

GF3003

Introducción a la Meteorología y
Oceanografía

Ciencias Atmosféricas

Laura Gallardo Klenner

Departamento de Geofísica de la
Universidad de Chile

Primavera 2010

HOY

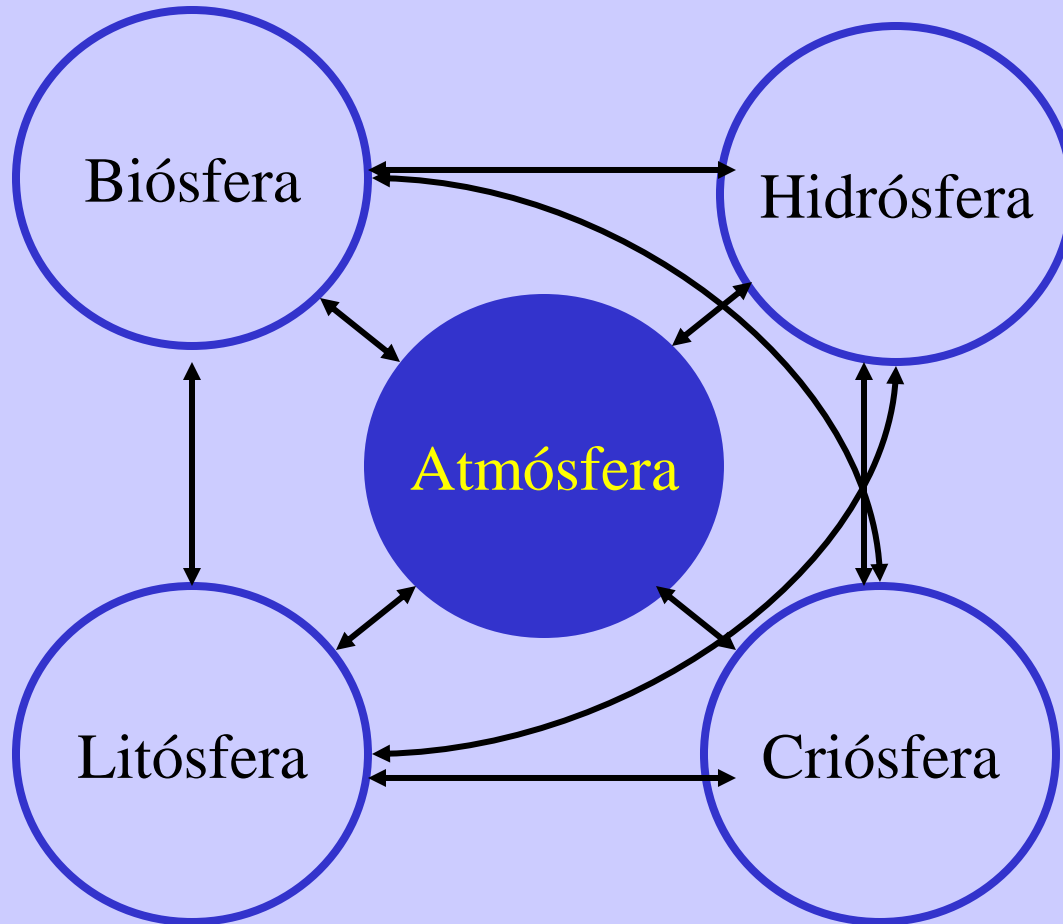
- *Antropoceno*
- Estratificación termodinámica y composición de la atmósfera
- Ecuación de estado termodinámico
- Balance hidrostático
- Ecuación hipsométrica

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

- **Reconocer y describir forzantes climáticas antrópicas**
- **Describir y explicar la estratificación termodinámica de la atmósfera**
- **Describir los términos y resolver problemas usando la ecuación hipsométrica**



Interacciones y cambios...



Μετεωρολογψ

“Ahora consideremos la región que queda segunda bajo la celestial y primera sobre la Tierra. Esta región es la provincia conjunta del agua y el aire”

Aristóteles



LGK 2010

Una envoltante, mayoritariamente gaseosa, muy tenue

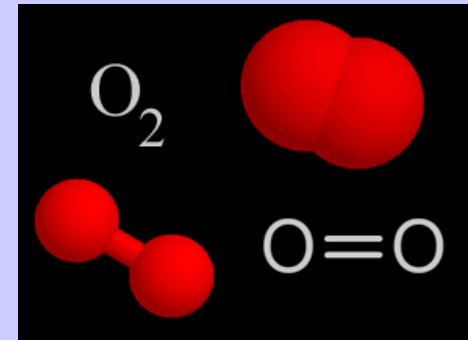
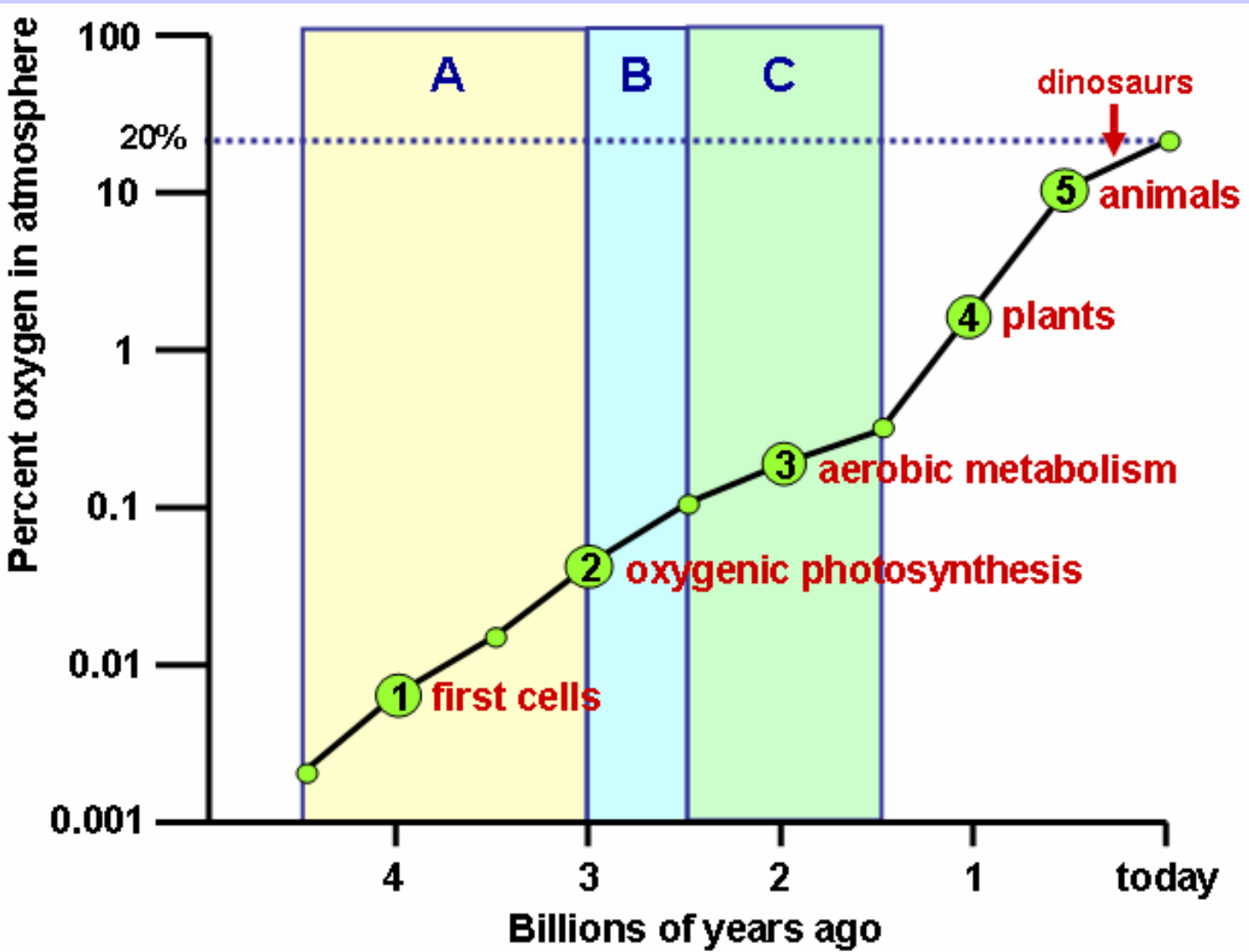


El espesor del fluido atmosférico ~100 km

Contando la capa ionizada ~600 km

Se compara con ~6300 km de radio terrestre

Sabemos que tiene oxígeno molecular



Descubrimiento del oxígeno atmosférico

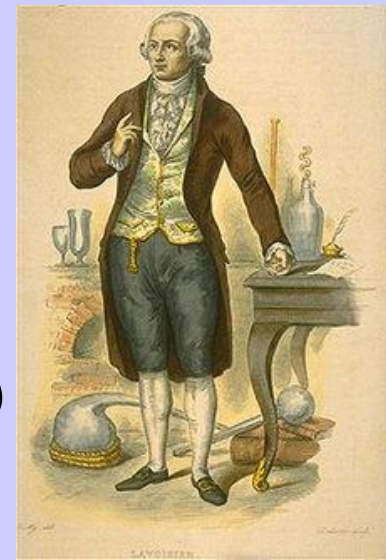
Carl Wilhem Scheele ~1772



Joseph Priestly ~1774



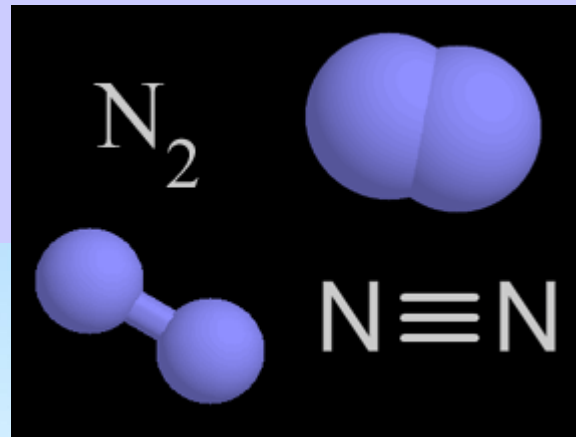
Antoine Lavoisier ~1775 (οξψγενο=formador de ácido)



LGK 2010

Ver: <http://www.juliantrubin.com/bigten/oxygenexperiments.html>

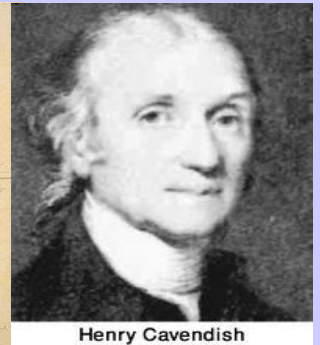
El compuesto más común
(4/5~80%): nitrógeno molecular



