



GF 3022 Contaminación Atmosférica

Dispersión atmosférica y modelación de procesos

Laura Gallardo

Profesora Asociada, Departamento de Geofísica

Investigadora Asociada del Centro de Modelamiento Matemático

Universidad de Chile

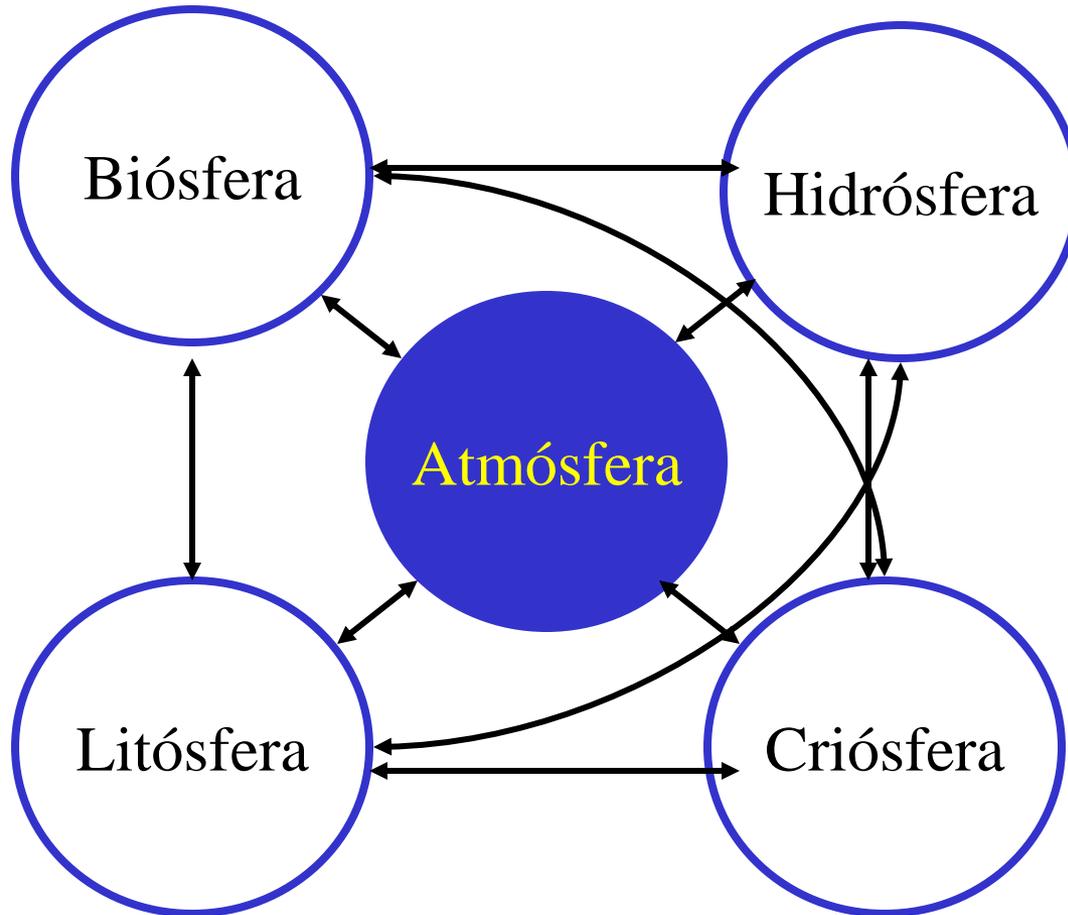
laura@dgf.uchile.cl



HOY

- Composición y estructura termodinámica de la atmósfera
- Ozono en la atmósfera
- Ecuación de estado termodinámico
- Balance hidrostático
- Ecuación hipsométrica
- Algunos “contaminantes” de interés y normativas

La atmósfera en el sistema climático



Una envoltante, mayoritariamente gaseosa, muy tenue

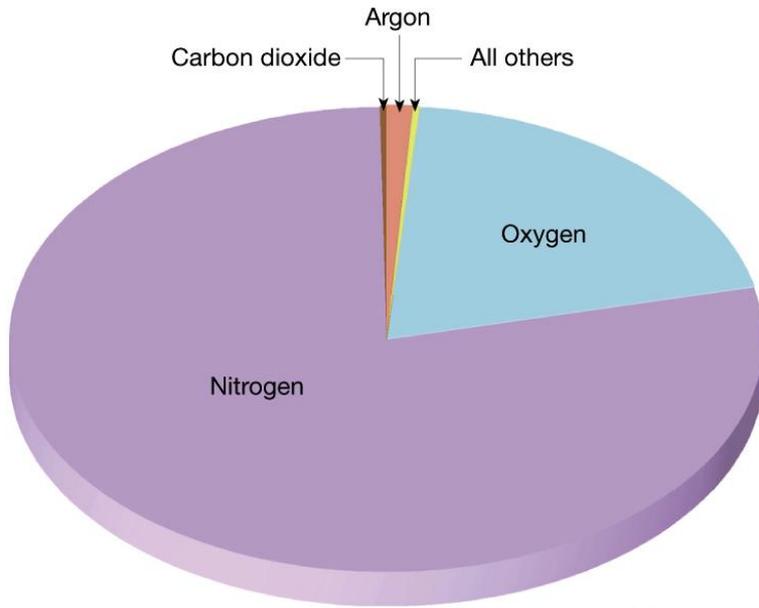


El espesor del fluido atmosférico ~100 km

Contando la capa ionizada ~600 km

Se compara con ~6300 km de radio terrestre

Composición mayoritaria de la atmósfera

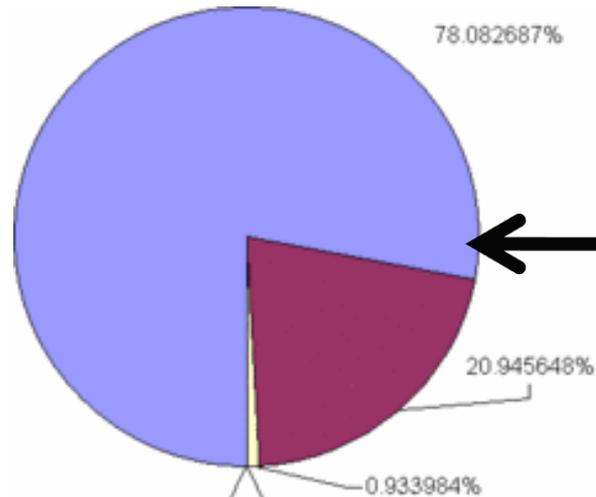


2 Principal gases of dry air

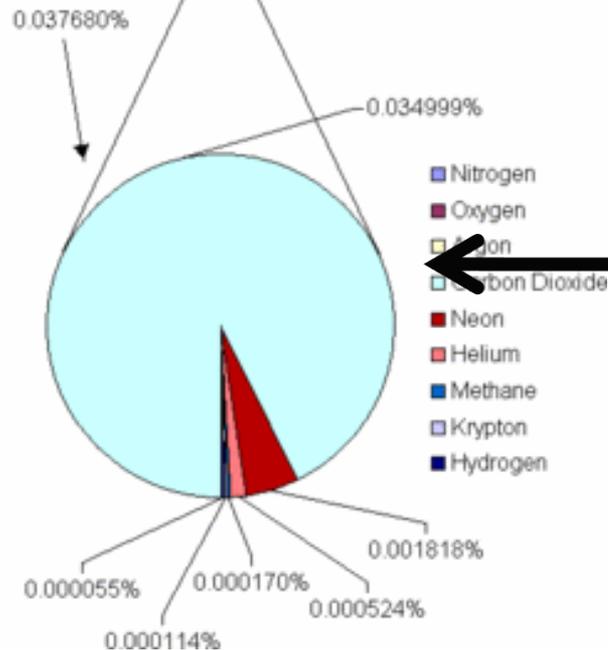
Component	Percent by Volume	Concentration in Parts Per Million (PPM)
N ₂)	78.084	780,840.0
Oxygen (O ₂)	20.946	209,460.0
Argon (Ar)	0.934	9,340.0
Carbon dioxide (CO ₂)	0.036	360.0
Neon (Ne)	0.00182	18.2
Helium (He)	0.000524	5.24
Methane (CH ₄)	0.00015	1.5
Krypton (Kr)	0.000114	1.14
Hydrogen (H ₂)	0.00005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

