



**Meteorología**

***GRADO EN GESTIÓN Y OPERACIONES DEL  
TRANSPORTE AÉREO***

Departamento de Física Aplicada

Meteorología: Ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos. (RAE)

- Meteorología sinóptica
- Dinámica atmosférica
- Termodinámica

# Organización de los servicios meteorológicos para la aviación

Dos organizaciones de las Naciones Unidas:

---

OMM: Organización Meteorológica Mundial

WMO: World Meteorological Organization

Sede: Ginebra

---

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional

ICAO: International Civil Aviation Organization

Sede: Montreal

---

La relación entre ellas está descrita en el **anexo 3** de OACI.

WAFS: World Area Forecast System.  
Sistema Mundial de Pronóstico de Area,  
(WAFC) World Area Forecast Centre

- WAFC-Washington
- WAFC-Londres

VAAC: Volcanic Ash Advisory Center

TCAC: Tropical cyclone advisory centre

MET: METeorological office

MWO: Meteorological Watch Offices

# FIR-Flight Information Regions



# Atmósfera Estándar Internacional (ISA)

Capa	$h_0$ (msnm)	$z_0$ (msnm)	$a$ (K/km)	$T_0$ (°C)	$p_0$ (Pa)	$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )
Troposfera	0.0	0.0	-6.5	15	101 325	1.2250
Tropopausa	11 000	11 019	0.0	-56.5	22 632	0.3639
Estratosfera	20 000	20 063	1.0	-56.5	5474.9	0.0880
Estratosfera	32 000	32 162	2.8	-4.5	868.02	0.0132
Estratopausa	47 000	47 350	0.0	-2.5	110.91	0.0020
Mesosfera	51 000	51 413	-2.8	-2.5	66.939	
Mesosfera	71 000	71 802	-2.0	-58.5	3.9564	
Mesopausa	84 852	86 000		-86.28	0.3734	

# Atmósfera Estándar Internacional

## Definiciones:

$h_0$ : Altura geopotencial.

$z_0$ : Altura geométrica.  $z = \frac{R_T h}{R_T - h}$  siendo  $R_T$  el radio de la Tierra.

$a$ : Gradiente térmico.

$T_0$ : Temperatura base.

$p_0$ : Presión base.

$\rho_0$ : Densidad base.

## Algunas definiciones de magnitudes intensivas

Presión: Fuerza sobre una superficie dividida entre el área de dicha superficie.

Unidad en el SI:  $Pa = pascal = \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m s^2}$

Otras unidades;

$$1 \text{ atm} = 101325 Pa$$

$$1 \text{ mmHg} = \frac{101325}{760} Pa \approx 133.289 Pa$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 Pa$$

$$1 \text{ Torr} = \text{torricelli} \approx 1 \text{ mmHg} \text{ (Hoy no se utiliza)}$$



## Algunas definiciones de magnitudes intensivas

Densidad: Masa dividida entre el volumen que ocupa.

Unidad en el SI:  $\frac{kg}{m^3}$  Otras unidades:

$$1 \frac{kg}{L} = 1 \frac{kg}{dm^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$1 \frac{g}{L} = 1 \frac{g}{dm^3} = 1 \frac{kg}{m^3} = 1 \frac{mg}{cm^3} = 1 \frac{mg}{mL} \text{ (utilizado en gases)}$$

## Algunas definiciones: Altura geopotencial

La altura geopotencial ( $h$ ) proporciona a una masa  $m$ , considerando  $g$  constante, el mismo incremento de energía gravitatoria, que la correspondiente altura geométrica ( $z$ ).

$$mgh = \Delta E_g(z) = E_g(z) - E_g(0)$$

Como

$$E_g(z) = -G \frac{mM_T}{R_T + z}$$

tenemos

$$\frac{1}{R_T^2} h = \frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_T + z}$$

