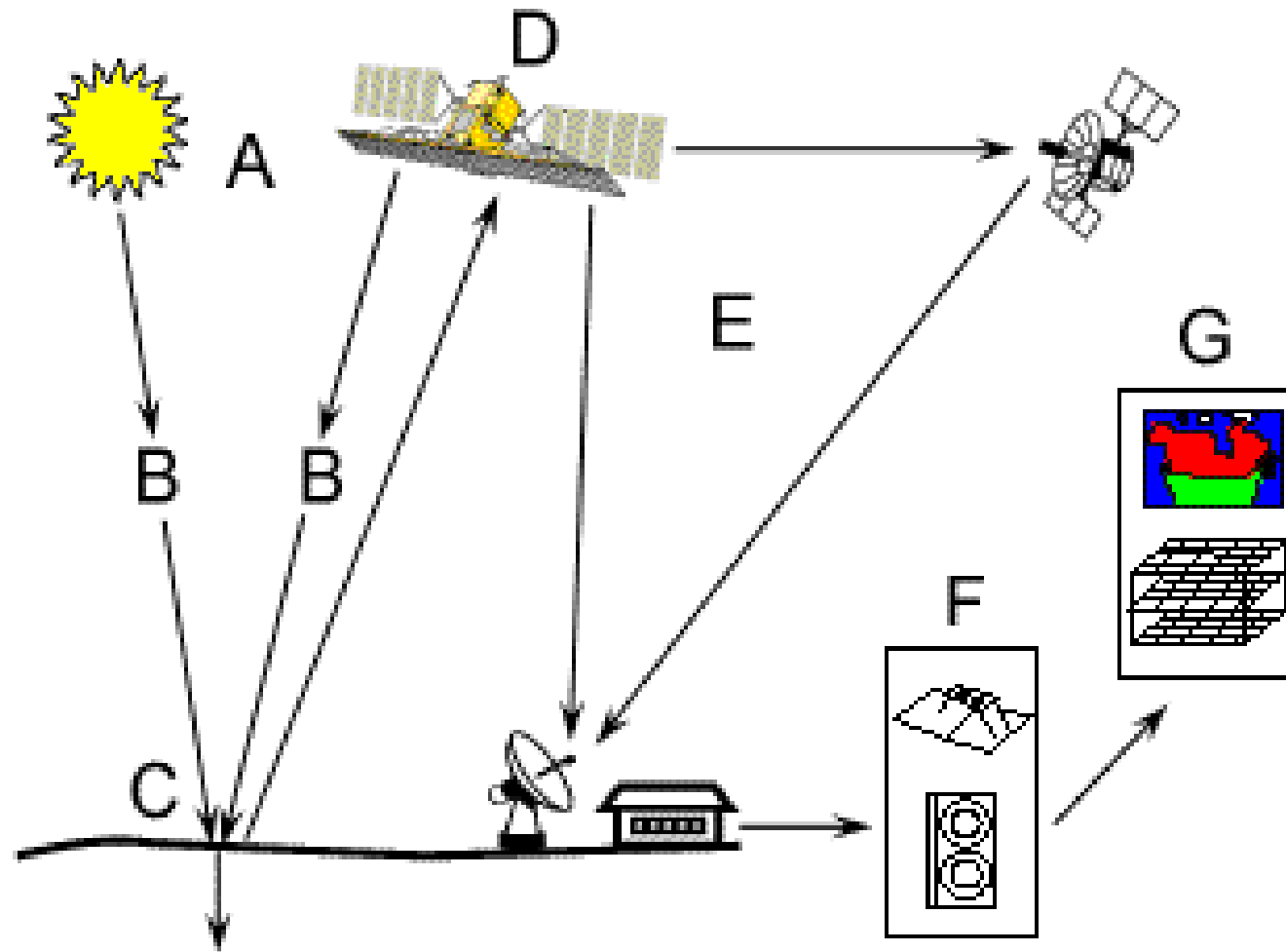


# TEMA 2. RADIACIÓN. BALANCE RADIATIVO

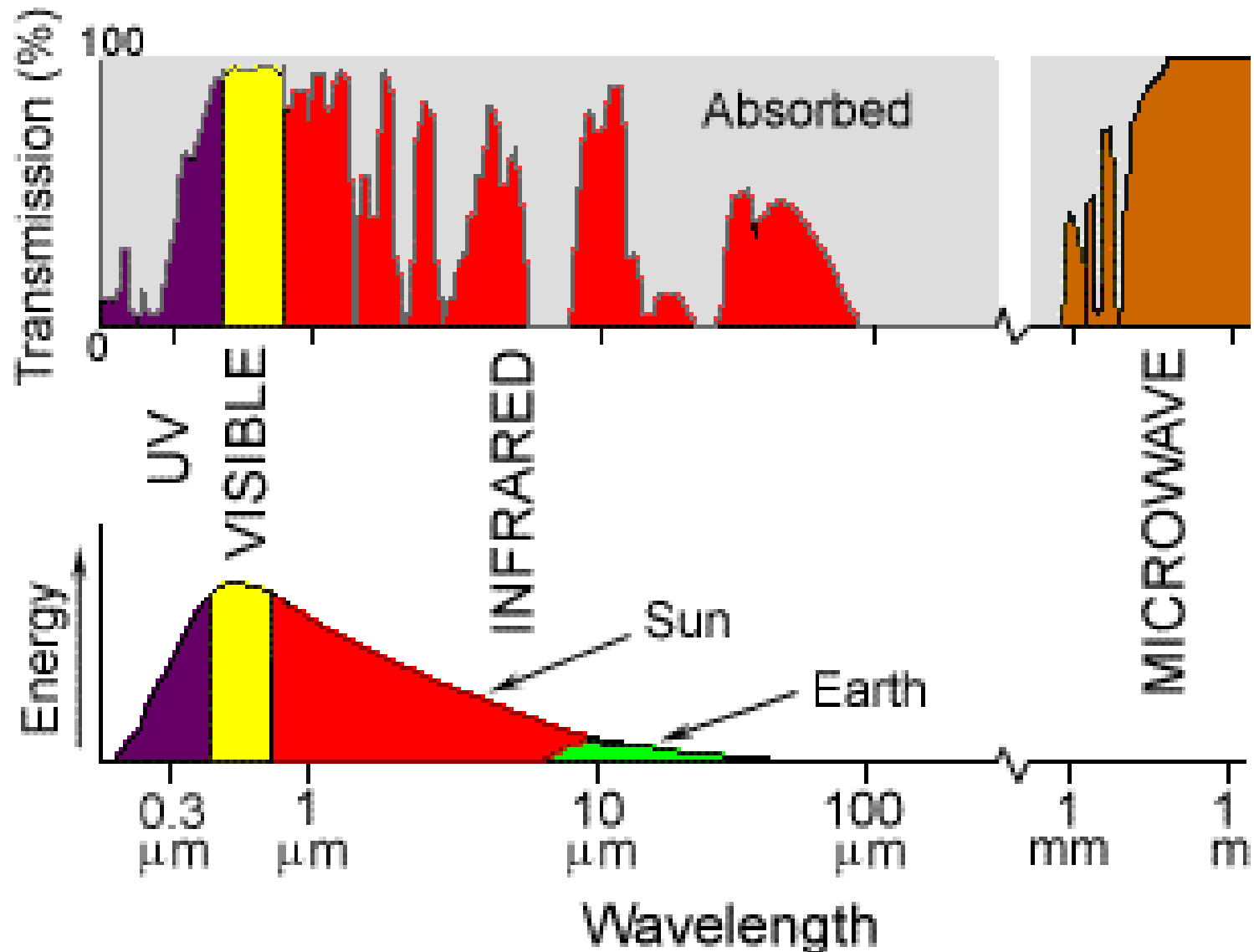
- **Introducción**
- **Absorción, emisión y dispersión.**
- **Transporte radiativo.**
- **Radiación Solar.**
- **Radiación Térmica.**
- **Balance de radiación**
- **Instrumentos radiométricos.**
- **Teledetección.**