LGK 2010

Otra manera de ver lo mismo

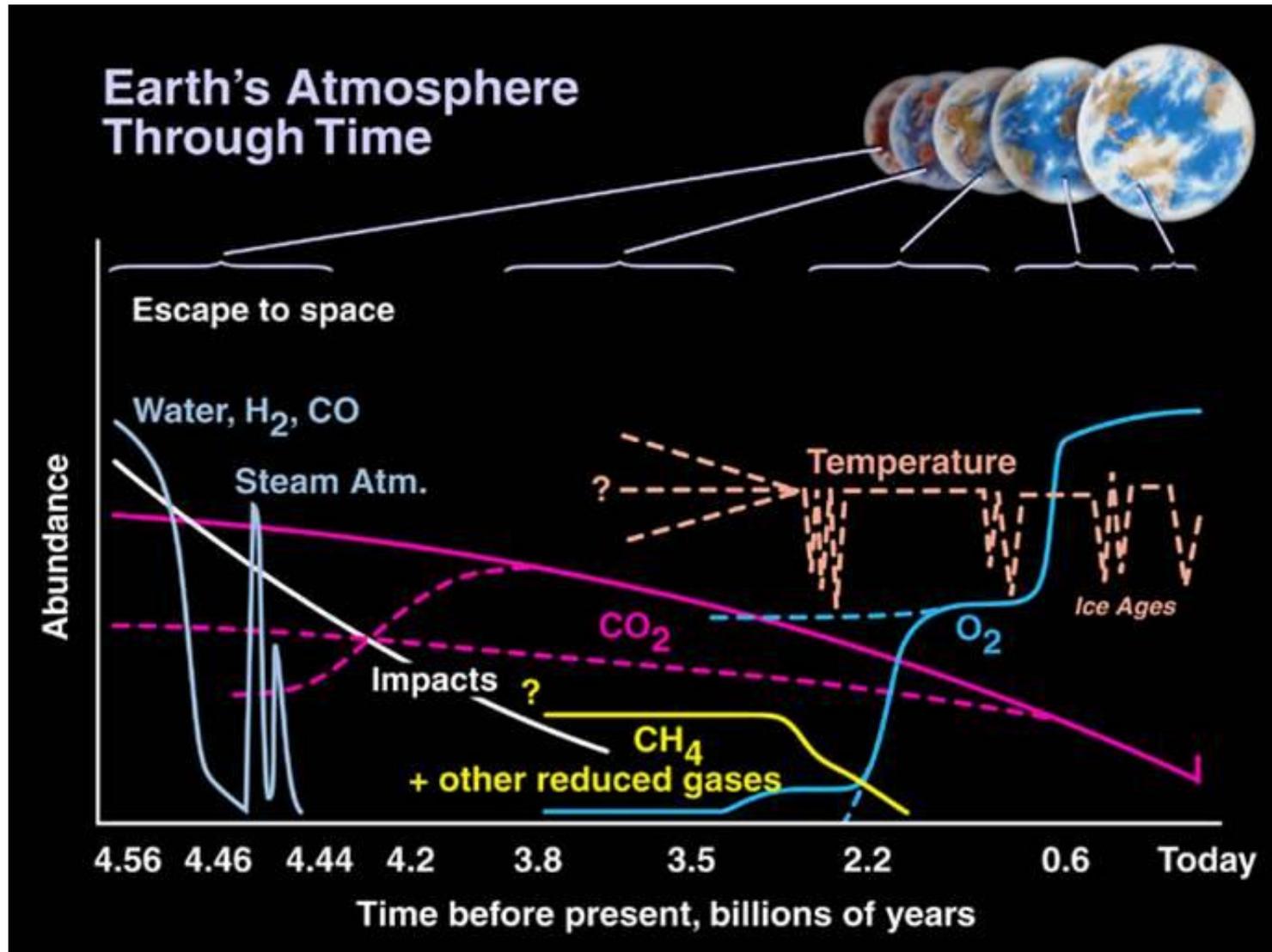


Definen las propiedades del fluido en términos de masa



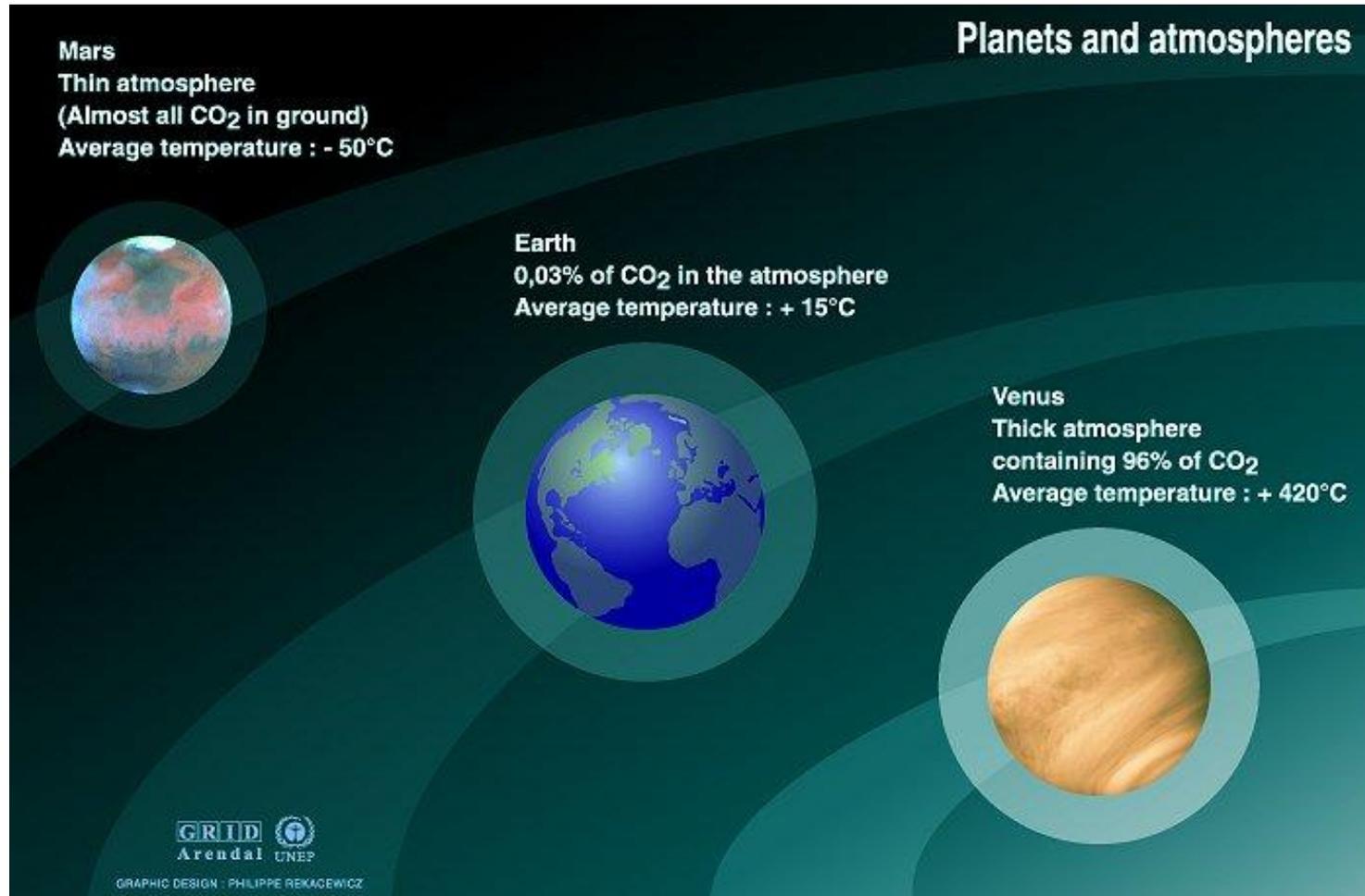
Definen las propiedades del fluido en términos de química, biología, etc...y de energía

No siempre ha sido la misma composición



LGK 2010

Las atmósferas difieren según **biogeoquímica**



Sources: Calvin J. Hamilton, Views of the solar system, www.planetscapes.com; Bill Arnett, The nine planets, a multimedia tour of the solar system, www.seds.org/billa/tnp/nineplanets.html

LGK 2010

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



Venus



Earth

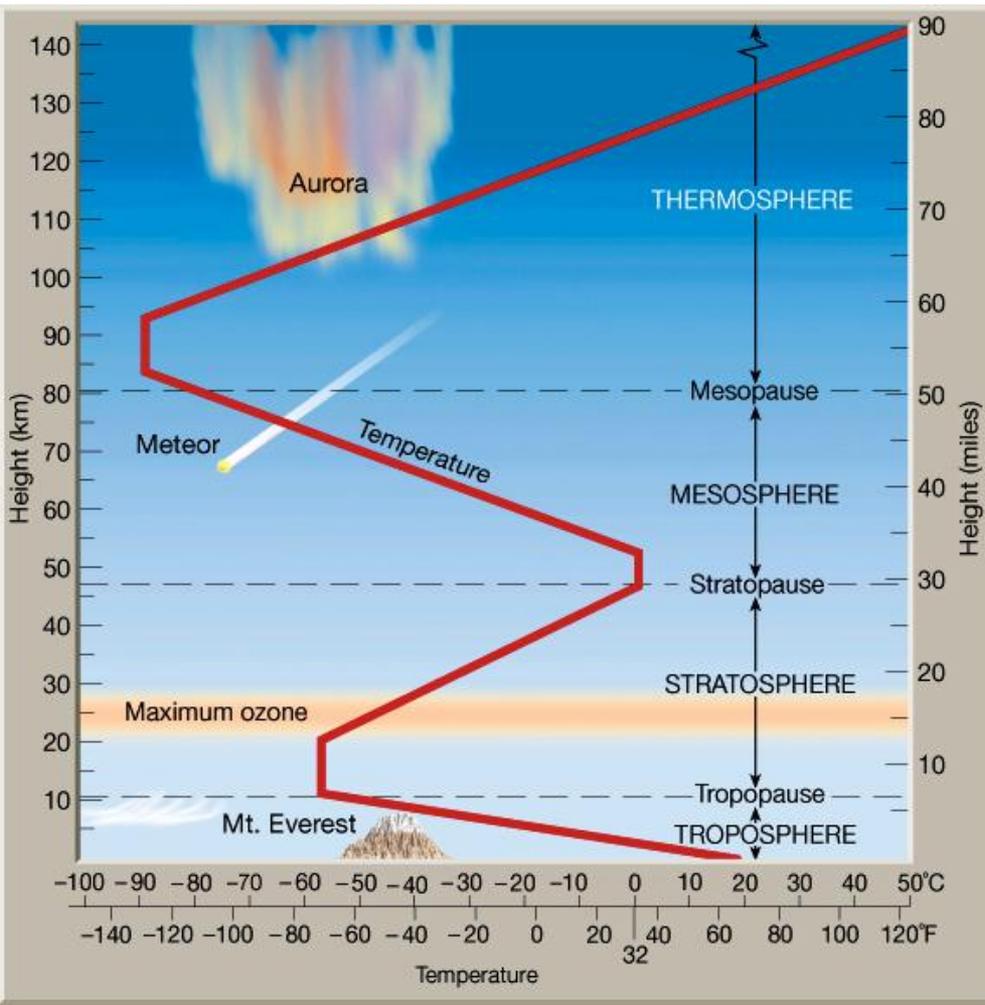


Mars



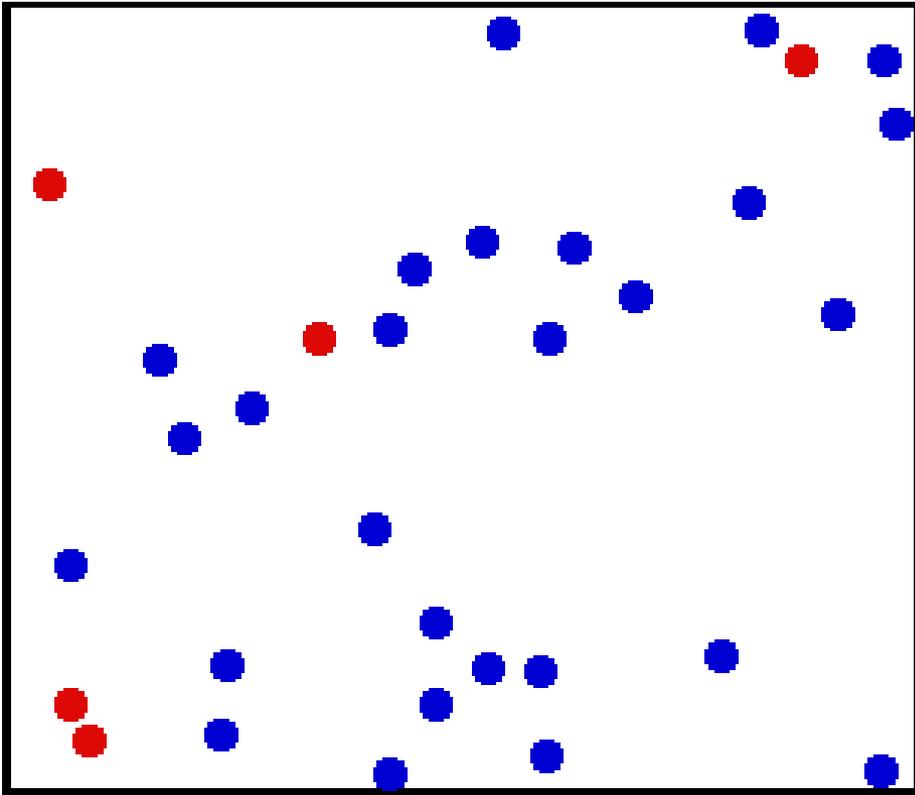
<i>Planet</i>	<i>Atmospheric Pressure</i>	<i>Chemical Composition of Atmosphere (%)</i>			
		N_2	O_2	H_2O	CO_2
Venus	92 atm	<2	<0.001	0.0001-0.3	>98
Earth	1 atm	78	21	0.0001-4	0.035
Mars	0.006 atm	2.5	<0.25	<0.001	>96

Estructura termodinámica



Perfil vertical de temperatura característico de la atmósfera terrestre

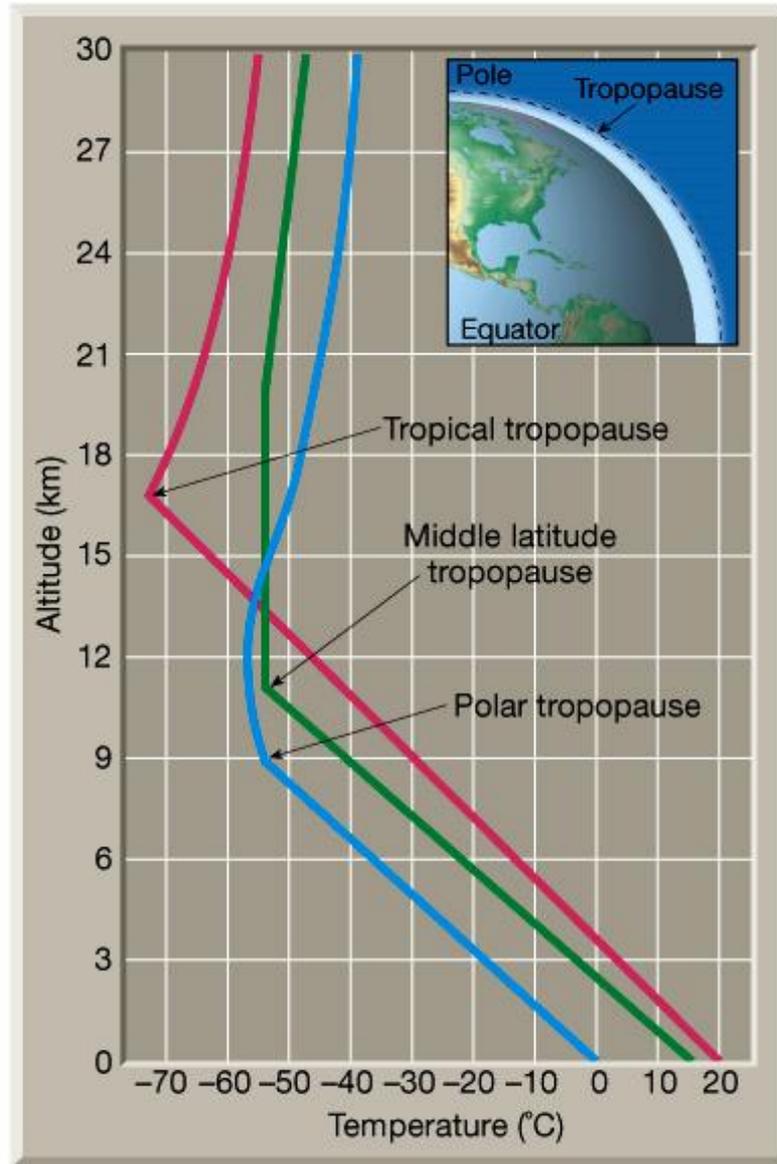
¿Pero qué es la temperatura?



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

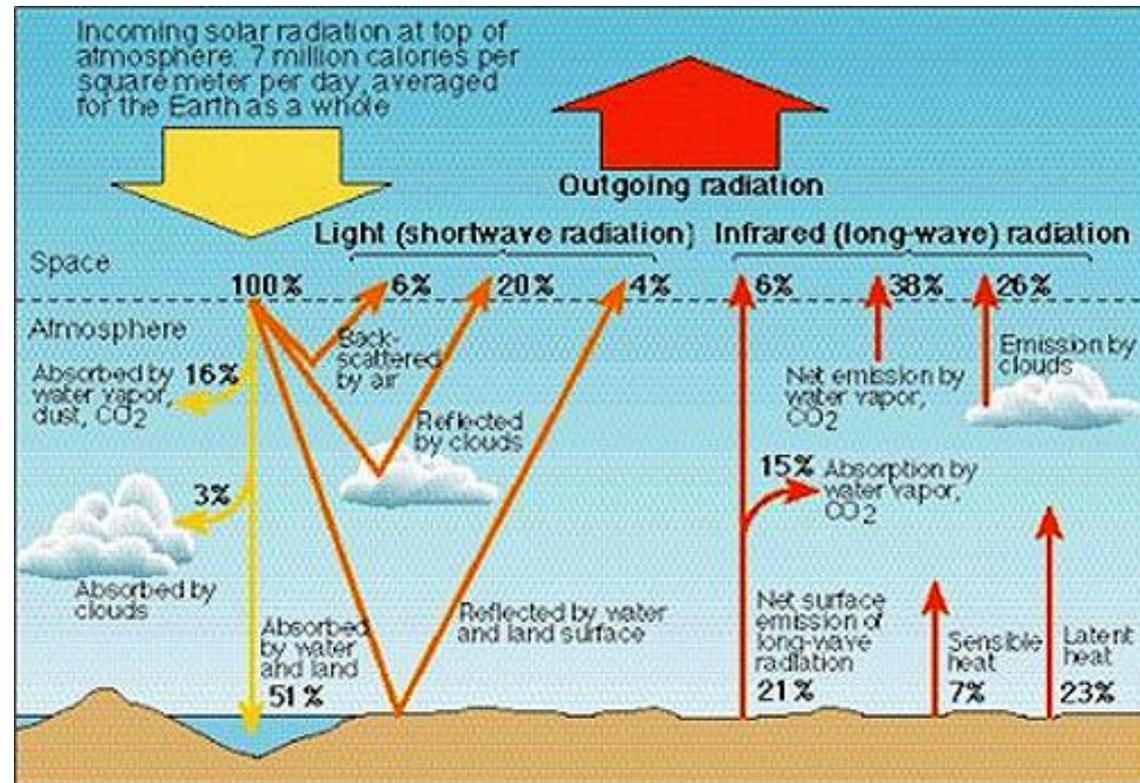
Se mide con termómetros...
Desde Celsius 17...

