



Meteorología y Climatología Ciencias Ambientales



ugr

Universidad
de Granada

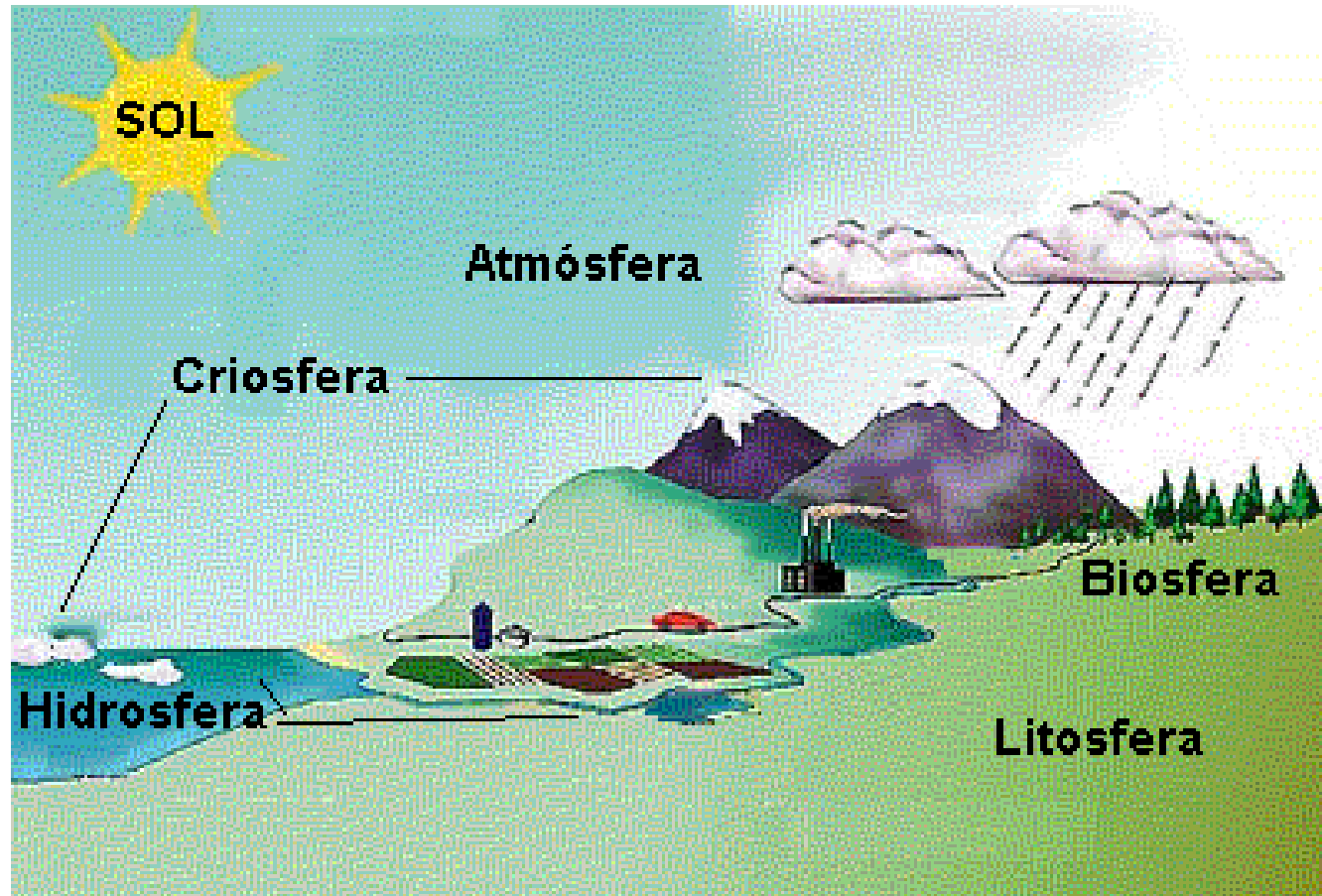
TEMA 1. INTRODUCCIÓN

- **Introducción**
- **Tiempo y Clima. Meteorología y Climatología.**
- **Atmósfera Terrestre**
 - **Composición**
 - **Estructura Térmica. Gradiente geométrico de temperatura.**
 - **Clasificación de las capas atmosféricas.**
- **Observaciones Meteorológicas.**

TEMA 1. INTRODUCCIÓN

- Introducción
- **Tiempo y Clima. Meteorología y Climatología.**
- **Atmósfera Terrestre**
 - Composición
 - Estructura Térmica. Gradiente geométrico de temperatura.
 - Clasificación de las capas atmosféricas.
- **Observaciones Meteorológicas.**

SISTEMA CLIMÁTICO



Tiempo: estado instantáneo de la atmósfera.

Clima: El comportamiento medio del sistema climático en periodos largos de tiempo (con relación a las fluctuaciones del "tiempo") junto con medidas de su variabilidad.

COMPONENTES DEL SISTEMA CLIMÁTICO

Atmósfera



Hidrosfera



Criosfera

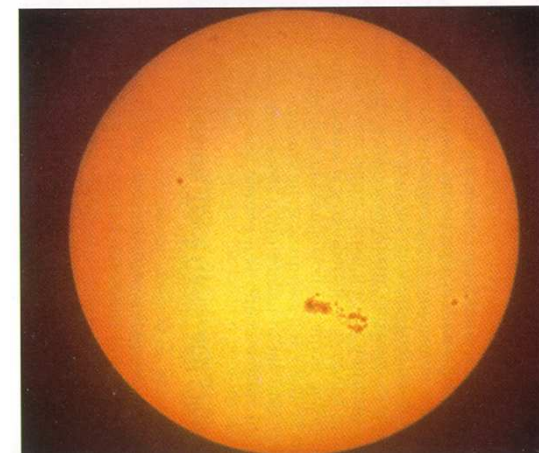
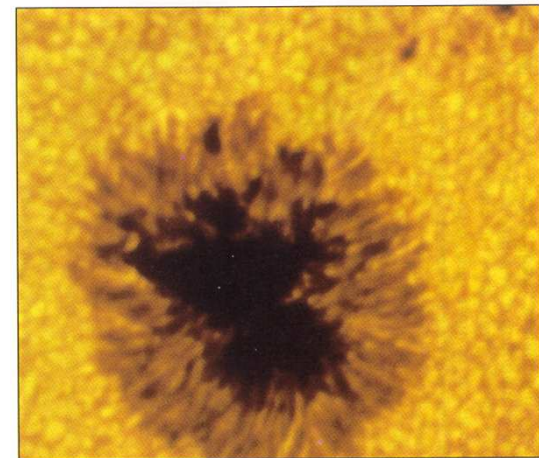
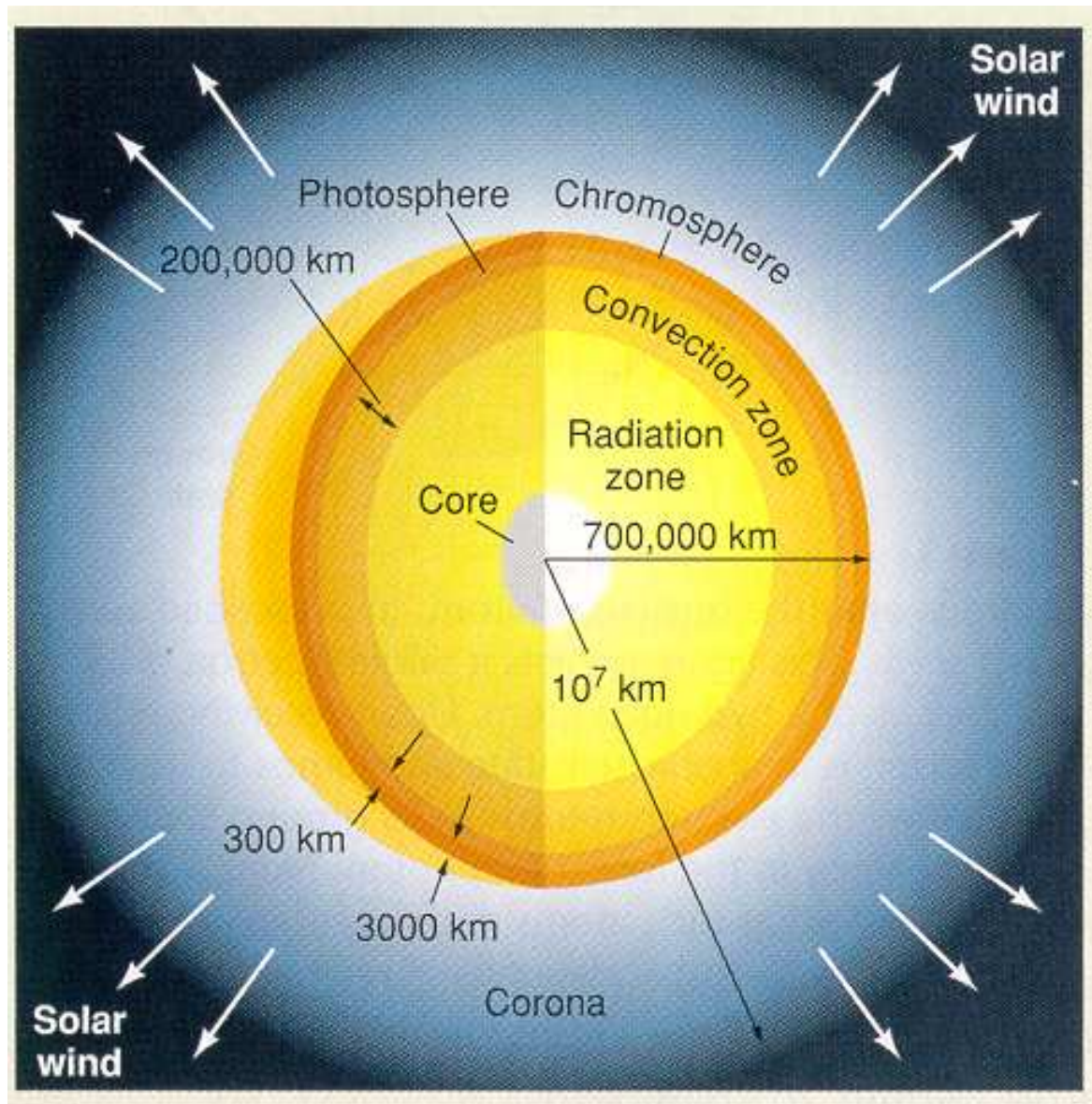


Geosfera



Biosfera

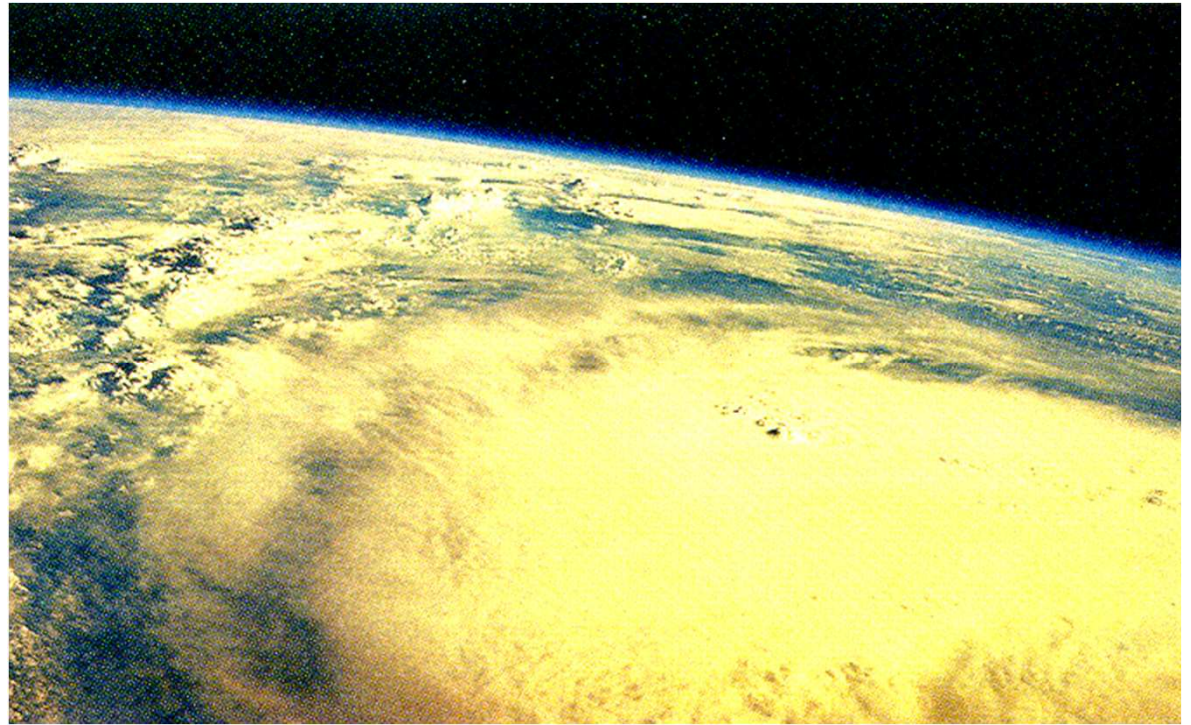
EL SOL



TEMA 1. INTRODUCCIÓN

- Introducción
- Tiempo y Clima. Meteorología y Climatología.
- **Atmósfera Terrestre**
 - **Composición**
 - Estructura Térmica. Gradiente geométrico de temperatura.
 - Clasificación de las capas atmosféricas.
- Observaciones Meteorológicas.

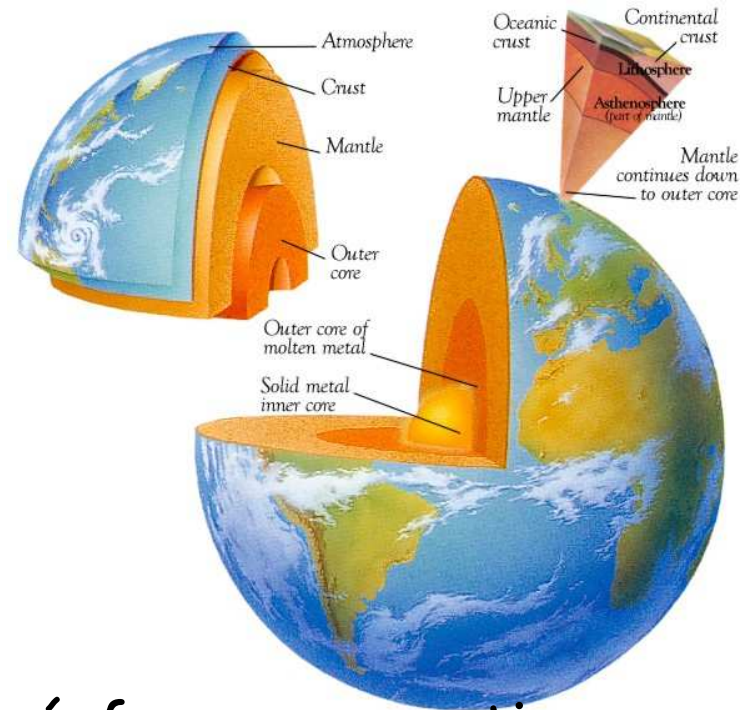
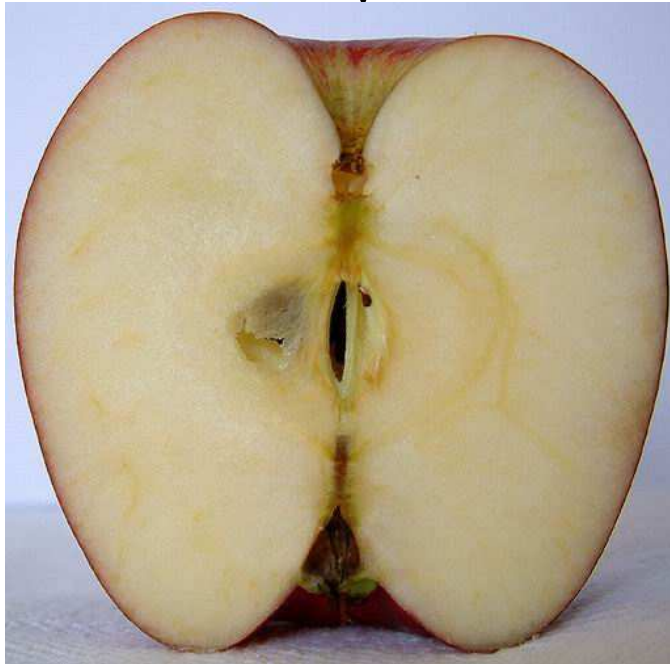
Atmósfera Terrestre



La propagación de la radiación electromagnética en la atmósfera está controlada por su estado: temperatura, presión, densidad del aire, y composición (i.e., gases y partículas).

Qué es una atmósfera?

- Una envoltente gaseosa que rodea a un planeta (satélite, cometa...).
- Es muy, muy delgada en comparación con el tamaño del planeta



La atmósfera se mantiene próxima a la superficie Terrestre por la atracción gravitatoria. No hay un límite superior claramente definido, pero casi toda la materia atmosférica está por debajo de 100 km

Composición de la atmósfera terrestre

La cantidad de gas puede expresarse de diferentes modos:

- Densidad numérica molecular = Concentración numérica molecular = moléculas por unidad de volumen de aire;
- Densidad = concentración másica molecular = masa de moléculas gaseosas por unidad de volumen de aire;
- Razones de Mezcla:
 - Razón de mezcla en volumen: número de moléculas gaseosas en un volumen dado respecto al número total de moléculas en el volumen
 - Razón de mezcla en masa: masa de moléculas gaseosas en un volumen dado respecto a la masa total de los gases en el volumen
- Fracción molar: razón del número de moles de un componente en una mezcla respecto al número de moles en la mezcla. Equivalente a la fracción en volumen.

Composición de la Atmósfera Terrestre

Se usa comúnmente la fracción de mezcla : una parte por millón 1 **ppm** (1×10^{-6}); una parte per billón 1 **ppb** (1×10^{-9}); una parte per trillón 1 **ppt** (1×10^{-12}).