Descubrimiento del nitrógeno atmosférico

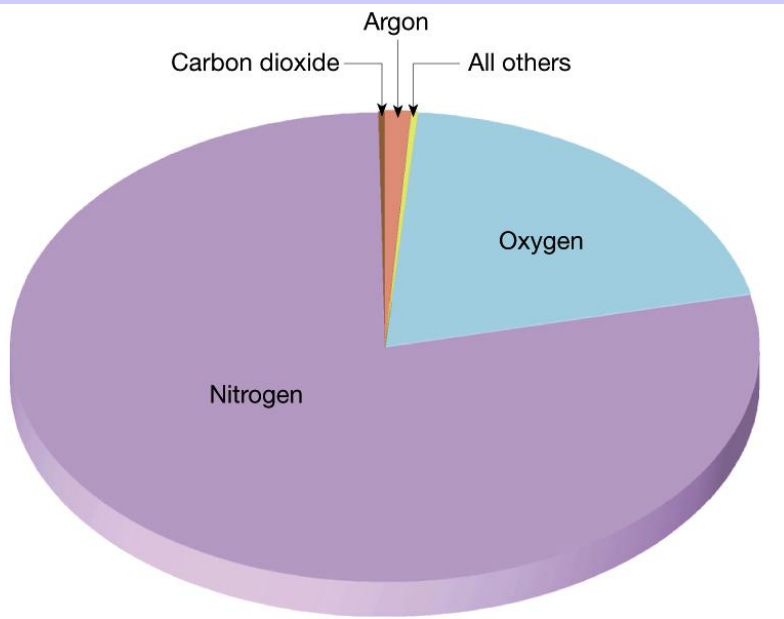


Daniel Rutherford ~1772



<http://www.historyoftheuniverse.com/nitrogen.html>

Composición mayoritaria de la atmósfera

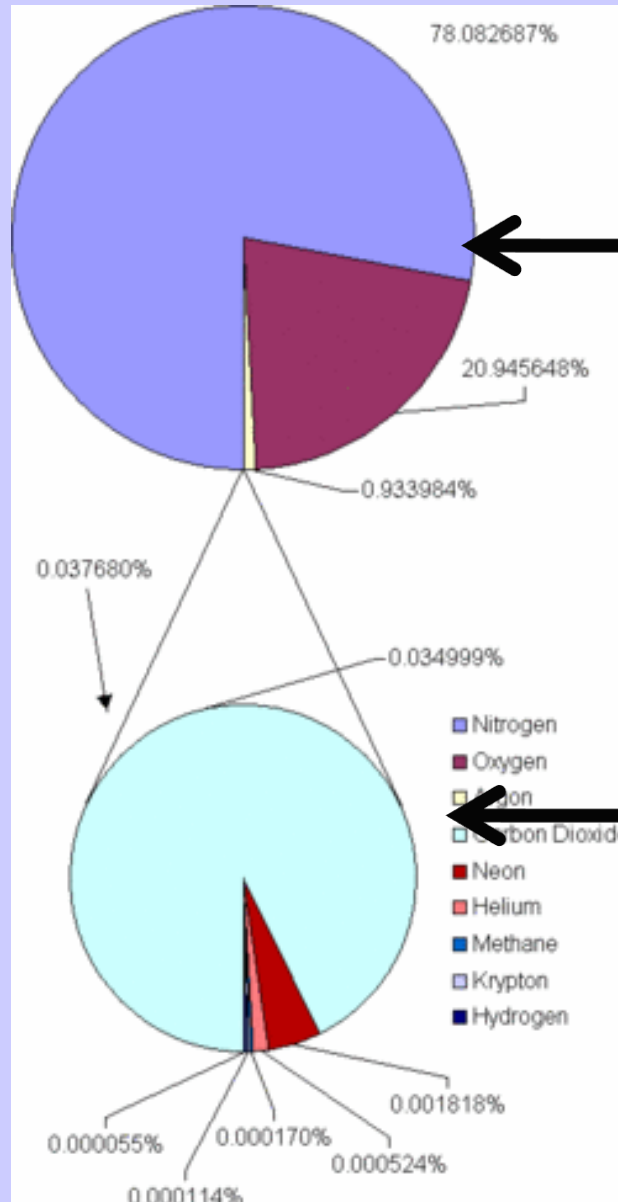


2 Principal gases of dry air

Component	Percent by Volume	Concentration in Parts Per Million (PPM)
N ₂)	78.084	780,840.0
Oxygen (O ₂)	20.946	209,460.0
Argon (Ar)	0.934	9,340.0
Carbon dioxide (CO ₂)	0.036	360.0
Neon (Ne)	0.00182	18.2
Helium (He)	0.000524	5.24
Methane (CH ₄)	0.00015	1.5
Krypton (Kr)	0.000114	1.14
Hydrogen (H ₂)	0.00005	0.5

LGK 2010

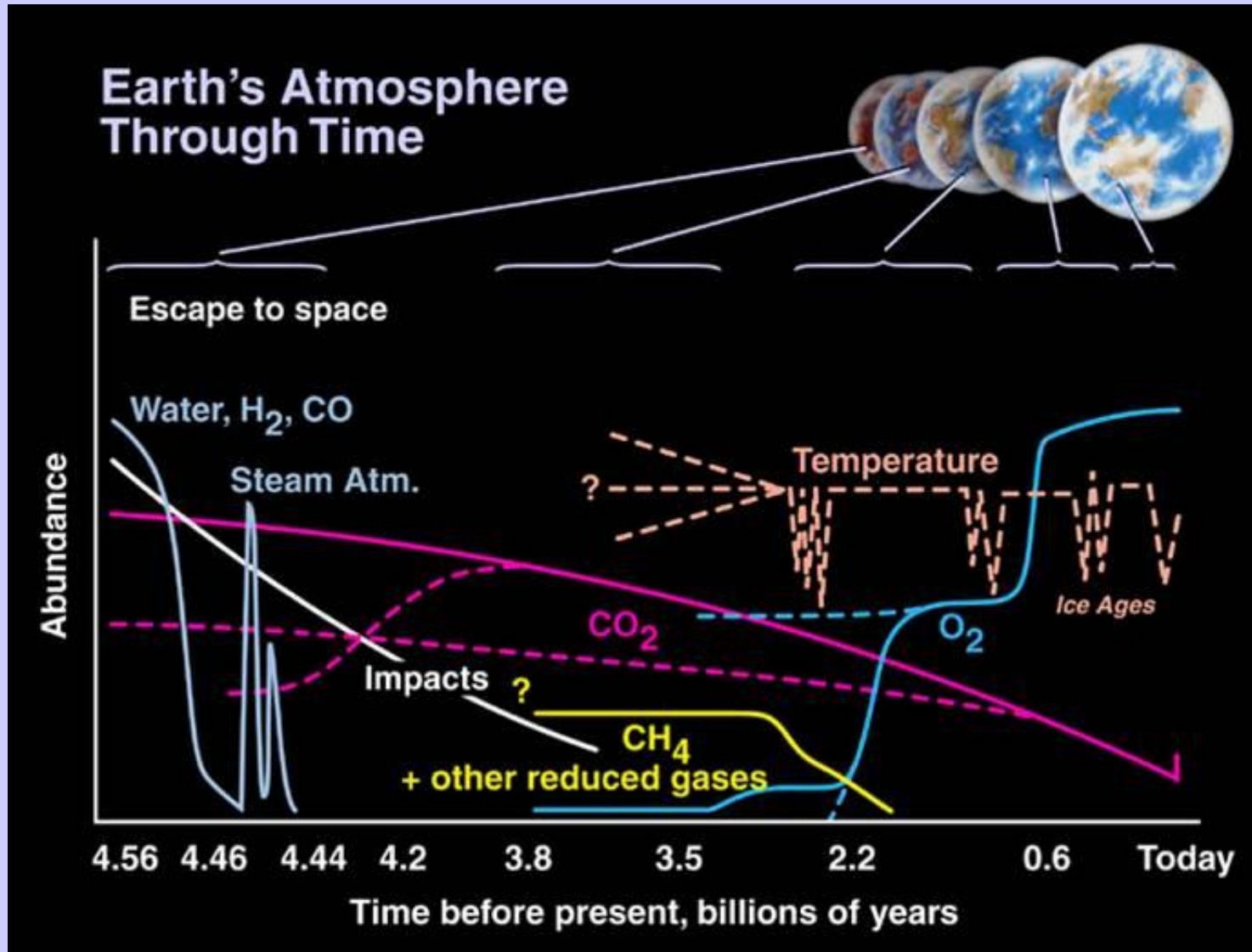
Otra manera de ver lo mismo



Definen las propiedades del fluido en términos de masa

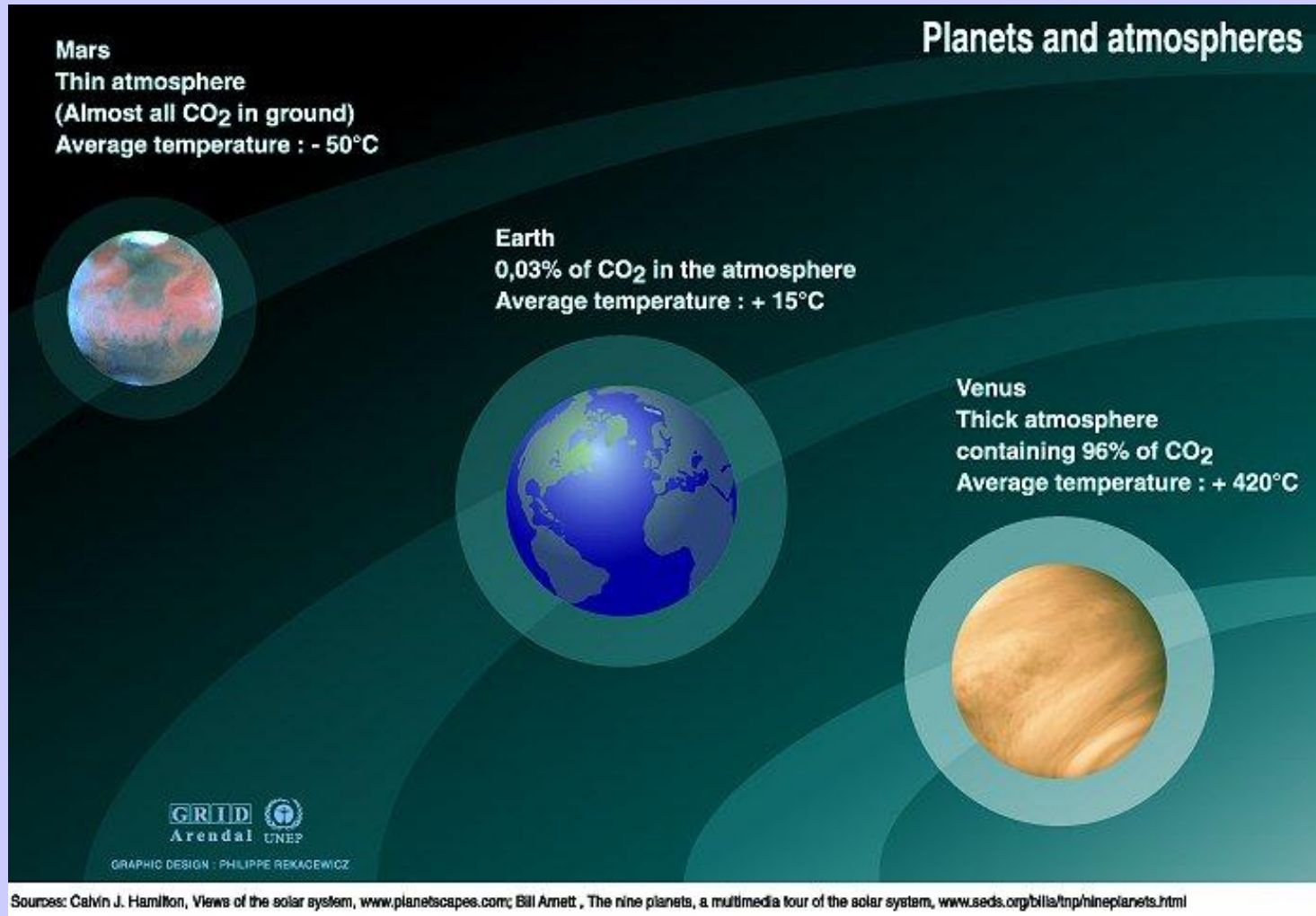
Definen las propiedades del fluido en términos de química, biología, etc...y de energía

No siempre ha sido la misma composición



LGK 2010

Las atmósferas difieren según **biogeoquímica**



LGK 2010

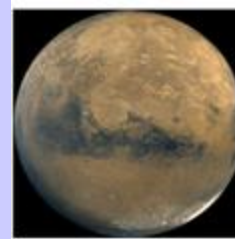
<http://www.jameslovelock.org/page19.html>