Los niveles NO son fijos



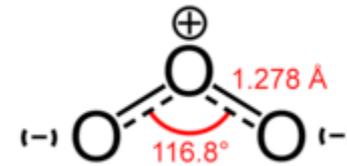
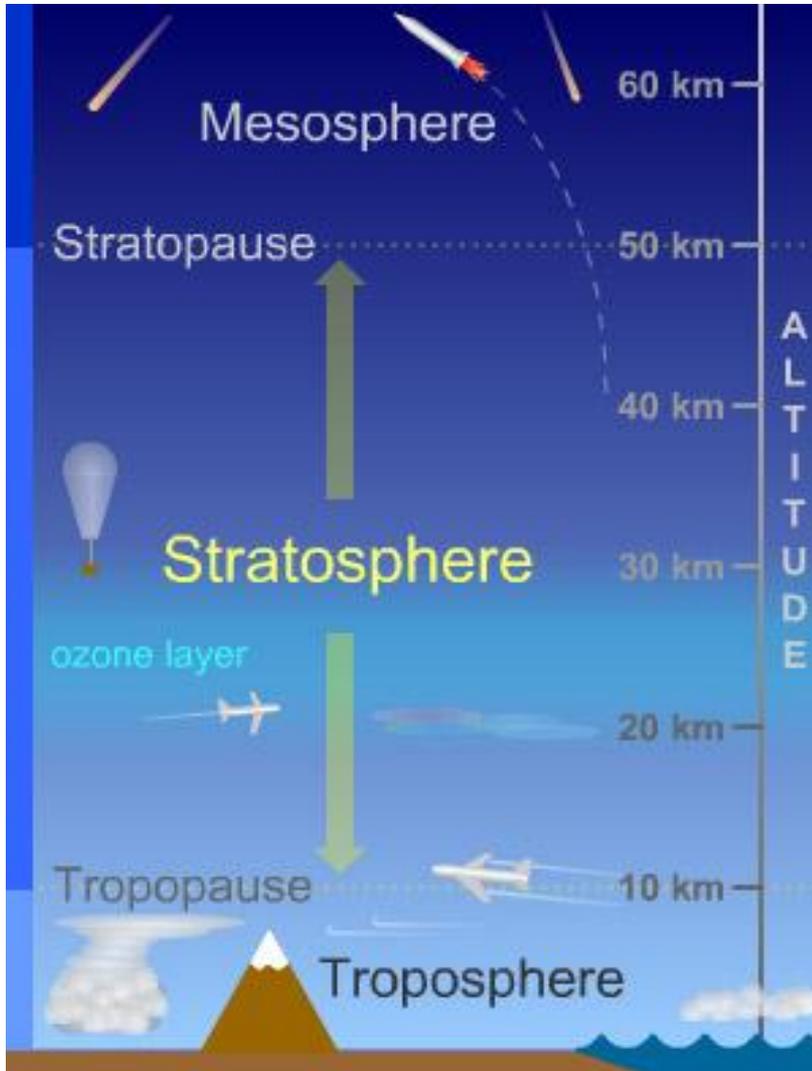
¿Por qué desciende generalmente la temperatura en la tropósfera?

- 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)

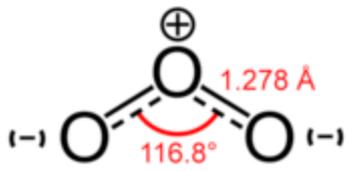


del griego τροπος (*tropos* = girar) y σφαιρα (*sphaira* = esfera).

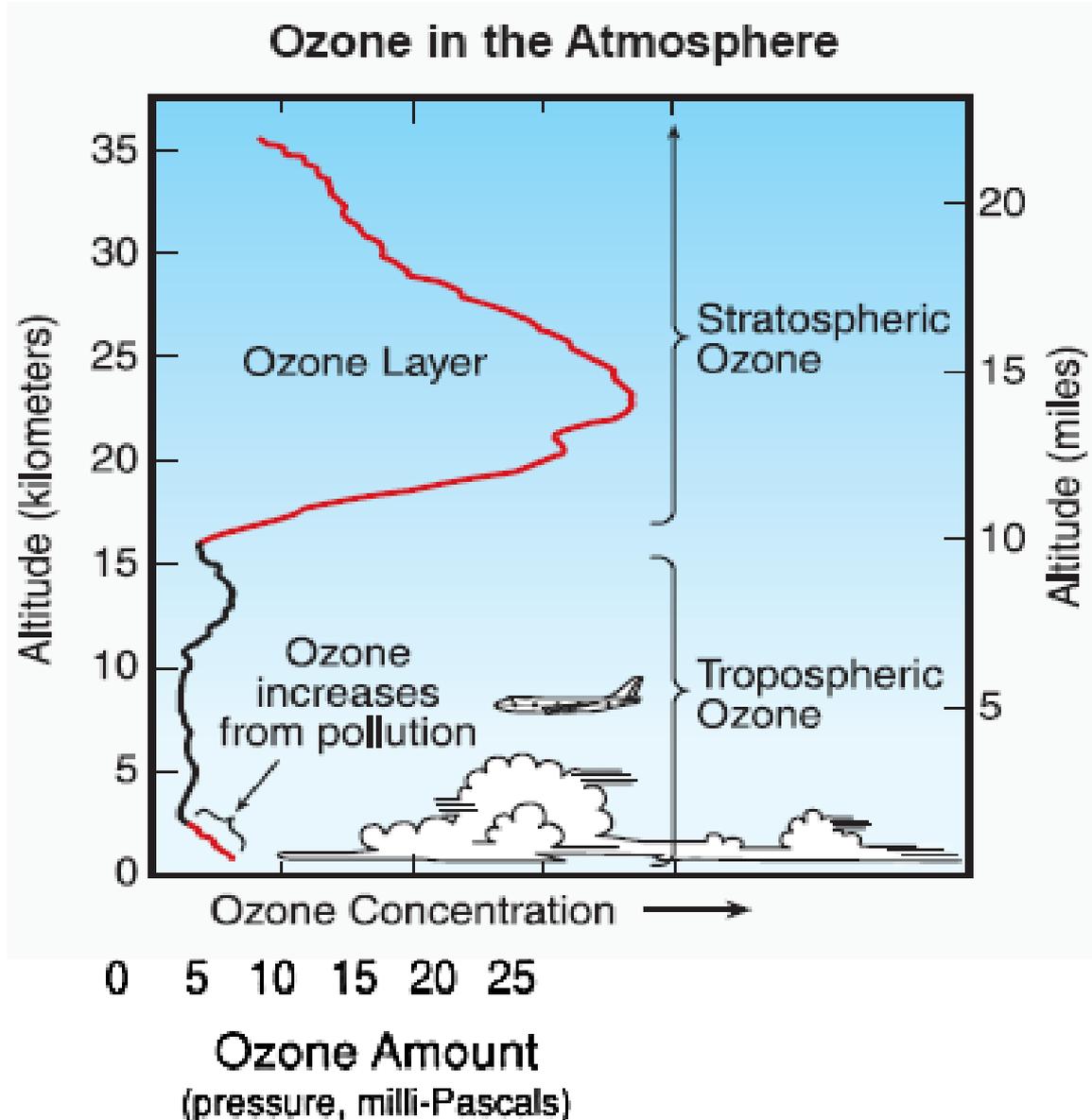
¿Por qué aumenta en la estratósfera?



Nube estratosférica polar



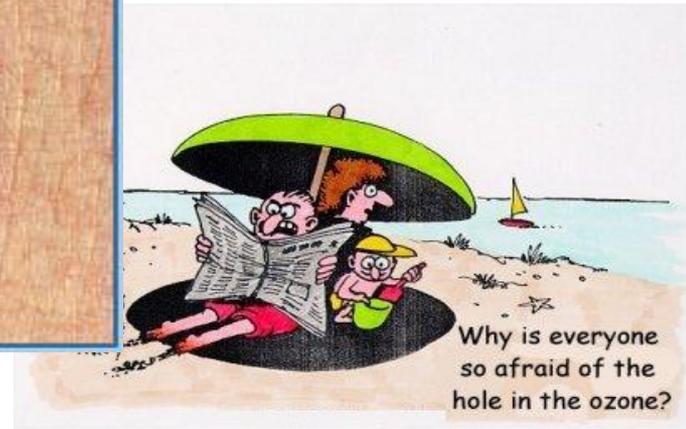
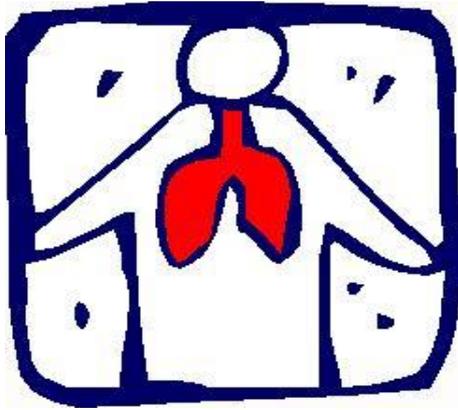
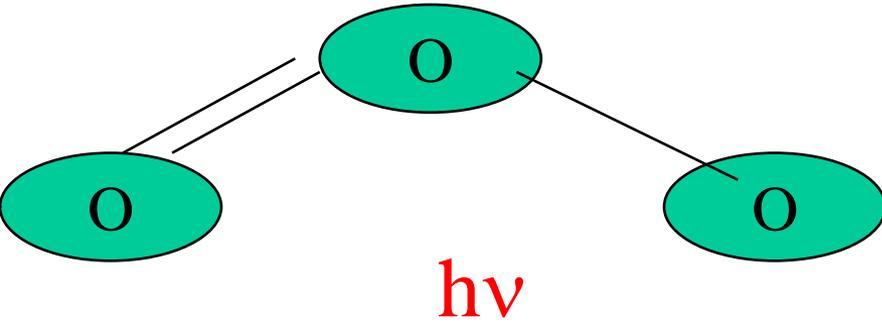
¿Dónde está el ozono?



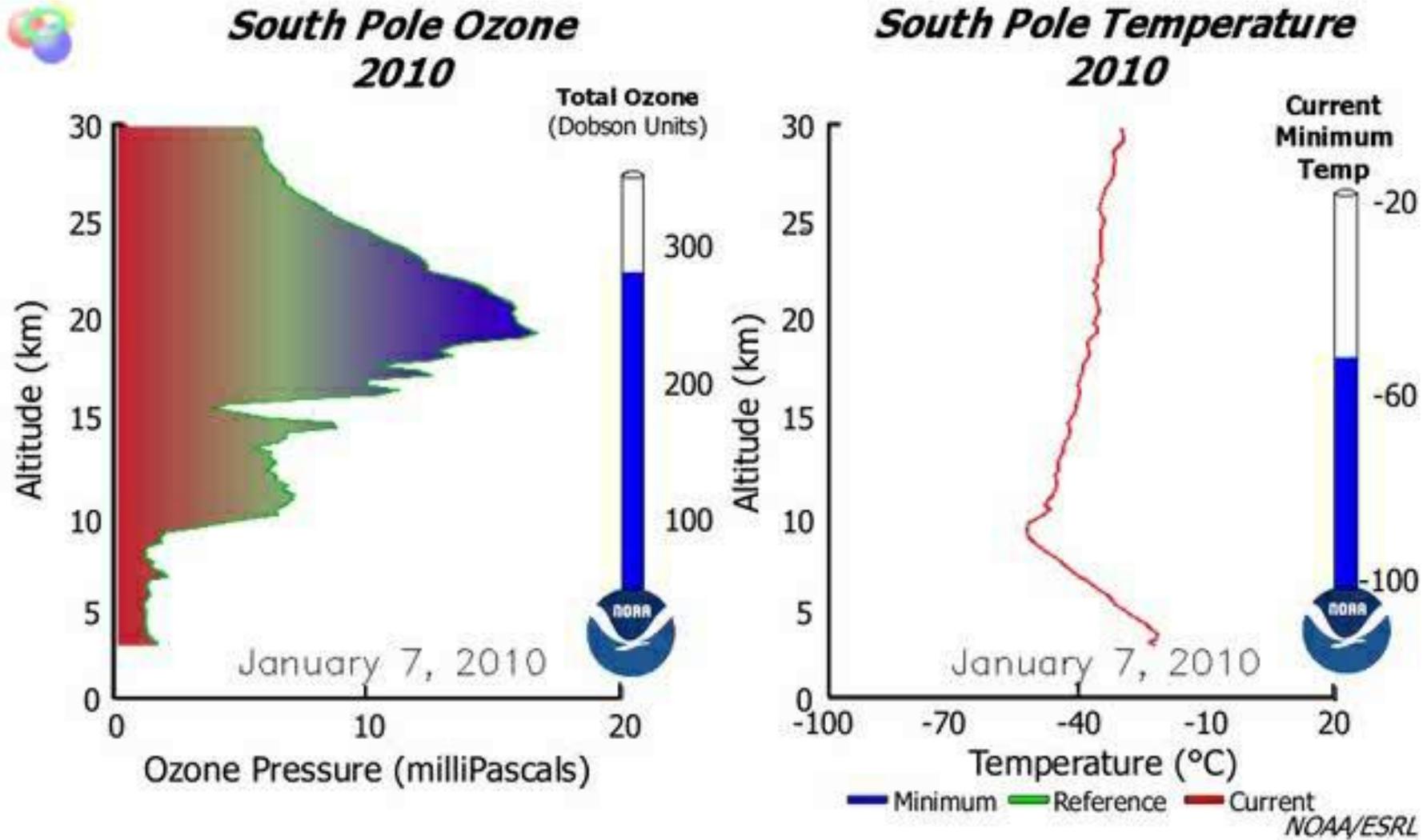
10	<ul style="list-style-type: none"> • Contains 90% of Atmospheric Ozone • Beneficial Role: Acts as Primary UV Radiation Shield • Current Issues: <ul style="list-style-type: none"> – Long-term Global Downward Trends – Springtime Antarctic Ozone Hole Each Year
10	<ul style="list-style-type: none"> • 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