$$\longrightarrow \boxed{z = \frac{R_T h}{R_T - h}}$$

Grado en G. y O. del transporte Aereo

**Definición 0.1** (Mol). *La cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012kg de  $^{12}\text{C}$ .*

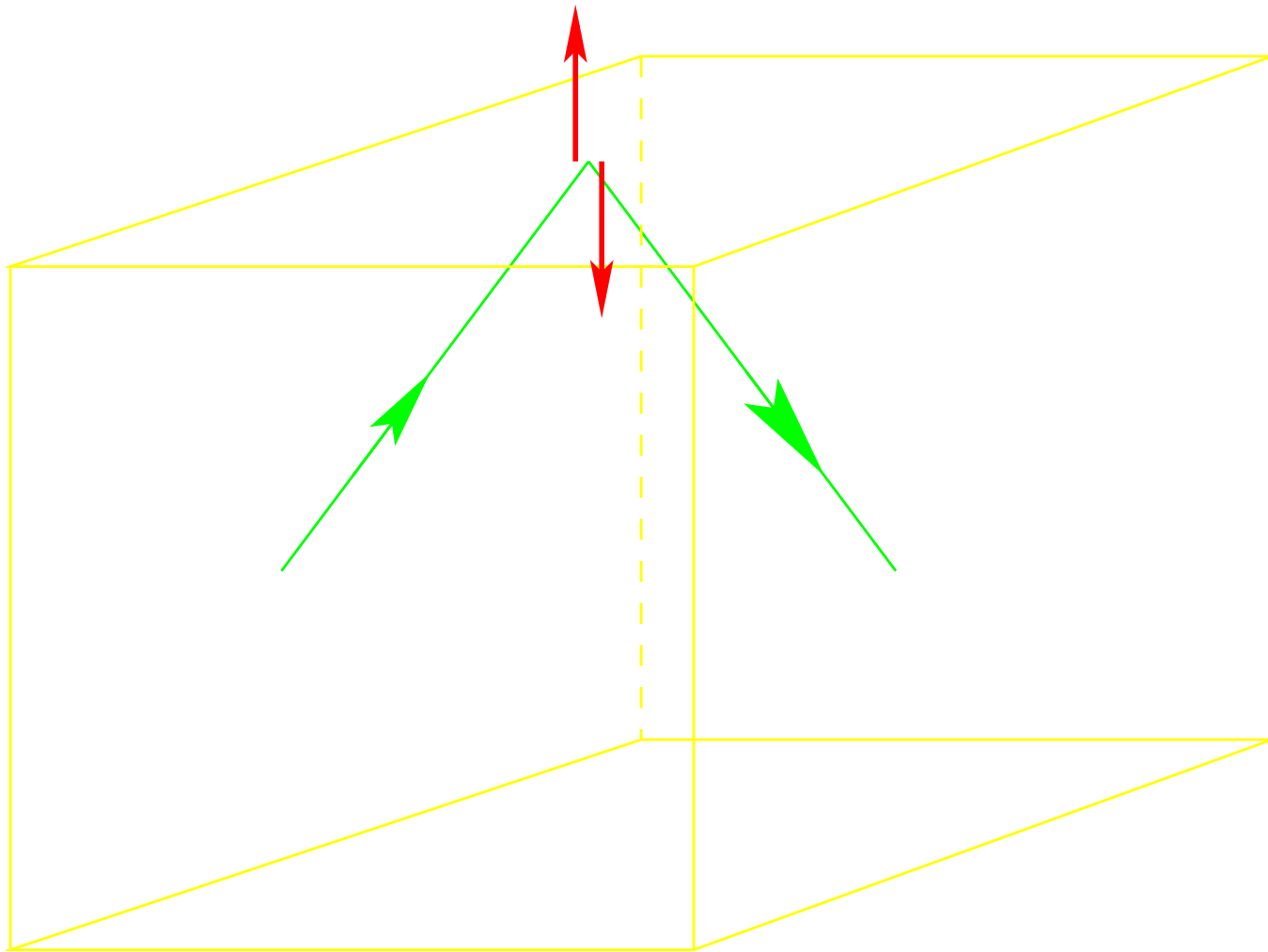
Constante de **Avogadro**<sup>a</sup>:  $N_A \simeq 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

**Definición 0.2** (Gas ideal o perfecto). *Se llama gas ideal o perfecto a un sistema de iguales partículas microscópicas con interacción despreciable entre ellas.*

---

<sup>a</sup> Amadeo Avogadro. Físico italiano, conde de Quareghna e Cerreto

# Teoría cinética. Gases ideales



# Teoría cinética. Gases ideales

$$p = \frac{\Delta F}{h^2} = \frac{mN\overline{w_z^2}}{V}$$

$$pV = mN\overline{w_x^2}, \quad pV = mN\overline{w_y^2}$$

$$pV = \frac{1}{3}mN\overline{w^2} = \frac{2}{3}N\overline{E_k}$$

# Teoría cinética. Gases ideales

$$pV = \frac{2}{3}nN_A\overline{E_k}$$

Teniendo en cuenta que

$$pV = nRT$$

tenemos

$$RT = \frac{2}{3}N_A\overline{E_k}$$

# Teoría cinética. Gases ideales

Sabiendo que  $nR = Nk$  donde:

R : Constante molar de los gases (antes, constante de los gases ideales)=  
 $8.314472 \pm 0.000015 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

k : Constante de Boltzmann= $(1.3806505 \pm 0.0000024) 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

tenemos:

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

**Definición 0.3** (Temperatura Absoluta). *Se asigna al punto triple del  $H_2O$  el valor  $273.16 \text{ K}$ .*

Ecuación de los gases ideales:

$$p = \rho R_a T$$

Siendo:

$p$ : Presión atmosférica

$\rho$ : Densidad del aire

$R_a$ : constante individual del aire.

$$R_a = \frac{R}{\bar{m}_m} = 287 \frac{m^2}{s^2 K}$$

$\bar{m}_m$ : Masa molar media del aire  
seco  $\approx 0.029 kg/mol$



Ecuación Fundamental de la fluidoestática:

$$\frac{dp}{dh} = -g\rho$$

Siendo:

$h$ : Altura geopotencial

$g$ : aceleración de la gravedad  $g = 9,80665m/s^2$

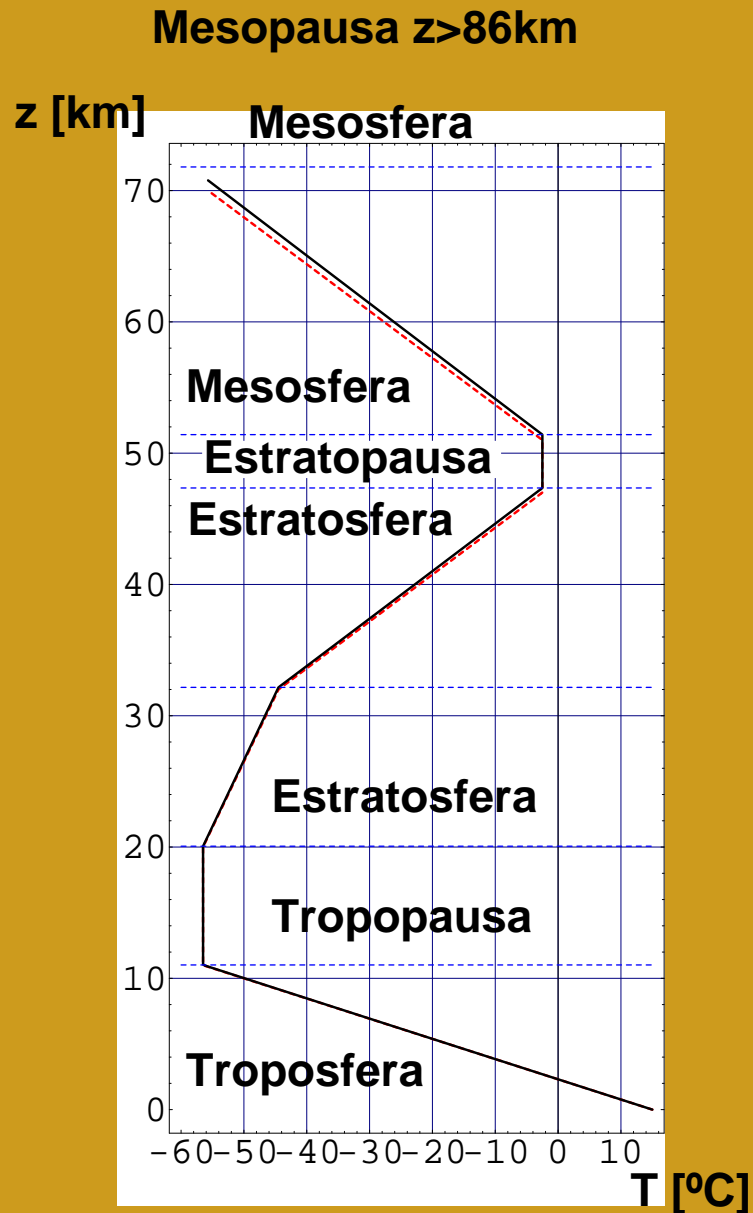
Definiendo  $T(h) = T_0 + a(h - h_0)$ , obtenemos  $p(h)$  y  $\rho(h)$ .

# Atmósfera Estándar Internacional: Modelo matemático

Con esto, definiendo  $T(h)$  y los valores base, podemos obtener  $p$  y  $\rho$  a cualquier altura.

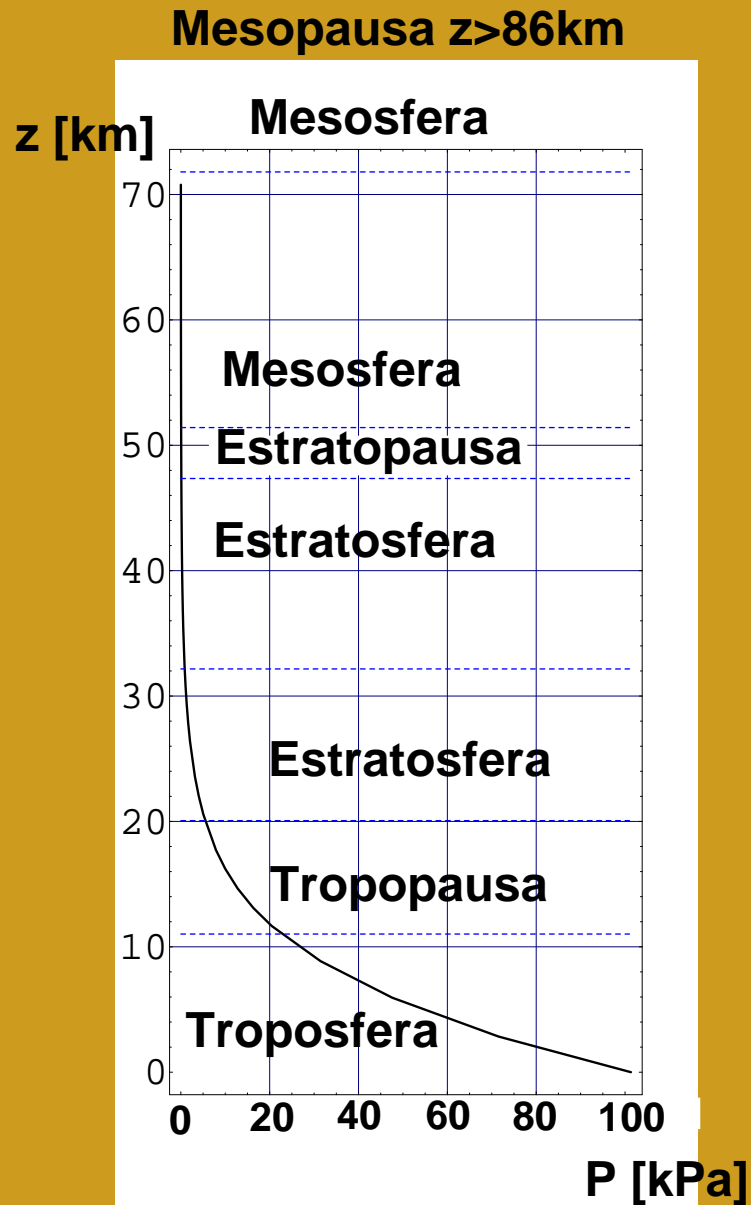
$a = 0$	$a \neq 0$
$T(h) = T_0$	$T(h) = T_0 + a(h - h_0)$
$p(h) = p_0 e^{-\frac{g}{R_a T_0}(h - h_0)}$	$p(h) = p_0 \left( \frac{T(h)}{T_0} \right)^{-\frac{g}{a R_a}}$
$\rho(h) = \rho_0 e^{-\frac{g}{R_a T_0}(h - h_0)}$	$\rho(h) = \rho_0 \left( \frac{T(h)}{T_0} \right)^{-1 - \frac{g}{a R_a}}$

# Atmósfera Estándar Internacional



Temperatura de la atmósfera en función de la altura geométrica  
Temperatura en función de la altura geopotencial.