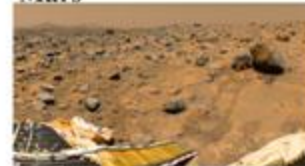
Venus



Earth



Mars

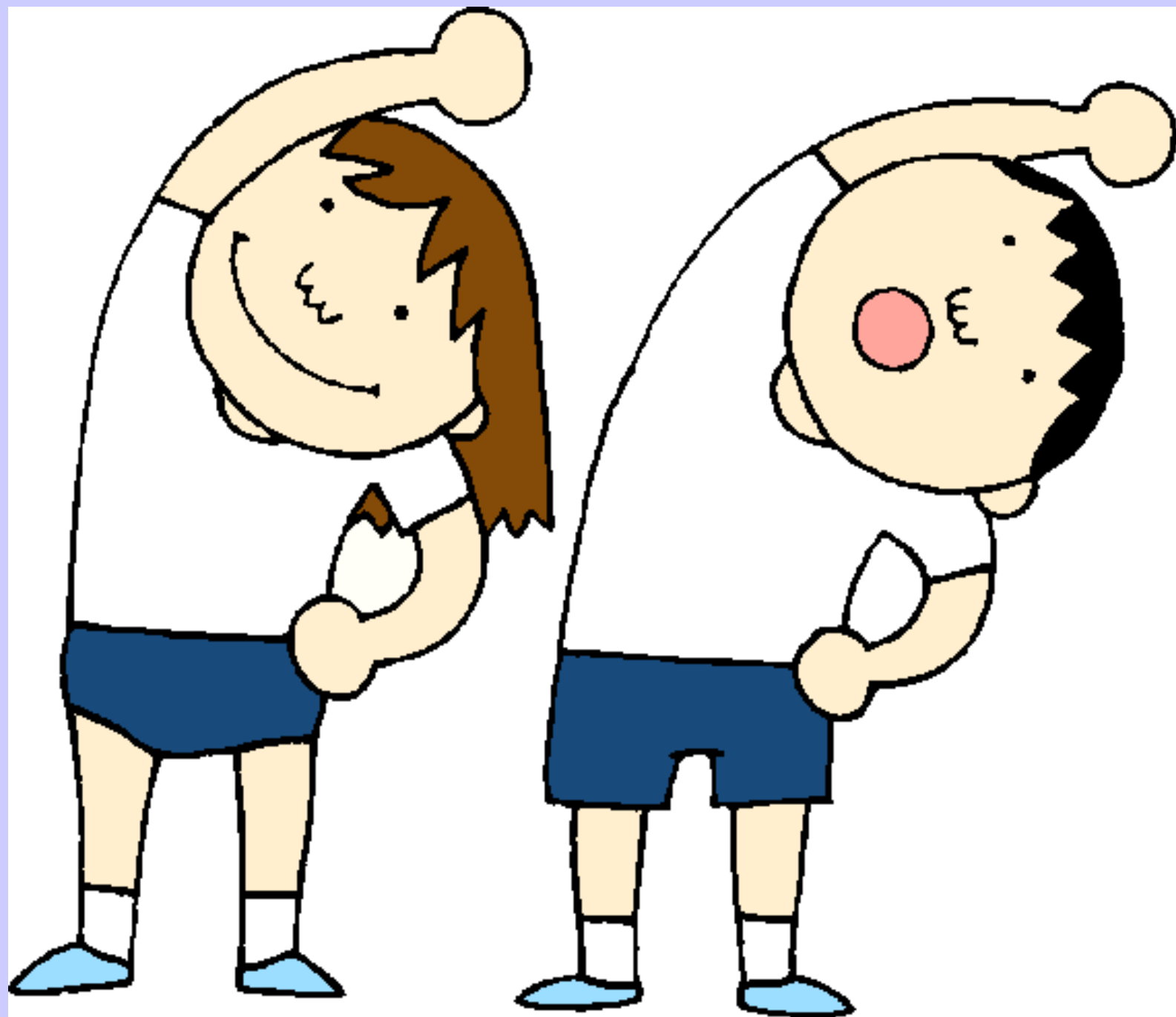


<i>Planet</i>	<i>Atmospheric Pressure</i>	<i>Chemical Composition of Atmosphere (%)</i>			
		N_2	O_2	H_2O	CO_2
Venus	92 atm	<2	<0.001	0.0001-0.3	>98
Earth	1 atm	78	21	0.0001-4	0.035
Mars	0.006 atm	2.5	<0.25	<0.001	>96

Preguntas a contestar mientras estudian



- ¿Por qué es tan abundante el CO₂ en Venus y Marte y no en la Tierra?
- ¿Cuál es el origen del nitrógeno molecular presente en nuestra atmósfera?
- ¿Quién descubrió el CO₂ atmosférico y cómo?



Estructura termodinámica

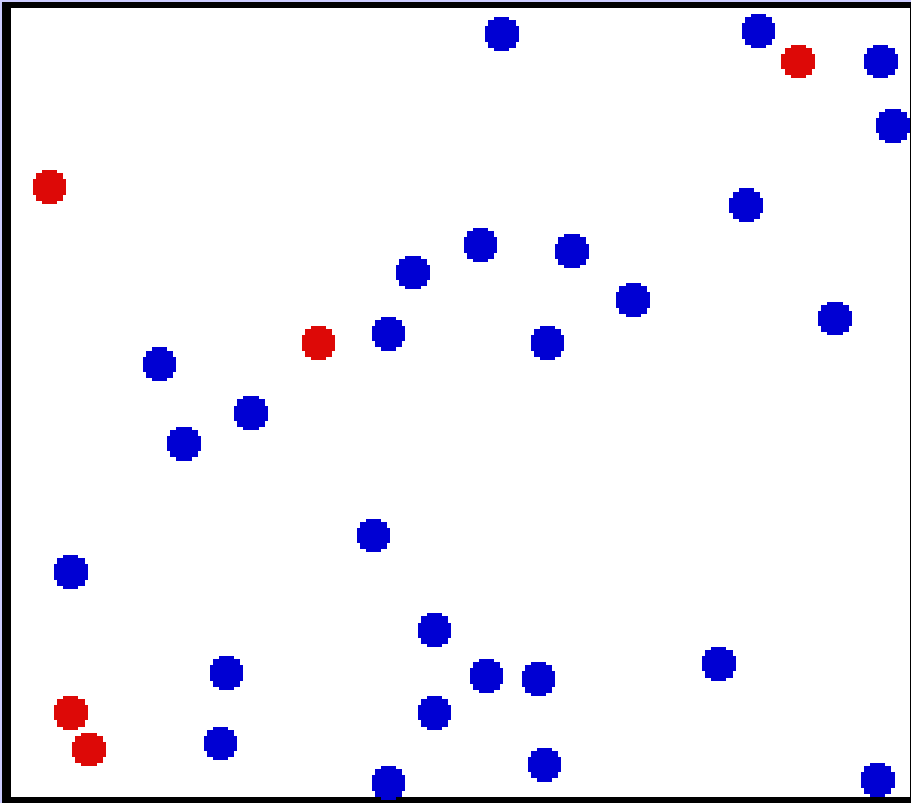


Perfil vertical de temperatura
característico de la atmósfera
terrestre

LGK 2010

<http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/layers.html>

¿Pero qué es la temperatura?



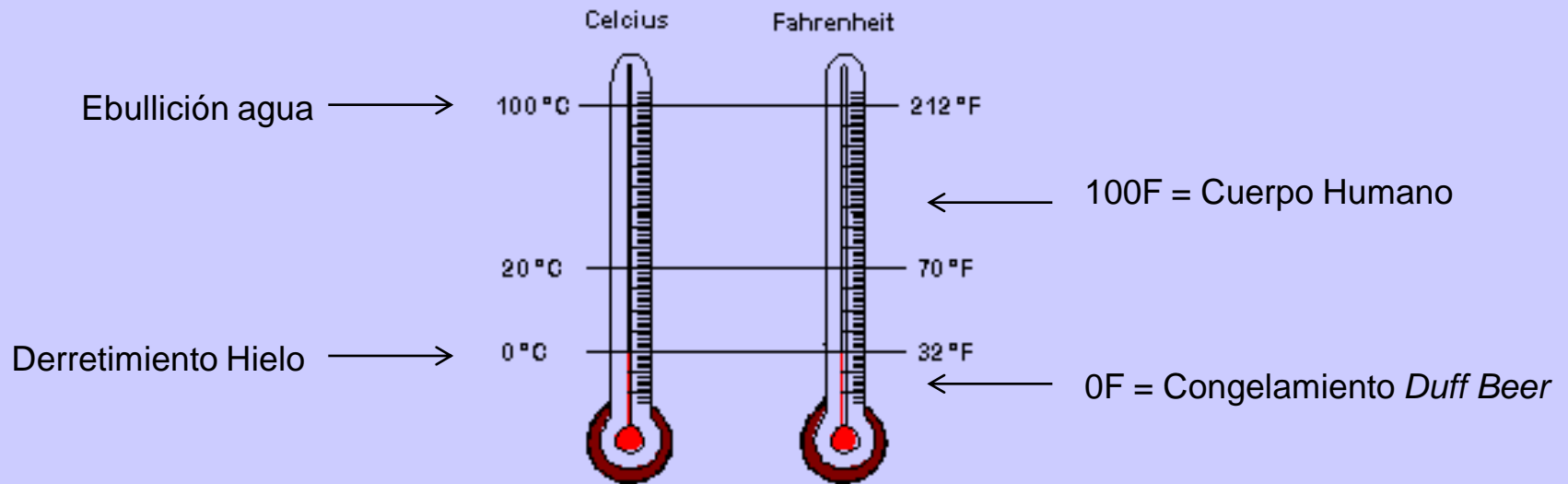
$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$$

Temperatura

Mundo Microscópico: $T = 2/(3k) * (1/2mv^2)$

Mundo macroscópico: La temperatura en tanto se asocia con el concepto de cuan caliente o frío esta un cuerpo o fluido.

Esta indicación cualitativa se cuantifica a través de los **termómetros**, que usualmente se basan en la dilatación o contracción de un material cuando cambia la temperatura.



$$T(F) = 9 * T(C) / 5 + 32 \quad T(K) = T(C) + 273$$

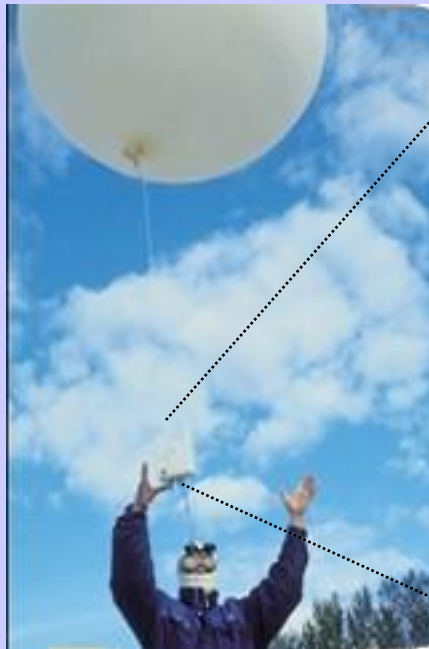
Estructura vertical de la atmósfera: $p(z)$, $T(z)$, $\mu(z)$

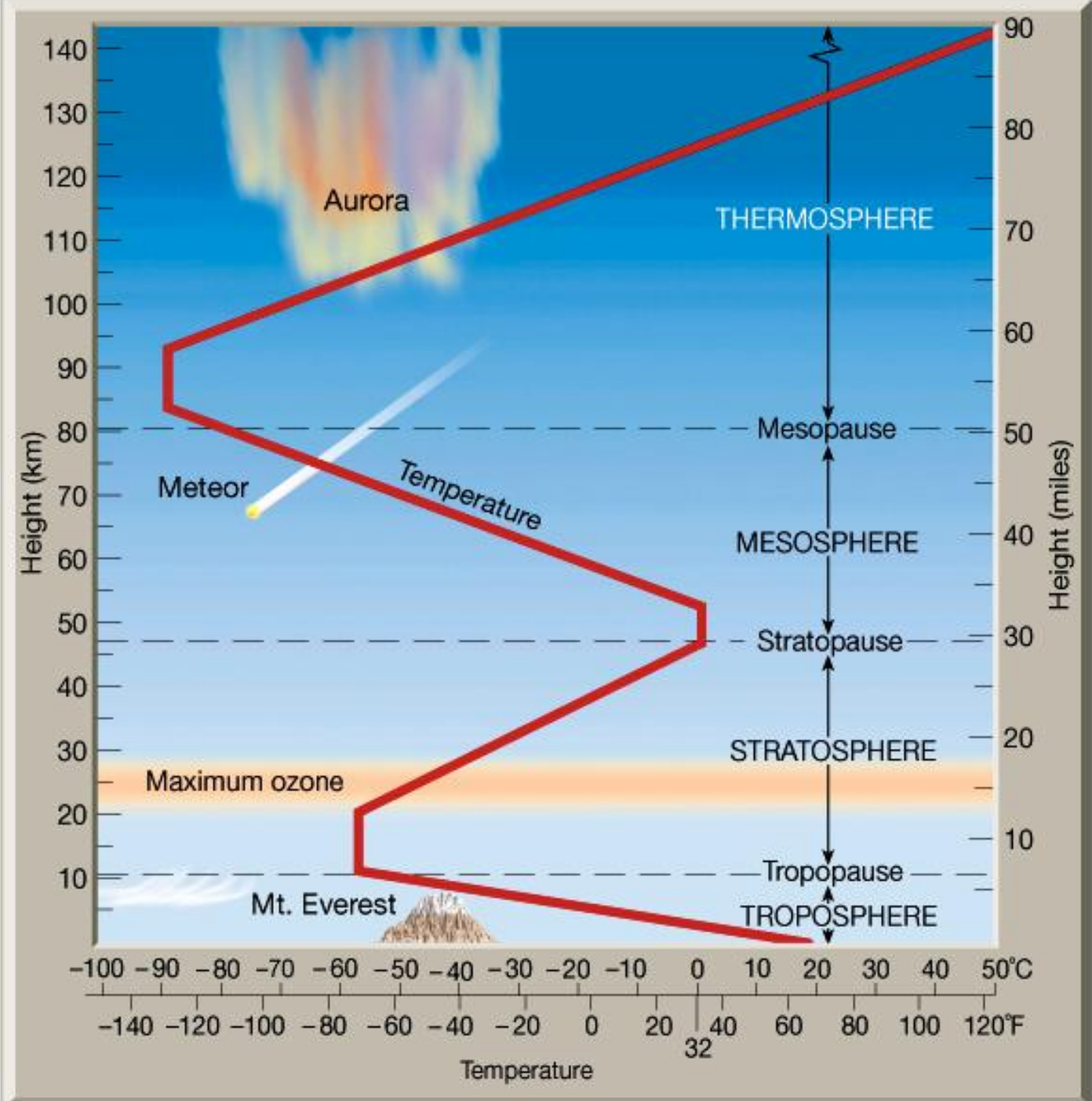
¿Cómo conocemos $T(z)$?