Ozono (οζειν=olor)

$h\nu$

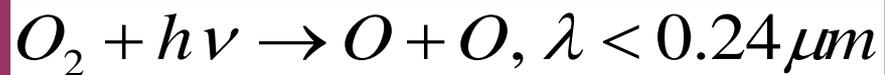
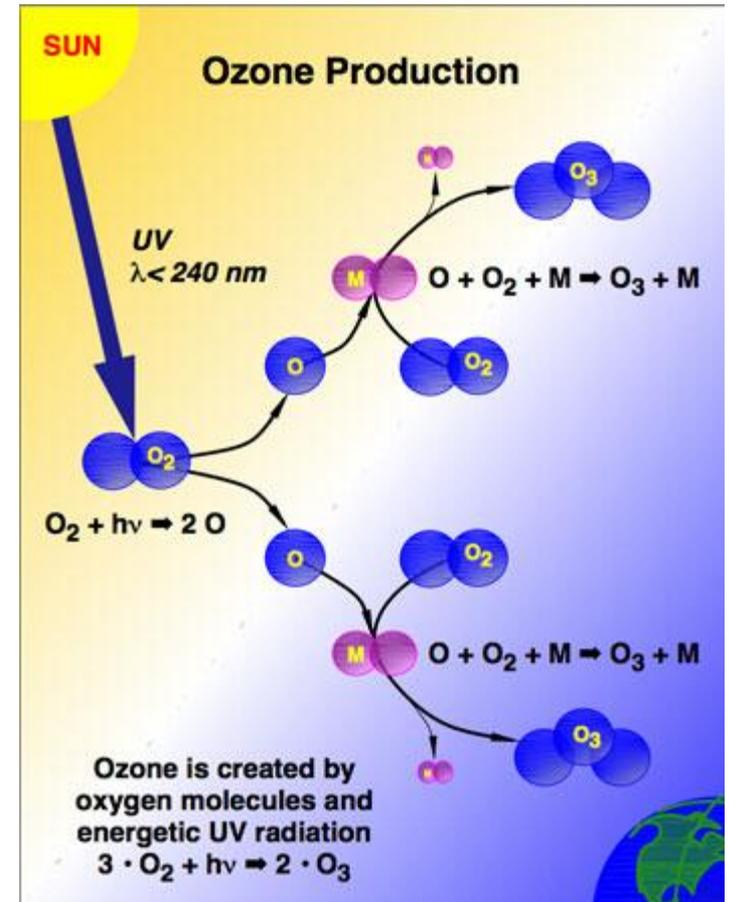
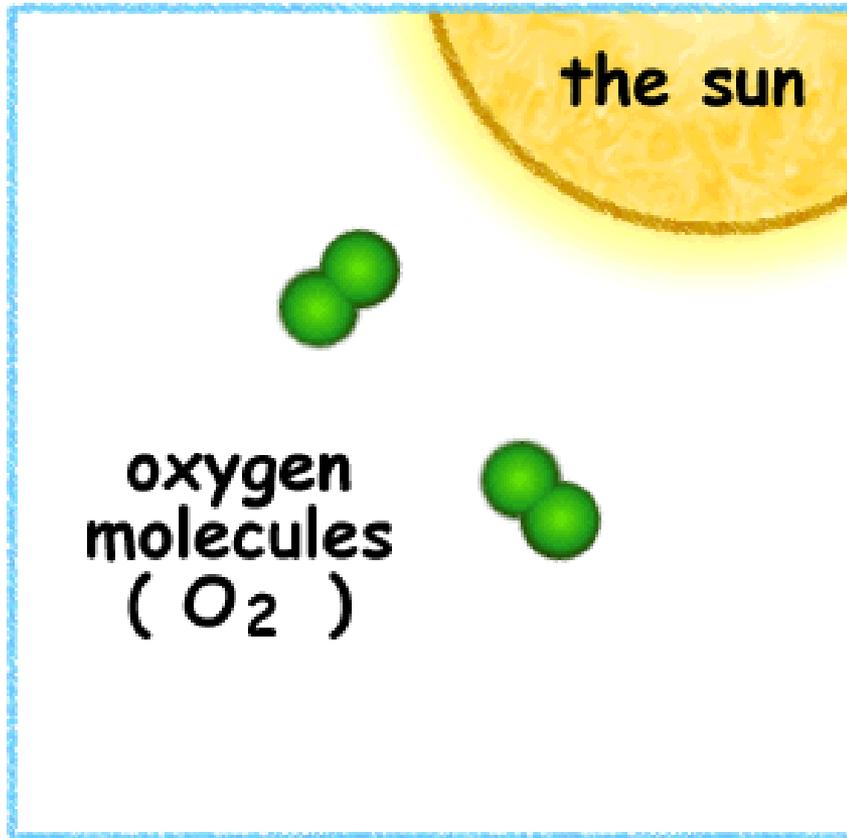


¿Por qué aumenta la temperatura en la estratósfera?



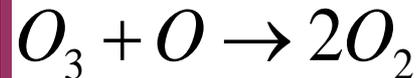
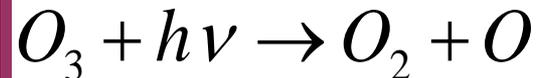
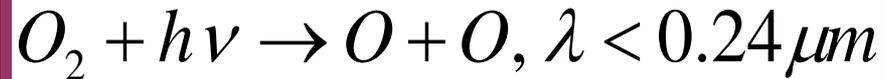
LGK 2011

Ozono en la estratósfera



LGK 2011

El ozono se fotoliza y se recombina



$$[O_3]_{\text{eqb}} \cong \left(\frac{J_2 K_{12}}{J_3 K_{13}} [M] \right)^{1/2} [O_2].$$



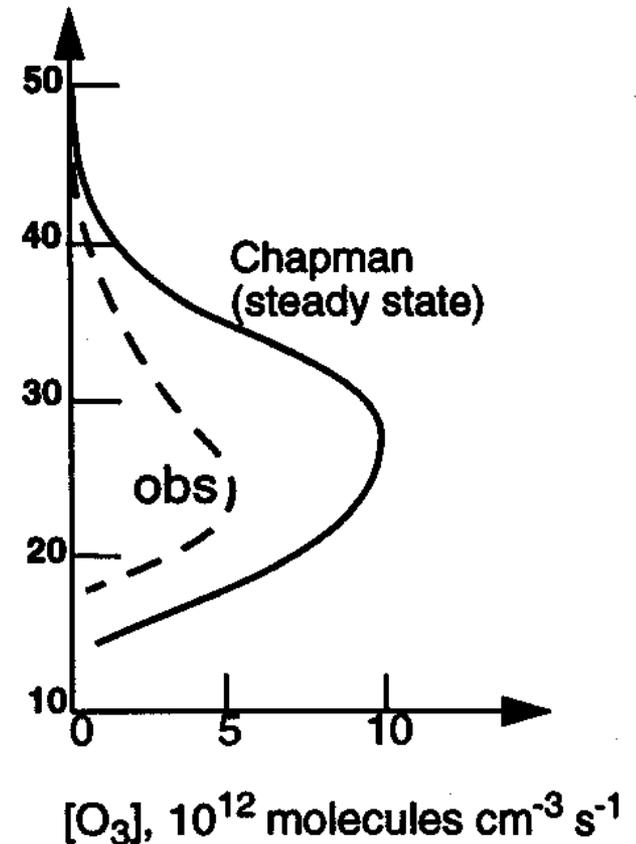
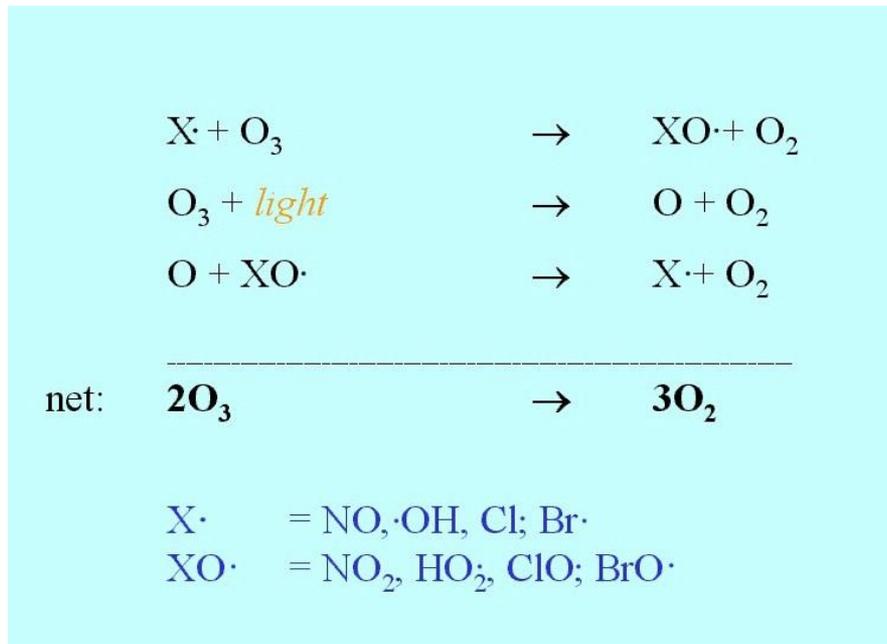
Chapman, S., 1930: A theory of upper atmospheric ozone. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **3**, 103–125.

LGK 2011

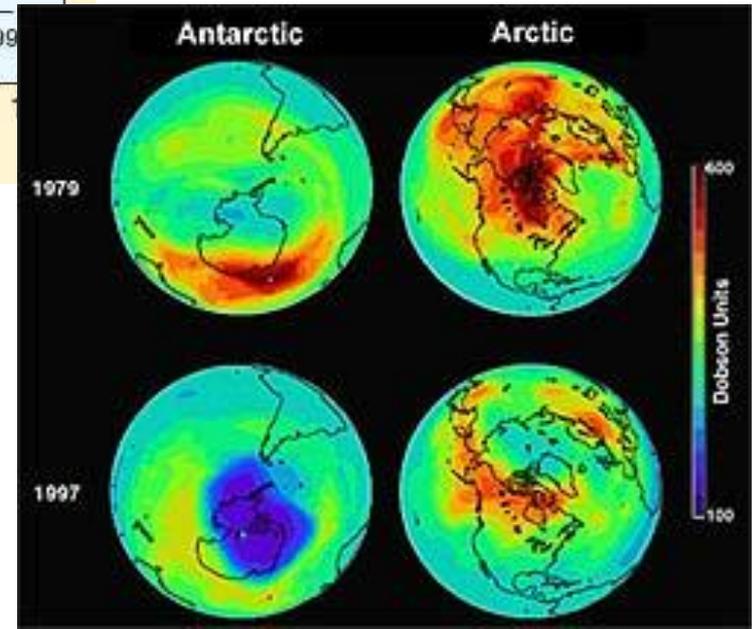
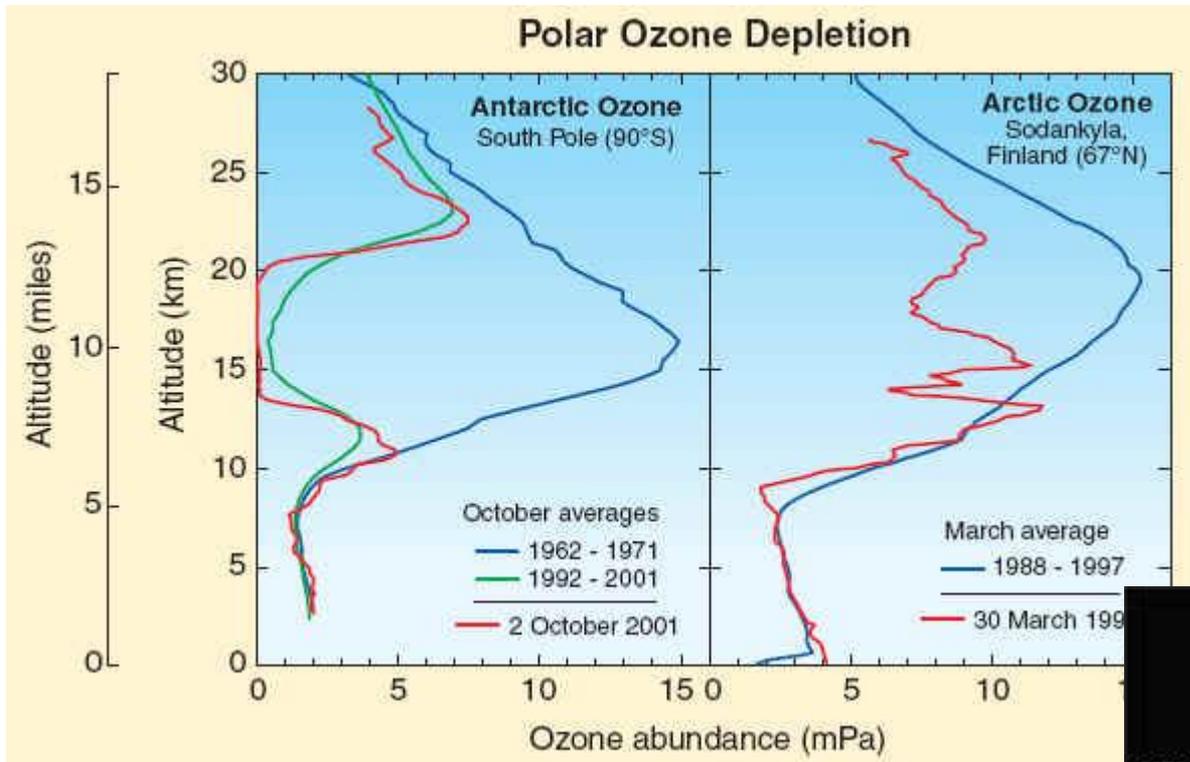
http://marzipan.atmos.washington.edu/ion_script/ATMS558/main_chapman.html

¿Qué le faltaba a Chapman?