# Atmósfera Estándar Internacional



Presión atmosférica en función de la altura geométrica

Alcanza unos 16km en el ecuador y 7.5km en los polos. En zonas templadas su espesor varía con la época del año. Aquí se producen casi todos los fenómenos meteorológicos incluidos los tsunamis. No se producen las auroras (boreal: Norte, austral: Sur) ni las estrellas fugaces

Gradiente vertical de temperatura

$$\text{standard} = 6.5K/km = -\frac{dT}{dh}$$

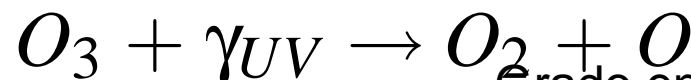
# Tropopausa

La tropopausa es la zona de transición entre la troposfera y la estratosfera. El gradiente vertical de temperatura se estabiliza. Debido a reacciones fotoquímicas que producen calor. Es el límite de la mayoría de los fenómenos meteorológicos.

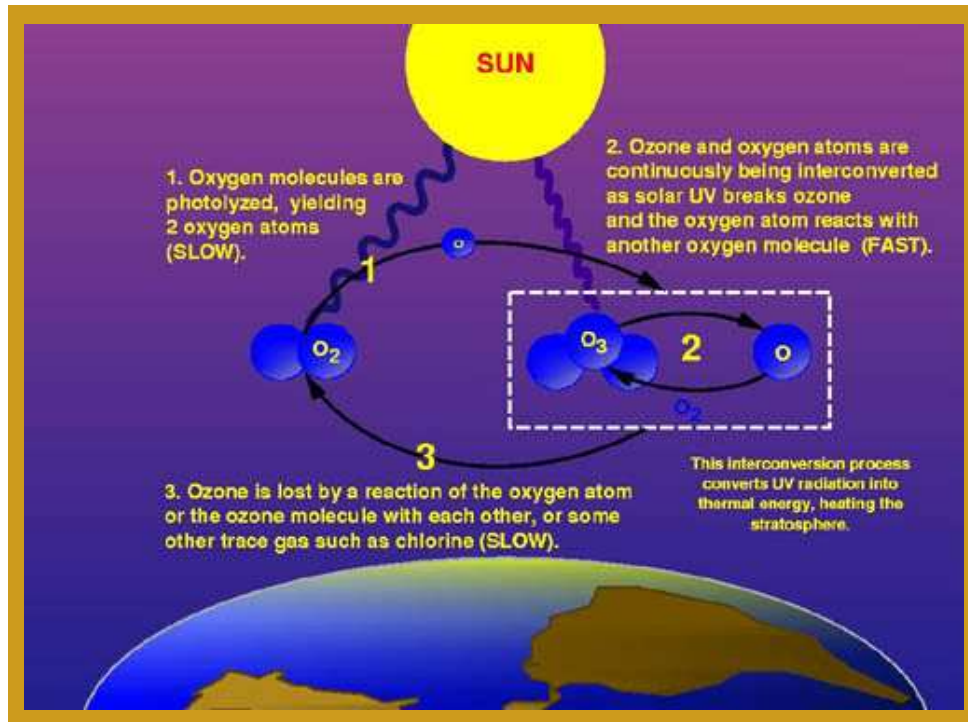
# Estratosfera

Debe su nombre al que los gases está casi estratificados. En la estratosfera la temperatura crece con la altura. Es debido a que dicha capa absorbe las ondas electromagnética procedentes del exterior.

Uno de los procesos mas importantes es la absorción de ondas ultravioletas (UV) produciendo ozono  $O_3$ . Esto evita que dicha radiación llegue a la superficie terrestre.



# Dinámica del $O_3$



Las reacciones químicas del ozono convierten la energía del espectro UV en infrarrojos

Los cfc-11 ( $CFCl_3$ ) y cfc-12 ( $CF_2Cl_2$ ) llegan a la capa de ozono contribuyendo a su eliminación. Pueden estar activos durante mas de un siglo después de su emisión.



# Estratopausa

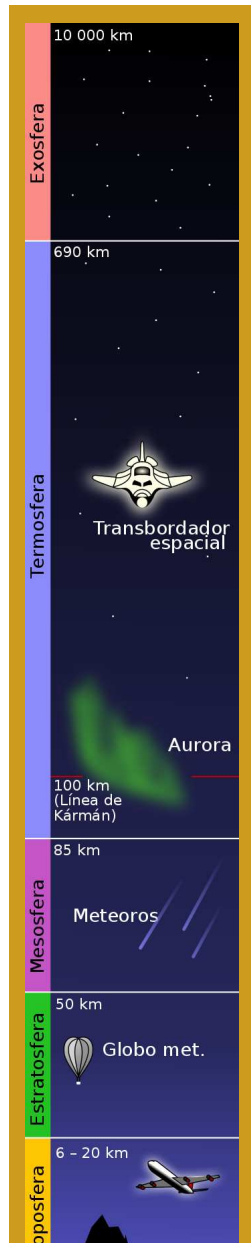
Capa de transición que está situada entre la mesosfera y estratosfera.

Los movimientos de aire son casi en su horizontales, siguiendo a los vientos de la estratosfera.