La ecuación de estado puede escribirse de modos distintos:

- Usando la concentración molar del gas gas, $c = \mu/v$:

$$P = c T R$$

- Usando la concentración numérica del gas, $N = c N_A$:

$$P = N T R / N_A \text{ or } P = N T k_B$$

- Usando la densidad del gas, $\rho = c m_g$:

$$P = \rho T R / m_g = \rho T R_g$$

- Número de Avogadro: $N_A = 6.02212 \times 10^{23}$ moléculas/mol
- $R = 8.314$ J/mol K Constante Universal de los gases
- $k_B = 1,380 \times 10^{-23}$ J/K Constante de Boltzmann
- m_g masa molar; $R_g = R/m_g$ Constante particular de los gases para un gas g

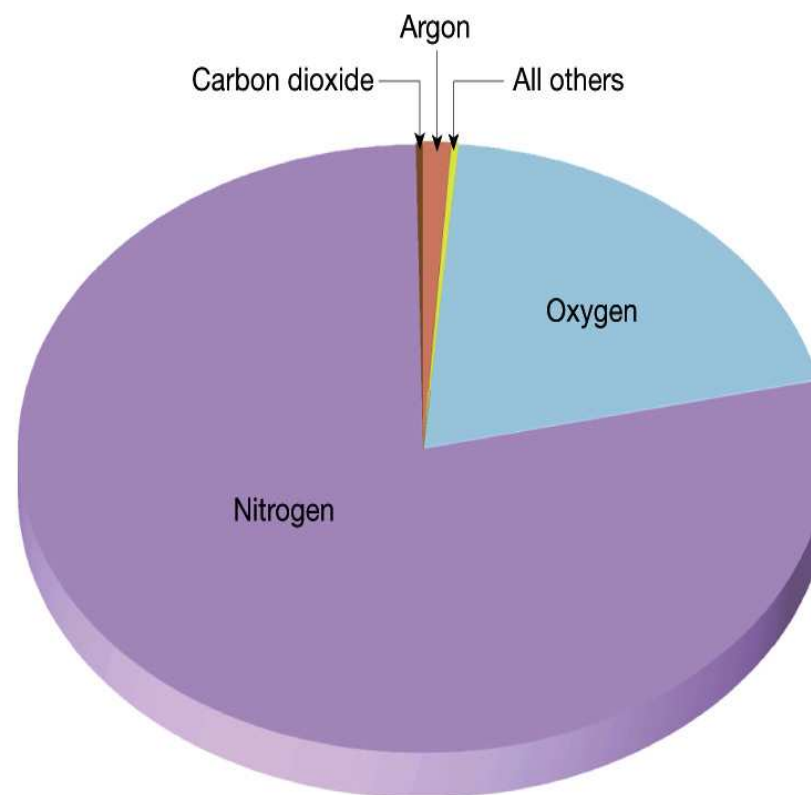
Composición de la Atmósfera Terrestre

Gases Permanentes

Nitrógeno (N_2)	78.08%
Oxígeno (O_2)	20.95%
Argon (Ar)	0.93%
(Ne, He, H_2 , Xe)	<0.003%

Gases Variables

Vapor de agua (H_2O)	0-4 %
Dióxido carbono (CO_2)	.037 %
Metano (CH_4)	1.7 ppm
Óxido nítrico (N_2O)	0.3 ppm
Ozono (O_3)	0.04 ppm
Clorofluorocarbonos (CFCs)	0.0002 ppm
Partículas (polvo ...)	<0.15 ppm

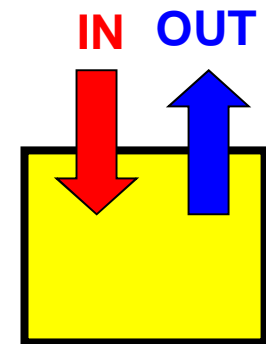


1%=1/100

1ppm=1/1000,000

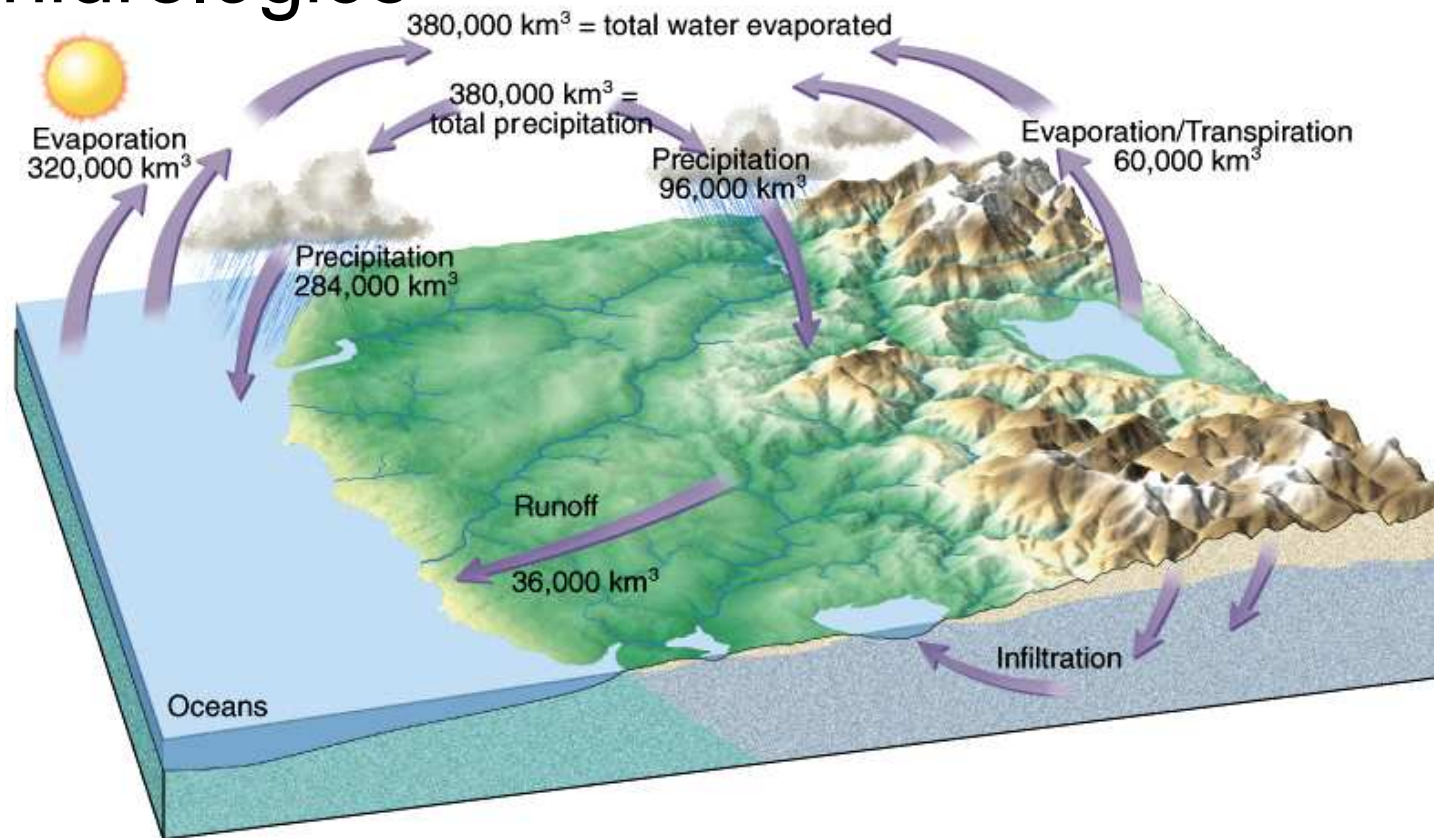
Gases importantes en la Atmósfera Terrestre

- **Nitrógeno: N_2**
 - **Input**: descomposición de plantas y productos animales
 - **Output**: procesos biológicos (bacterias del suelo, plankton)
- **Oxígeno: O_2**
 - **Input**: fotosíntesis;
 - **Output**: descomposición de materia orgánica, producción de óxidos, respiración (CO_2).
- **Vapor de agua: H_2O**
 - **Input**: evaporación
 - **Output**: condensación y sublimación
 - **Gas de efecto invernadero** altamente variable, no visible, asociado a intercambios de grandes cantidades de calor latente.



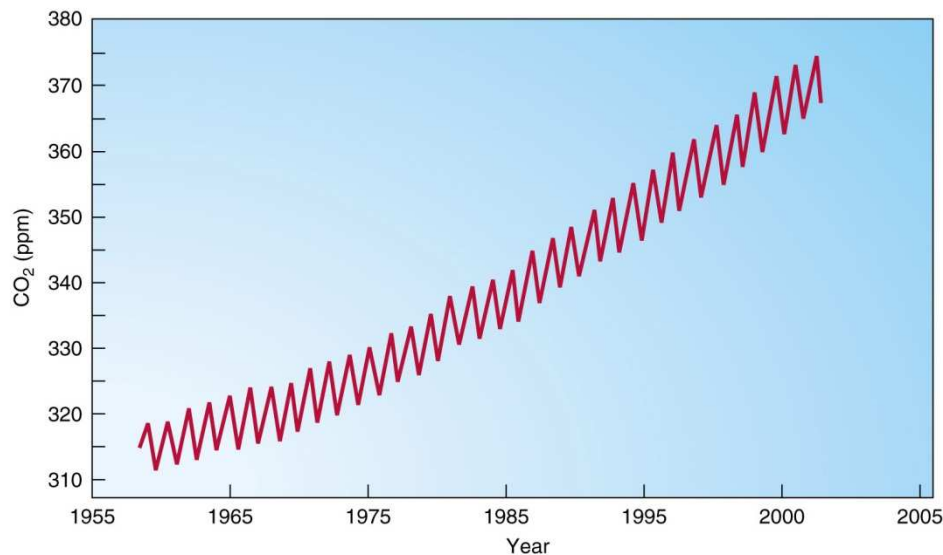
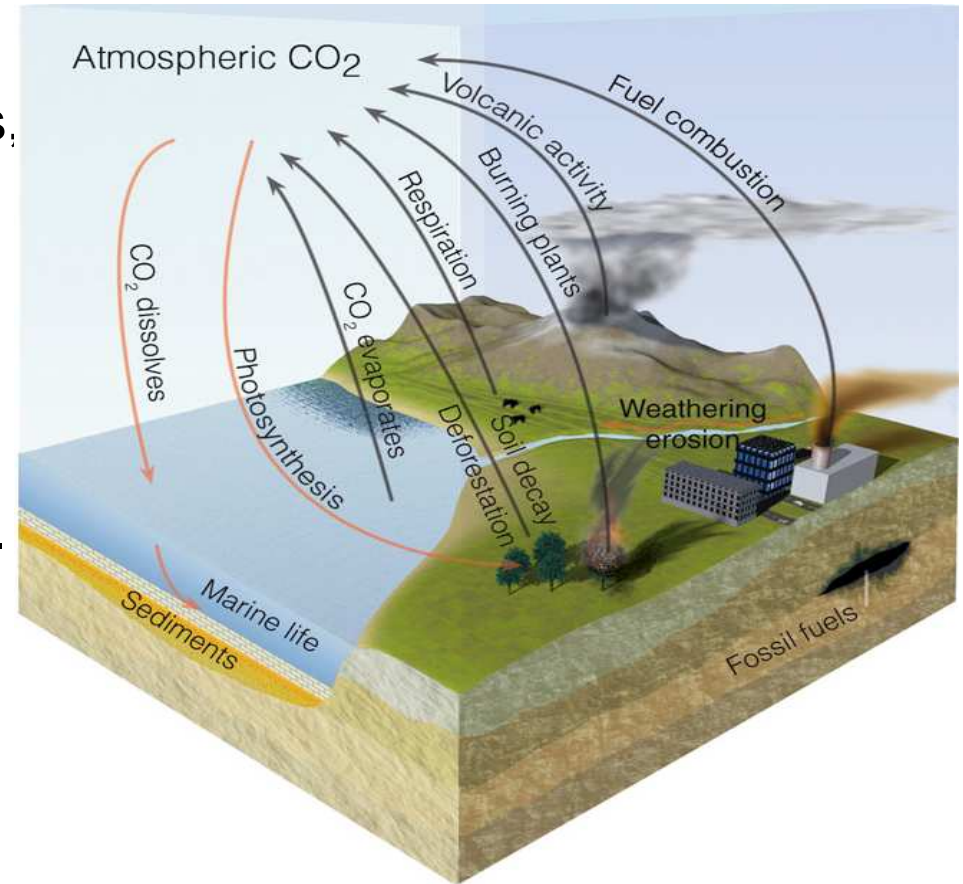
Vapor de Agua

- Vapor de agua (H_2O) asociado al ciclo hidrológico

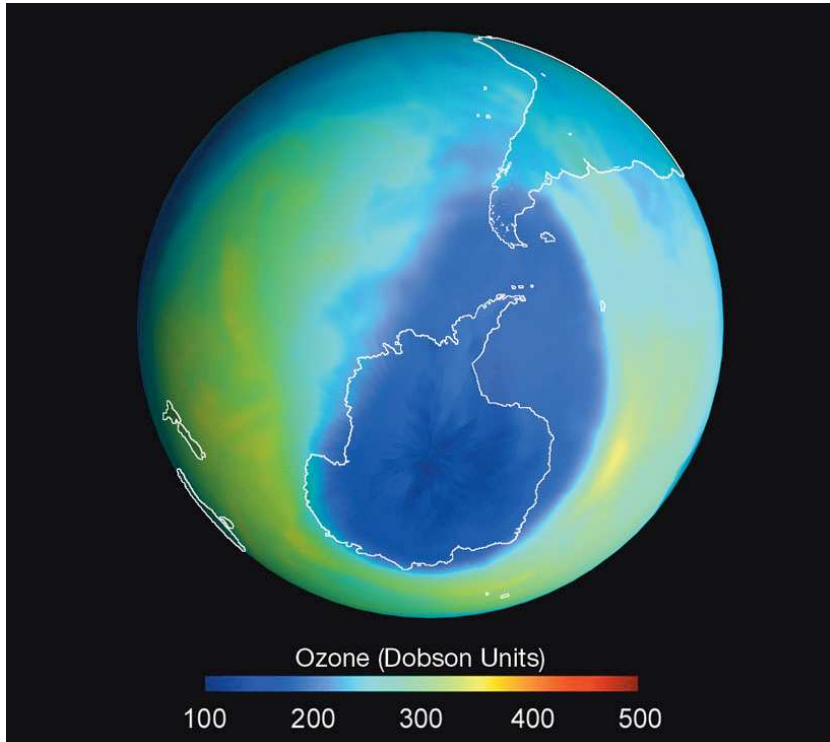


Dióxido de Carbono

- **Dióxido de carbono: CO₂**
 - **Input:** descomposición de plantas, respiración, combustibles fósiles, deforestación.
 - **Output:** fotosíntesis, se disuelve en el océano
 - **Gas de efecto invernadero** aumento mantenido en el tiempo.



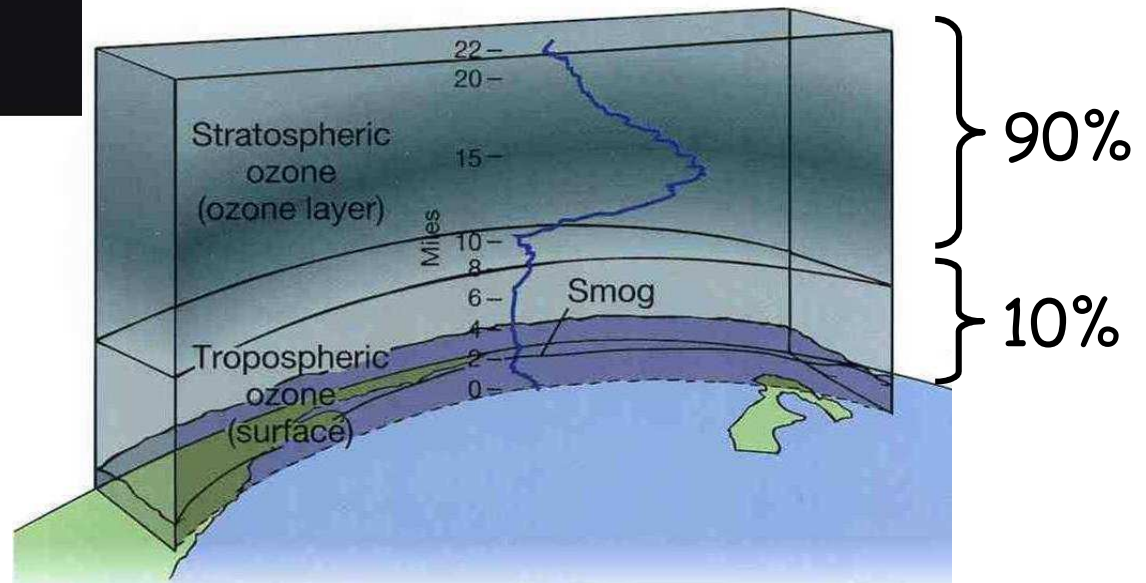
Ozone



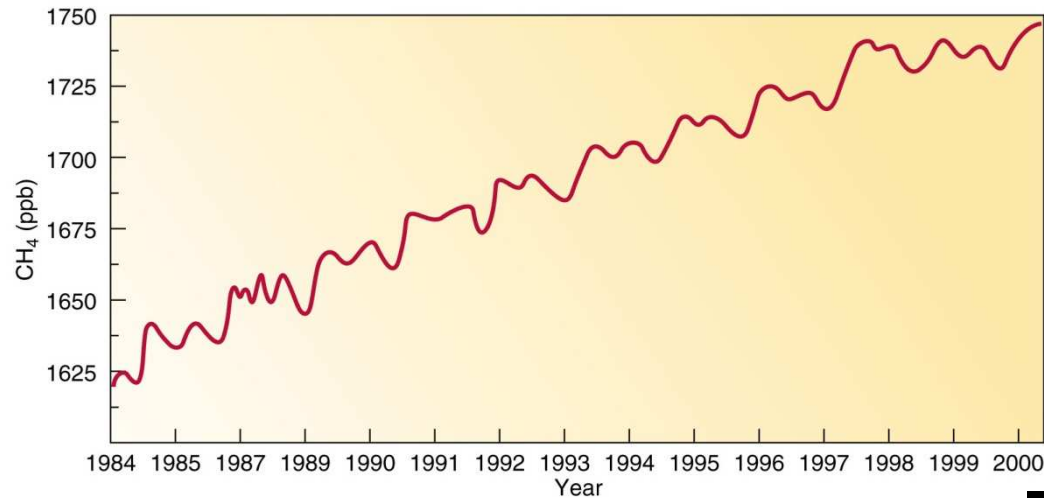
Maximum concentration
~30 km tropical regions
~20 km polar regions

- **Ozone: O_3**

- O_3 in the stratosphere (25 km) shields the UV light;
- At the ground level it results in photochemical smog.