Ciclos catalíticos de pérdida de ozono:



Pero Chapman corregido no explica:



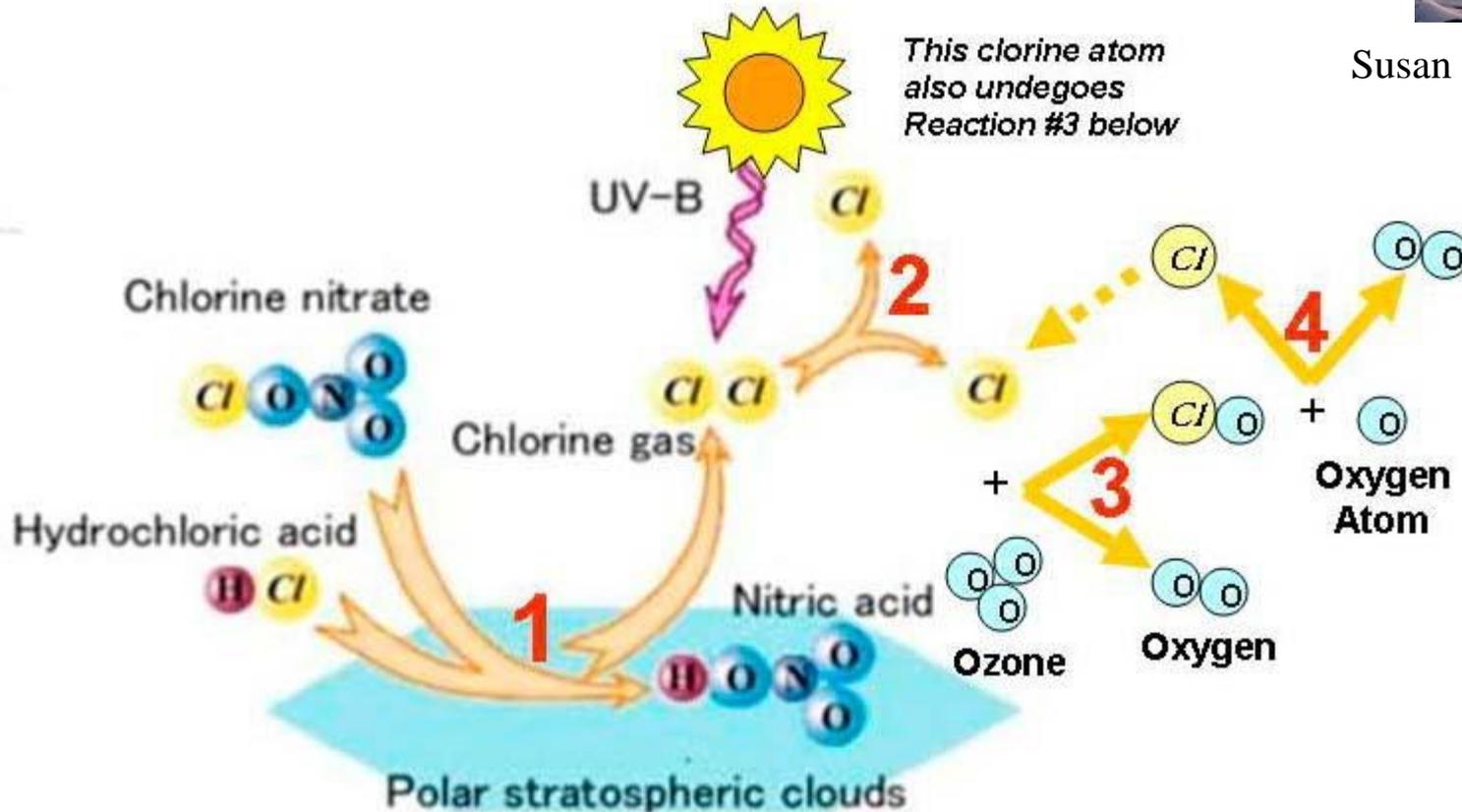
$$1 \text{ DU} = 2.69 \times 10^{20} \text{ O}_3 \text{ molec/m}^2.$$

LGK 2011

Explicaciones post 1987



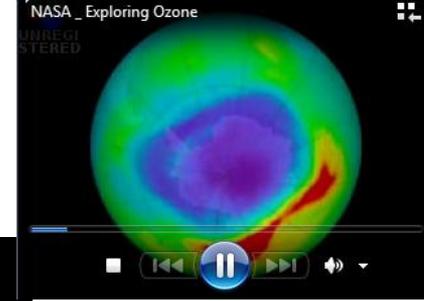
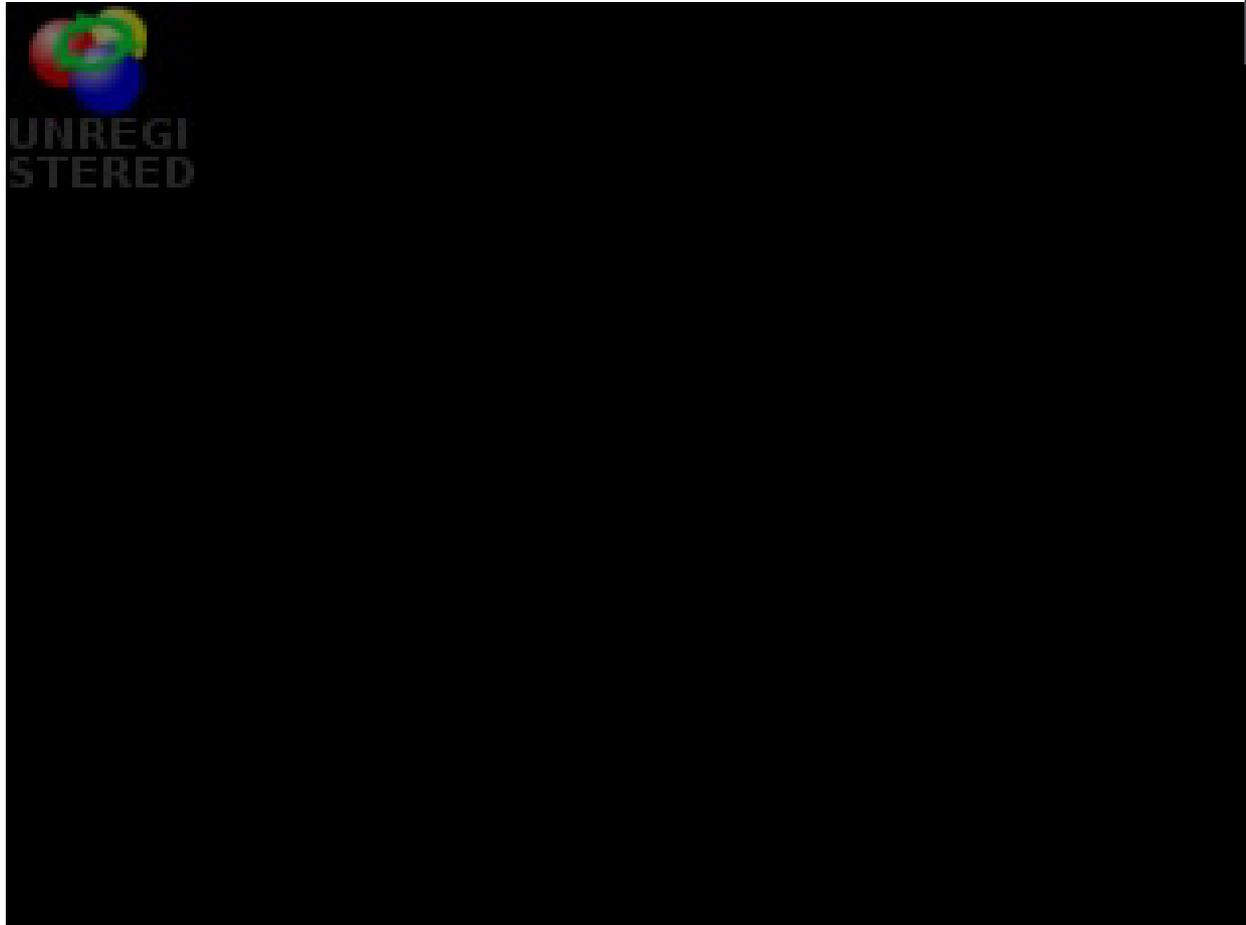
Susan Solomon et al...



LGK 2011

La presencia de nubes polares estratosféricas (PSC) permite reacciones fotoquímicas sobre superficies (más rápidas) que liberan Cl gatillando destrucción de O_3 . Las PSC son posibles dada la dinámica polar

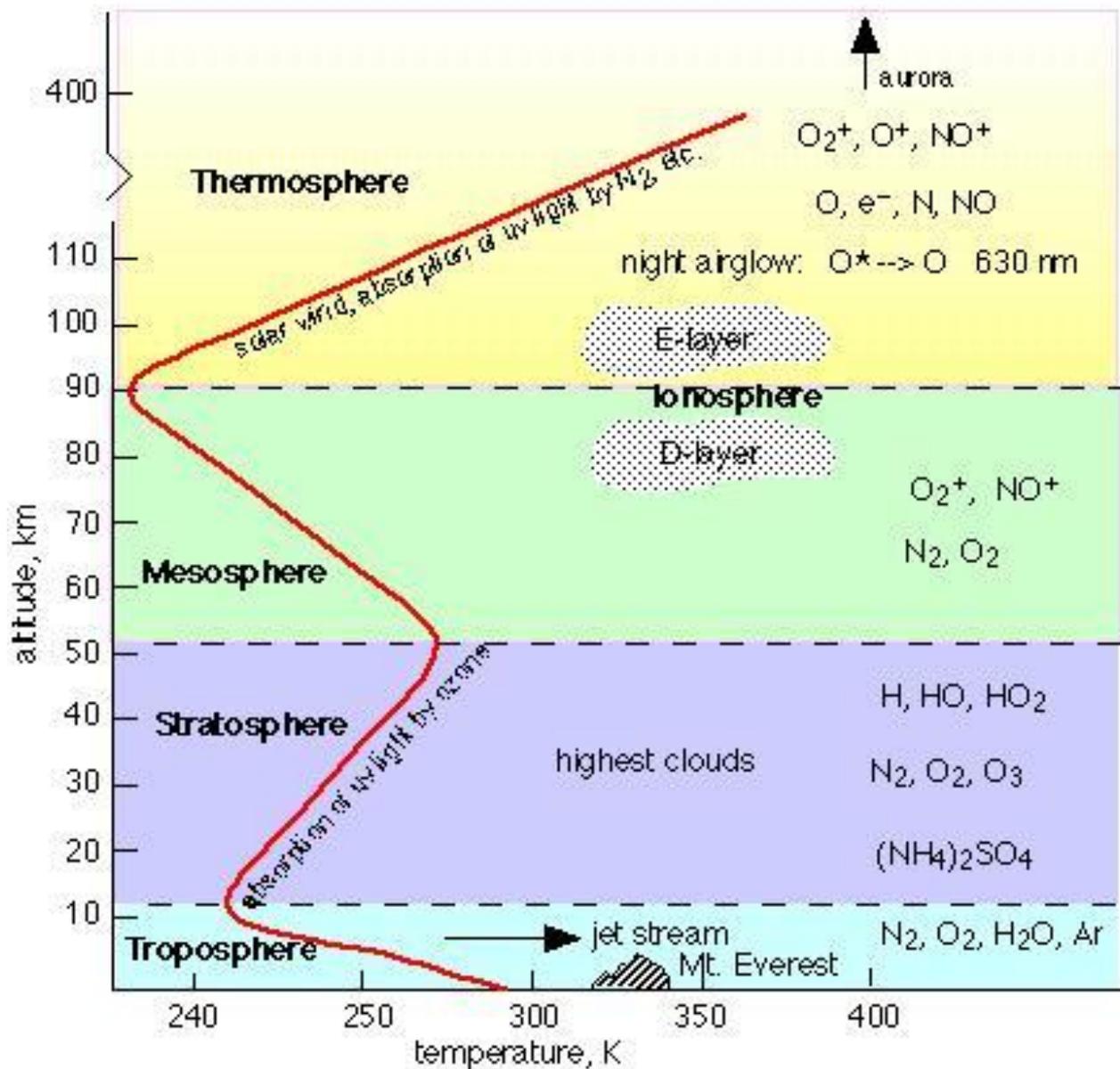
Altogether now....