# Mesosfera

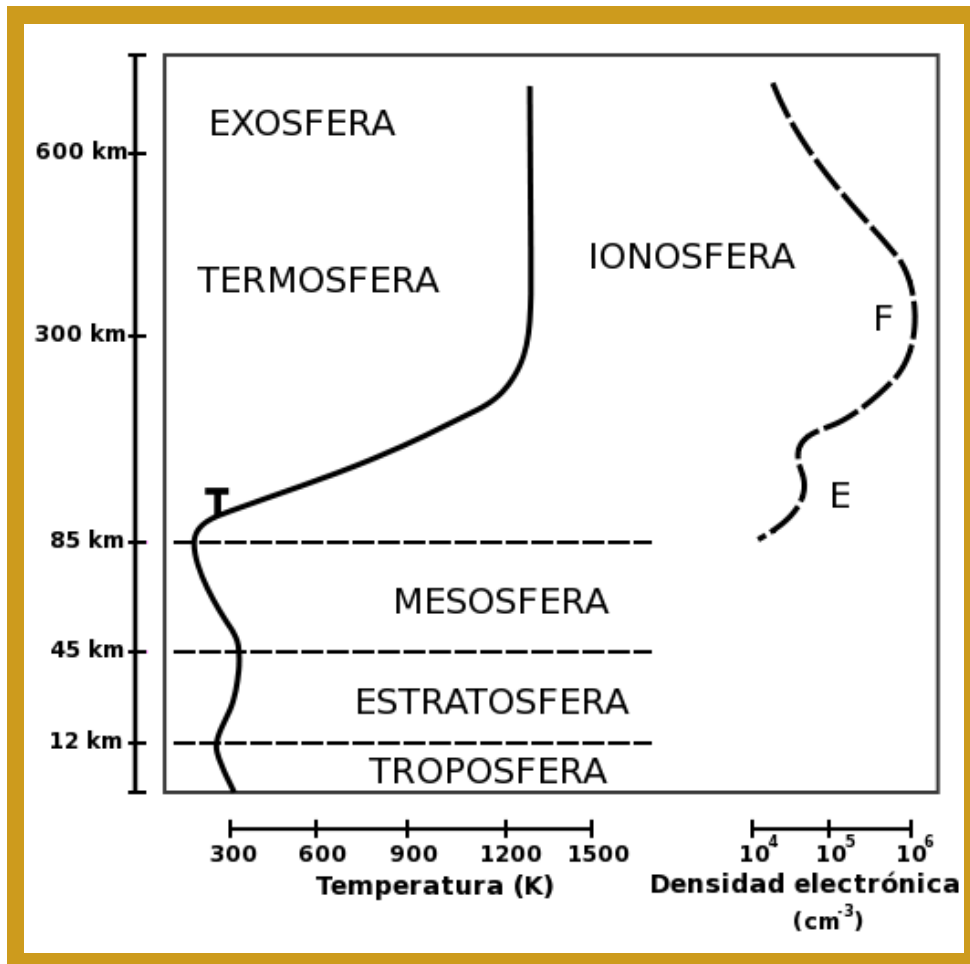
La mesosfera es la tercera capa de la atmósfera de la Tierra. Es la zona más fría de la atmósfera. Contiene 0.1 % de la masa total del aire. Capa ionizada con multitud reacciones químicas. Baja altura para satélites y alta para aviones y globos. Solución: cohetes sonda  
Estrellas fugaces.

# Atmósfera Estándar Internacional



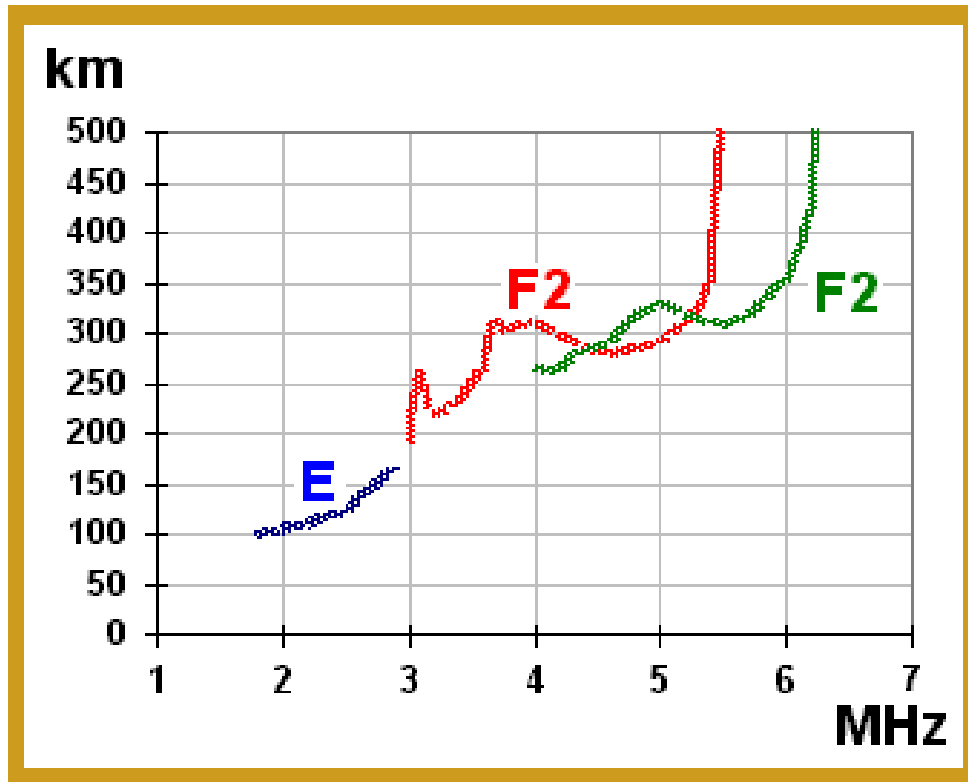
- **Exosfera:** Desde 500km hasta 10.000km. En esta capa la *temperatura* no varía y el aire pierde sus cualidades termodinámicas de gas noble
- **Ionosfera:** Capa de la atmósfera ionizada debido a la radiación solar. Los tiempos de reconvinación de iones son superiores 12h, por lo que mantiene muchas de sus propiedades aún por la noche. Refleja las ondas electromagnéticas.