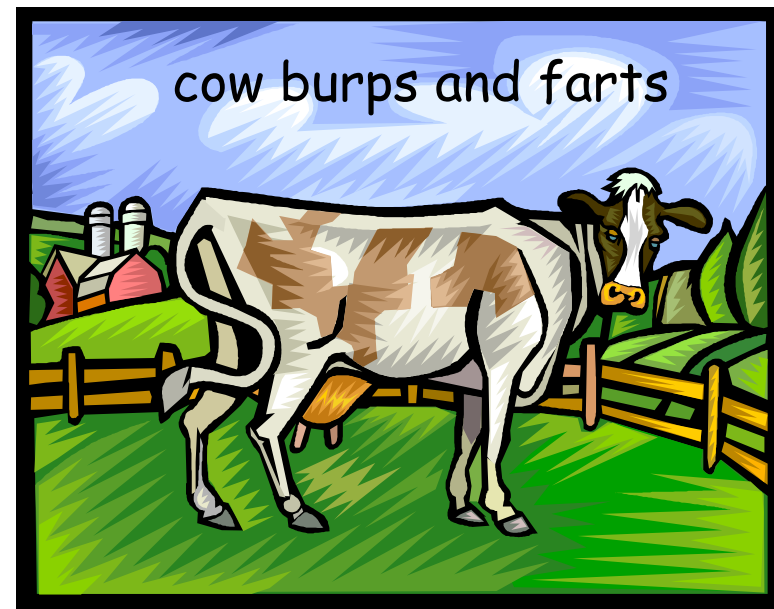


Metano CH₄



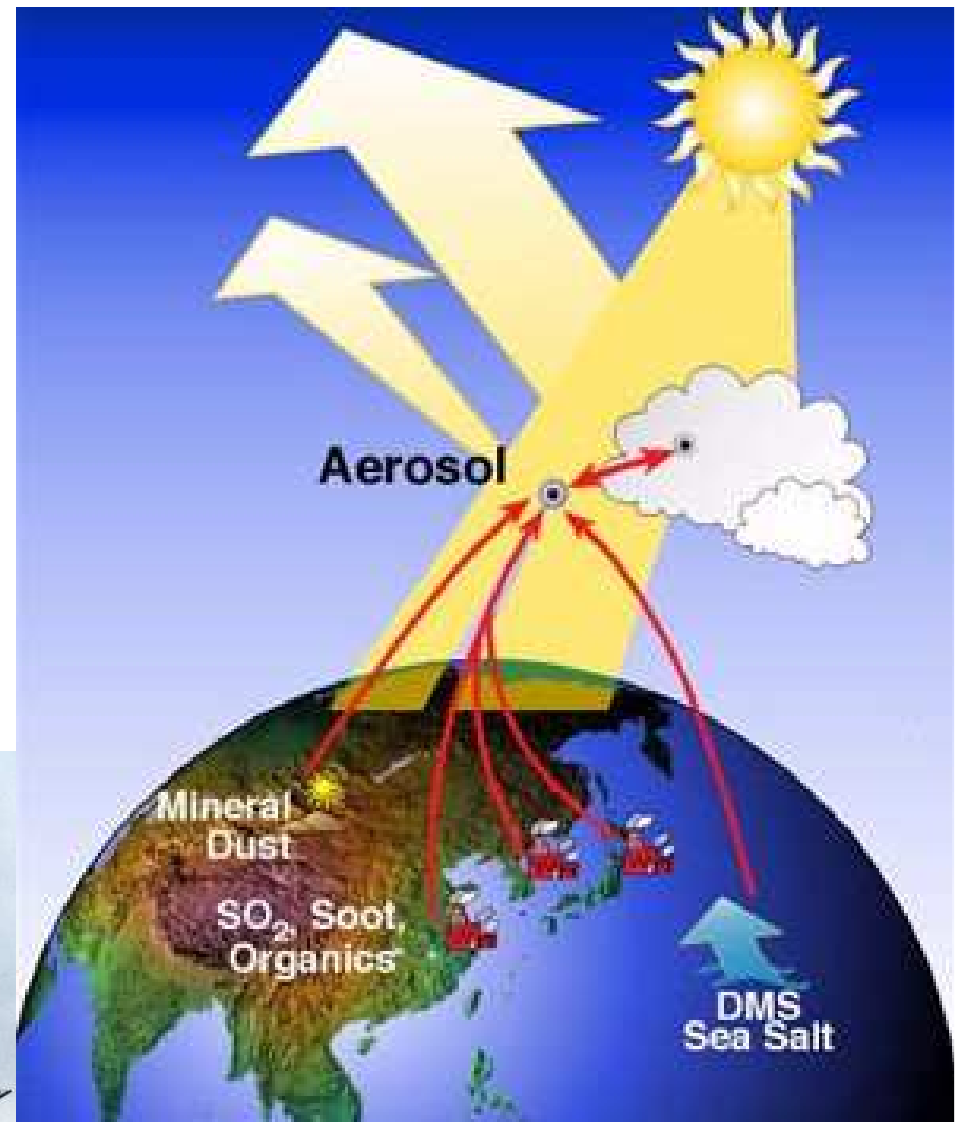
- **Metano: CH₄**

- Gas de efecto invernadero
- Aumentando
- Las fuentes de metano incluyen la descomposición de la materia orgánica, minas de carbón, y...



Aerosoles

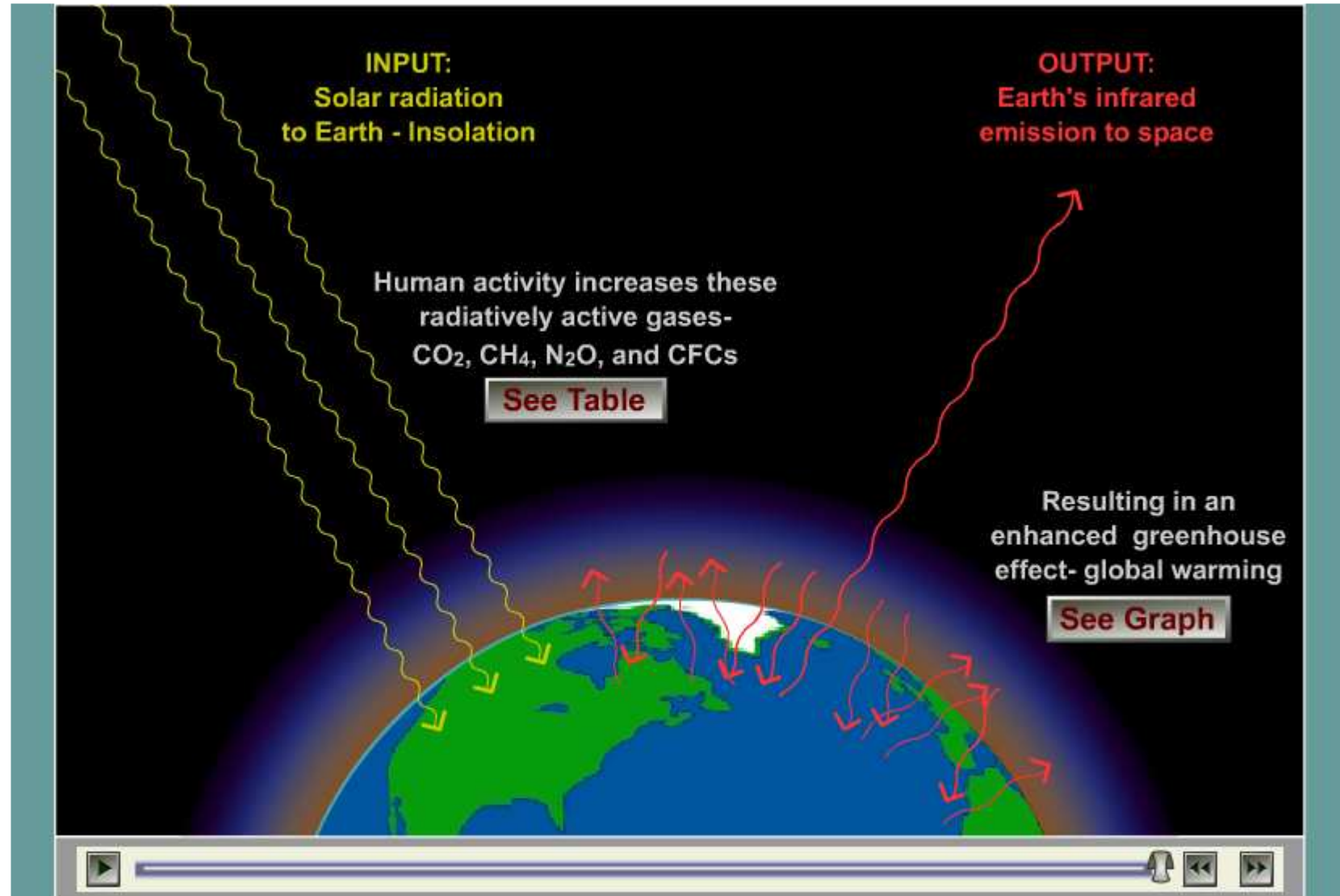
- Suspensión de partículas microscópicas sólidas y líquidas en el aire atmosférico.
- Natural y antropogénico.
- Polvo de tormentas de arena, polvo volcánico, cristales de sal del spray marino, productos de la combustión.
- Importantes en la formación de nubes.
- Pueden ser contaminantes



Nubes

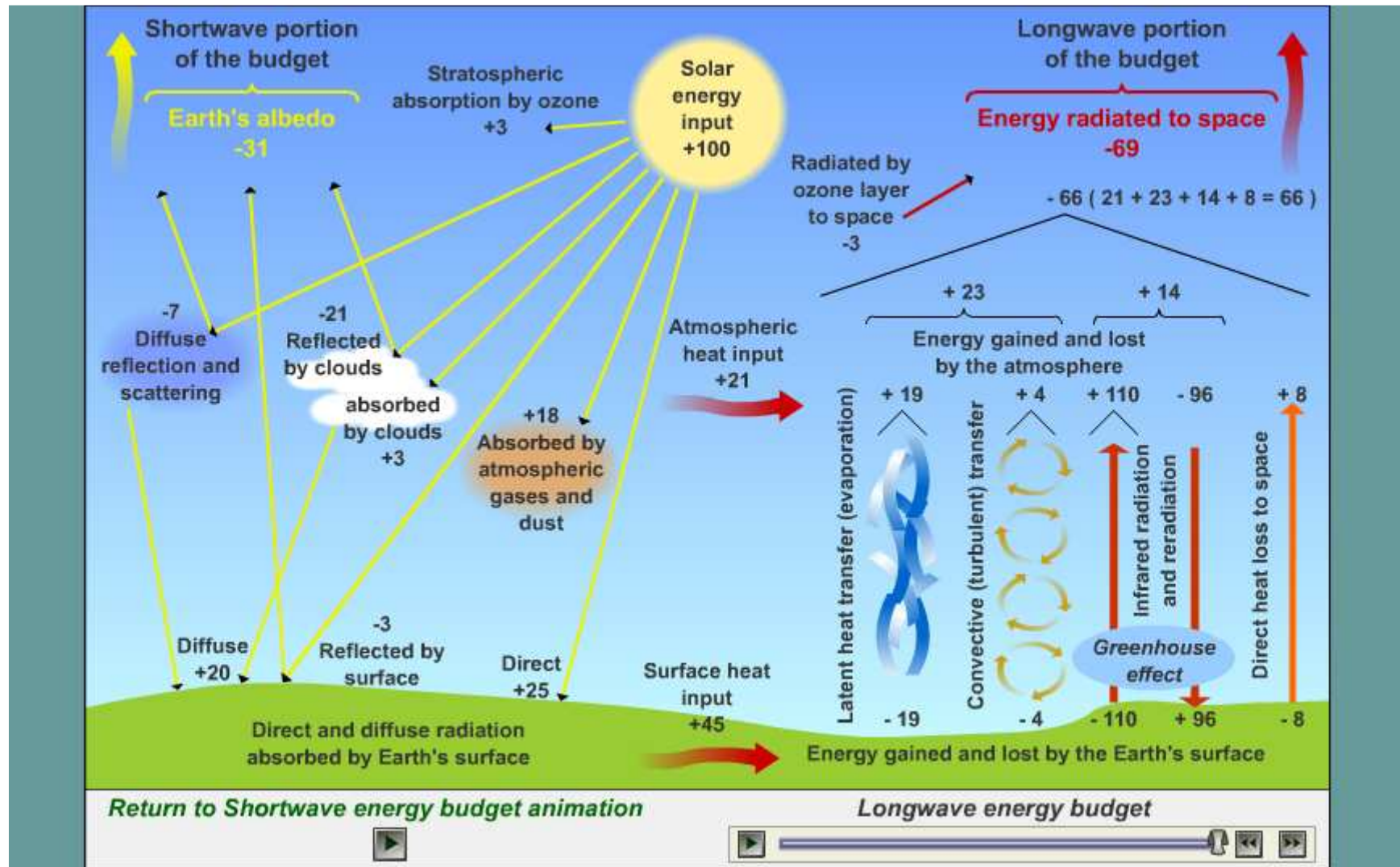


Balance Radiativo



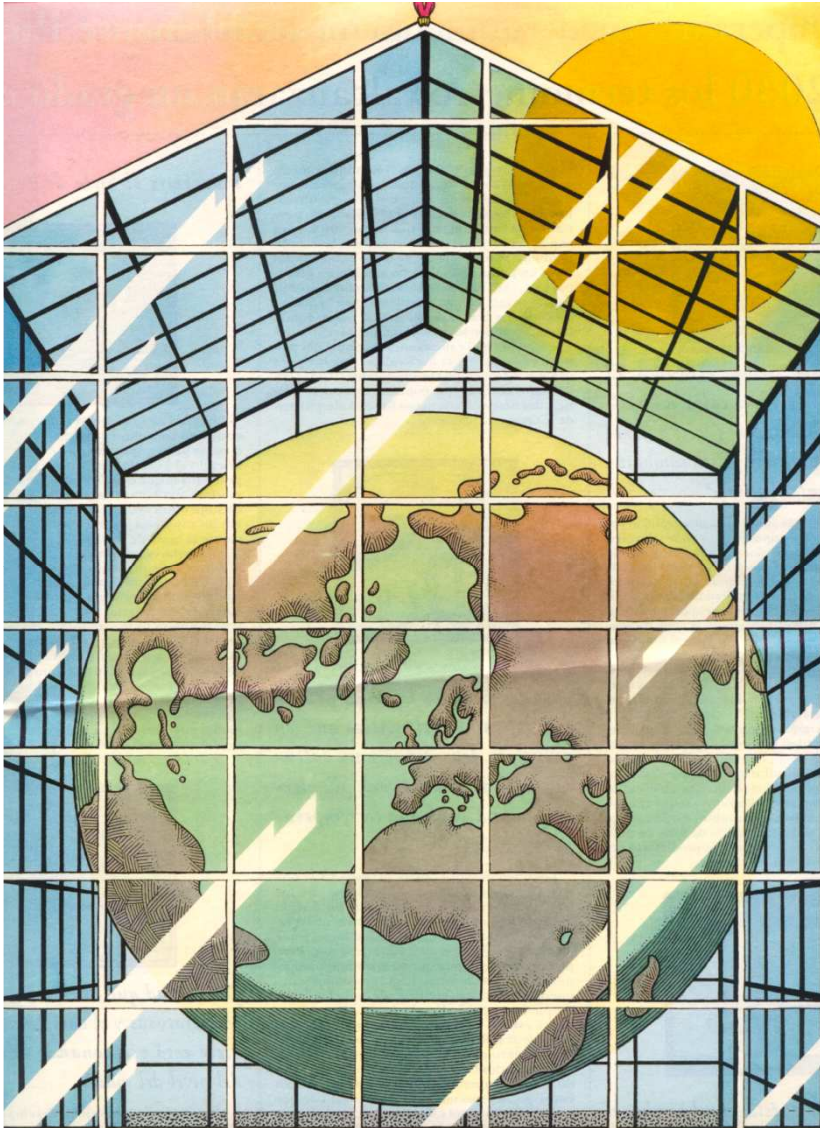
- La energía entrante en el sistema Tierra-Atmósfera iguala a la energía que saliente