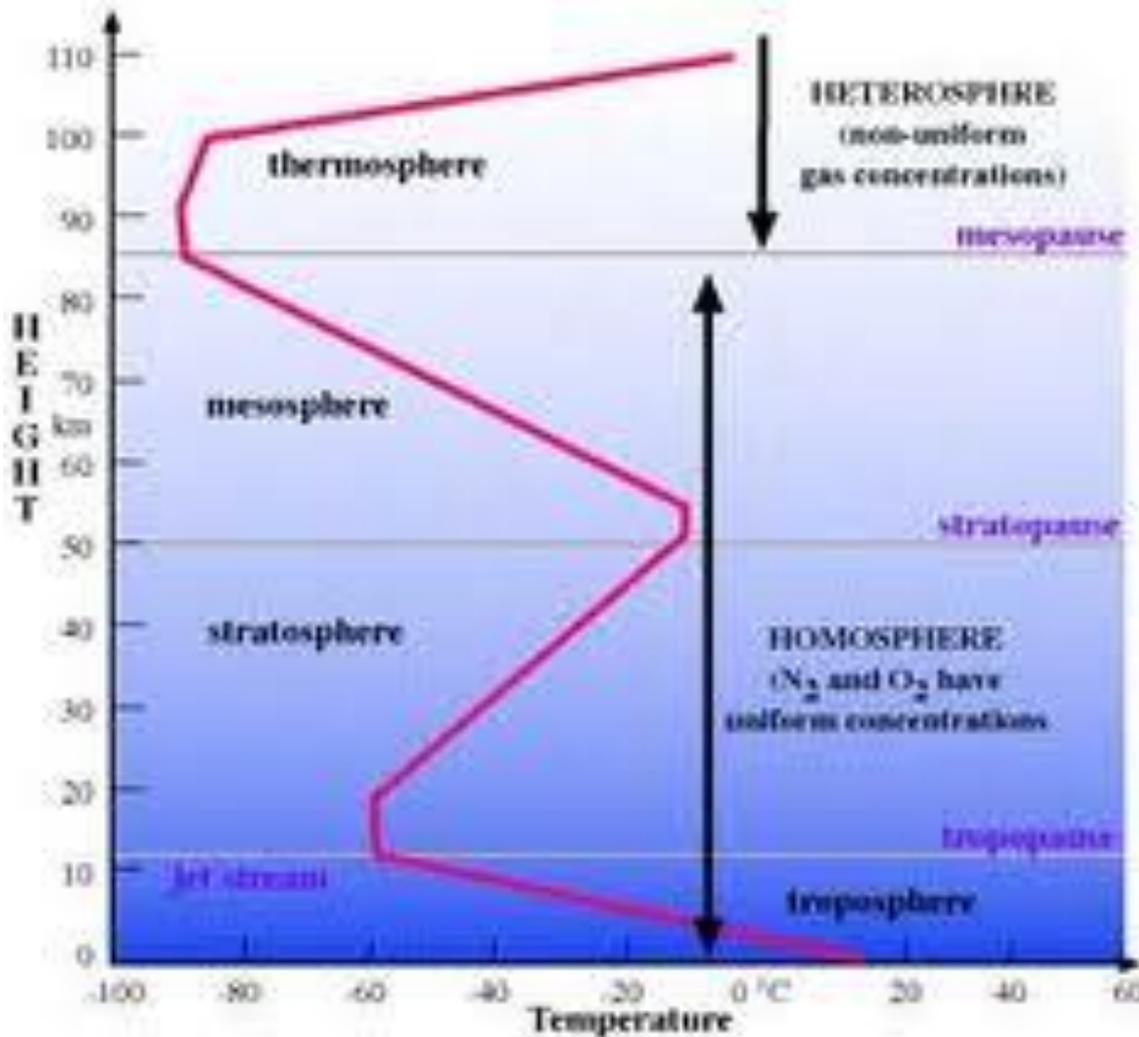
LGK 2011

http://www.youtube.com/watch?v=qUfVMogIdr8&feature=player_embedded

Estructura y composición van de la mano



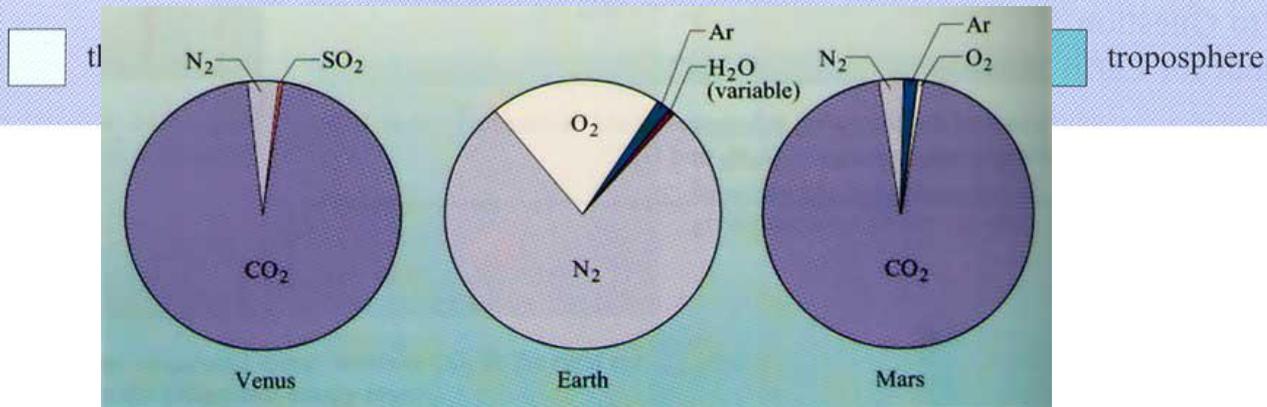
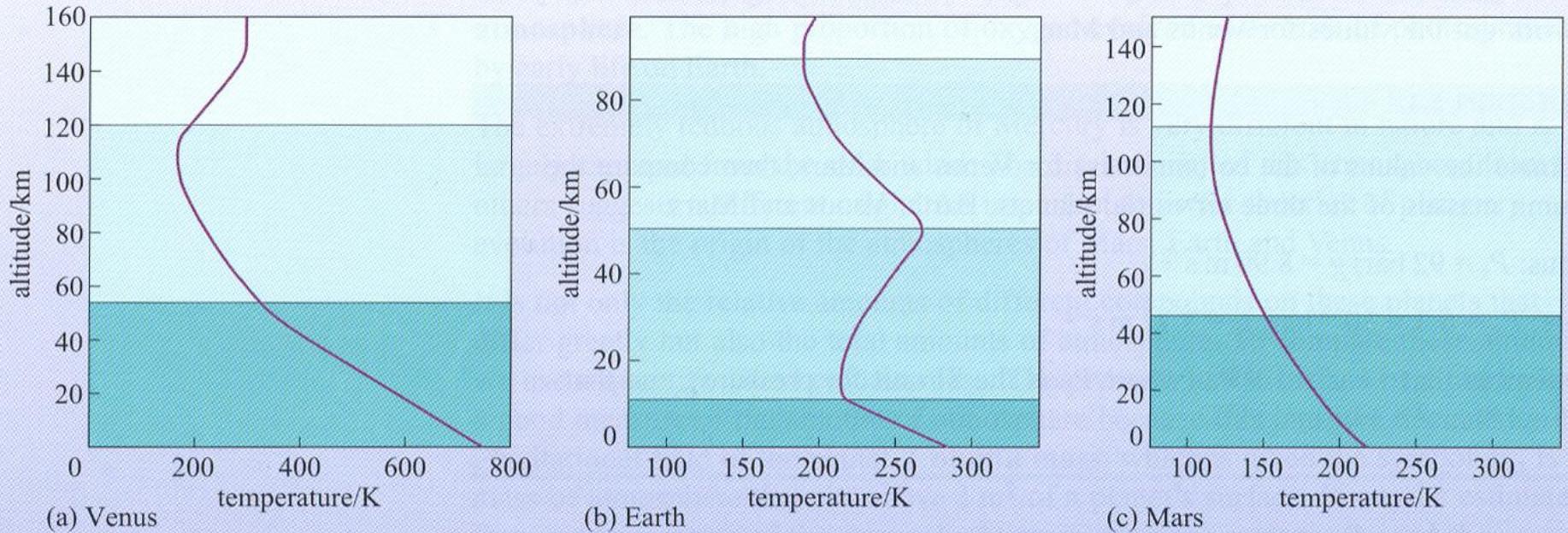
Como los 100 primeros km están muy bien mezclados (en cuanto a comp. mayoritarios)



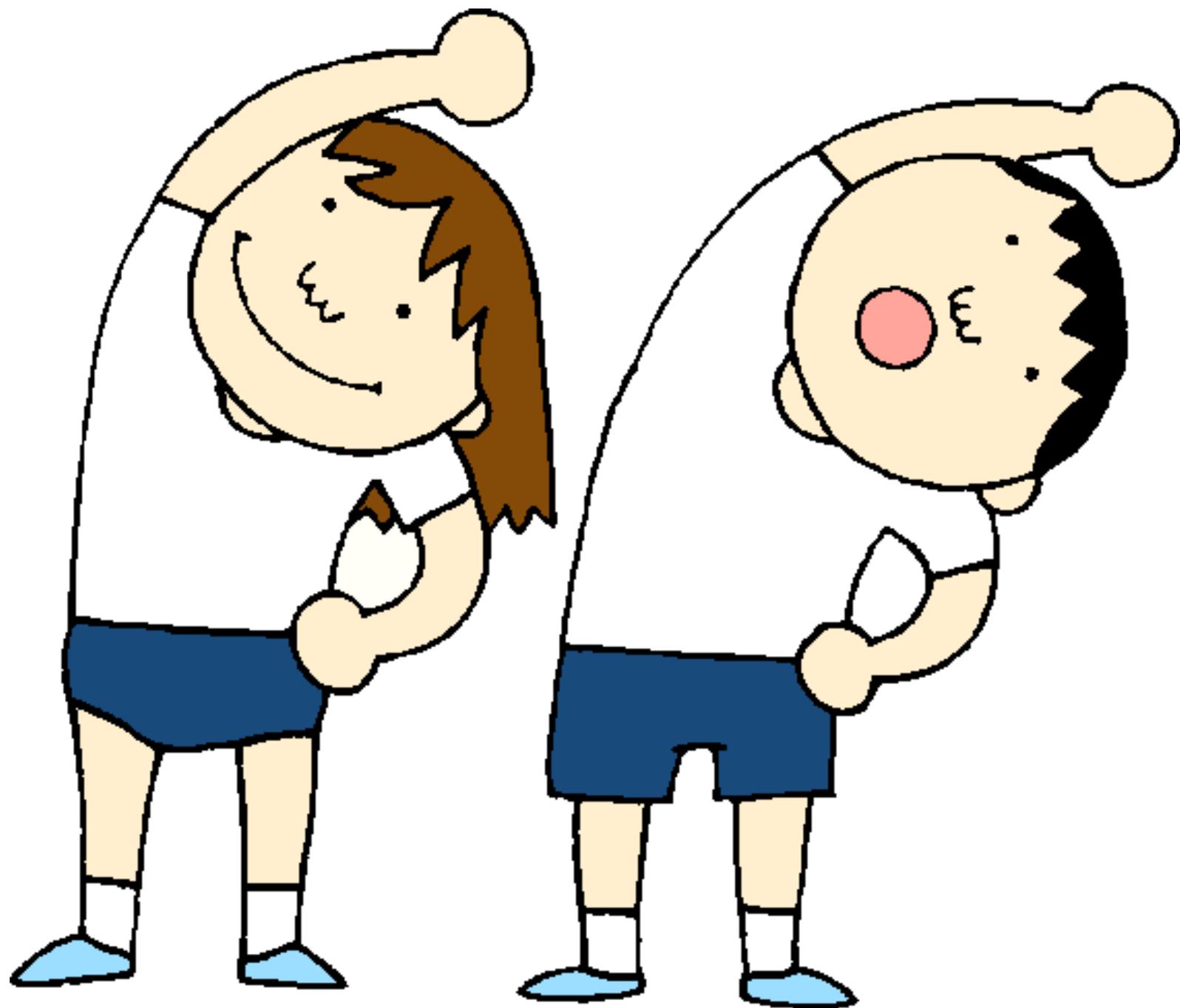
Heterósfera
(estratificación por peso molecular)

Homósfera
(mezcla eficiente)