1830-1920: Mediciones hasta 10-12 km mediante Globos Aerostáticos

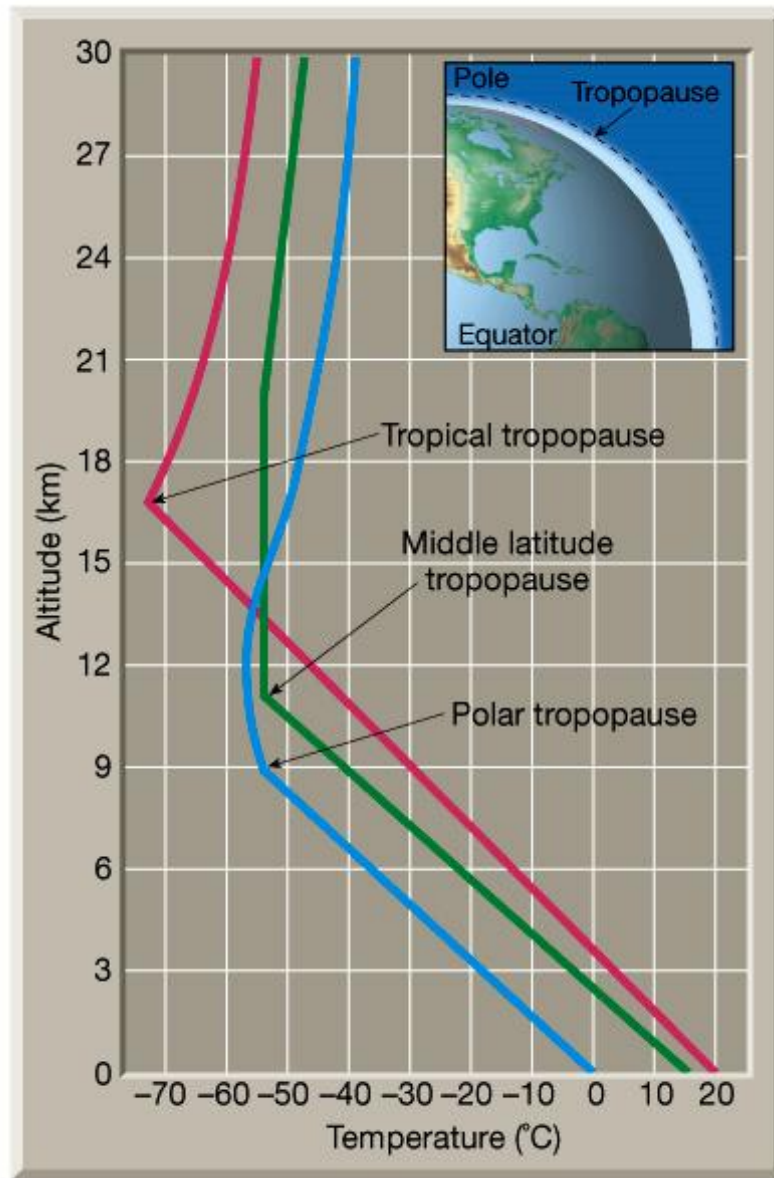
1920: Invención del radiosonda (hasta 40 km)

1950: Invención del Cohete-sonda (hasta 80 km)



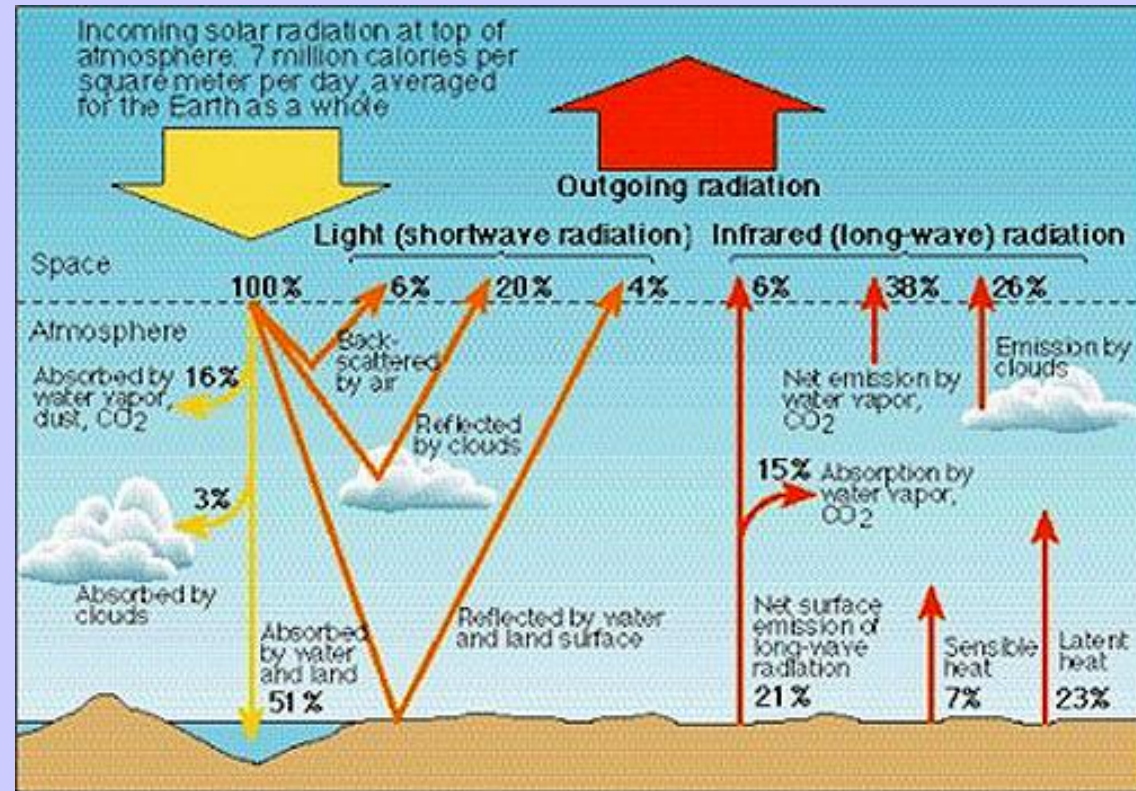


Los niveles NO son fijos



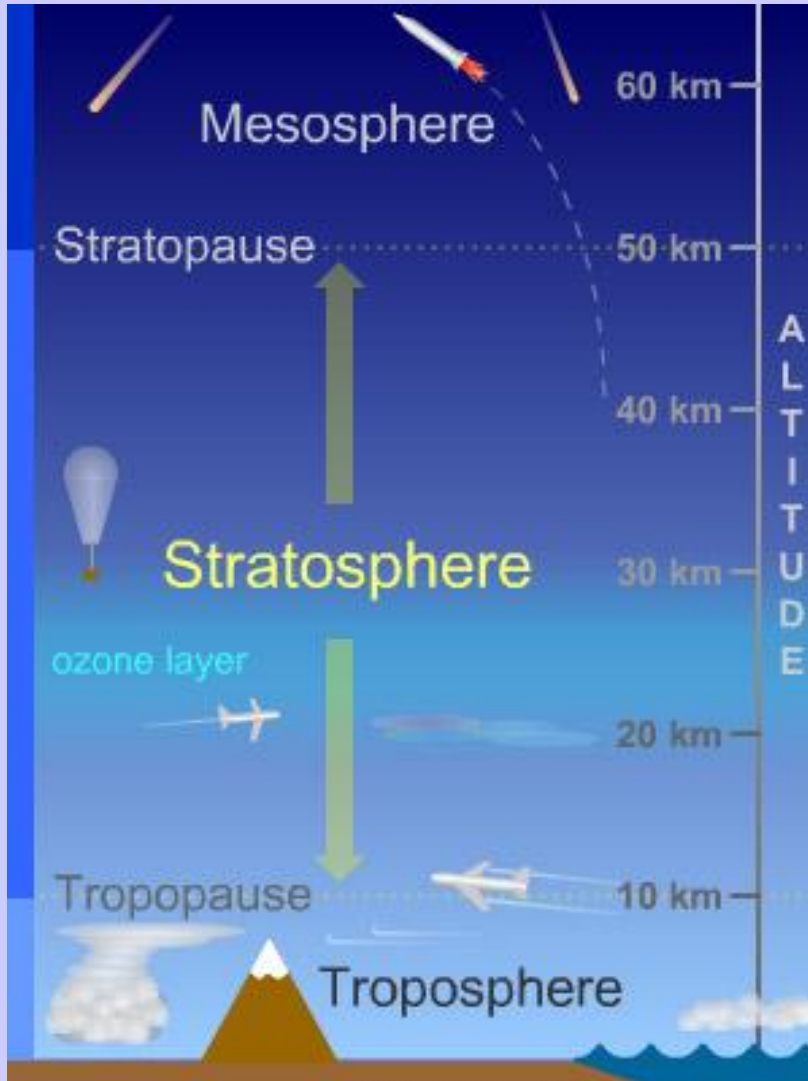
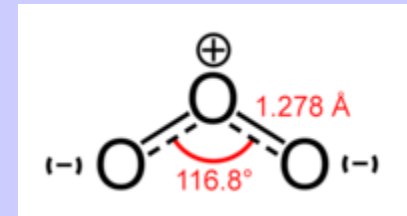
¿Por qué desciende generalmente la temperatura en la tropósfera?

- La tropósfera, que contiene el 75% de la masa atmosférica, es calentada desde abajo (el sol calienta la superficie)
- La condición es termodinámicamente inestable (aire caliente por debajo de aire frío)



del griego τροπος (*tropos* = girar) y σφαιρα (*sphaira* = esfera).

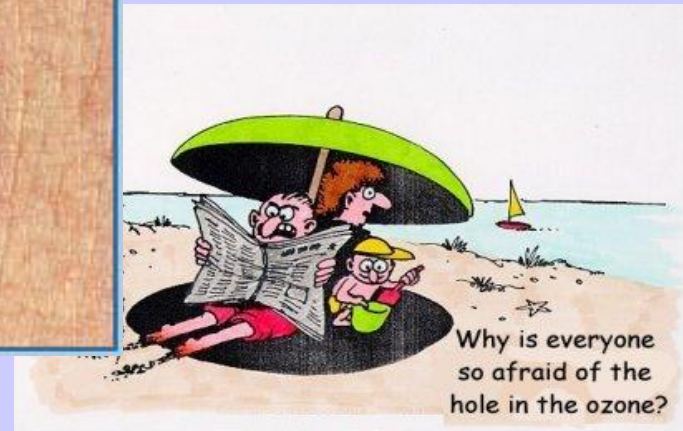
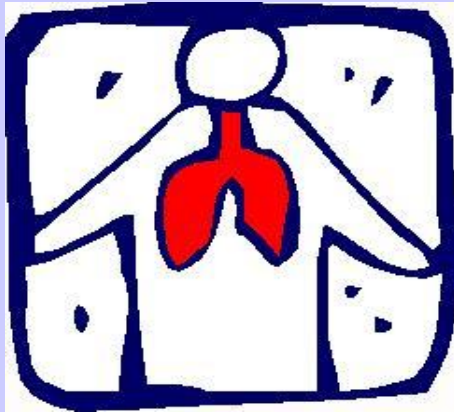
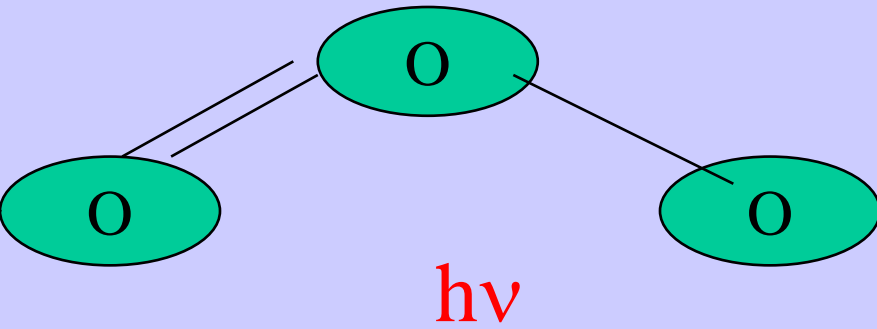
¿Por qué aumenta en la estratósfera?