# TELEDETECCIÓN

## CONCEPTO DE TELEDETECCIÓN



# TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA





# TELEDETECCIÓN DE NUBES

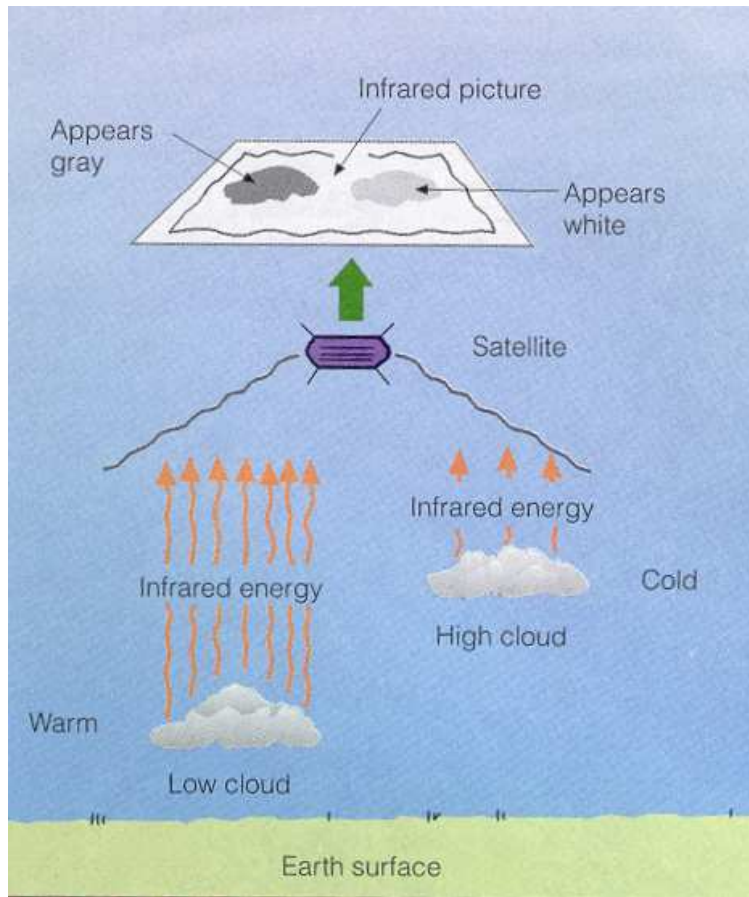


Imagen **VISIBLE**



Imagen **INFRARROJA**

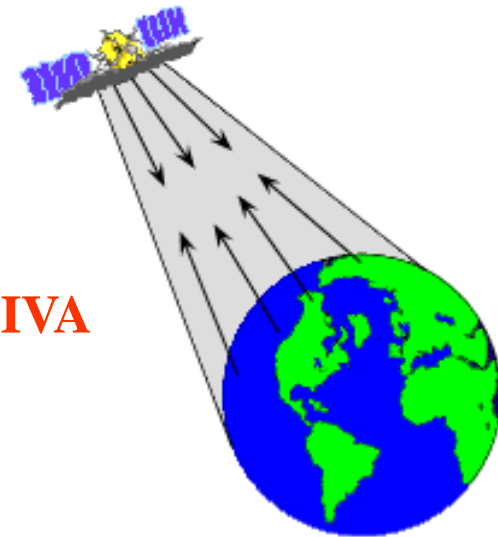
# MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN

- **TELEDETECCIÓN ACTIVA**

- » “ILUMINACIÓN” CONTROLADA
- » MEDIDA DE RETRODISPERSIÓN

- **MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN ACTIVA**

- » **LIDAR**
- » **RADAR**



- **TELEDETECCIÓN PASIVA**

- » **EMISIÓN TERRESTRE**
- » **USO DEL SOL COMO FUENTE DE “ILUMINACIÓN”**

- **MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN PASIVA**

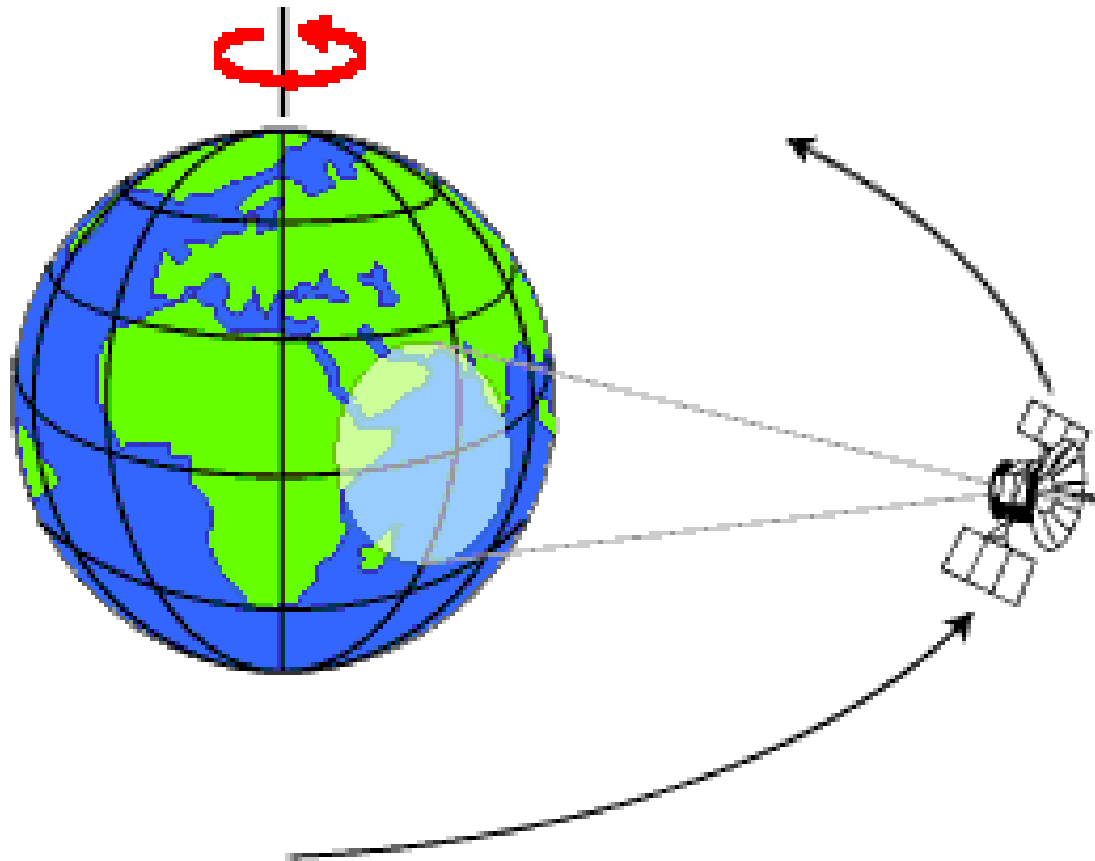
- » **EXTINCIÓN**
- » **DISPERSIÓN**
- » **EMISIÓN DE ONDA LARGA**