Por supuesto, según la composición cambia la estructura termodinámica



ESR 2010

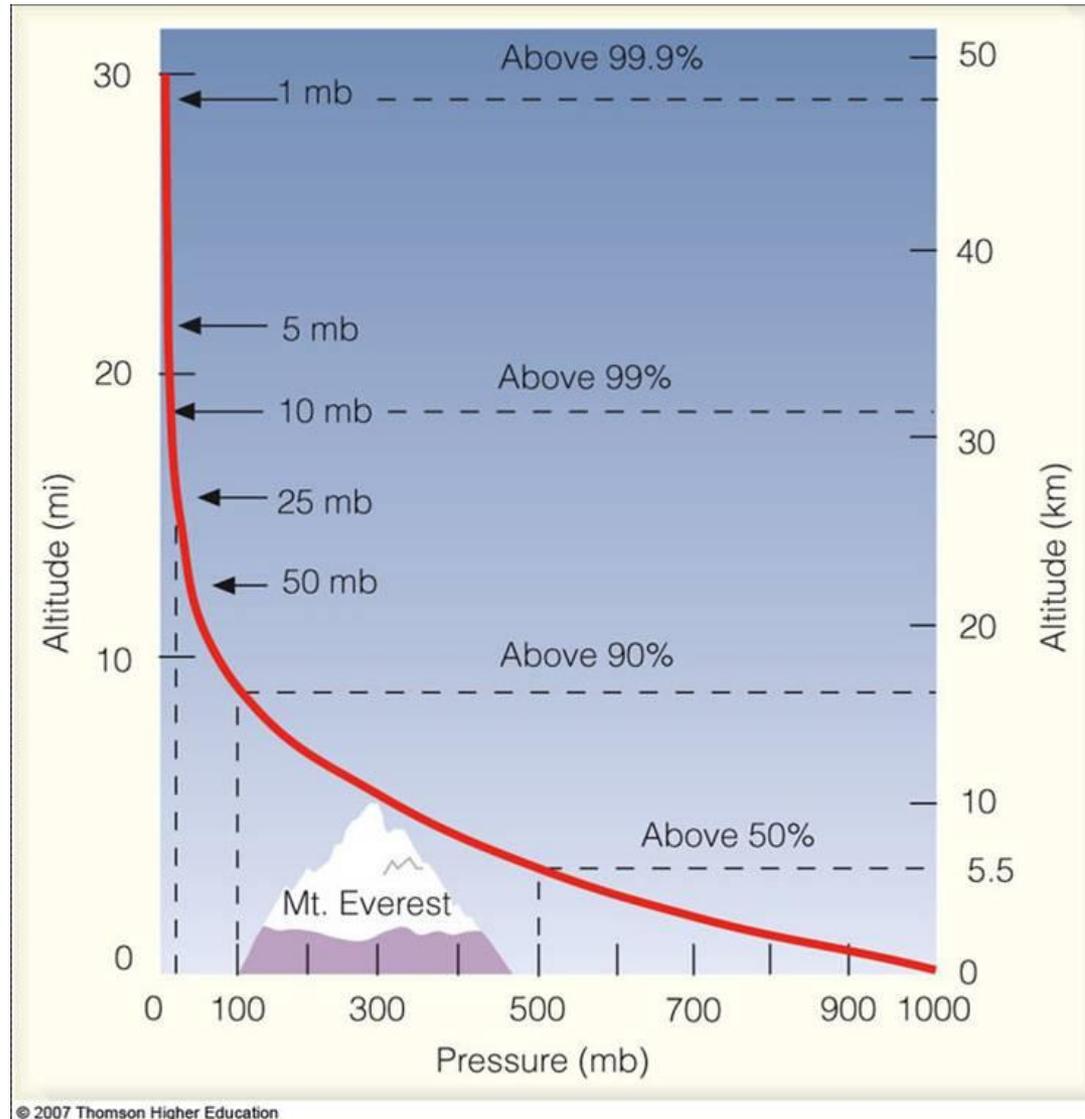




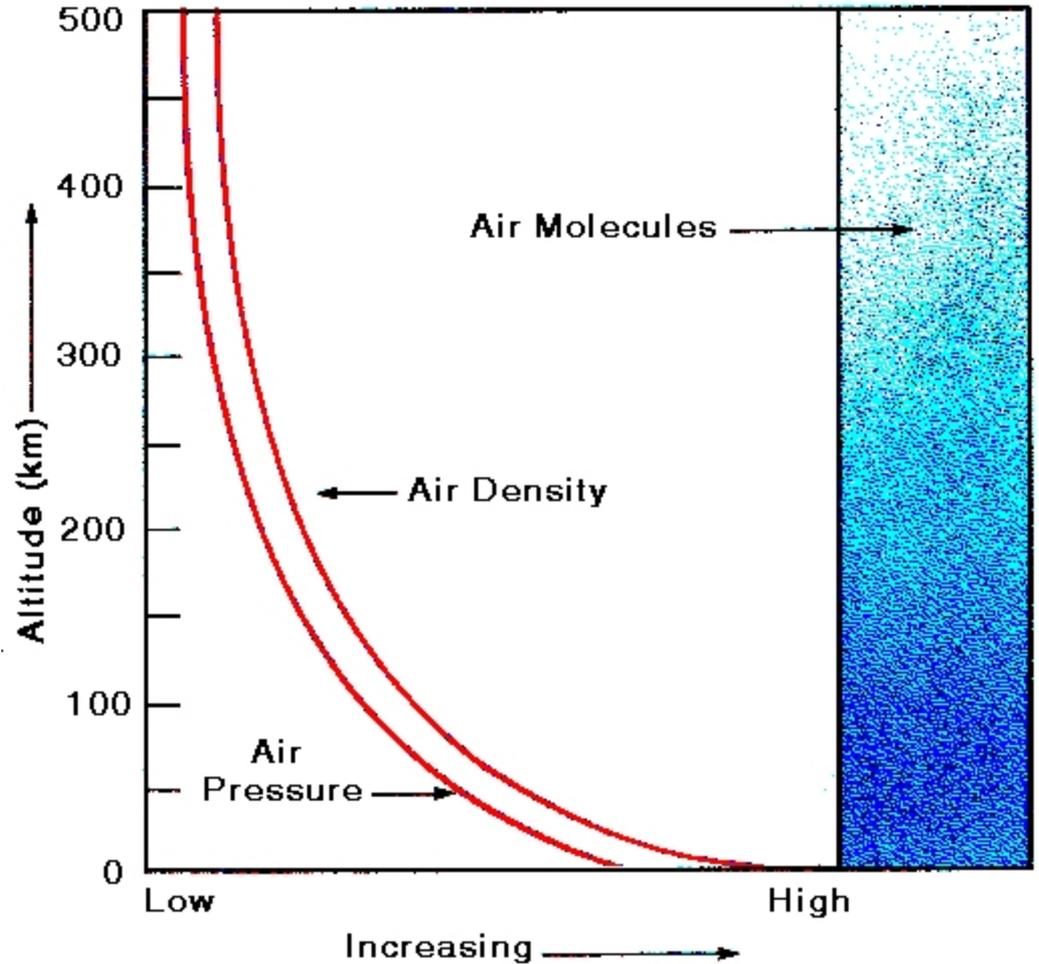
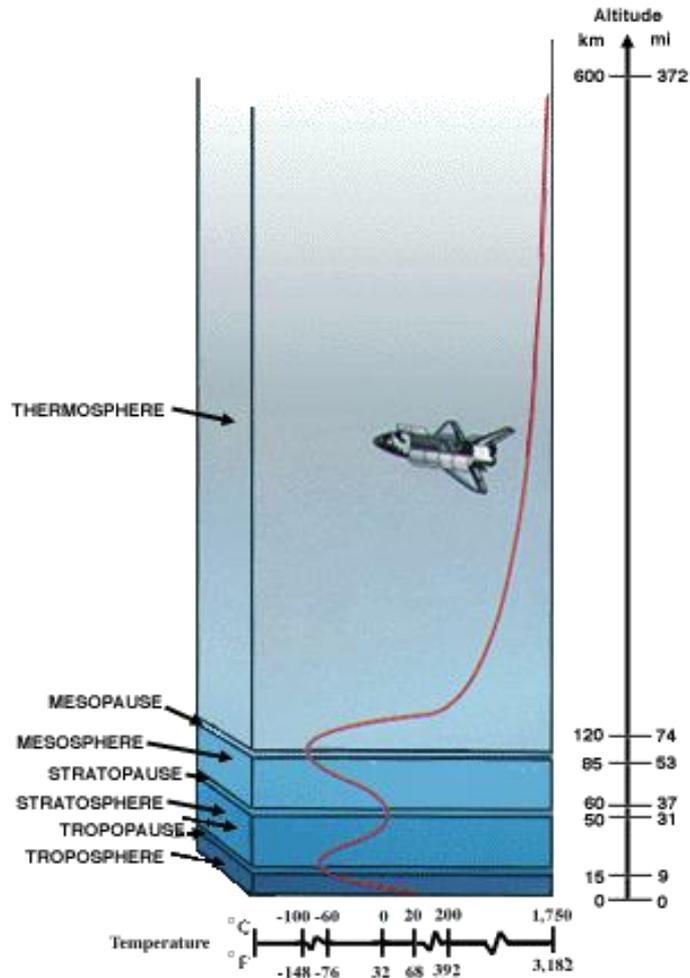
En la atmósfera
prevalecen los
movimientos
horizontales

Se comporta, grosso
modo, como un gas
ideal

¿Cómo cambia la presión con la altura?

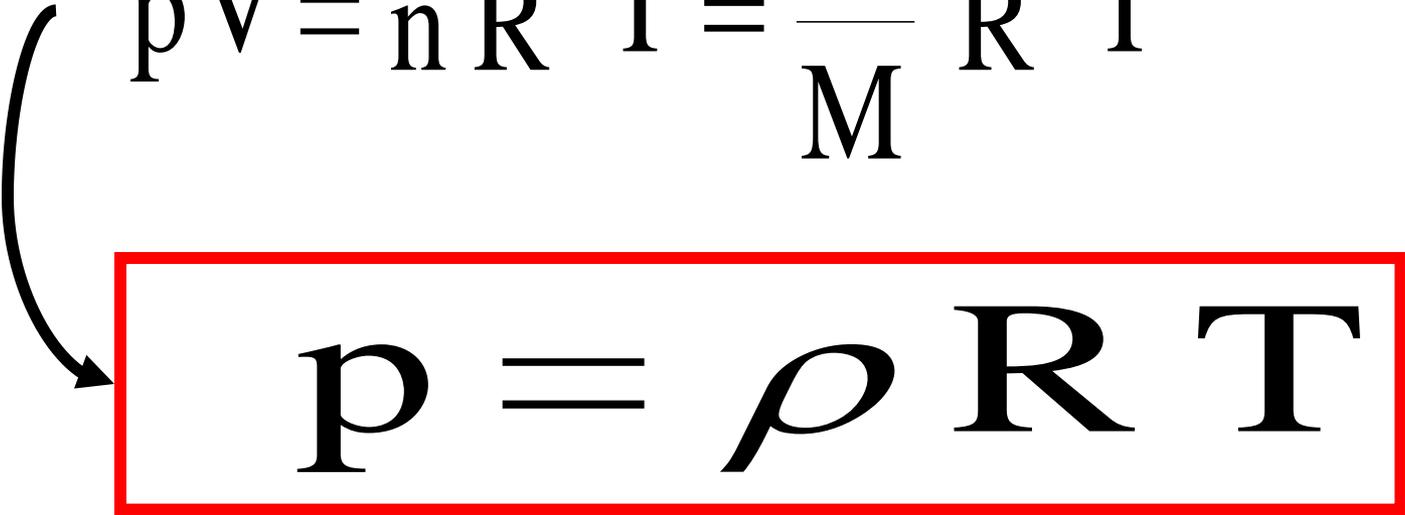


Entonces:



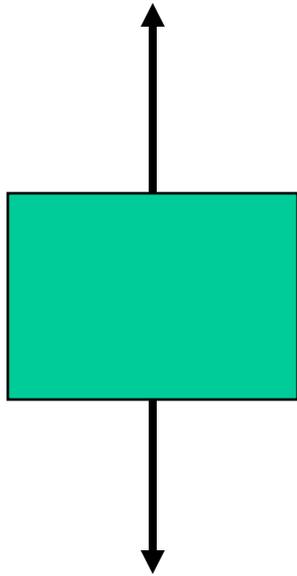
Atmósfera como gas ideal

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


$$p = \rho R T$$

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

Balance hidrostático



“La atmósfera no se cae...”

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

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

$$p = \rho R T$$

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

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

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

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

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

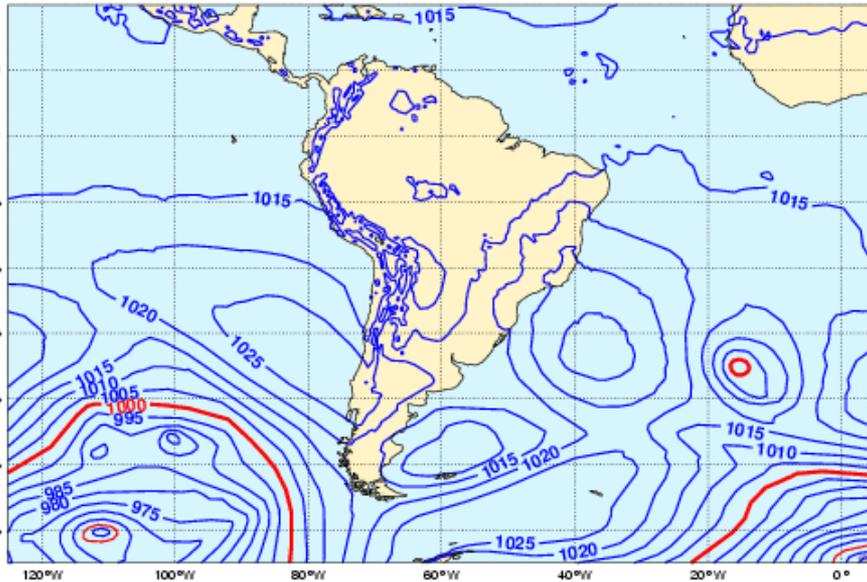
$T \sim \text{constante}$

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

Cartas meteorológicas

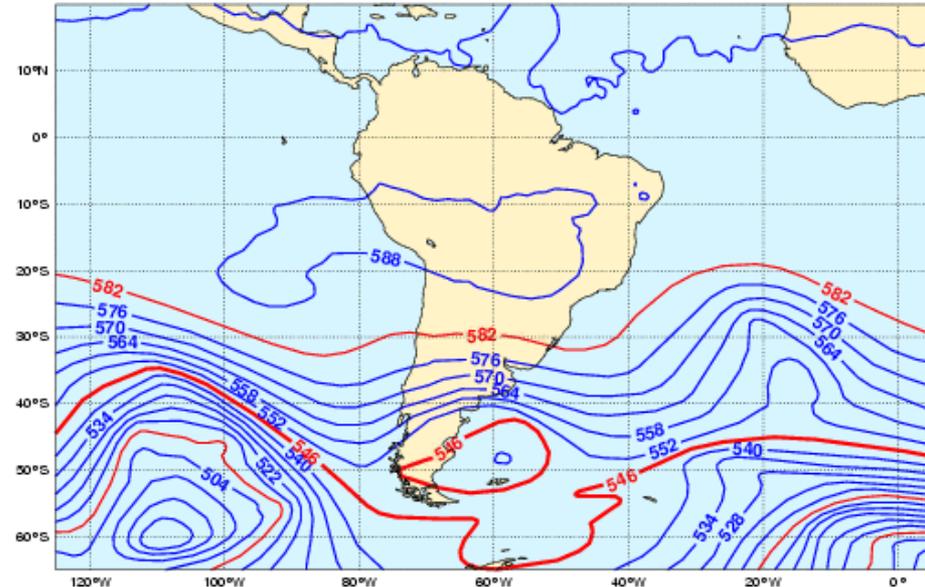
Isóbaras (=igual presión)