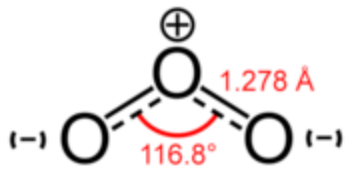


Nube estratosférica polar

Ozono (οζειν=olor)

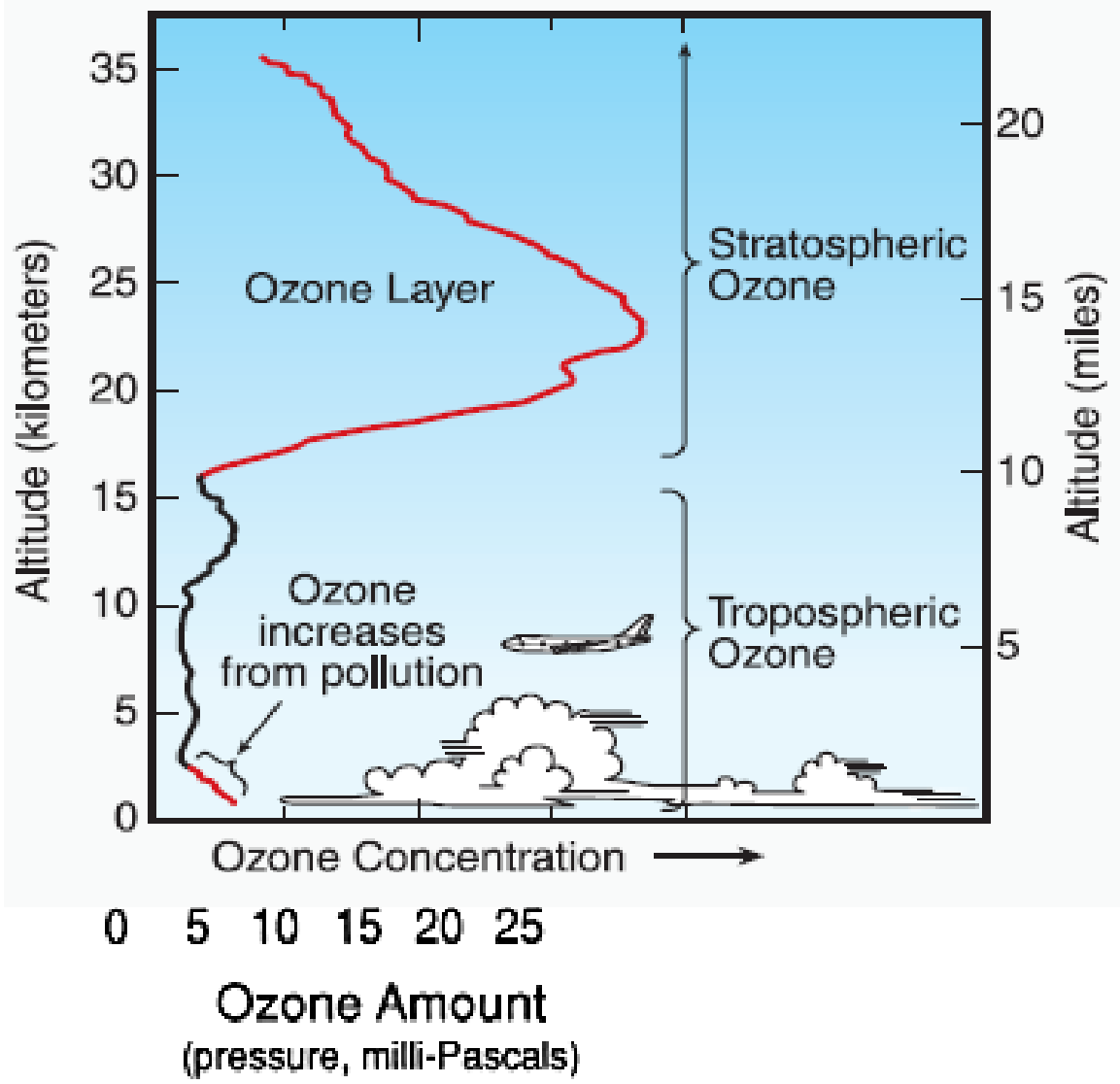
$h\nu$





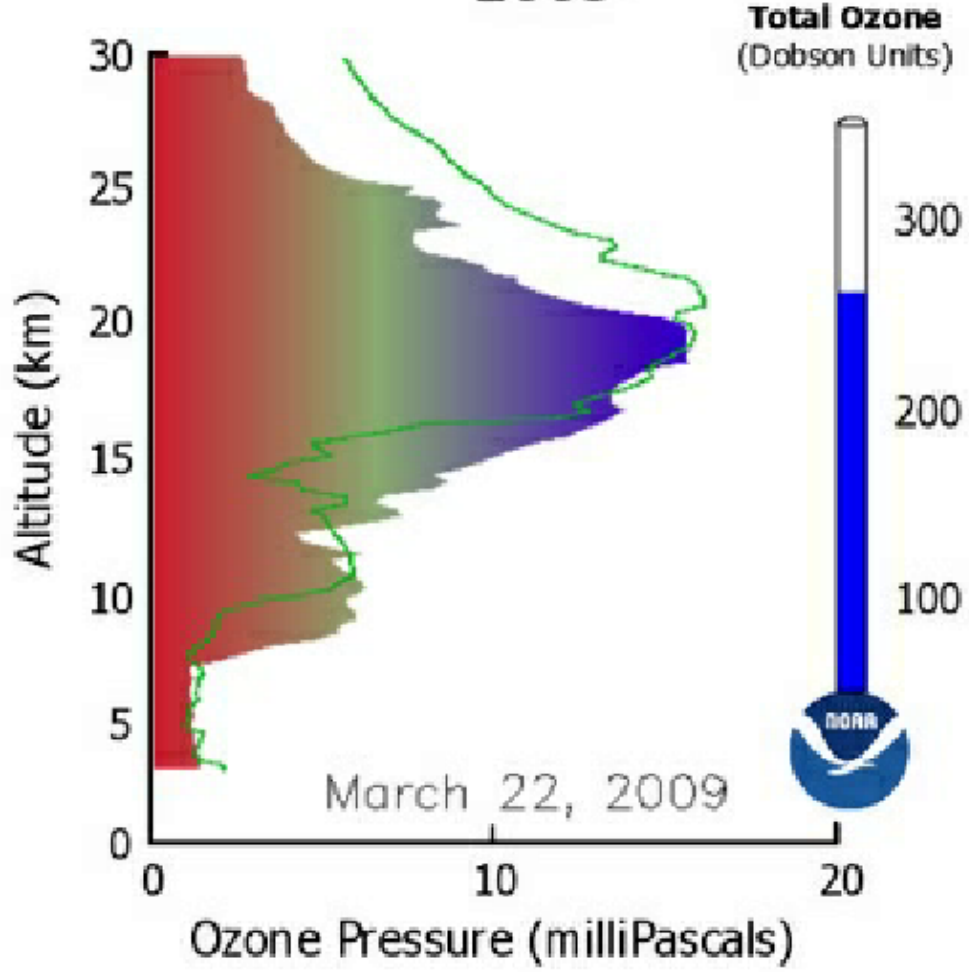
¿Dónde está el ozono?

Ozone in the Atmosphere

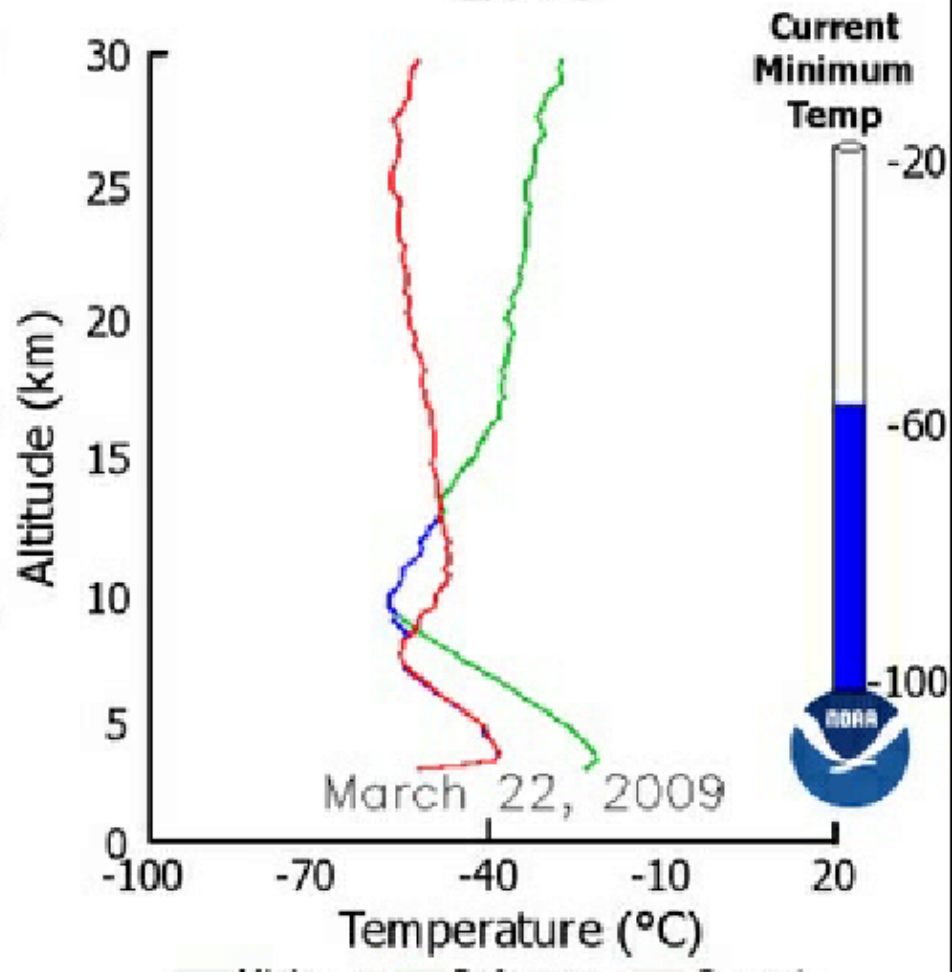


- | | |
|----|---|
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> • Contains 90% of Atmospheric Ozone • Beneficial Role: Acts as Primary UV Radiation Shield • Current Issues: <ul style="list-style-type: none"> – Long-term Global Downward Trends – Springtime Antarctic Ozone Hole Each Year |
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> • Contains 10% of Atmospheric Ozone • Harmful Impact: Toxic Effects on Humans and Vegetation • Current Issues: <ul style="list-style-type: none"> – Episodes of High Surface Ozone in Urban and Rural Areas |