# TELEDETECCIÓN ESPACIAL

## TIPOS DE ÓRBITAS

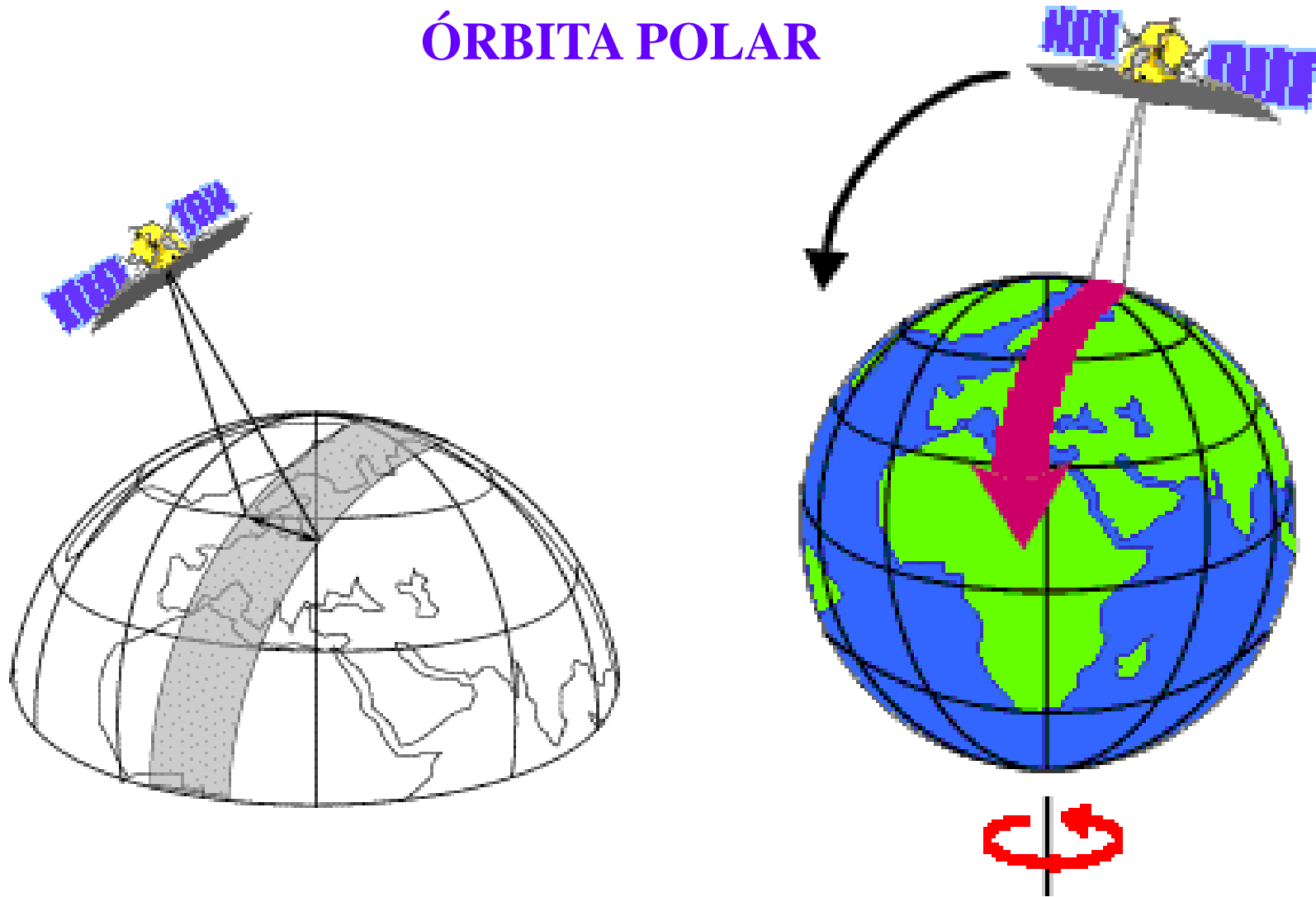
### ORBITA GEOESTACIONARIA



# TELEDETECCIÓN ESPACIAL

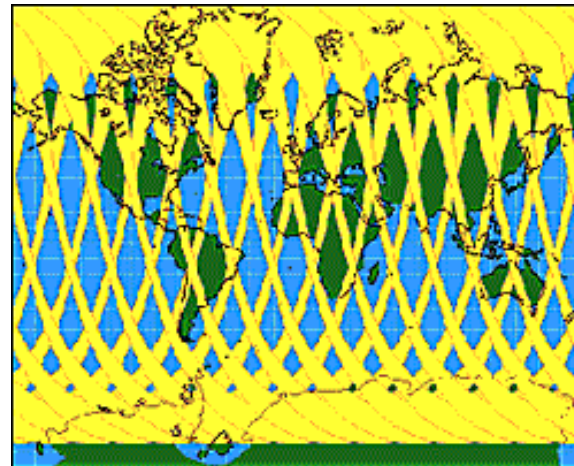
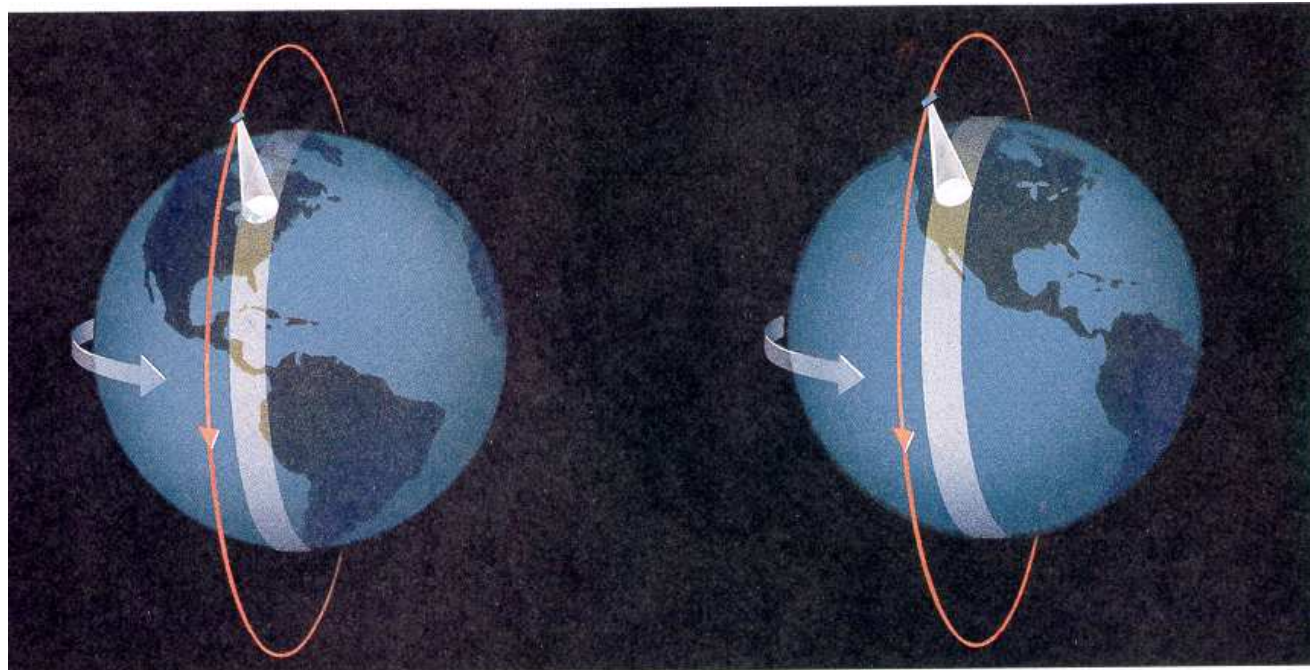
## TIPOS DE ÓRBITAS