Balance de Energía



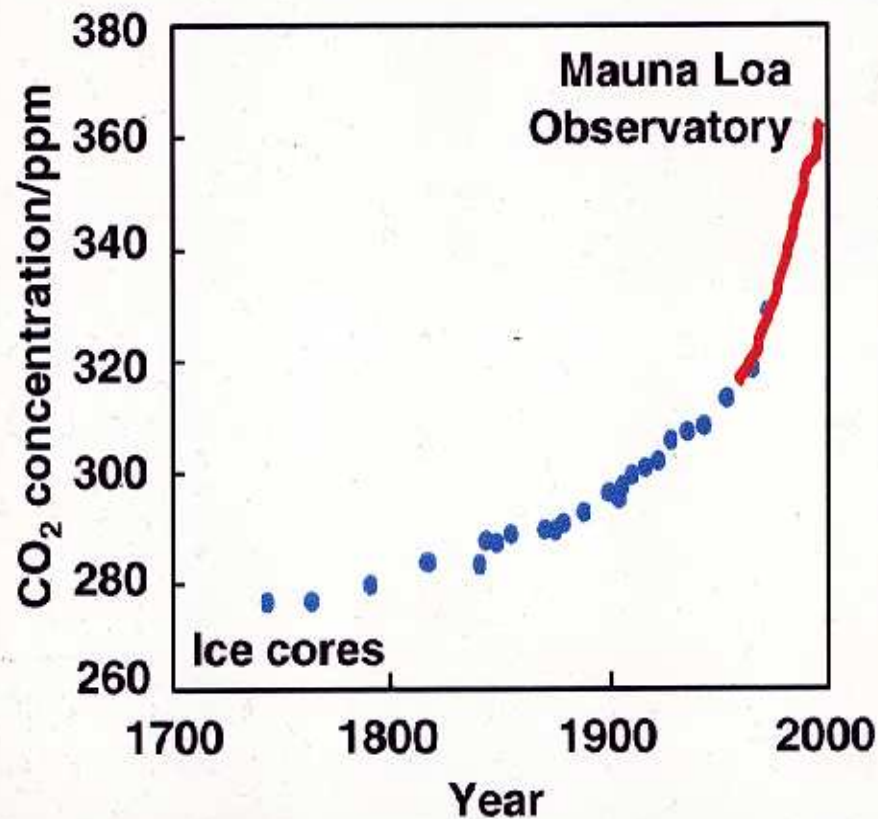
- Dentro del sistema Tierra-Atmósfera existen intercambios de energía no radiativos

Efecto invernadero

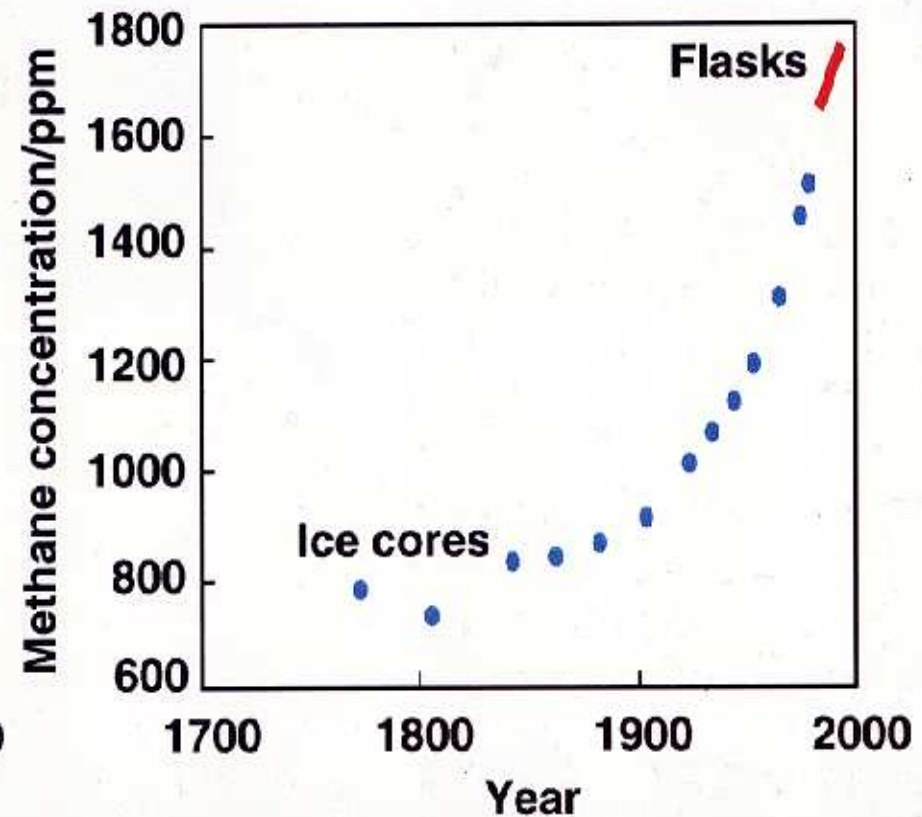


Aumento de gases de efecto invernadero

Carbon dioxide: 33% Aumento

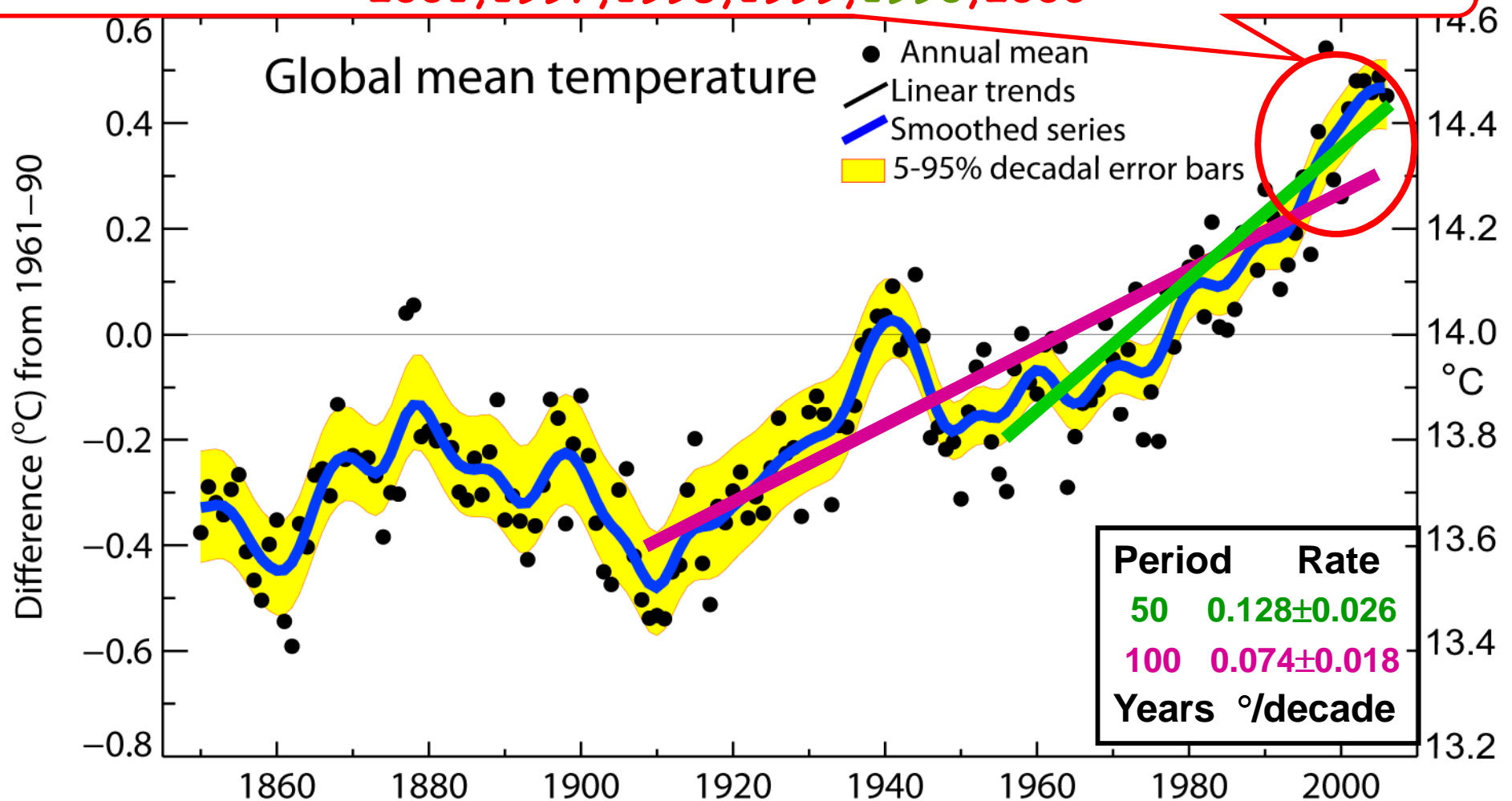


Methane: 100% Aumento



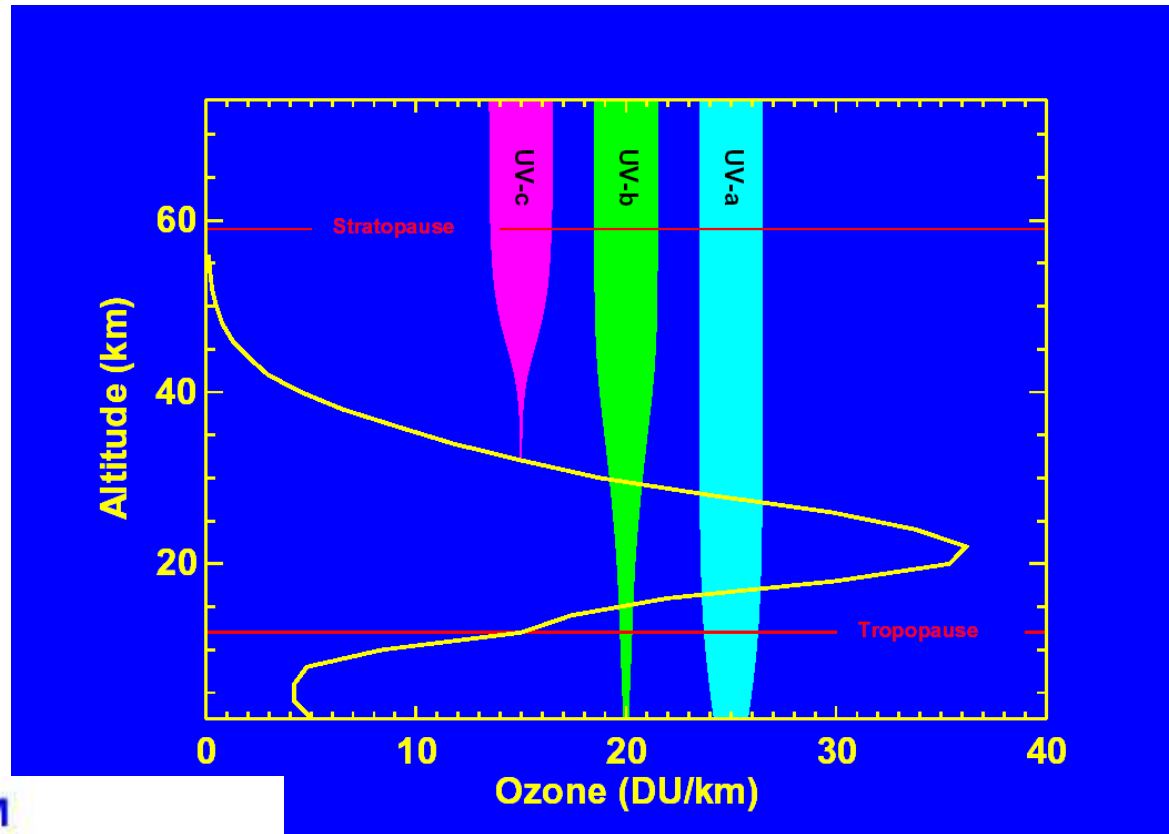
Crecimiento de la Temperatura Media Global a un ritmo creciente

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

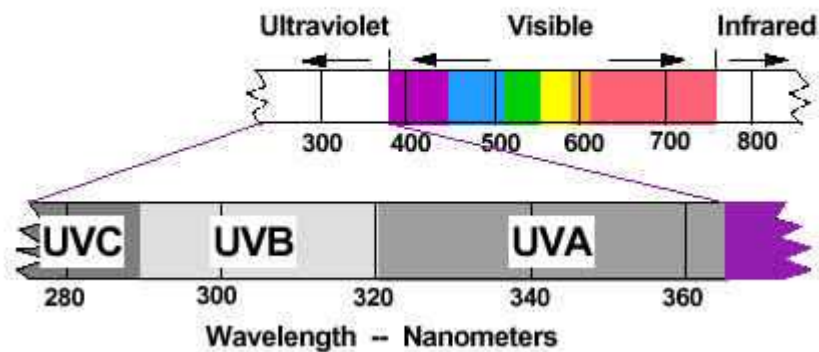


Aumento de la temperatura media 1906-2005 de $(0.74 \pm 0.18)^\circ\text{C}$

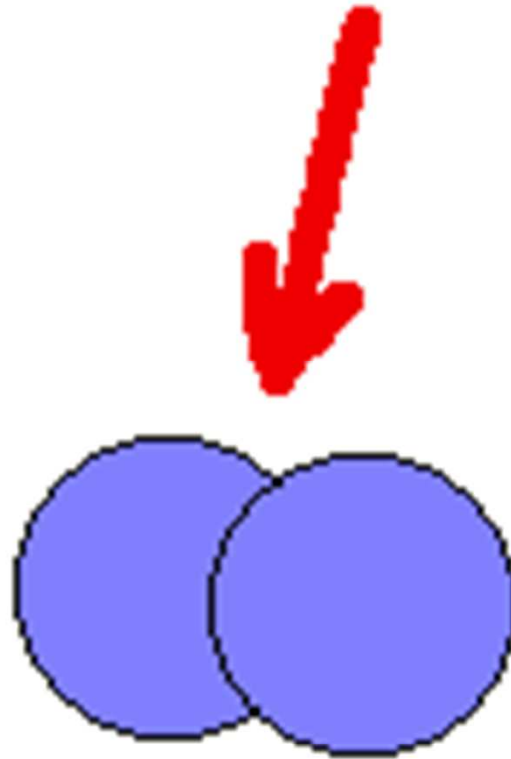
Ozono- UV



ULTRAVIOLET SPECTRUM

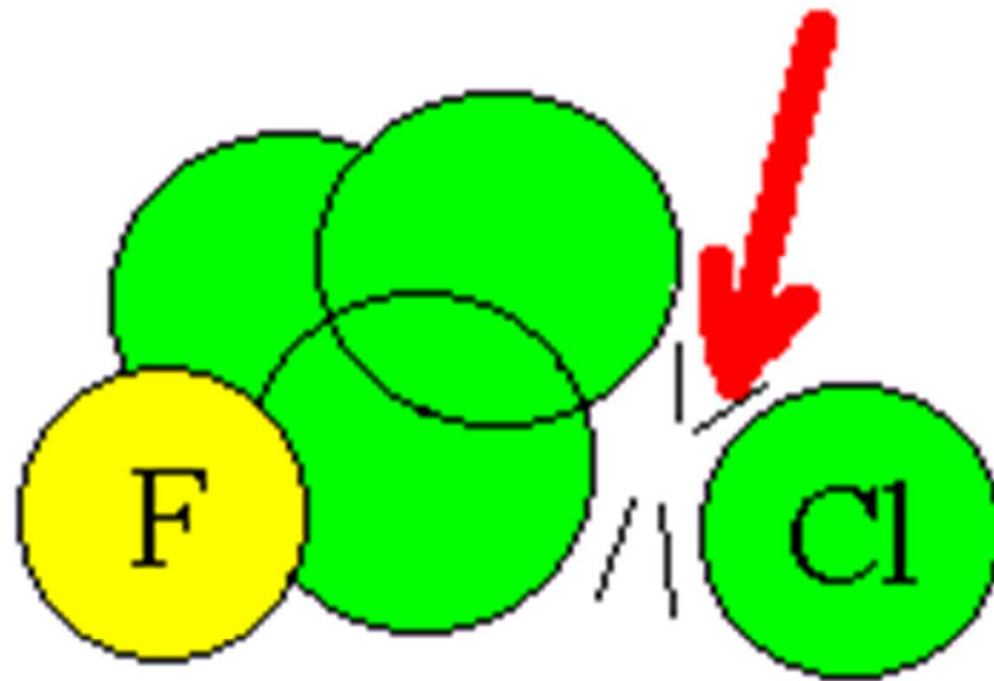


CREACIÓN DE OZONO



- 1) Un rayo UV muy energético colisiona con una molécula de oxígeno (O₂)