# Ionosfera



Capa parcialmente ionizada: electrones libres, iones y neutros

# Ionosfera



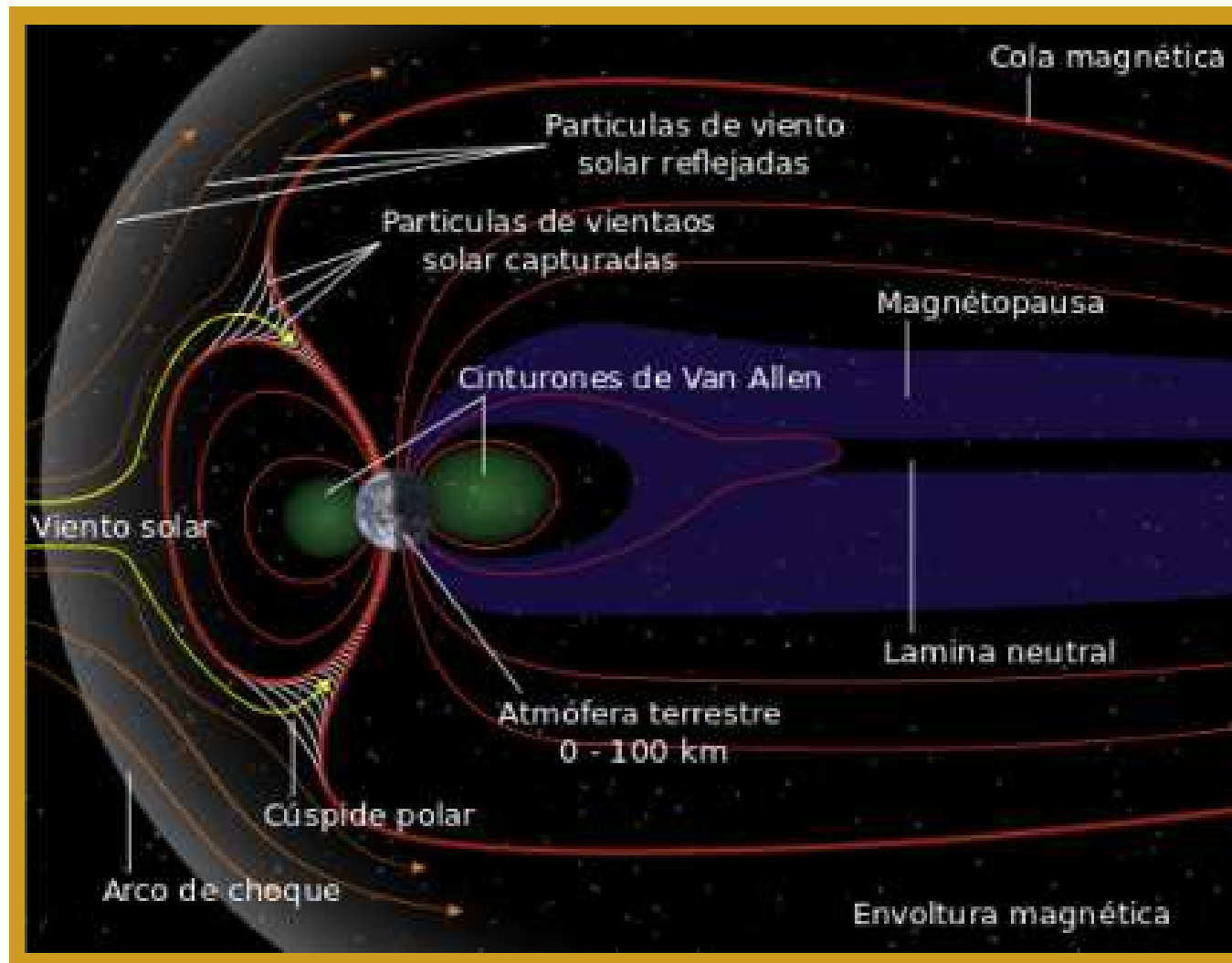
Altura a la que se reflejan las ondas electromagnéticas en función de su frecuencia.

# Auroras

Las partículas cargadas del viento solar son desviadas por la fuerza de Lorentz

$$\vec{F} = q[\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B}]$$

y siguen las líneas del campo magnético de la Tierra.



# Composición de la atmósfera

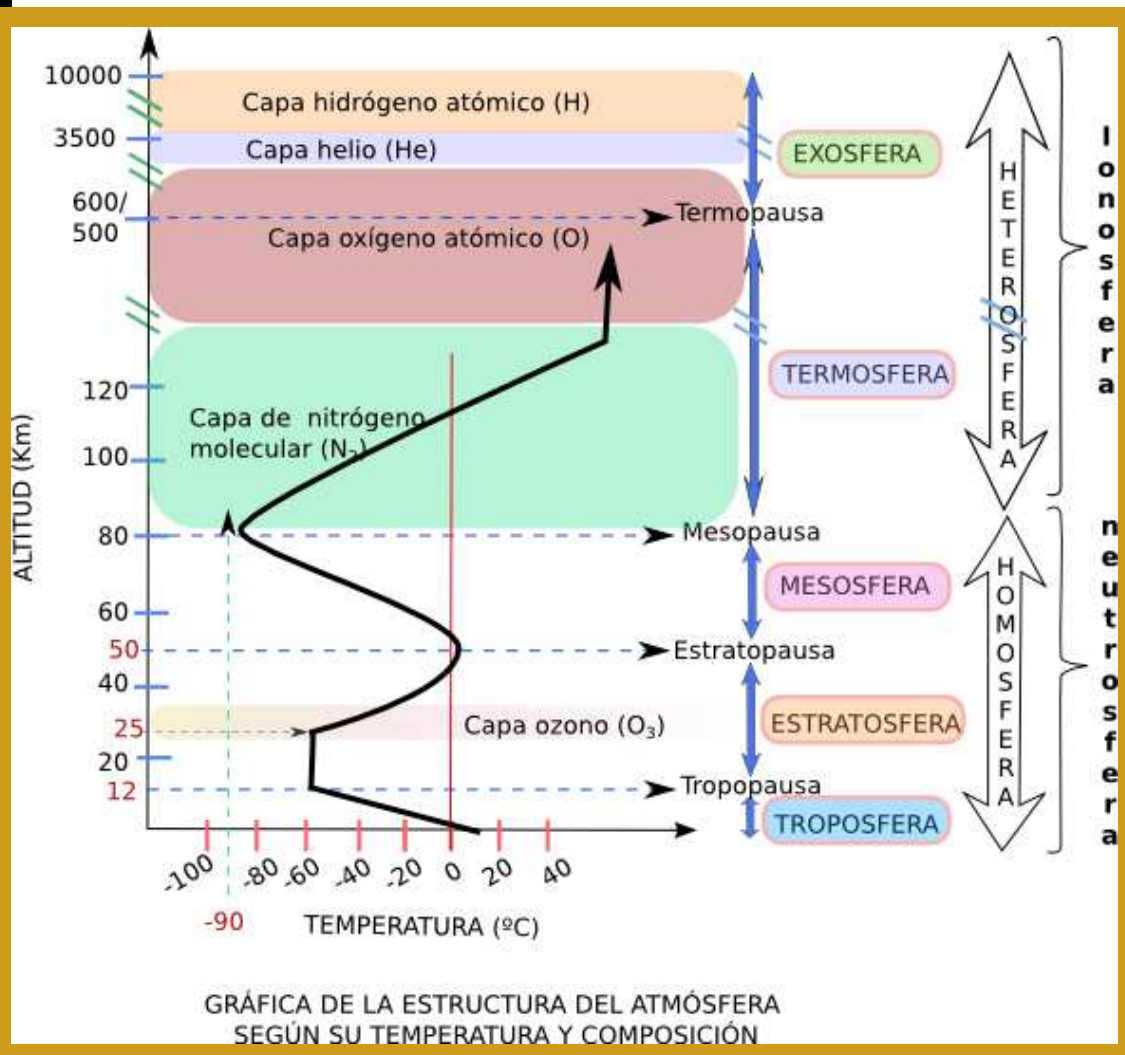
Nitrógeno $N_2$	78.08 %
Oxígeno $O_2$	20.95 %
Argón	0.93 %
$CO_2$	400 ppmv
Neón	18.2 ppmv
Hidrógeno $H_2$	5.5 ppmv
Helio	5.24 ppmv
Metano $CH_4$	1.72 ppmv

# Composición de la atmósfera

Kriptón	1 ppmv
Óxido nitroso $N_2O$	0.31 ppmv
Xenón	0.08 ppmv
CO	0.05 ppmv
Ozono $O_3$	0.03 - 0.02 ppmv (variable)
CFC	0.3-0.2 ppbv (variable)
Vapor de agua	1 % (variable)