### ÓRBITA POLAR

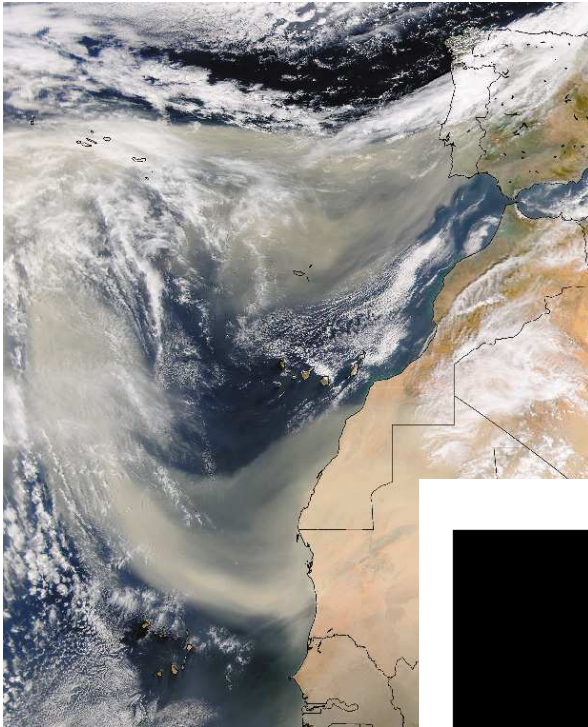


# TELEDETECCIÓN ESPACIAL

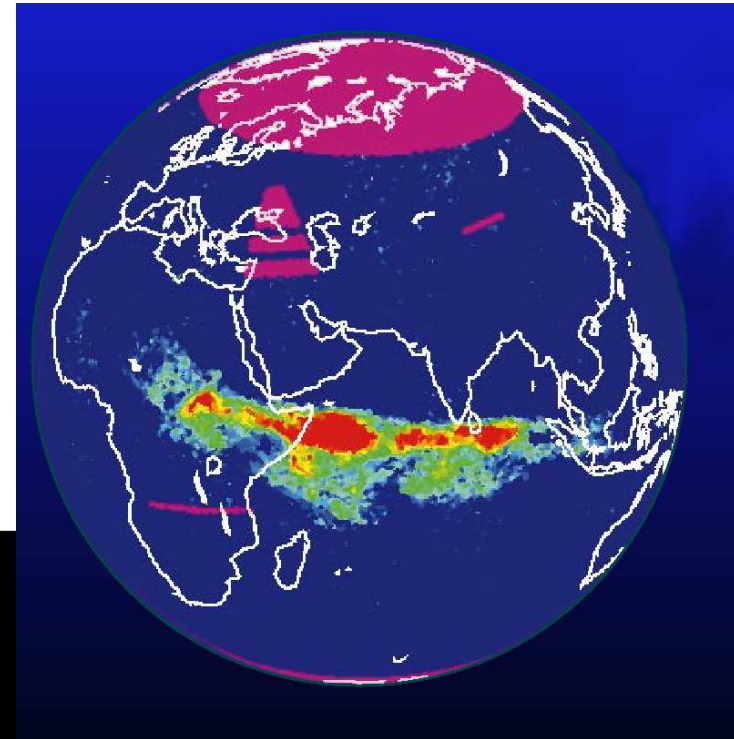
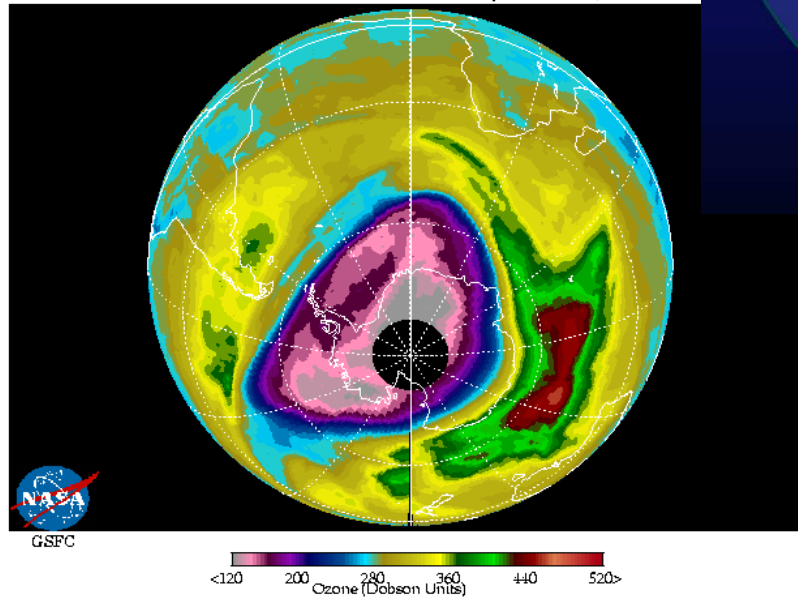
## ÓRBITA POLAR



# OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS



Earth Probe TOMS Total Ozone September 16, 2000



# OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS