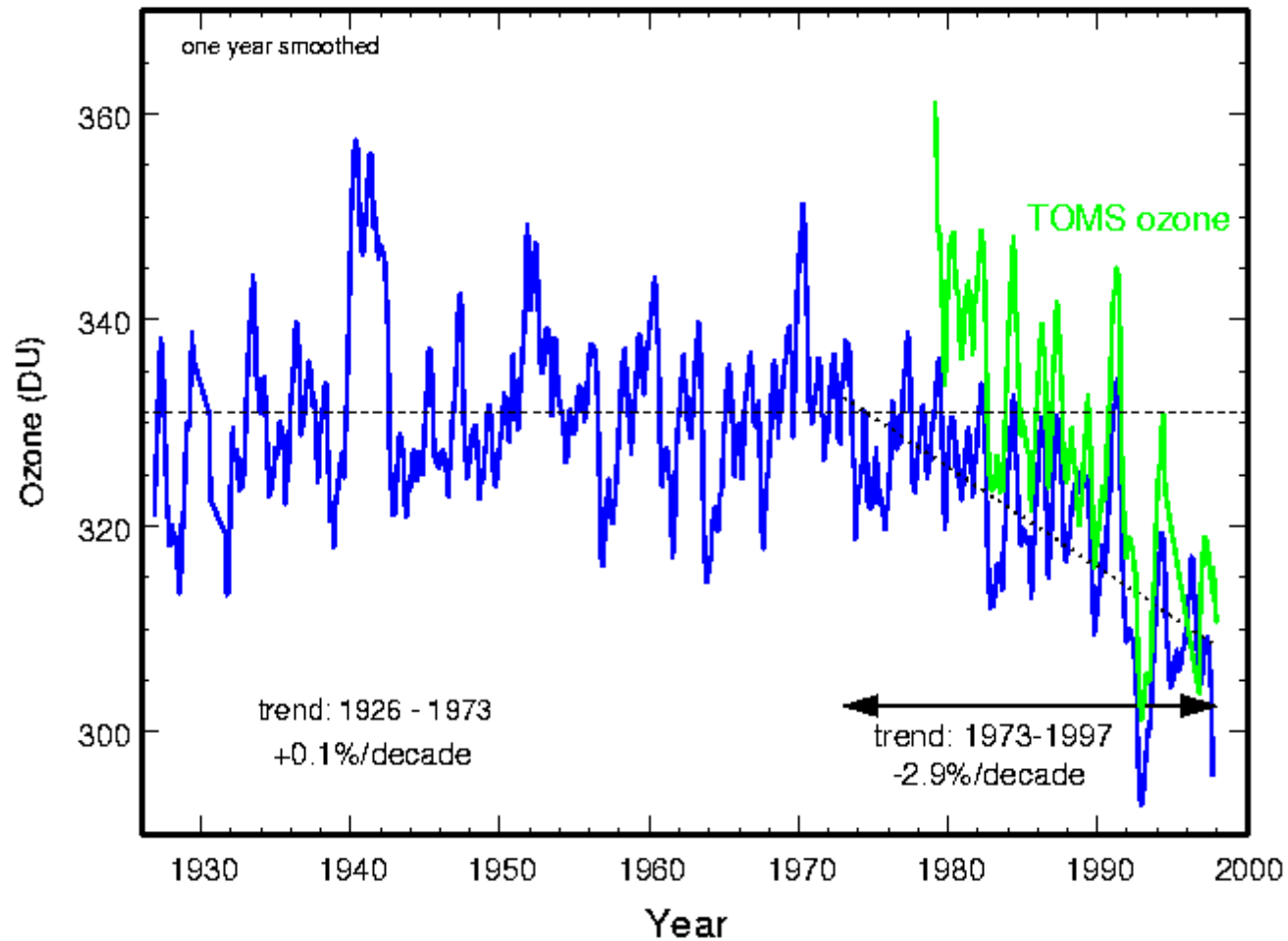
CFC-OZONO



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

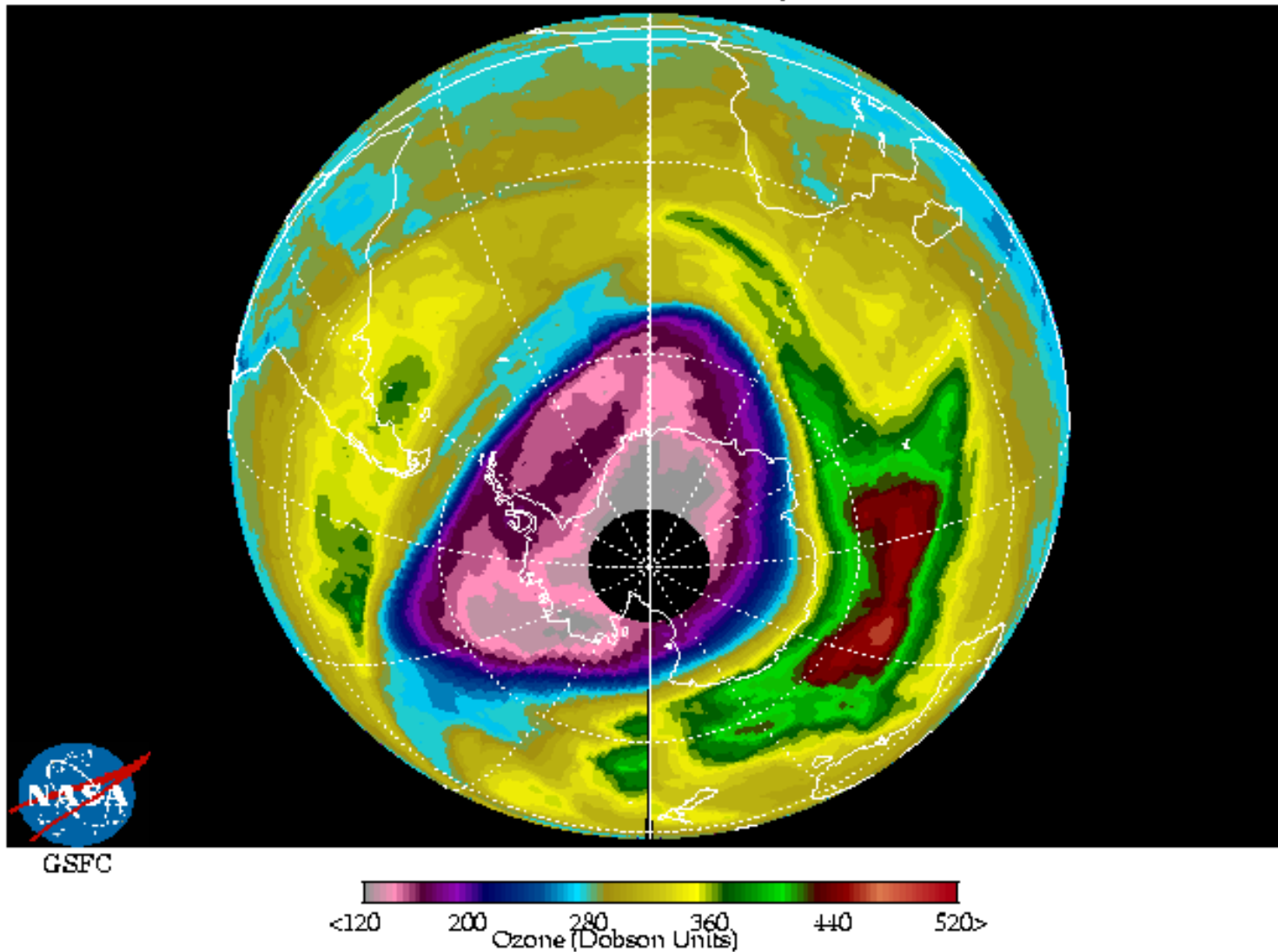
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE O₃

Ozone at Arosa, Switzerland since 1926



AGUJERO DE O₃ ANTARTIDA

Earth Probe TOMS Total Ozone September 16, 2000

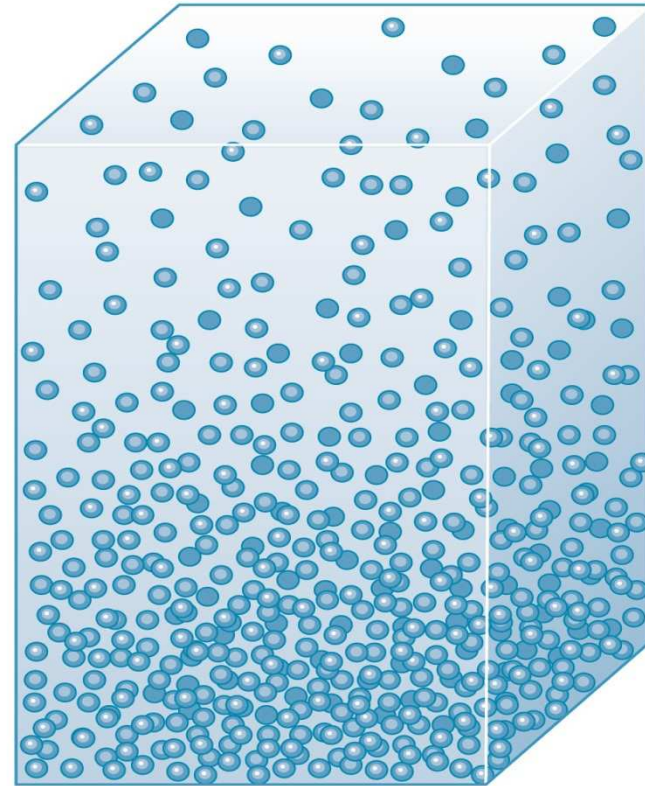


Capas en la atmósfera terrestre

- Las variaciones de temperatura, presión y densidad son mayores en la dirección vertical que en la horizontal. Debido a a estas fuertes variaciones verticales la atmósfera está estratificada en capas que tienen pequeña variación horizontal comparada con la variación en la vertical.
- No es fácil dividir la atmósfera terrestre en capas distintas considerando los cambios de presión y densidad.
- El modo más común de dividir la atmósfera terrestre en múltiples capas se basa en la manera en que cambia la temperatura con la altura.

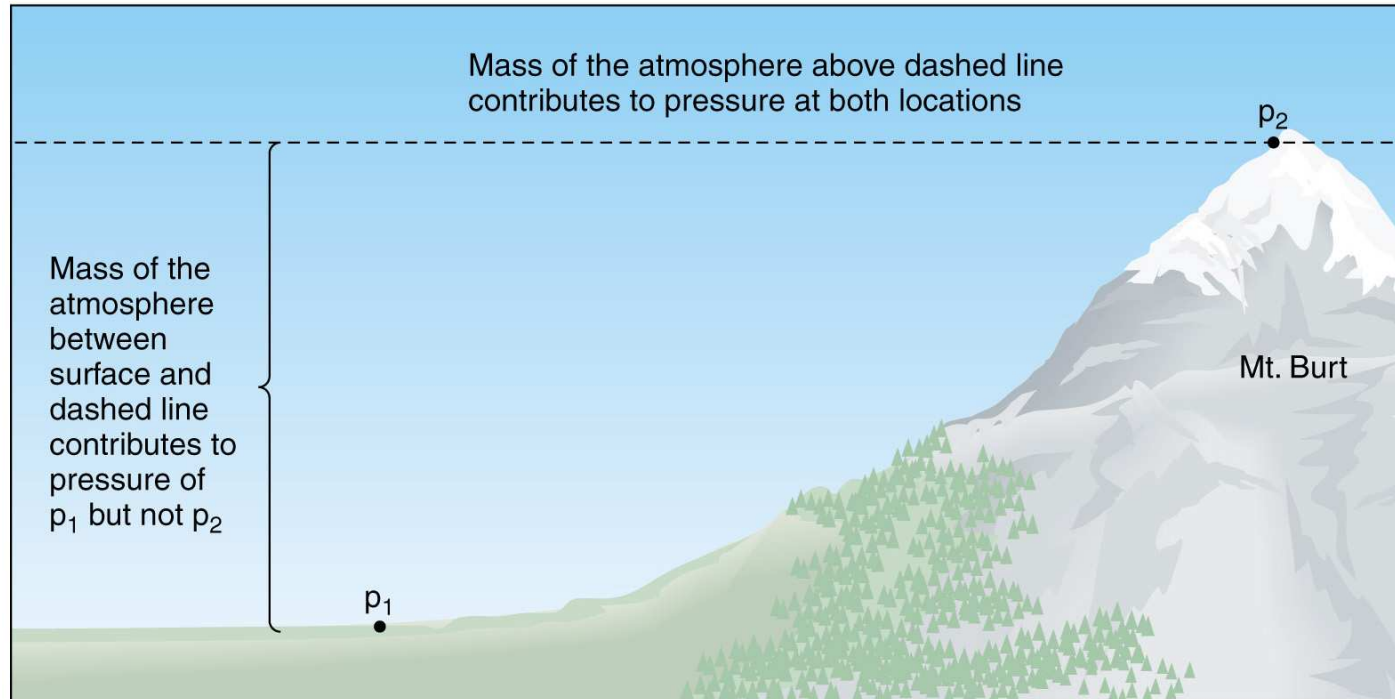
Densidad del Aire

- La densidad disminuye con el aumento de altura
- Debido a la atracción gravitatoria y a la compresibilidad de los gases



Presión

- El aire tiene masa y pesa
- Las moléculas gaseosas están en movimiento
- La presión es la fuerza que estas moléculas ejercen sobre una superficie
- La presión al nivel del mar es aprox. $1013.2 \text{ mb} = 1 \text{ atm}$

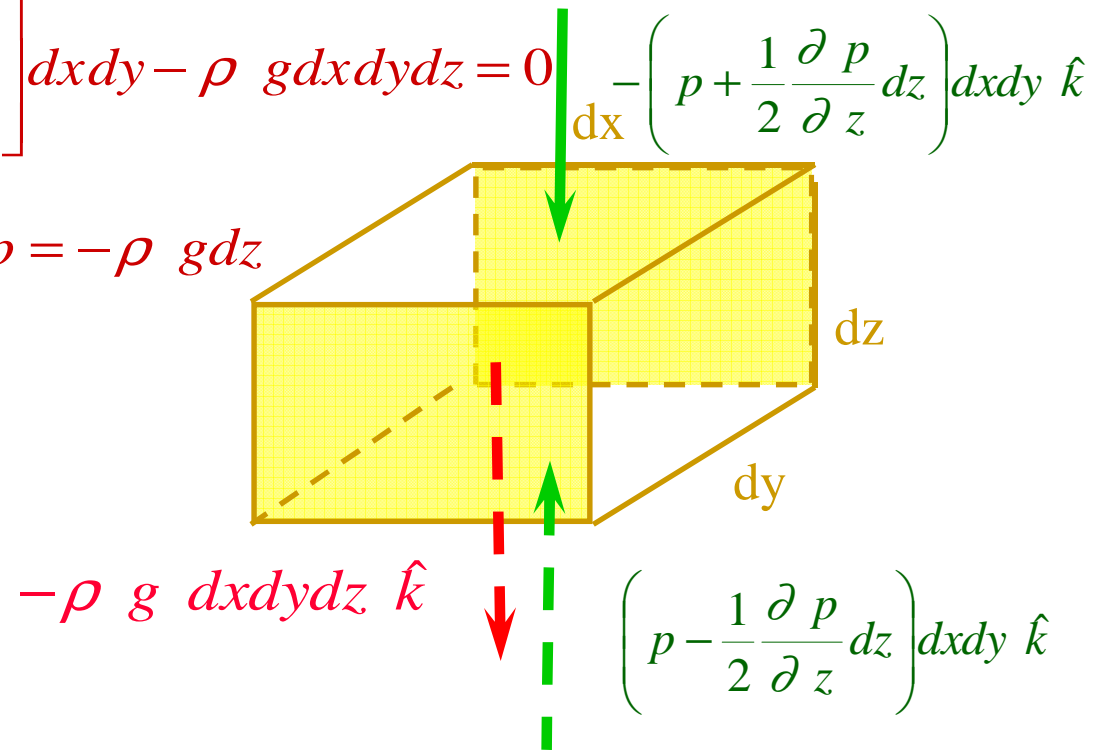


Presión . Equilibrio hidrostático

Balance entre la fuerza de la gravedad y la fuerza de presión en la vertical

$$\left[\left(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) - \left(p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) \right] dxdy - \rho g dxdydz = 0$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g = 0 \Rightarrow dp = -\rho g dz$$



$$dp = -\rho g dz$$

Altura de escala

$$dp = -\rho \, g dz$$

Ecuación Hidrostática

$$p = \rho \, R_d T$$

Ecuación de estado

R_d constante de los gases para el aire

$$dp = -\frac{p}{R_d T} g dz$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_d T} dz$$

$$p = p_o e^{-\int_o^z \frac{g}{R_d T} dz}$$

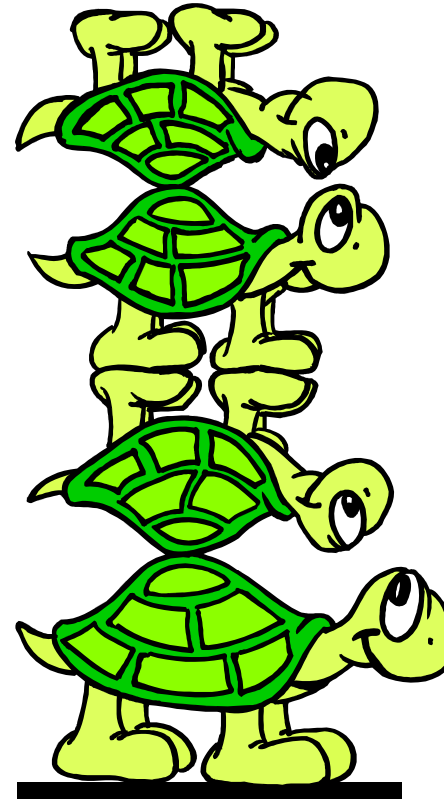
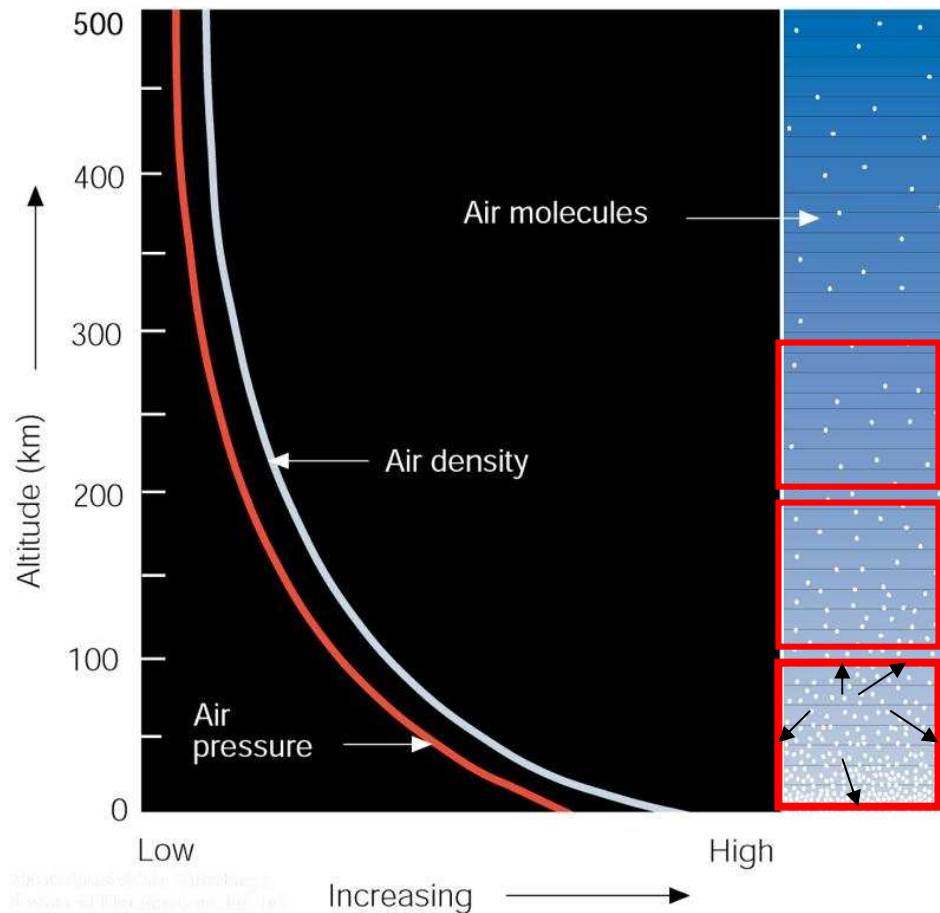
Integrando la ecuación hidrostática en función de z para una temperatura constante obtenemos

$$p = p_o e^{\frac{-g}{R_d \langle T \rangle} z} = p_o e^{\frac{-z}{H}}$$

H Altura de escala

Cuando $z = H$ $p = p_o e^{-1} = 0.369 p_o$

Presión

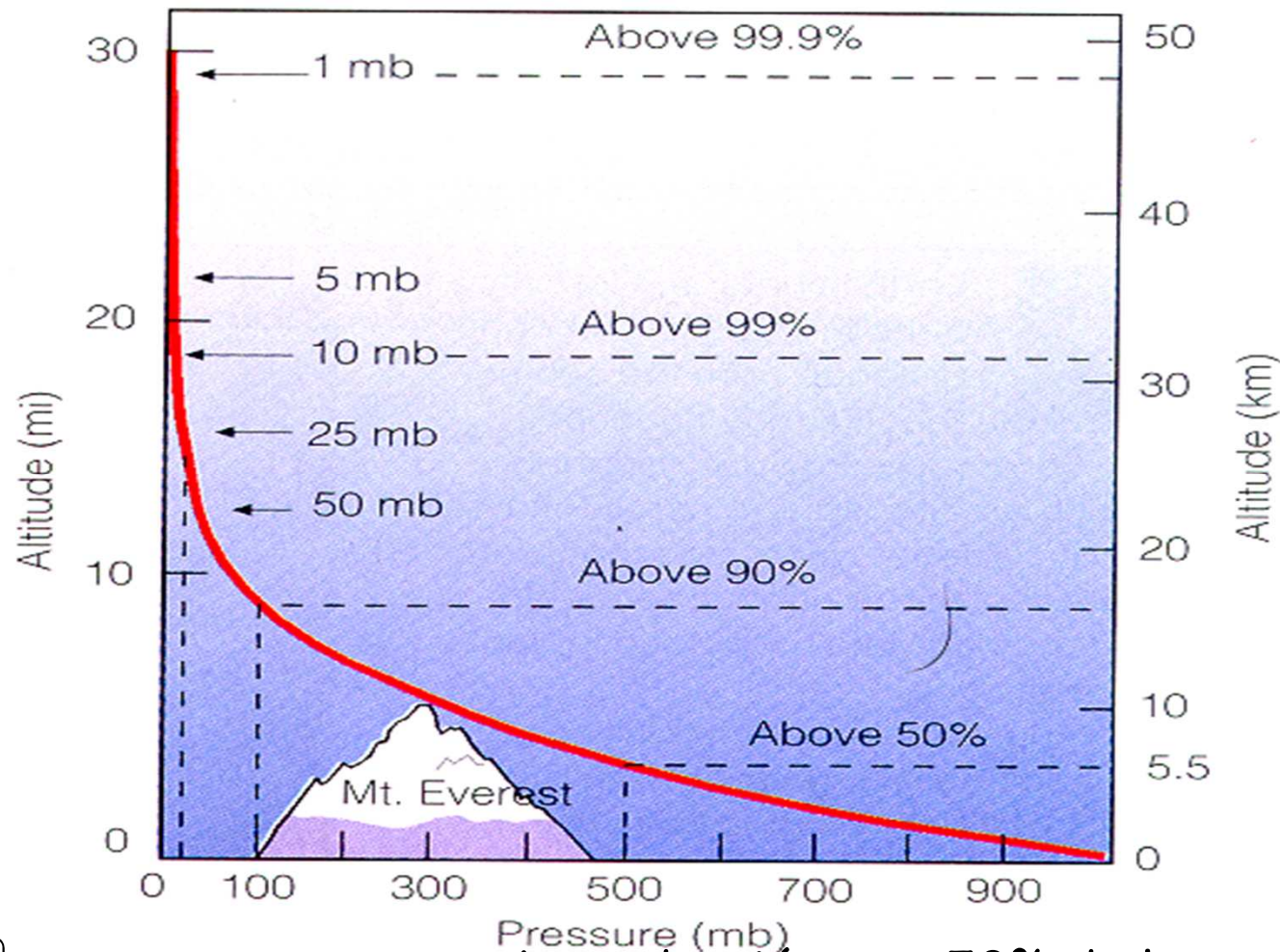


$$p = p_0 e^{\frac{-z}{H}}$$

$$H \sim 8 \text{ Km}$$

La presión y la densidad atmosféricas disminuyen exponencialmente con la altura!!!

Presión



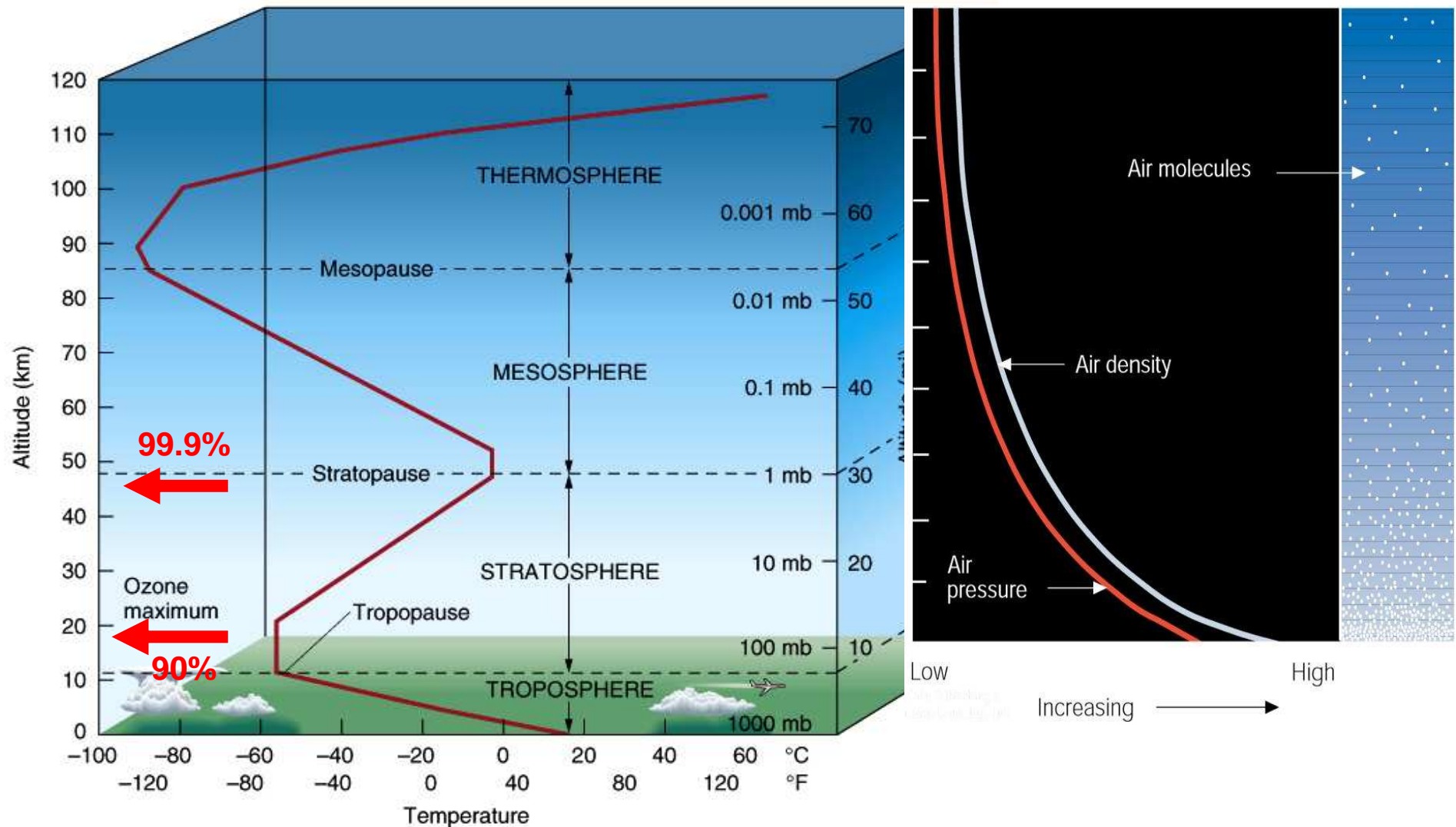
$$p = p_0 e^{\frac{-z}{H}}$$

$H \sim 8 \text{ Km}$

$$z = -H \ln (p_0 / p)$$

La reducción a un 50% de la presión media de la superficie significa que la mitad de la masa atmosférica está por debajo de ese nivel

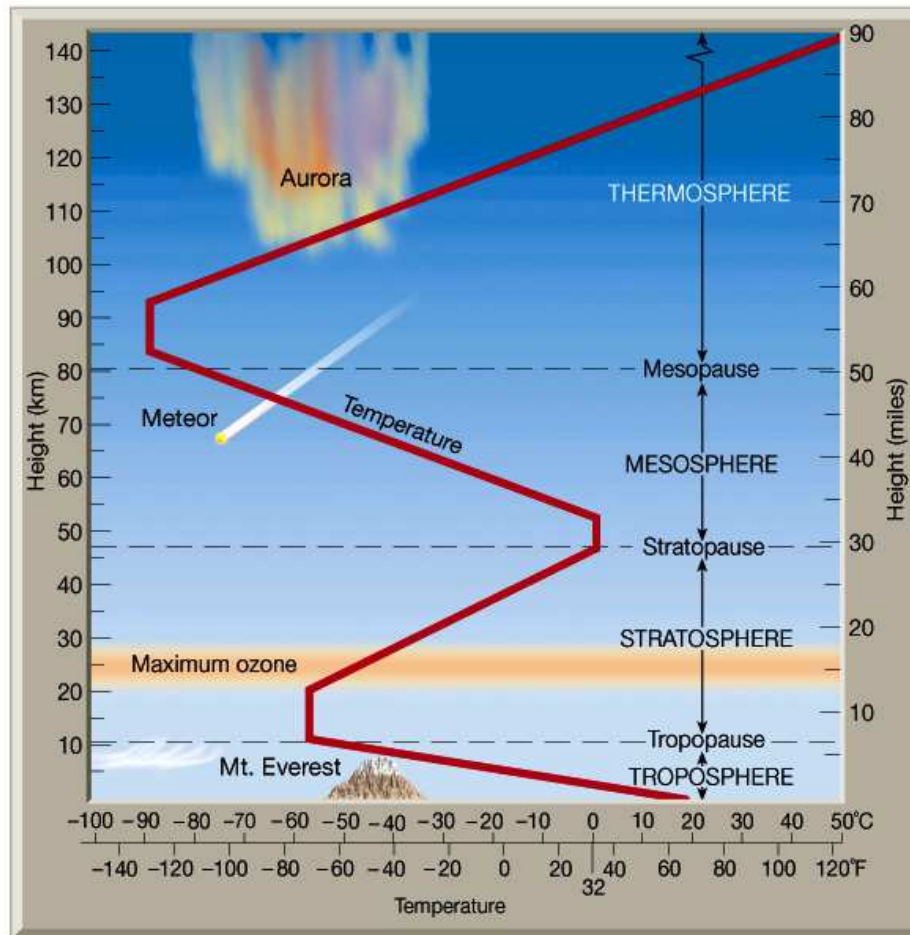
Estructura térmica de la Atmósfera



Estructura térmica de la Atmósfera

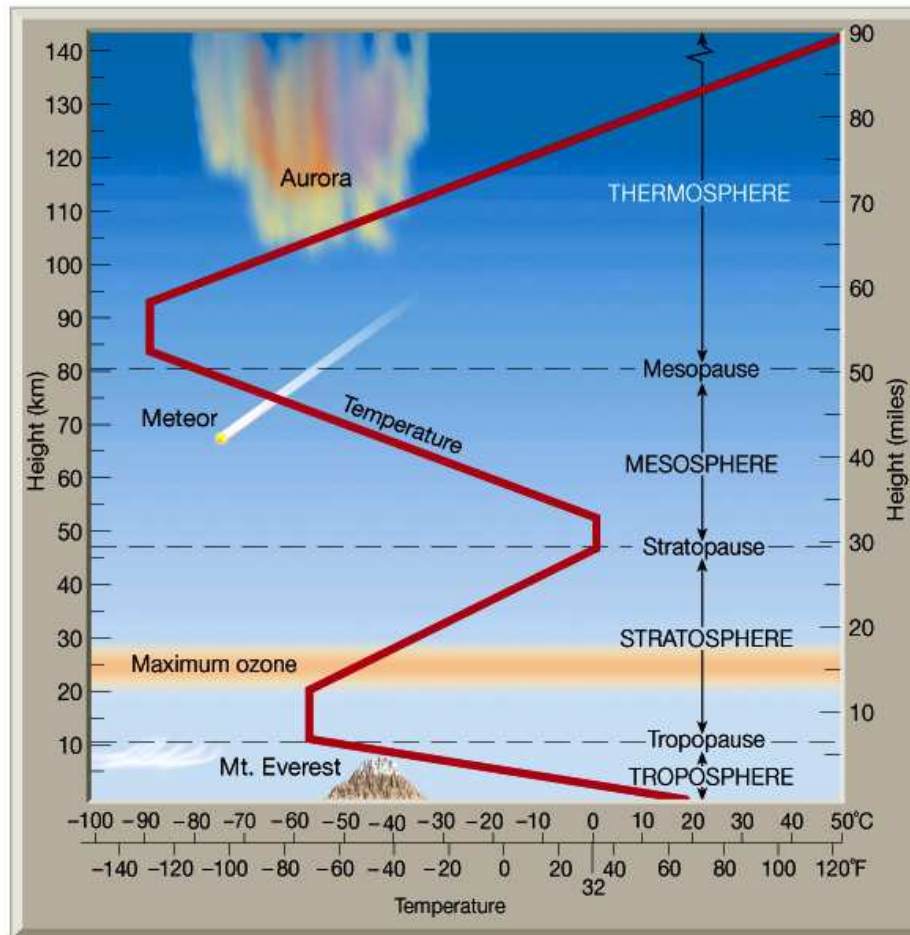
- Troposfera:

- Capa más próxima a la superficie
- Las moléculas gaseosa están bien mezcladas debido a la turbulencia y la convección: excepto para el vapor de agua que es más abundante cerca de la superficie
- La temperatura T disminuye con la altura a razón de 6.5 K/km .
- Gradiente vertical de temperatura: cambio de la temperatura con la altura
- Fenómenos meteorológicos



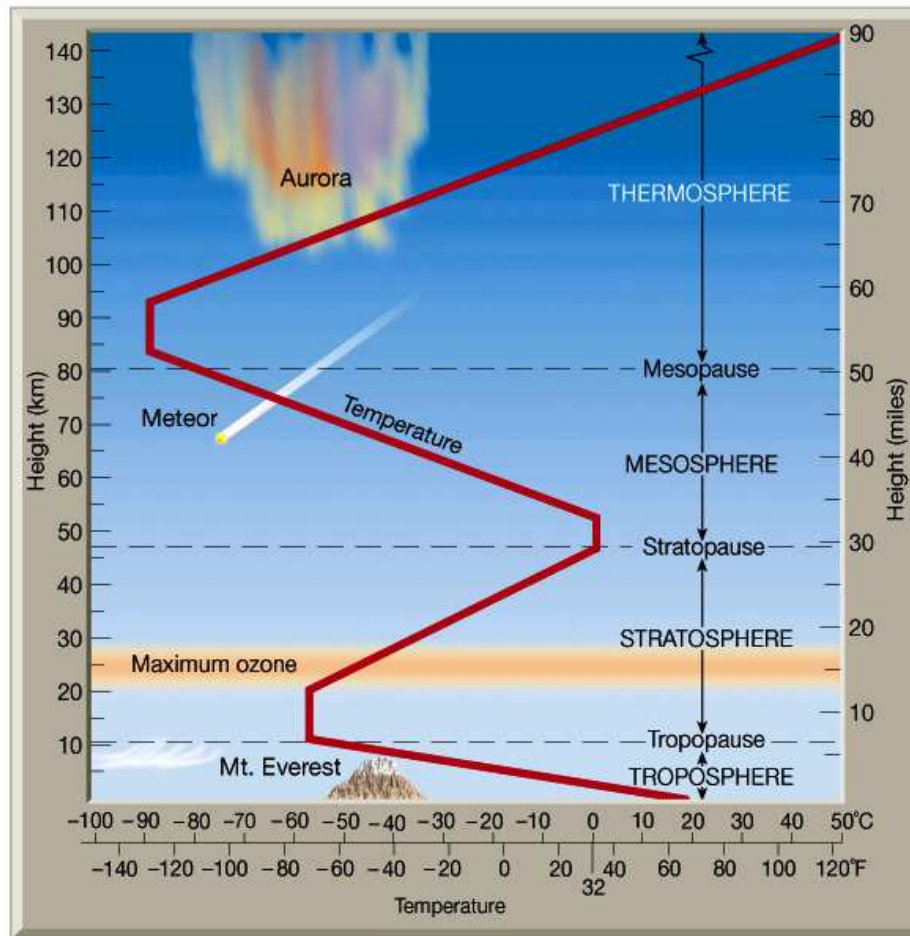
Estructura térmica de la Atmósfera

Tropopausa:



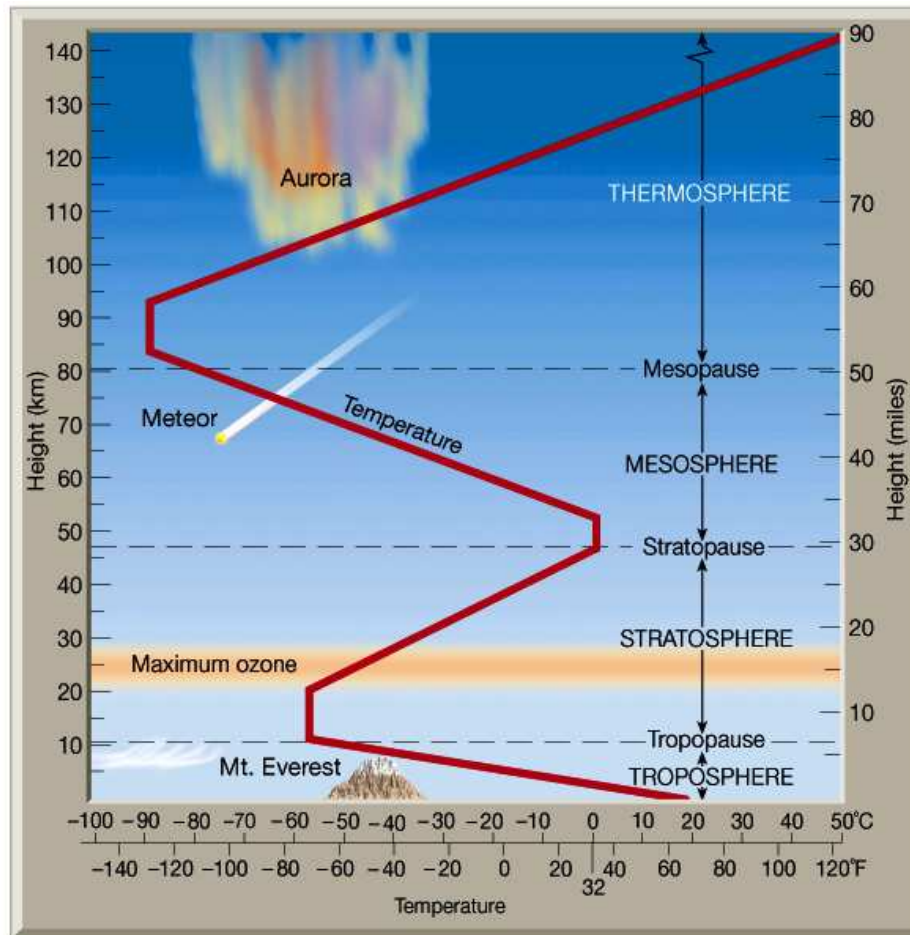
- Límite superior de la troposfera
- Isoterma (T constante)
- Localizada entre 8-15 km por encima de la superficie.
- La troposfera es más gruesa en los trópicos donde el aire es más caliente.
- La troposfera es más delgada en las frías regiones polares.
- En una región dada la troposfera es más gruesa en verano y más delgada en invierno.

Estructura térmica de la Atmósfera



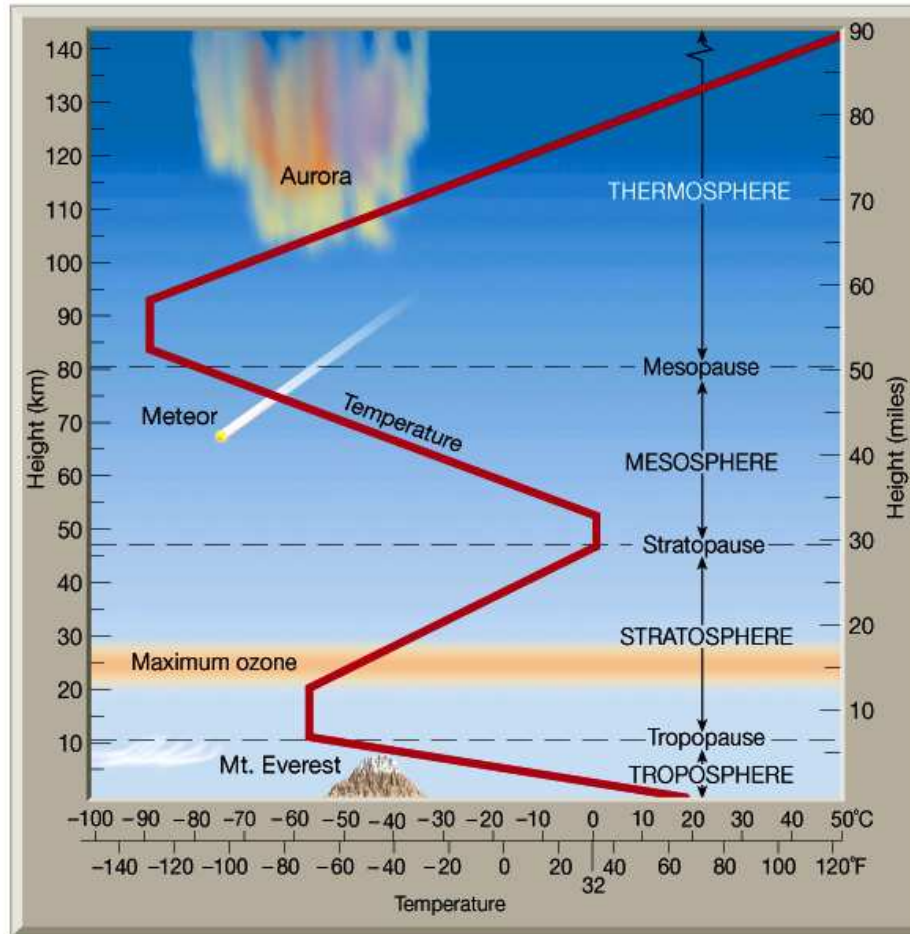
- Excepto en casos con inversión térmica la temperatura siempre disminuye con la altura en la baja troposfera.
- **El gradiente geométrico de temperaturas** es la razón de disminución de la temperatura con la altura

Estructura térmica de la Atmósfera



- Estratosfera:
 - Desde ~10 a ~50 km
 - Capa de O₃ a 25 km;
 - El ozono absorbe la radiación UV solar, aumentando la energía interna de la capa y siendo responsable del aumento de la temperatura con la altura en la estratosfera.
 - La temperatura media alcanza -2.5°C a 50 km
 - La atmósfera es muy estable.
- Estratopausa: T=const
 - Alrededor de los 50 km

Estructura térmica de la Atmósfera

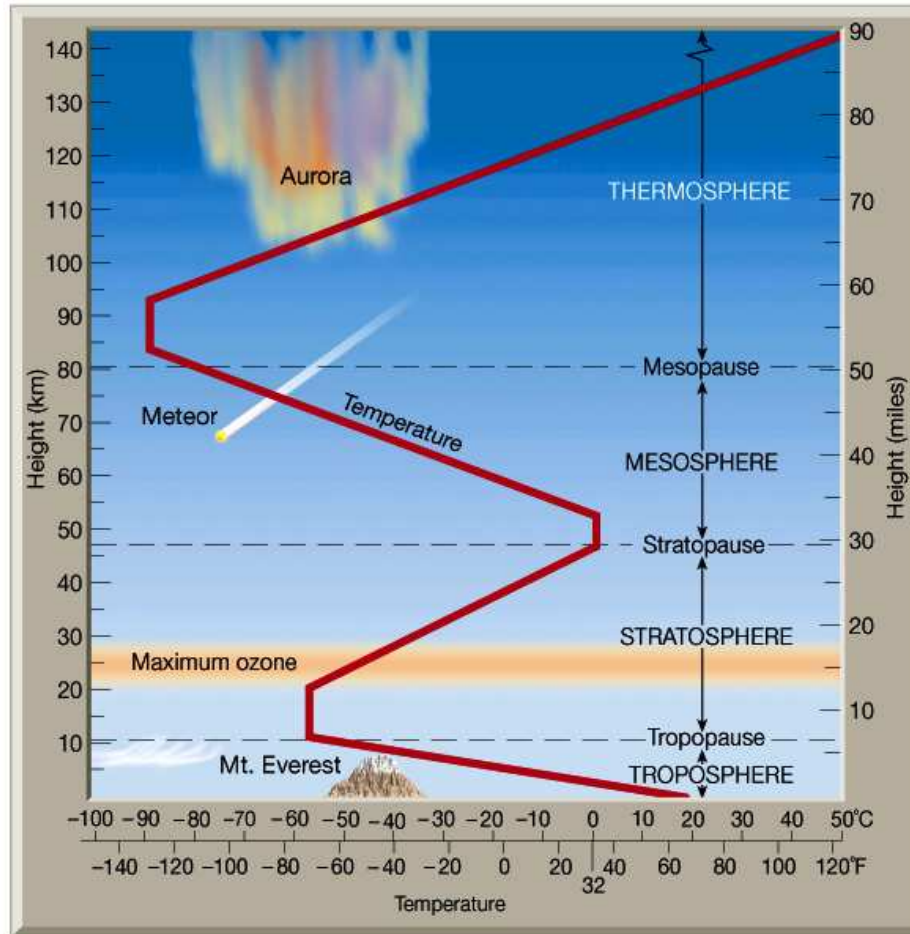


- Mesosfera:
 - De ~50 a ~80 km
 - T disminuye: enfriamiento efectivo mediante emisión en IR.
- Mesopausa:
 - La región más fría de la Tierra (~-90°C)
 - Alrededor de 80 km
- Termosfera:
 - Rápido incremento de T.
 - Separación difusiva de gases.

Estructura térmica de la Atmósfera

Termosfera:

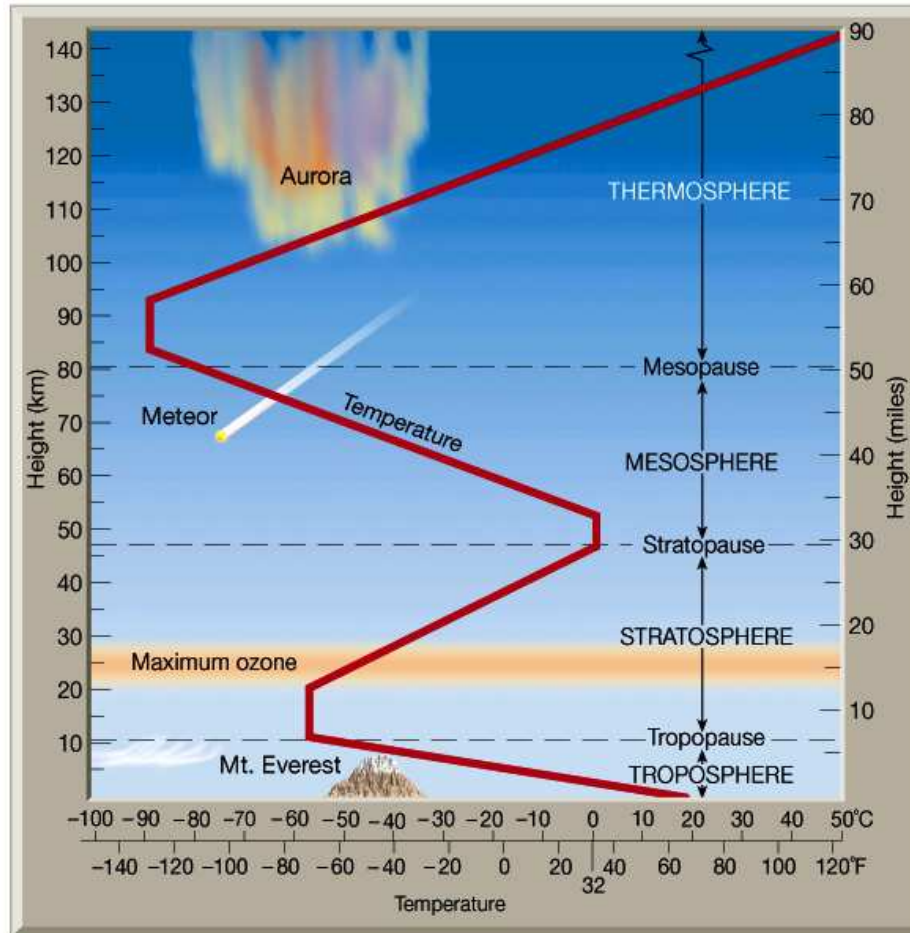
- Rápido aumento de T.
- Separación difusiva de gases.
- Está sobre la mesosfera
- La temperatura aumenta normalmente con la altura
- Sin embargo, no hay muchas moléculas a estas alturas
- Esto hace difícil realizar una medida precisa de la temperatura
- En esta región se producen fenómenos meteorológicos tales como las auroras borerales.



Estructura térmica de la Atmósfera

Cima de la atmósfera:

- No hay una cima real de la atmósfera
- La densidad disminuye gradualmente hasta que alcanzamos el espacio exterior
- Hay algunas moléculas gaseosas que escapan de la atmósfera
- La densidad y la presión nunca se anulan.



Capas Atmosféricas

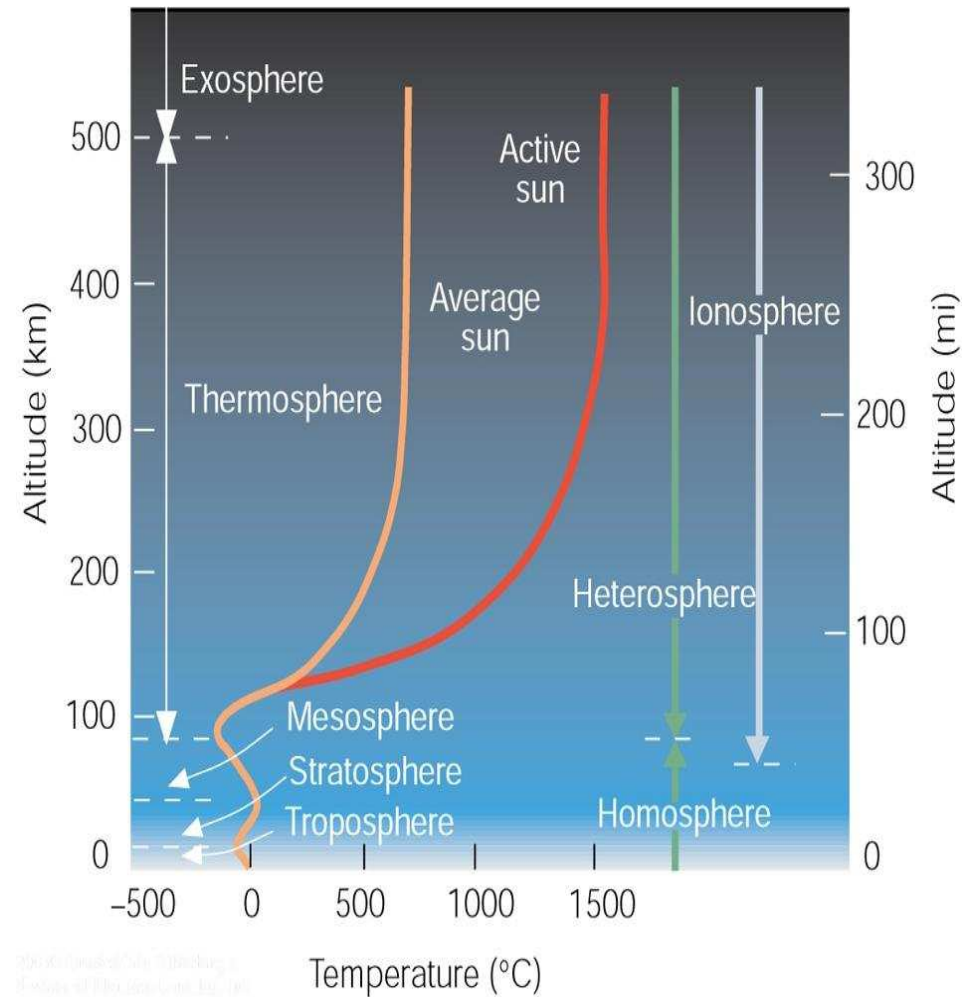
- Mezcla:

- Homosfera:

- Bien mezclada,
 - Composición química constante.