South Pole Ozone 2009



South Pole Temperature 2009

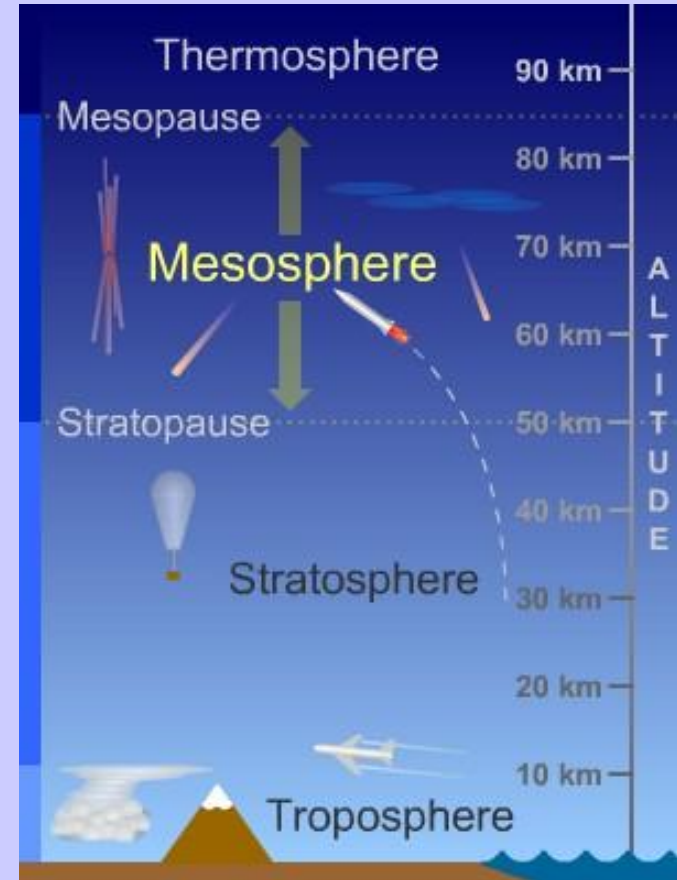


Minimum Reference Current
NOAA/ESRL

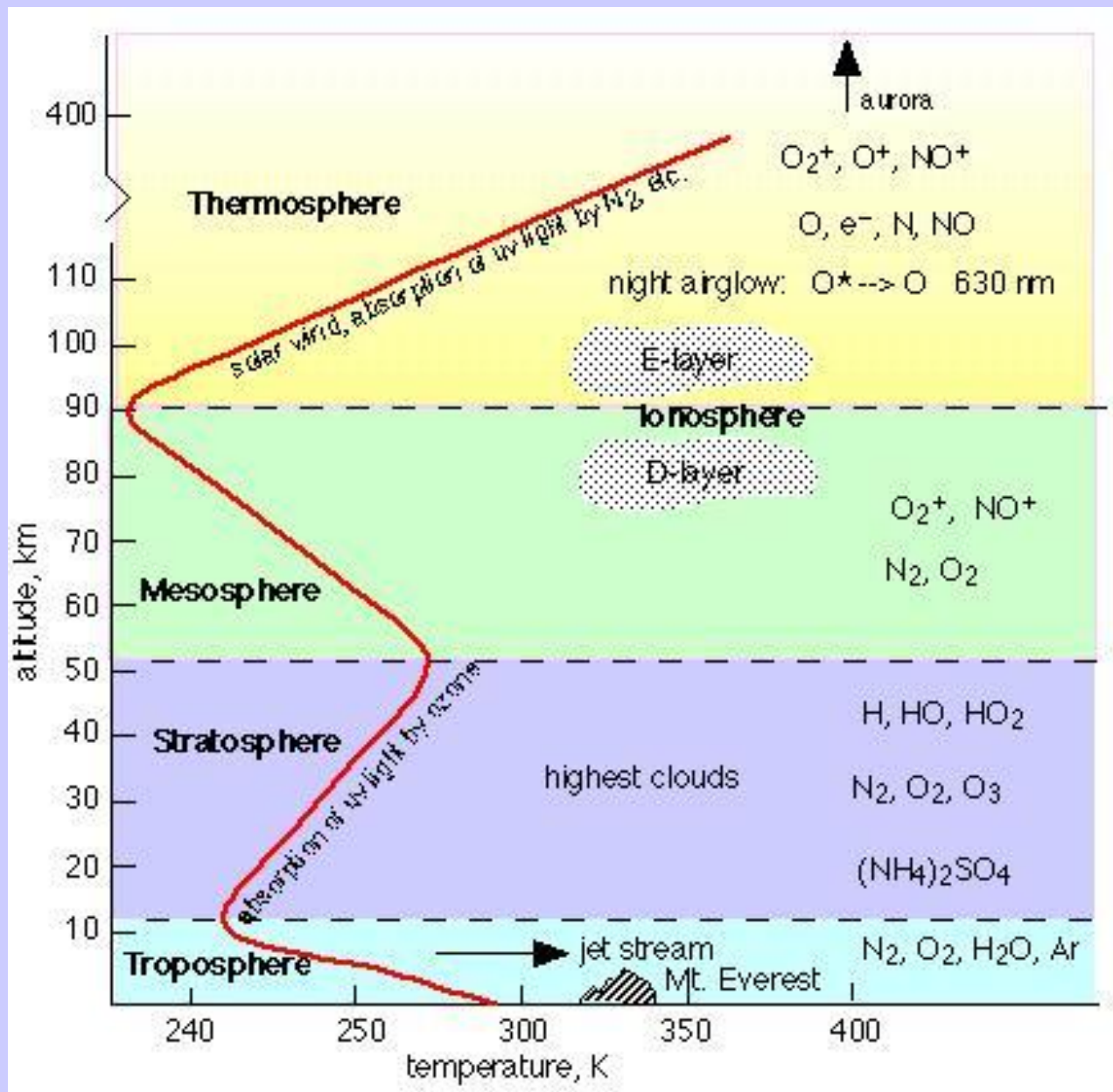
Mesósfera



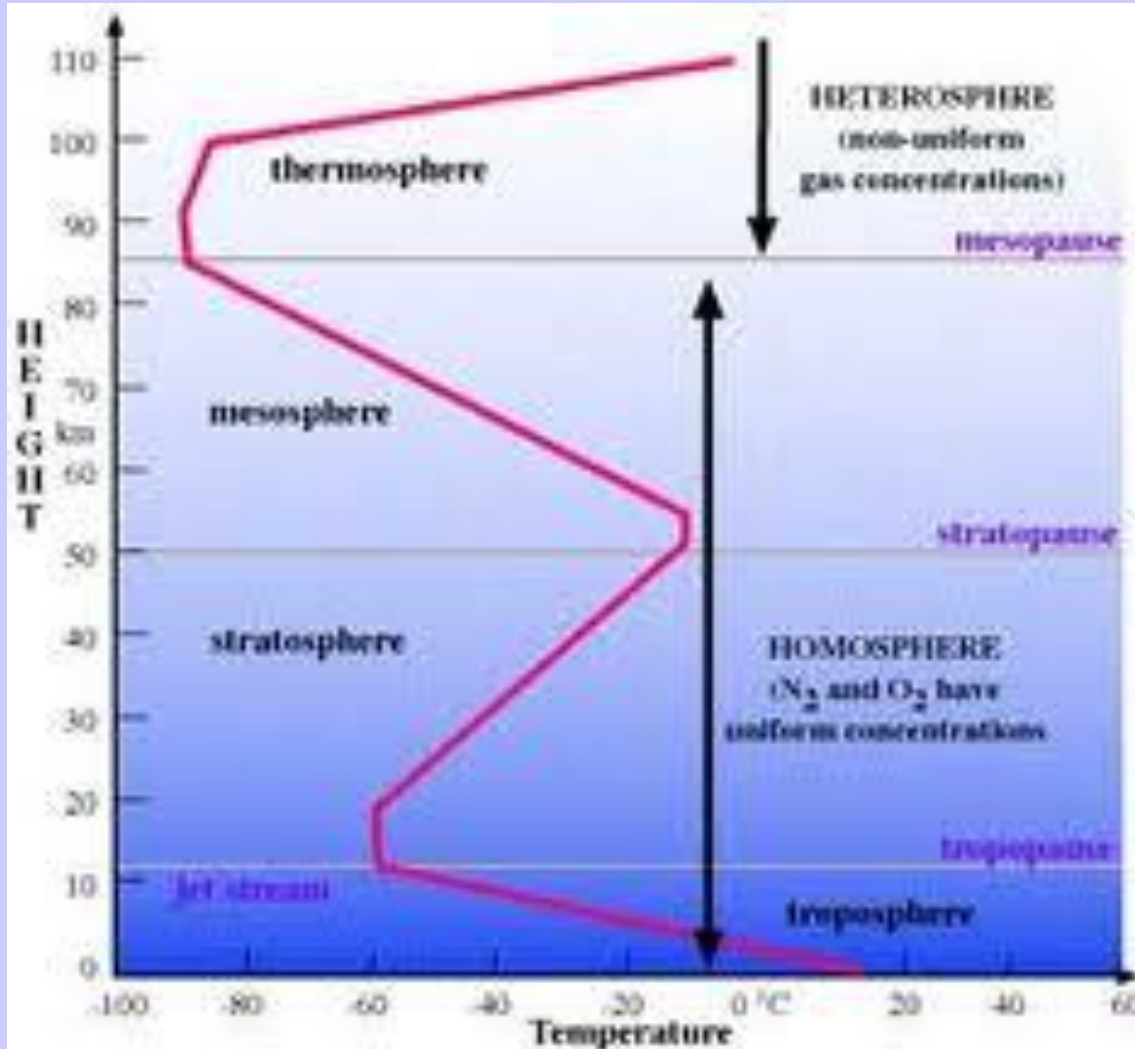
Nubes noctilucenas desde Estocolmo
Foto. Nathan Wilhem



Estructura y composición van de la mano



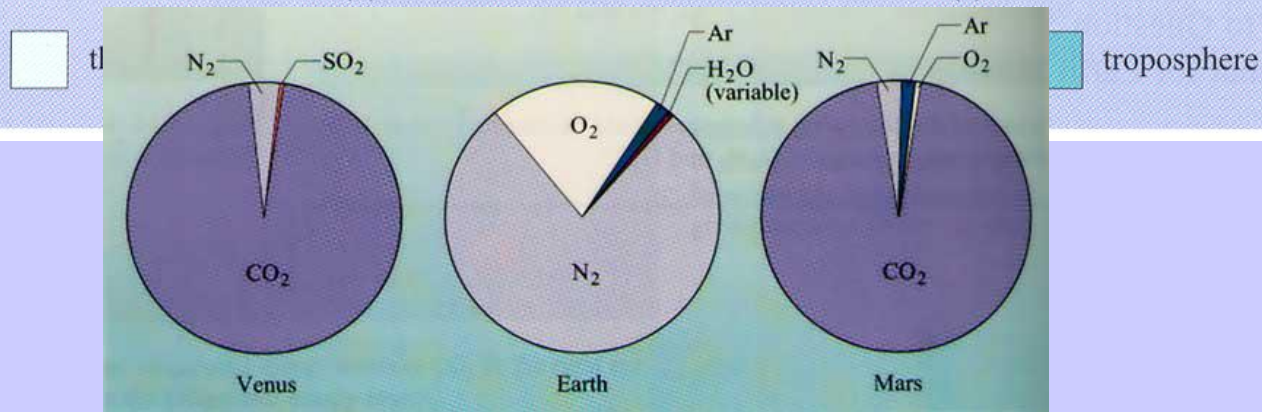
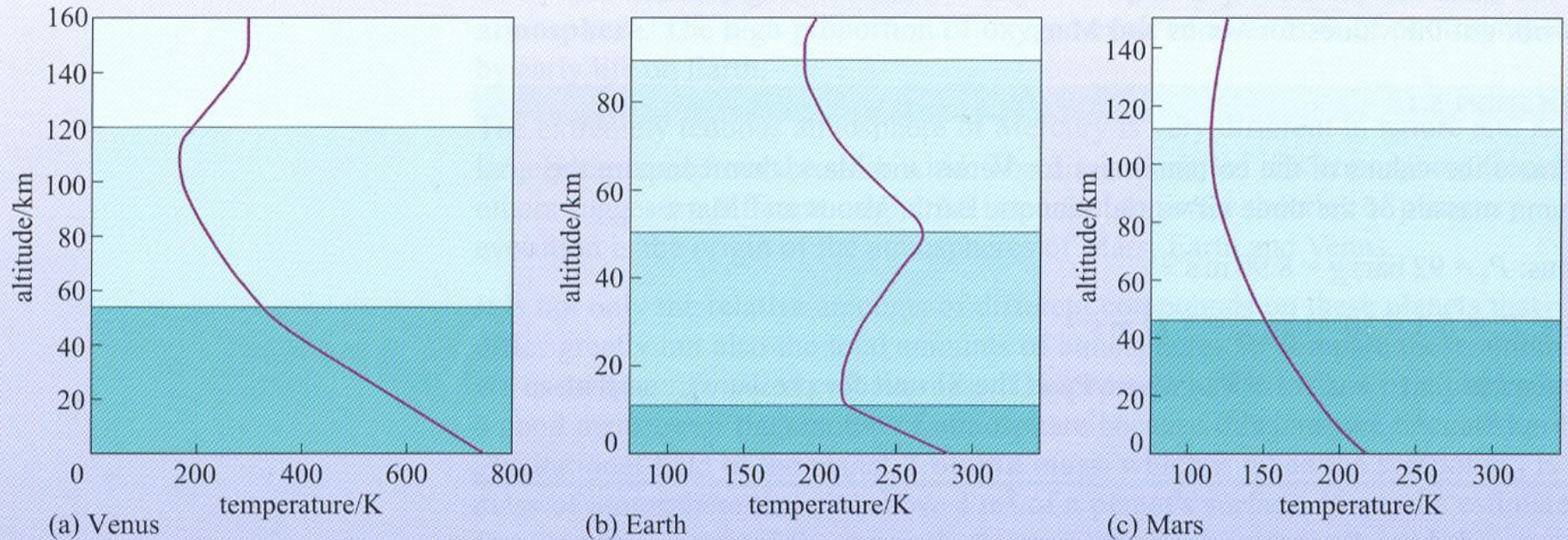
Como los 100 primeros km están muy bien mezclados (en cuanto a comp. Mayoritarios)