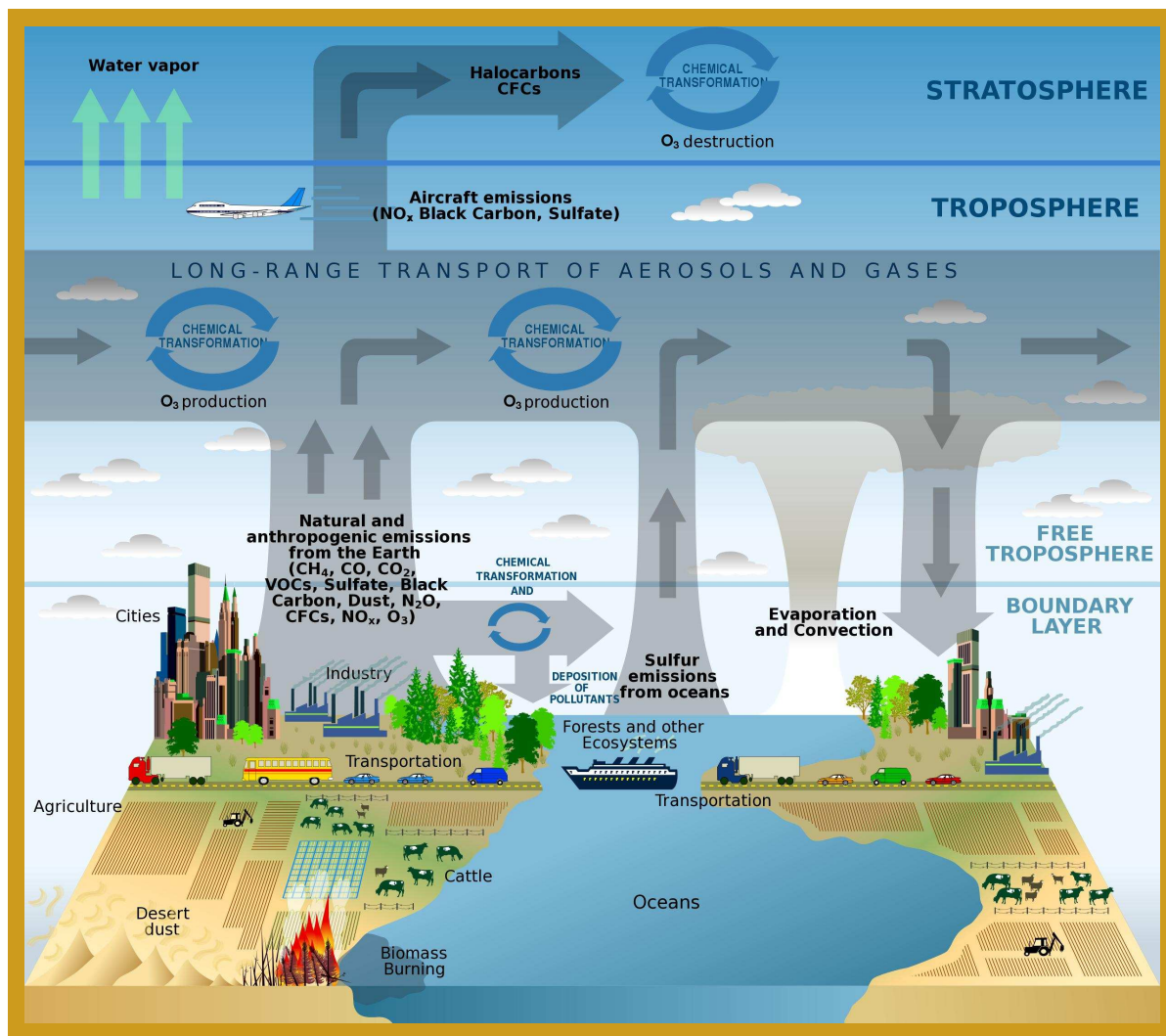


# Composición de la atmósfera en función de la altura

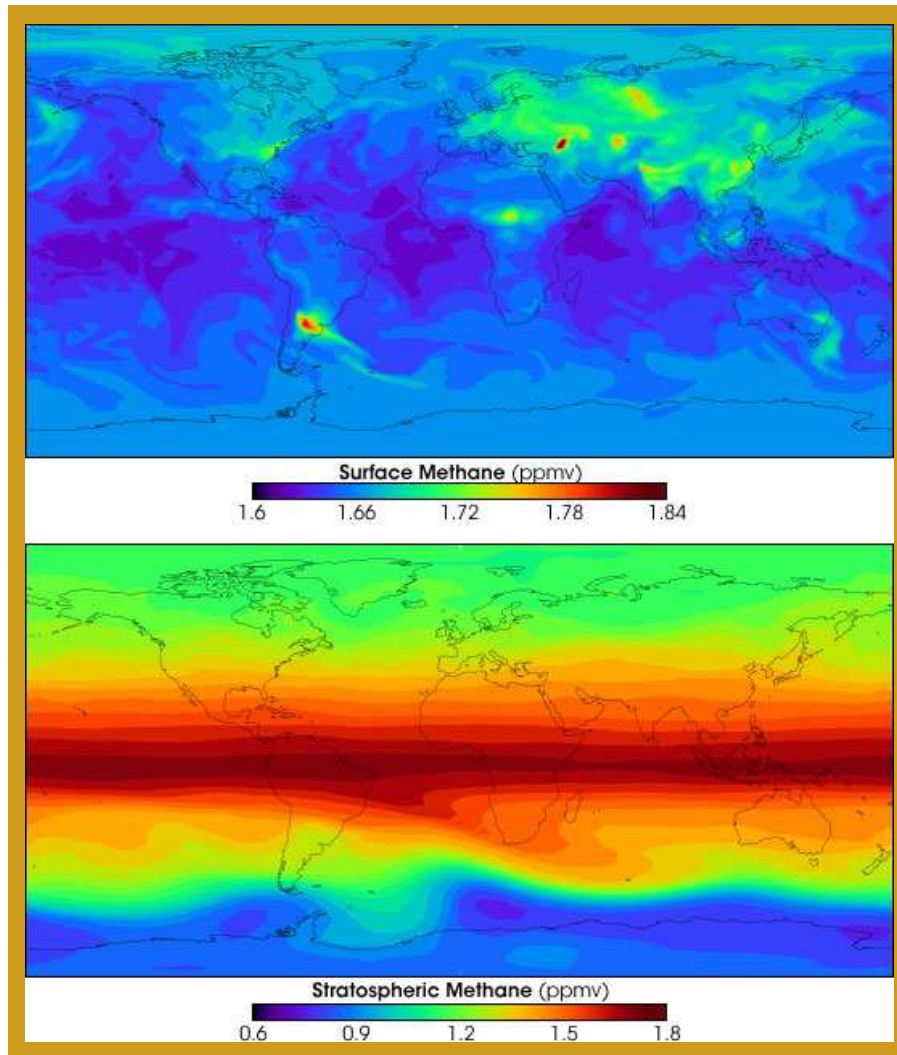


Predominio de gases mono-atómicos con la altura.

# Gases de origen antropogénico



# Composición de la atmósfera en función de la altura: $CH_4$



Predominio de metano  $CH_4$  en altura.

# Ciclo del carbono ( $CO_2$ )