- Heterosfera:

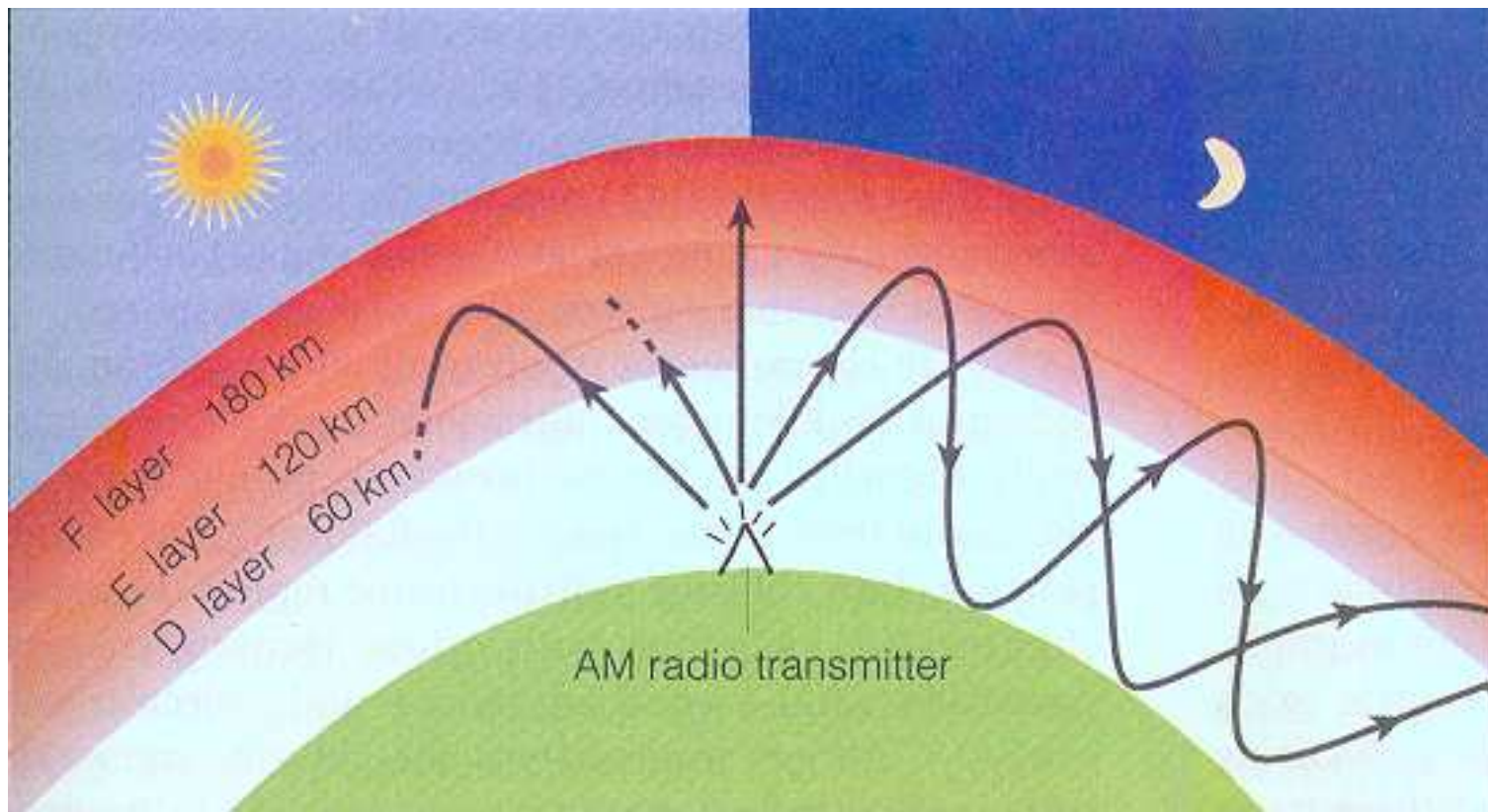
- Ausencia de turbulencia y de procesos de mezcla,
 - Separación difusiva de gases



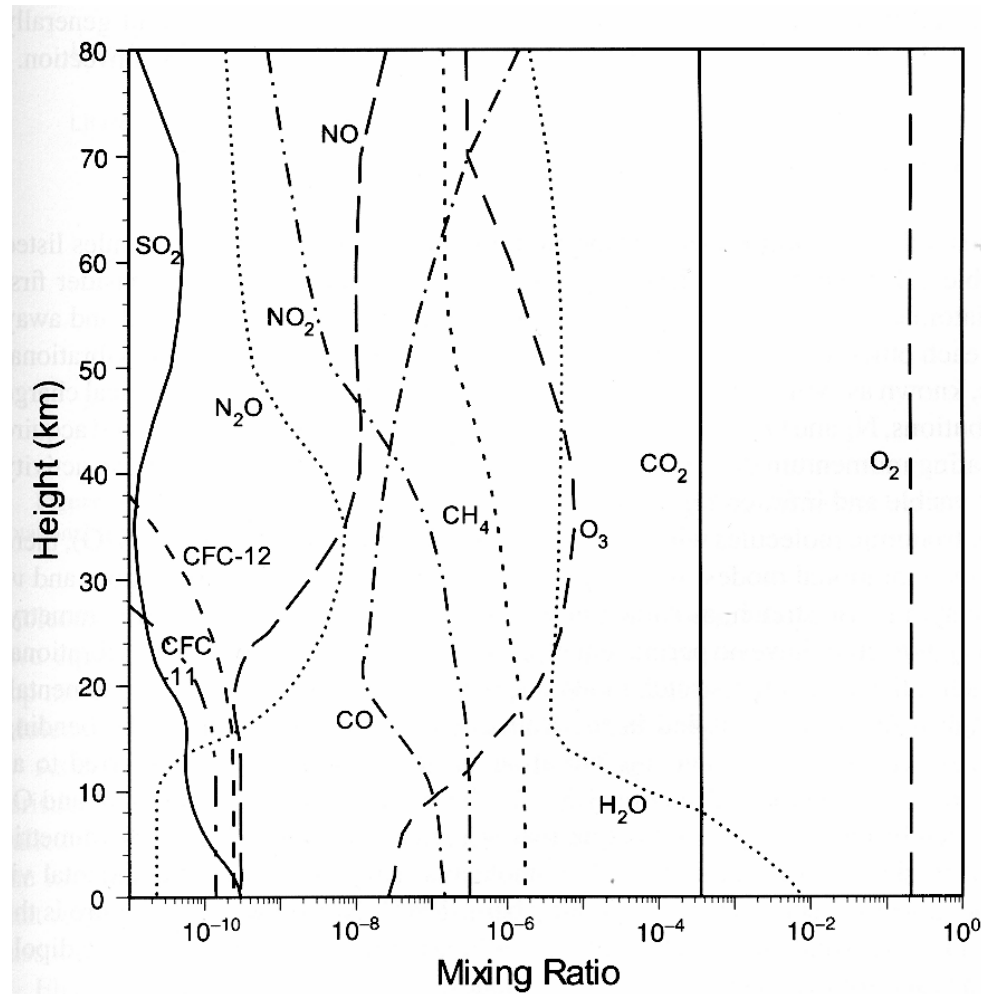
Capas Atmosféricas

- Ionización:

- Ionosfera: parte de los gases atmosféricos se ionizan mediante fotoionización o ionización por impacto.



Perfiles verticales de los gases atmosféricos

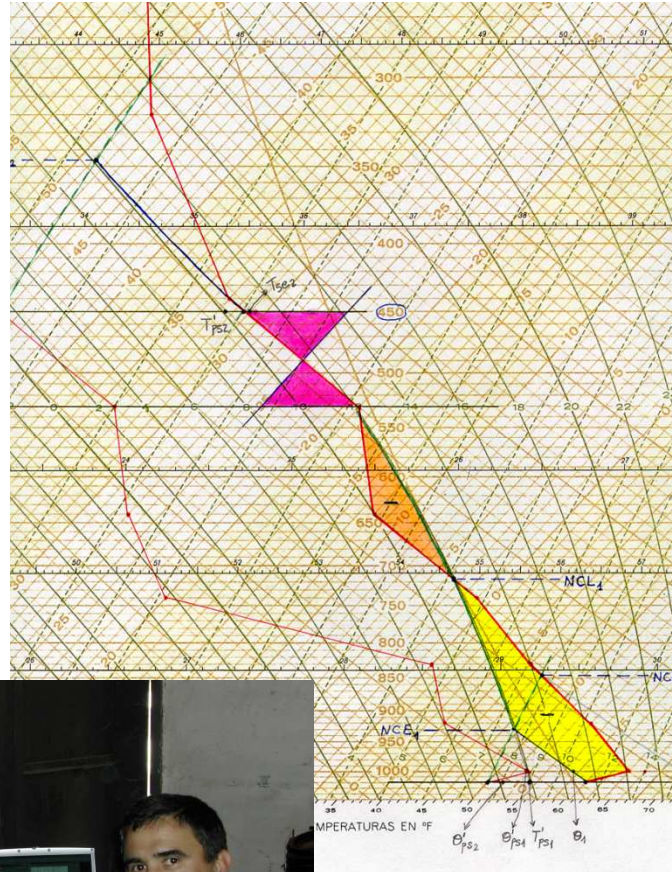


Razón de mezcla : masa de un gas dado sobre la masa de aire

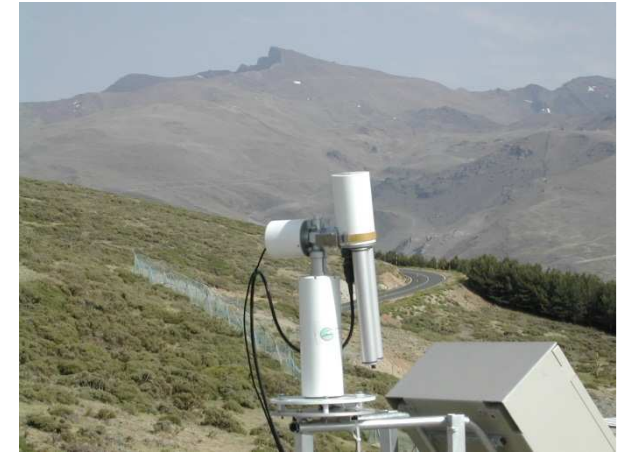
TEMA 1. INTRODUCCIÓN

- **Introducción**
- **Tiempo y Clima. Meteorología y Climatología.**
- **Atmósfera Terrestre**
 - **Composición**
 - **Estructura Térmica. Gradiente geométrico de temperatura.**
 - **Clasificación de las capas atmosféricas.**
- **Observaciones Meteorológicas.**

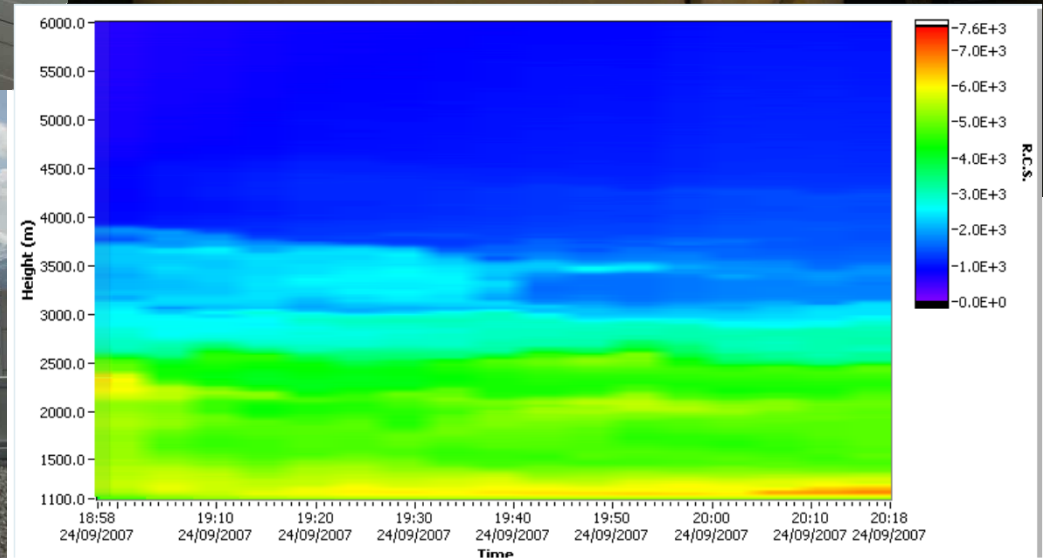
OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS



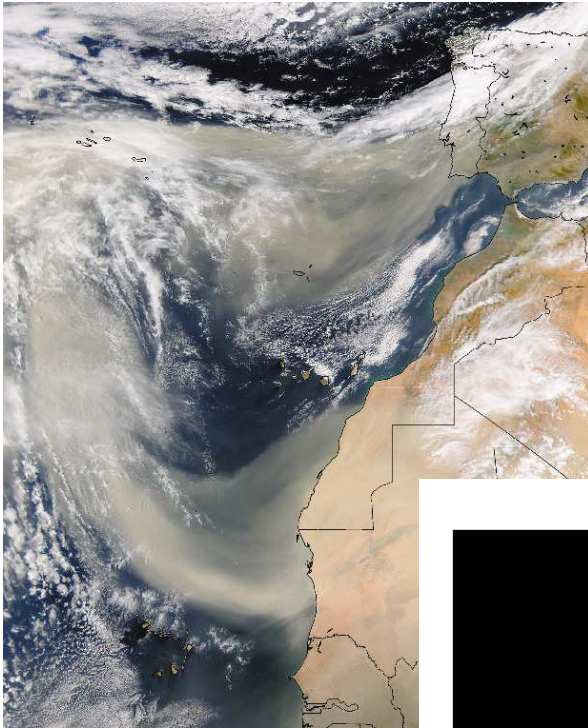
OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS



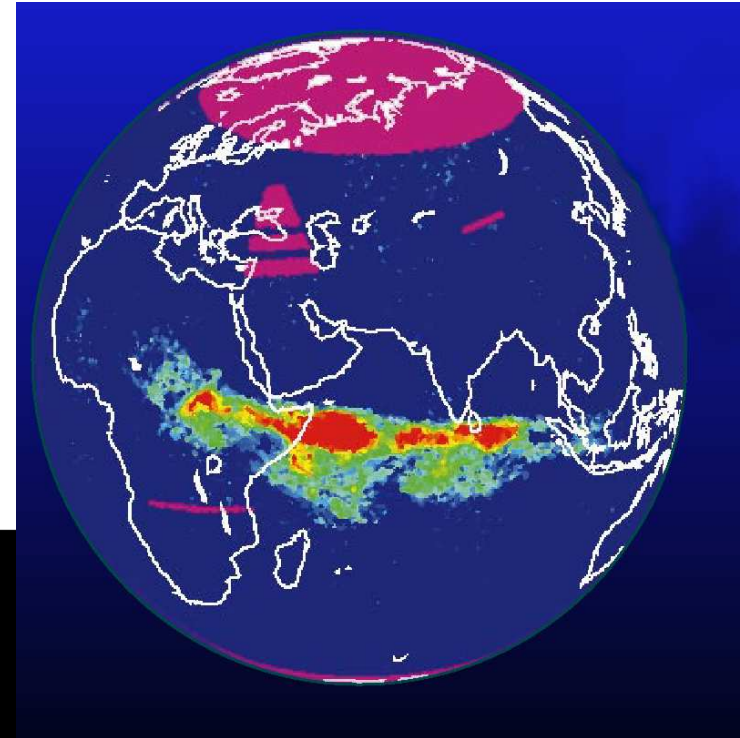
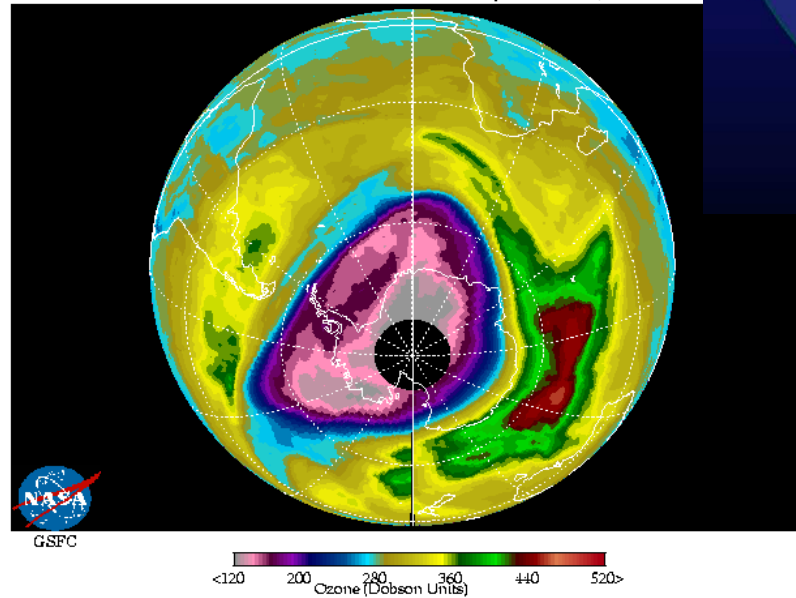
OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS



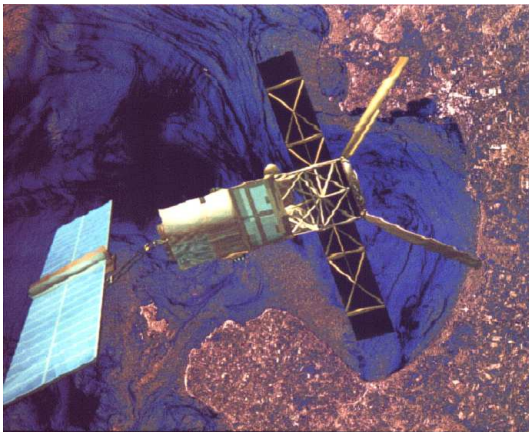
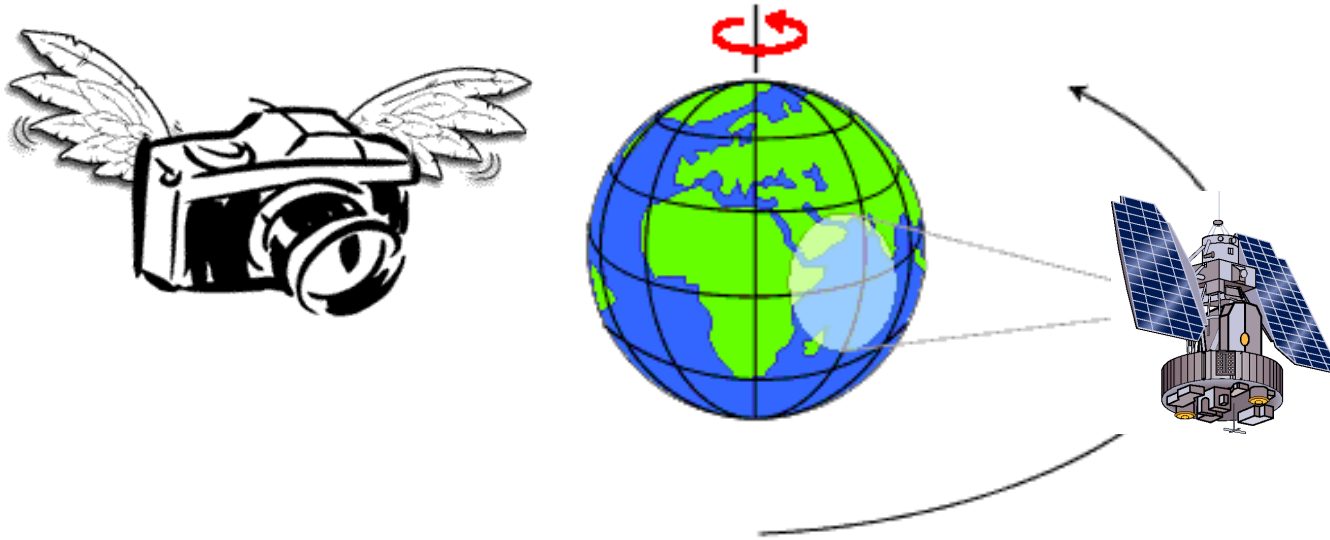
OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS



Earth Probe TOMS Total Ozone September 16, 2000



OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS



OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS