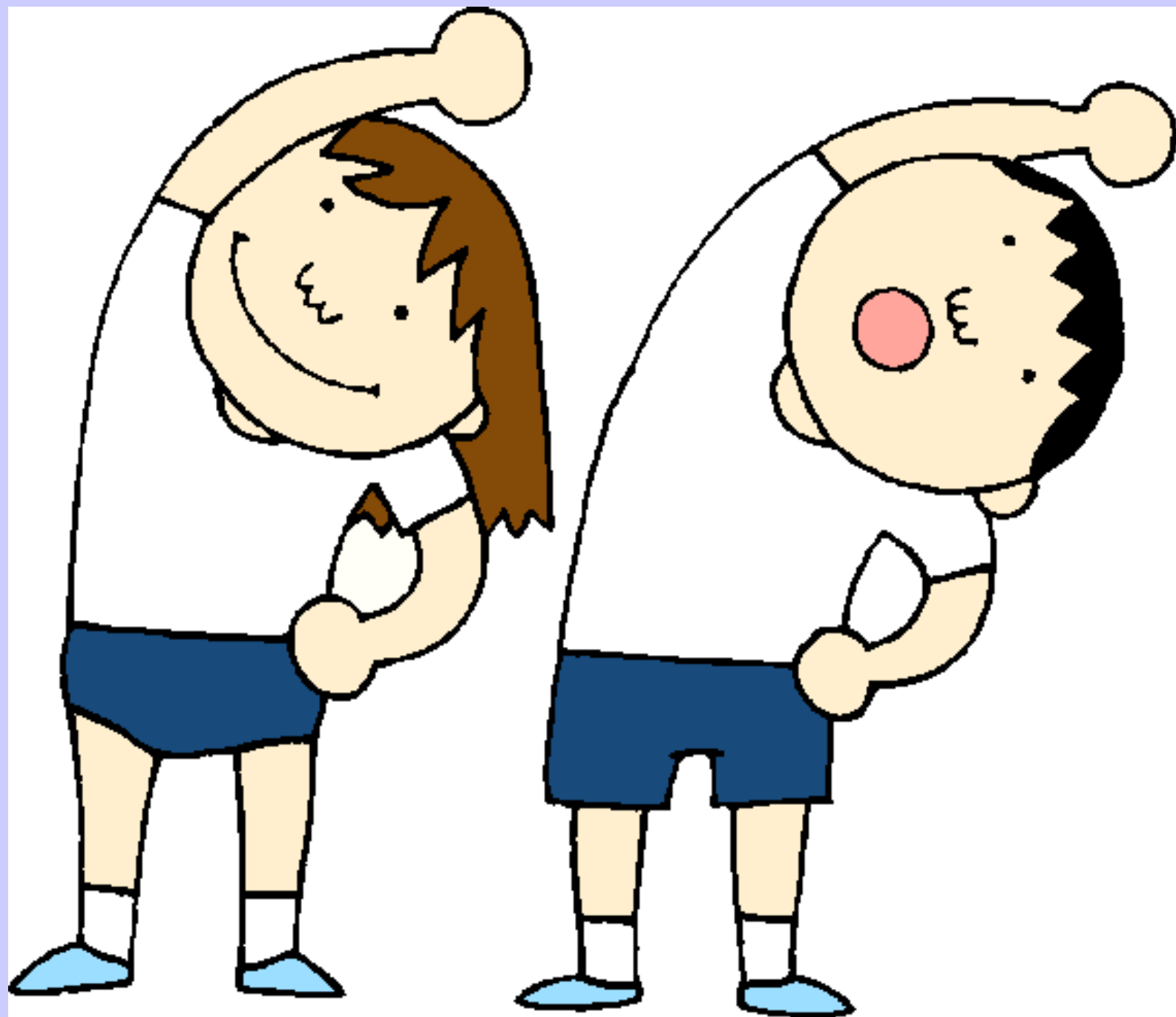
Heterósfera
(estratificación por peso molecular)


Homósfera
(mezcla eficiente)

Por supuesto, según la composición cambia la estructura termodinámica



ESR 2010

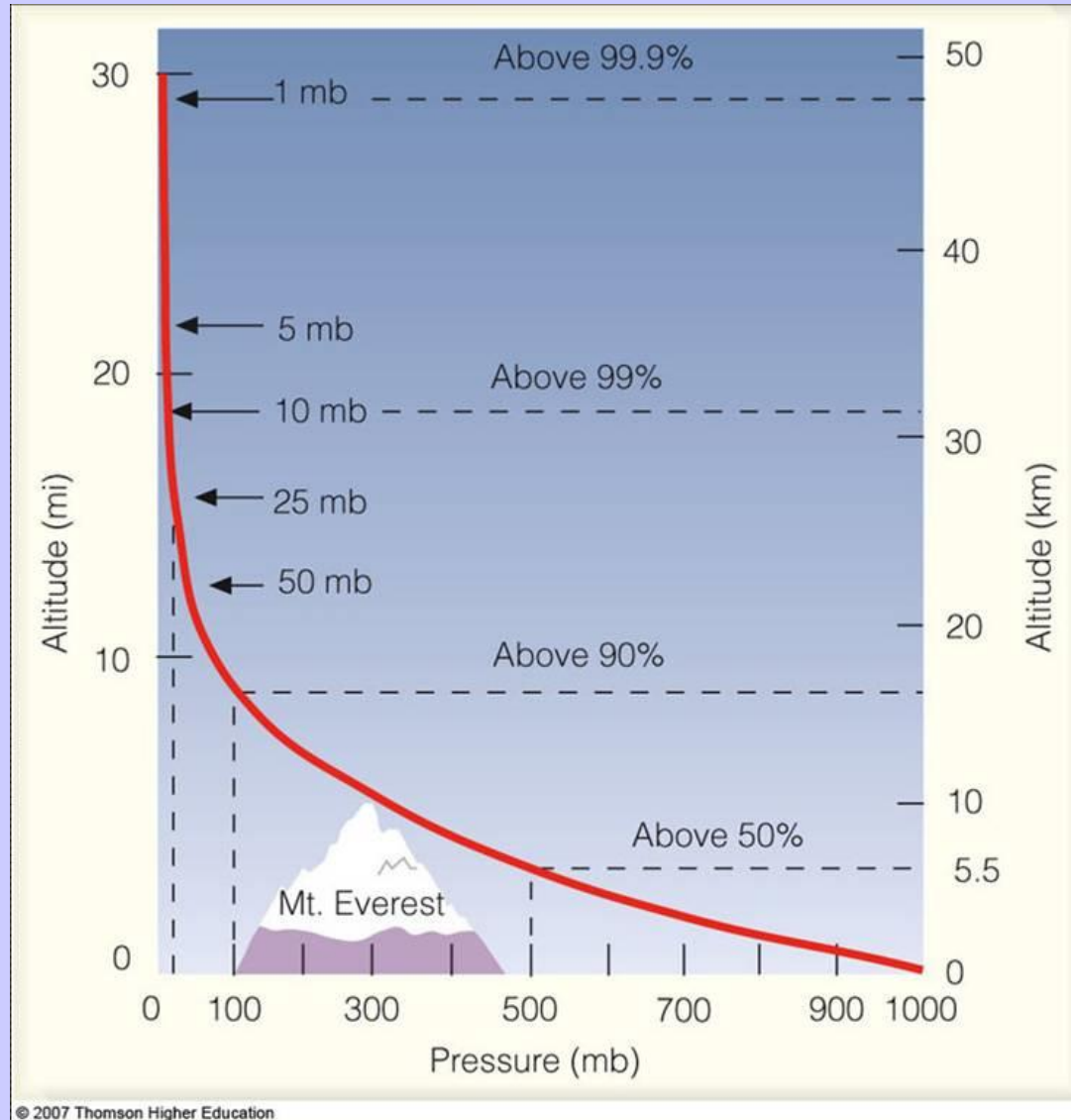




En la atmósfera
prevalecen los
movimientos
horizontales

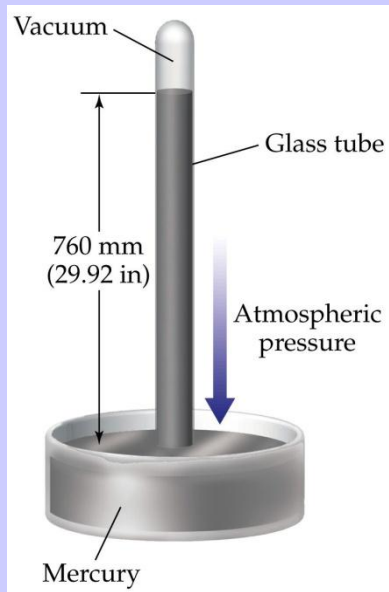
Se comporta, grosso
modo, como un gas
ideal

¿Cómo cambia la presión con la altura?



Introducción a la Meteorología – Estructura & Comp. Atmos/Ocean UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Presión Atmosférica es “facil” de medir...mucho mas facil que la densidad del aire y la altura sobre el nivel del mar... e.g.: aviones emplean Altímetros (y actualmente GPS)



Barómetro de Mercurio

¿Porque $1013 \text{ hPa} = 76 \text{ cm Hg}$?
¿Porque no son de H_2O ?



Barómetro Aneroid

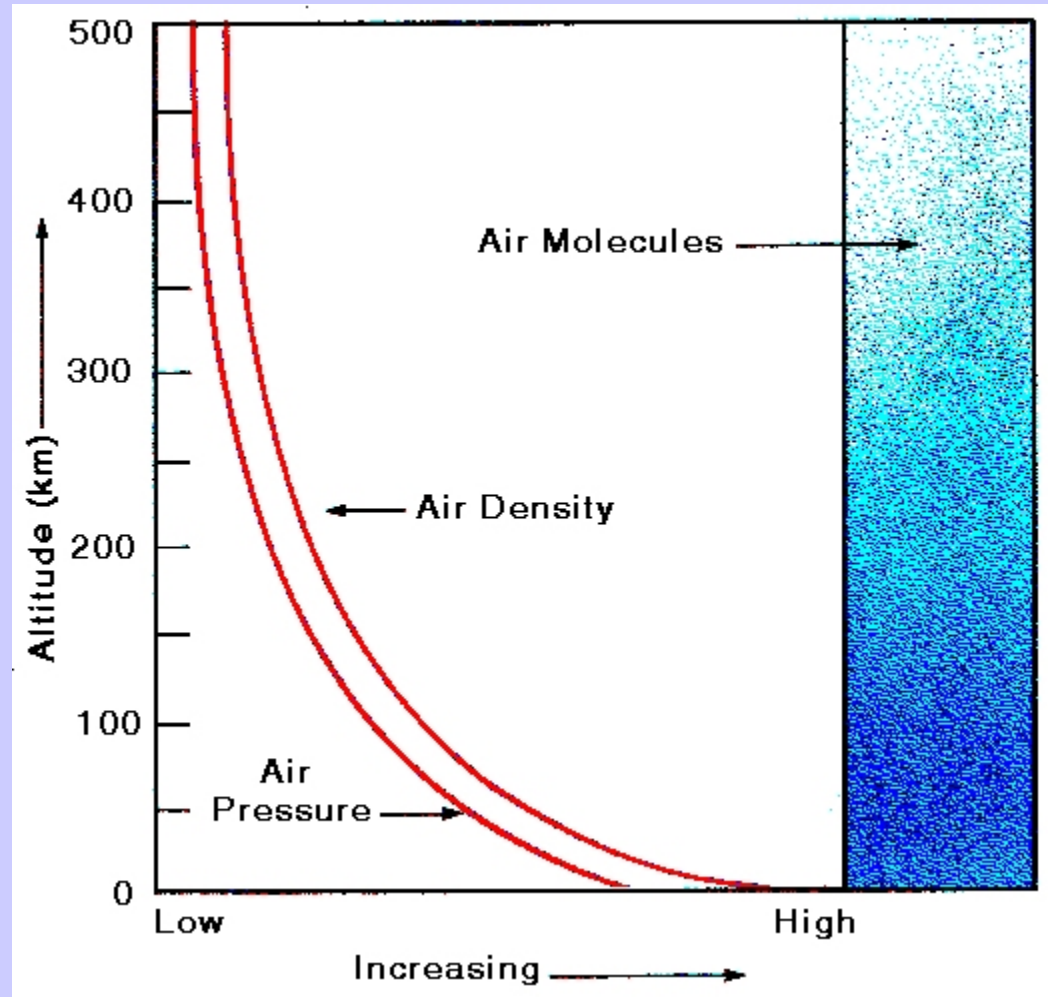
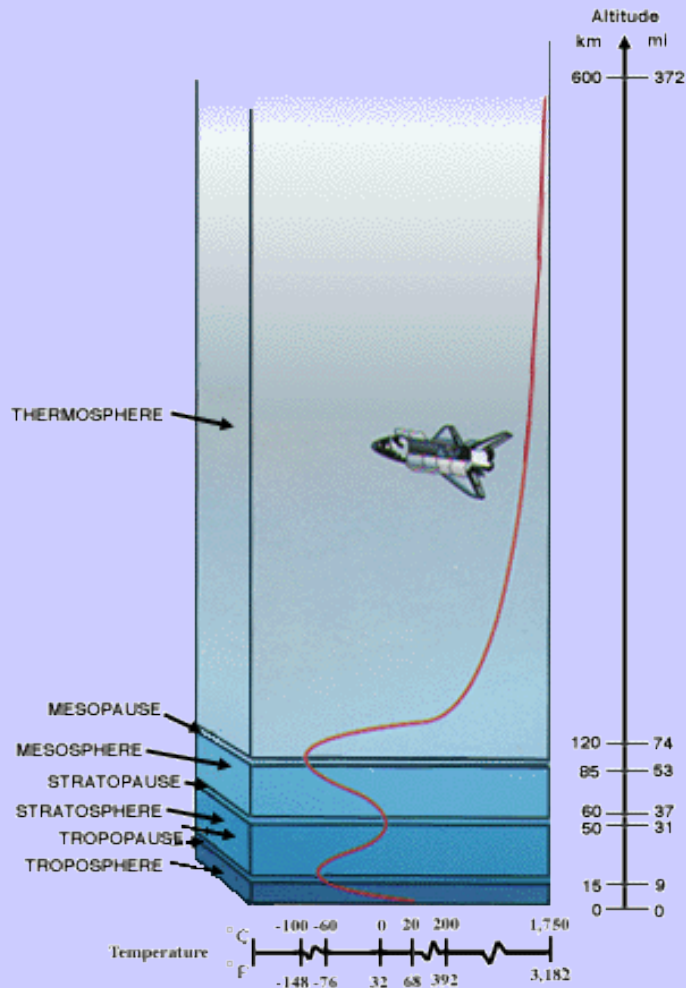
(presión atmosférica comprime un recipiente flexible con vacío en su interior)



Barómetro piezoeléctrico

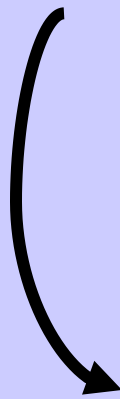
(presión atmosférica altera resistencia a corriente eléctrica de ciertos materiales)

Entonces:



Atmósfera como gas ideal

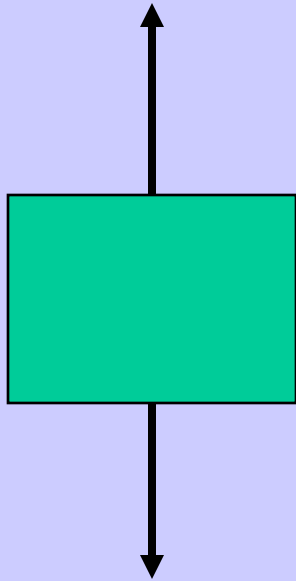
$$pV = nR^*T = \frac{m}{M}R^*T$$



$$p = \rho R T$$

$$R = 287 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]; M \approx 29 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

Balance hidrostático



“La atmósfera no se cae...”

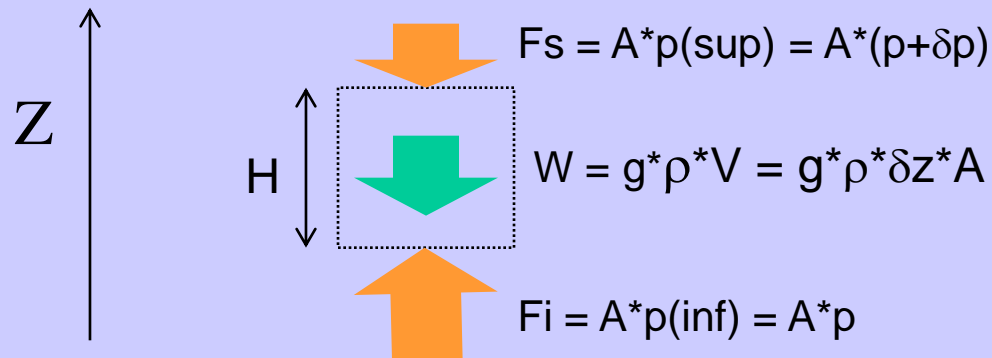
La fuerza de gravedad (hacia abajo) es compensada por el gradiente vertical de presión (hacia arriba)

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

Mundo macroscópico: Equilibrio Hidrostático

Una observación importante es que en un punto fijo, la presión es independiente de la orientación del manómetro.

Además, aplicando la segunda ley de Newton a un cierto volumen de aire de densidad ρ ($=M/V$) en reposo obtenemos la ecuación de balance hidrostático:



$$\delta p = -\rho g \cdot \delta z$$

Es decir, la presión siempre aumenta hacia abajo, y el aumento de presión es proporcional a la densidad del fluido y el espesor de la capa.

$$p = \rho R T$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

$$\frac{\partial p}{p} = -\frac{g}{RT} \partial z$$

Esto da una excelente aproximación de la variación vertical de la presión. Excepto en situaciones con movimientos verticales intensos, por ejemplo, tornados.

Ecuación hipsométrica

$$\frac{\partial p}{p} = -\frac{g}{RT} \partial z$$

$$\Rightarrow \int_{p_s}^p \frac{\partial p}{p} = -\frac{g}{R} \int_0^z \frac{\partial z}{T}$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{p}{p_s}\right) = -\frac{g}{R} \int_0^z \frac{\partial z}{T}$$

$$o \quad p = p_s \exp\left(-\frac{g}{R} \int_0^z \frac{\partial z}{T}\right)$$

Ecuación hipsométrica

$$\frac{\partial p}{p} = -\frac{g}{RT} \partial z$$

$$p_2 = p_1 \exp\left(-\frac{g}{R} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial z}{T}\right)$$

T ~ constante

$$\Rightarrow \Delta z = z_2 - z_1 \approx \frac{RT}{g} \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Isohipsas

$$\frac{\partial p}{p} = -\frac{g}{RT} \partial z = \frac{1}{RT} \partial \phi, \quad \phi = \text{altura geopotencial}$$

$$p_2 = p_1 \exp\left(-\frac{1}{R} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial z}{T}\right)$$

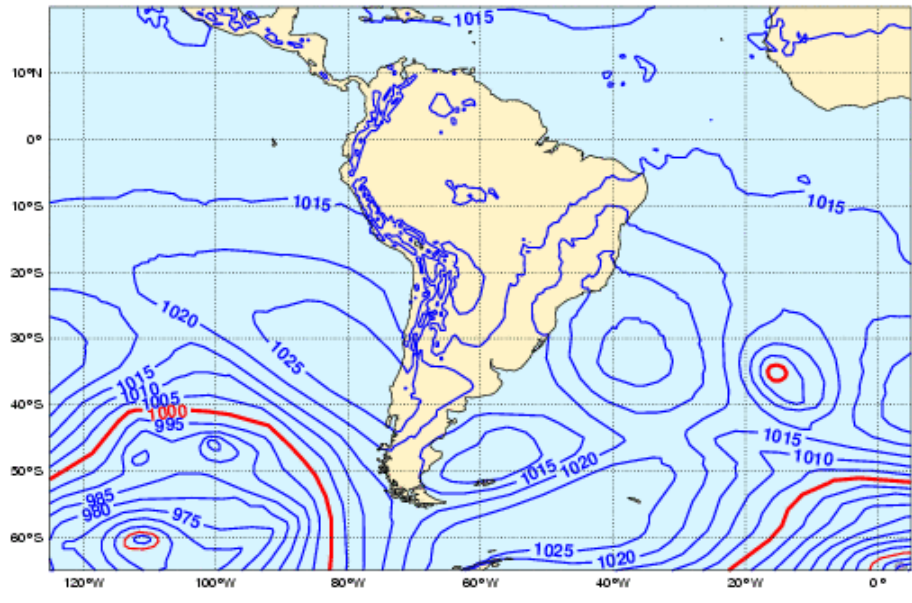
$T \sim \text{constante}$

$$\Rightarrow \Delta \phi \approx RT \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Cartas meteorológicas

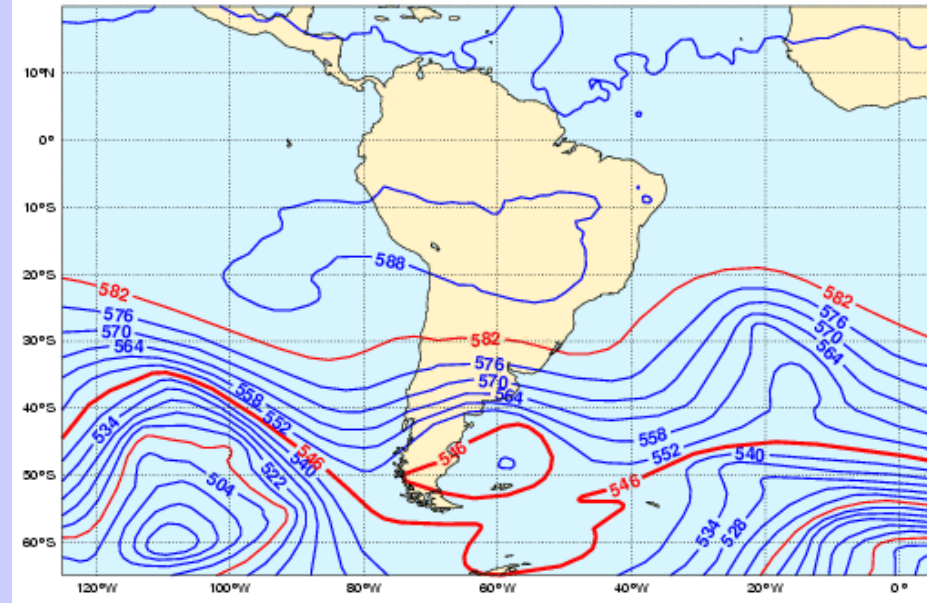
Isóbaras (=igual presión)

Thursday 19 August 2010 00UTC ECMWF Forecast t+0 VT: Thursday 19 August 2010 00UTC
Mean sea level pressure (MSLP) Deterministic Forecast and Standard Deviation (shaded)



Isohipsas (=igual altura geopotencial)

Thursday 19 August 2010 00UTC ECMWF Forecast t+0 VT: Thursday 19 August 2010 00UTC
500hPa Geopotential Deterministic Forecast and Standard Deviation (shaded)



En superficie se muestra la presión atmosférica a nivel del mar en hPa (isóbaras)

En altura se muestra la altura geopotencial para un cierto nivel de presión (isohipsas), por ejemplo a 500 hP (“carta de 500”)

Escala de altura (“*Scale height*”)

$$\frac{\partial p}{p} = -\frac{g}{RT} \partial z \quad \text{o} \quad p_2 = p_1 \exp\left(-\frac{g}{R} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial z}{T}\right)$$

Análisis dimensional

$$\Rightarrow H = \frac{RT}{g}$$

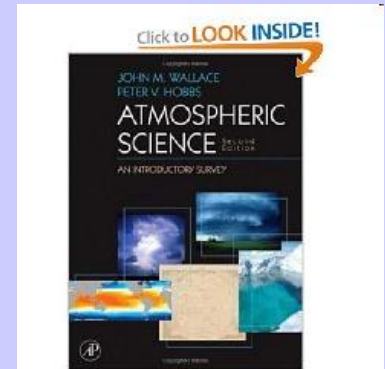
En H, la presión ha disminuido en 1/e para una atmósfera isotérmica

Preguntas para cuando estudien

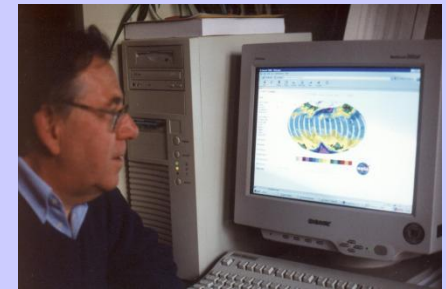
- Estimar la masa de la atmósfera ($M_{\text{atm}} \sim 5 \times 10^{21}$ g) sabiendo que a nivel de superficie la presión es aproximadamente 1000 hPa
- ¿Cuál es la composición atmosférica de Júpiter?
¿Cómo es su estratificación térmica?



Lecturas de hoy



- Obligatoria
 - Wallace and Hobbs, Atmospheric Science
 - Ch. 1.: 1.3.1; 1.3.2; 1.3.4
 - Ch. 3.: 3.1, 3.2
 - Antropoceno (<http://www.mpch-mainz.mpg.de/~air/anthropocene/Text.html>)



- Opcional
 - Planetary atmospheres
(<http://lasp.colorado.edu/~bagenal/3720/index.html>)



- Más sobre química atmosférica GF3022
(Contaminación atmosférica)