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

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

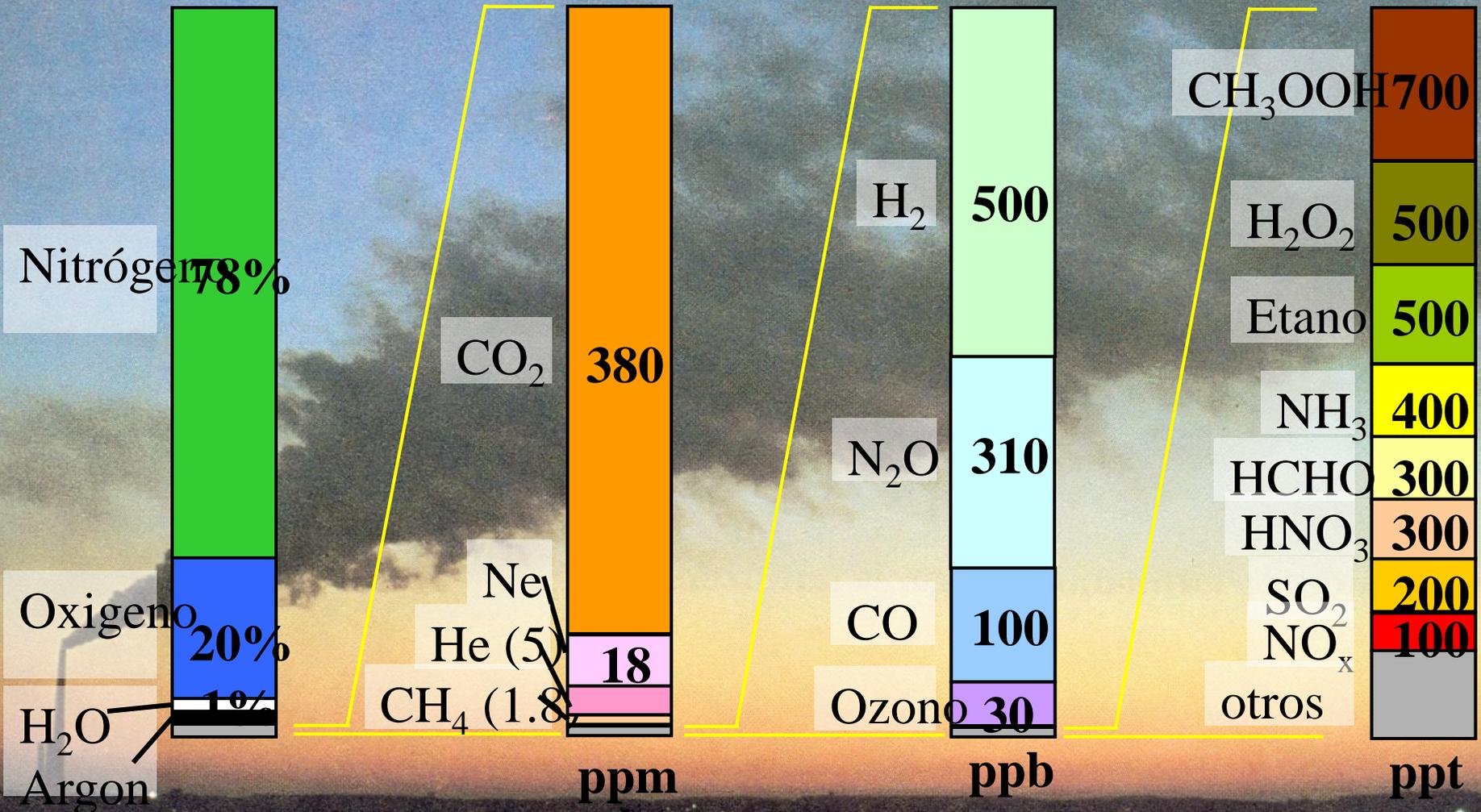
En H, la presión ha disminuido en 1/e para una atmósfera isotérmica

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



Composición de la Atmósfera



¿Qué es la contaminación (del aire)?



Ley 19.300: Bases Generales del Medio Ambiente

Promulgada el 1º de marzo de 1994, por el Presidente de la República Patricio Aylwin Azocar y publicada en el Diario Oficial el día 9 de marzo de 1994.

c)Contaminación: la presencia en el ambiente de sustancias, elementos energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente;

O sea...

d) *Contaminante*: todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental;

Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud

World Health Organization Air Quality Guidelines 2005 (http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/index.html)

Pollutant	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Averaging Period
Particulate Matter ($\text{PM}_{2.5}$)	10	1 year
	25	24 hour
Particulate Matter (PM_{10})	20	1 year
	50	24 hour
Ozone (O_3)	100	8 hour
Nitrogen Dioxide (NO_2)	40	1 year
	200	1 hour
Sulfur Dioxide (SO_2)	20	24 hour
	500	10 minute

Sobre la base de estudios epidemiológicos sobre morbilidad y mortalidad.
No considera aspectos sociales, económicos y políticos.

Contaminantes normados en EEUU

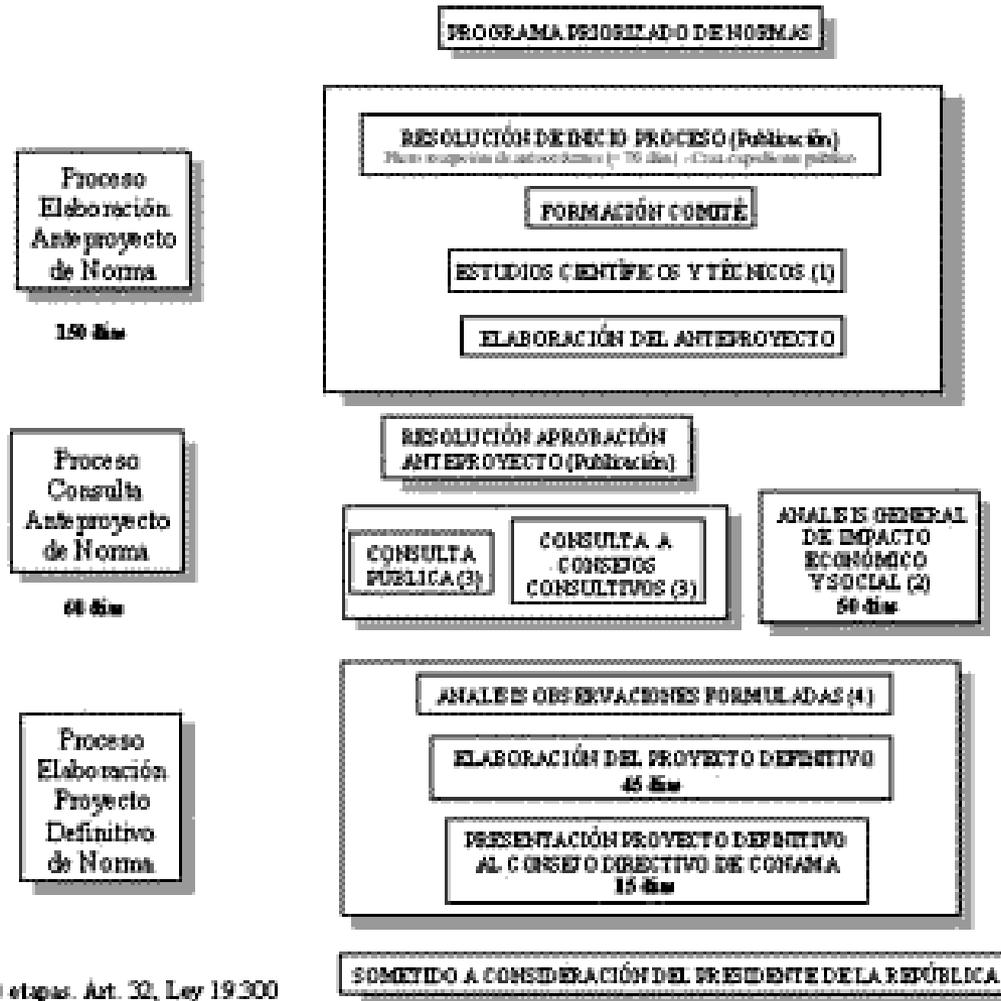
Pollutant	Primary Standards		Secondary Standards	
	Level	Averaging Time	Level	Averaging Time
Carbon Monoxide	9 ppm (10 mg/m ³)	8-hour ⁽¹⁾		
	35 ppm (40 mg/m ³)	1-hour ⁽¹⁾		None
Lead	0.15 µg/m ³ ⁽²⁾	Rolling 3-Month Average		Same as Primary
	1.5 µg/m ³	Quarterly Average		Same as Primary
Nitrogen Dioxide	53 ppb ⁽³⁾	Annual (Arithmetic Average)		Same as Primary
	100 ppb	1-hour ⁽⁴⁾		None
Particulate Matter (PM ₁₀)	150 µg/m ³	24-hour ⁽⁵⁾		Same as Primary
	15.0 µg/m ³	Annual ⁽⁶⁾ (Arithmetic Average)		Same as Primary
Ozone	35 µg/m ³	24-hour ⁽⁷⁾		Same as Primary
	0.075 ppm (2008 std)	8-hour ⁽⁸⁾		Same as Primary
	0.08 ppm (1997 std)	8-hour ⁽⁹⁾		Same as Primary
Sulfur dioxide	0.12 ppm	1-hour ⁽¹⁰⁾		Same as Primary
	0.03 ppm	Annual (Arithmetic Average)	0.5 ppm	3-hour ⁽¹⁾
	0.14 ppm	24-hour ⁽¹⁾		
	75 ppb ⁽¹¹⁾	1-hour		None

LGK 2010

Sí considera aspectos sociales, económicos y políticos.

<http://www.epa.gov/air/criteria.html>

Procedimiento de dictación de normas de calidad del aire en Chile (hasta 2010)



LGK 2010

¿Cómo se ejecuta?

Tabla 4. Comité Operativo y Comité Ampliado, procedimiento de Revisión de Norma Calidad del Aire

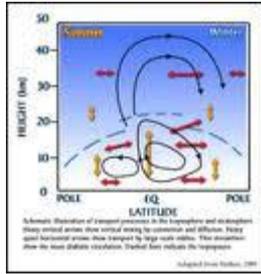
Comité Operativo	Comité Ampliado
<ul style="list-style-type: none">• Ministerio de Salud• Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones• Ministerio de Economía, Fomento y reconstrucción• Ministerio de Obras Públicas• Ministerio de Minería• Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO)• Comisión Nacional de Energía• Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente• Servicio de Salud de Antofagasta• Servicio de Salud Viña del Mar - Quillota• Servicio de Salud Valparaíso-San Antonio• Servicio de Salud O'Higgins• Servicio de Salud de Talcahuano• Servicio de Salud de Concepción• Servicio de Salud Araucanía Sur	<ul style="list-style-type: none">• Colegio Médico• Sociedad Chilena de Epidemiología• OPSOMS• Colegio de Ingenieros de Chile/Instituto de Ingenieros de Chile• RENACE• Casa de la Paz• Green Peace Pacífico Sur• Chile Ambiente• SOFOFA• CODELCO• ENAMI• SONAMI• Consejo Minero• Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmeccánicas• Asociación Metropolitana de Transporte• Claiss• SGA Ibeisis• Depto Bioquímica, Universidad de Chile• CIMAB, Facultad de Medicina, Universidad de Chile• Depto Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Chile• Depto de Salud Pública, Universidad Católica de Chile• Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción

Fuente: CONAMA Expediente público rol NOR.01/2000, Revisión de las normas primarias de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO₂); partículas totales en suspensión (PTS); monóxido de carbono (CO); Ozono (O₃) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

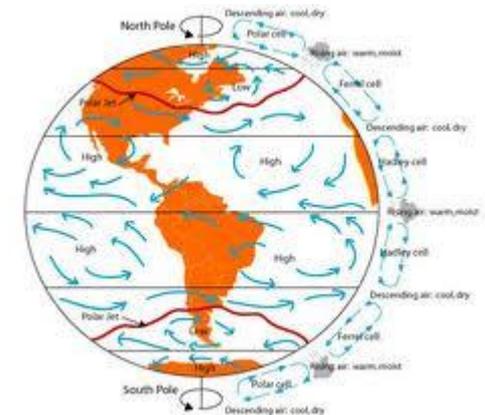
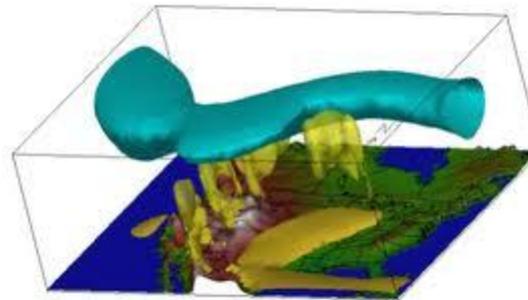
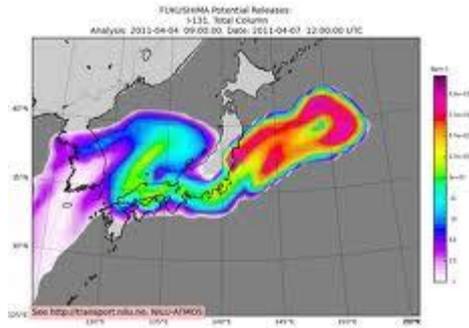
Tarea

¿Normas de calidad de aire
vigentes en Chile?

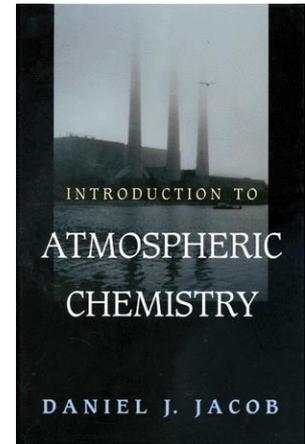
Próximamente



Transporte atmosférico
Circulación atmosférica



Lecturas de hoy



- Obligatoria
 - Introduction to atmospheric chemistry, D. Jacob, Ch. 1 & 2.
<http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/index.html>
 - Antropoceno (<http://www.mpch-mainz.mpg.de/~air/anthropocene/Text.html>)
- Opcional
 - Planetary atmospheres
(<http://lasp.colorado.edu/~bagenal/3720/index.html>)
 - Solomon, S., 1999. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history. *Rev. Geophys.* 37, 275-316

