

Un planeta A tiene una temperatura de 250 K y un planeta B de 500 K. Asumiendo que se comportan como cuerpos negros calcule: (a) ¿a qué longitud de onda se produce el máximo de emisión de radiación?; (b) ¿cuánta más energía por unidad de área emitirá el planeta B con respecto al A?

(b)

$$F^+ = \pi B(T) = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

$$\frac{F_B}{F_A} = \left(\frac{T_B}{T_A} \right)^4 = 16$$

El desierto de Atacama está a 5000 m de altura. (a) ¿Cuál sería la temperatura allí asumiendo que al nivel del mar es de 290 K; (b) si la densidad del aire se reduce a la mitad, calcule cuál sería la presión en relación a la que tenemos al nivel del mar (= 1 atm).

Nota: La temperatura expresarla siempre en grados Kelvin.

(a) $290 - 9 \times 5 = 245K$

(b)

$$P = \frac{\rho k T}{\mu}$$

$$\frac{P_{5000}}{P_0} = \frac{\rho_{5000}}{\rho_0} \times \frac{T_{5000}}{T_0} = 0,5 \times \frac{245}{290} = 0.42$$

$$\implies P_{5000} = 0.42 \text{ atm}$$

Física solar - Clima espacial

Relación Sol-Tierra



- * Estructura interna del Sol.
- * Atmósfera solar: cromósfera y corona.
- * Generación de energía.
- * El campo magnético.
- * Actividad solar, el ciclo de manchas.
- * La evolución física del Sol a través del tiempo.
- * La Tierra y su magnetósfera. Cinturones de radiación de van Allen. Clima espacial.
- * Aspectos astronómicos del clima terrestre: ciclo de Milankovitch.

Propiedades físicas del Sol



Masa:

$$M_{\odot} = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Radio:

$$R_{\odot} = 6,96 \times 10^5 \text{ km}$$

Densidad media:

$$\rho = 1,4 \text{ g/cm}^3$$

Luminosidad:

$$L_{\odot} = 3,9 \times 10^{26} \text{ W}$$

Temperatura efectiva:

$$T_{ef} = 5785 \text{ K}$$

Composición química:

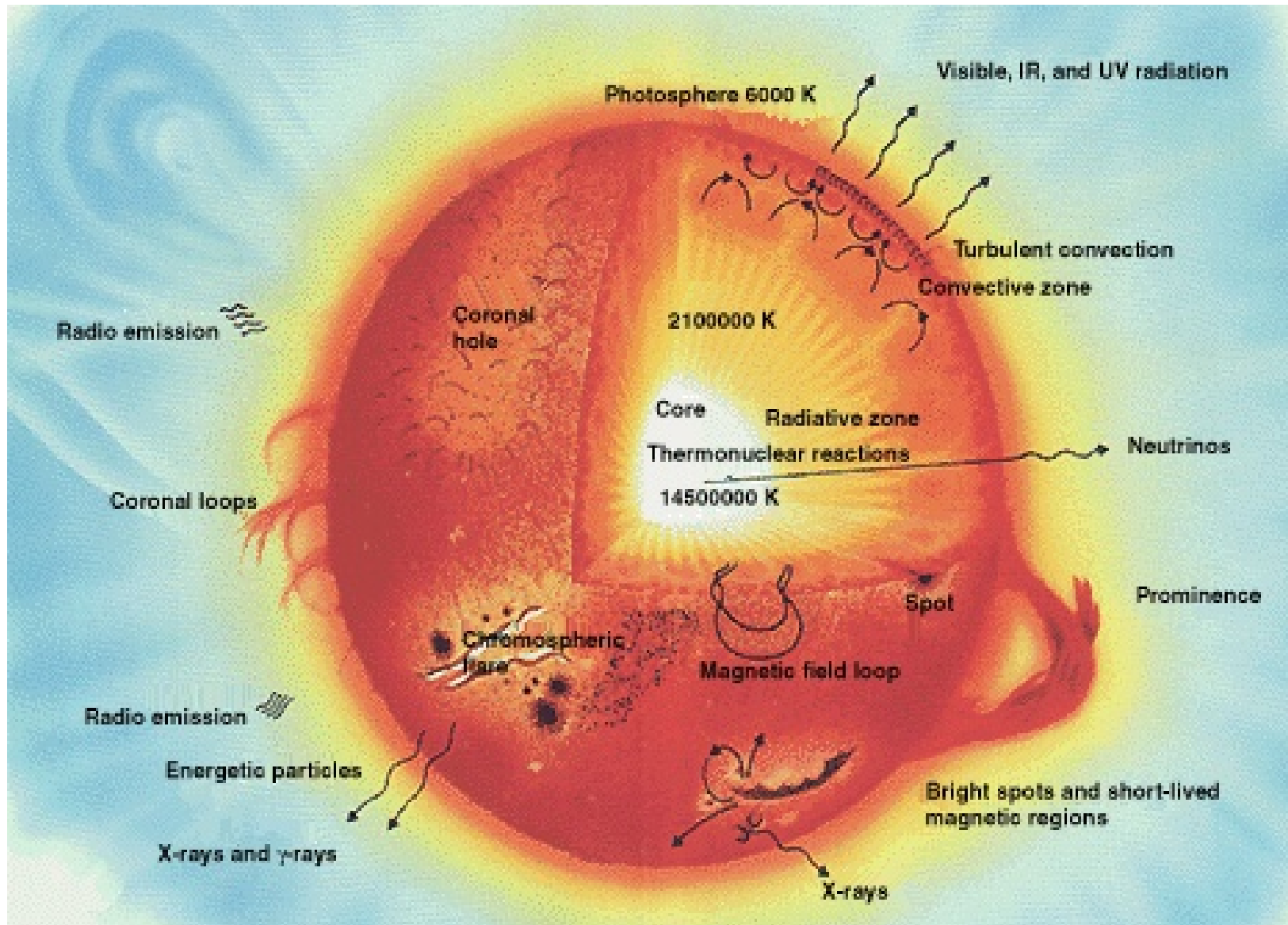
$$X = 0,71$$

$$Y = 0,27$$

$$Z = 0,02$$

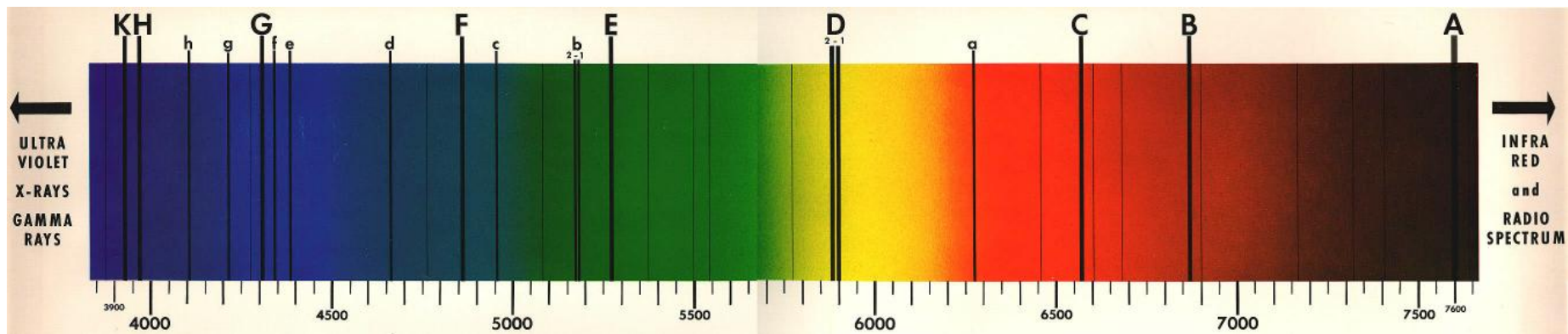
Período de rotación en el ecuador : 25 días

Estructura del Sol



El espectro solar - Composición química

* Las líneas de absorción se forman en la fotosfera, una capa muy delgada de unos 500 km de espesor, de donde proviene la luz visible del Sol.



Espectro de Fraunhofer

* Ejemplos de líneas conspicuas: H y K del Ca (3934 y 3968 Å), E del Fe (5270 Å), D del Na (5890 y 5896 Å), C del H (6563 Å).

La cromósfera



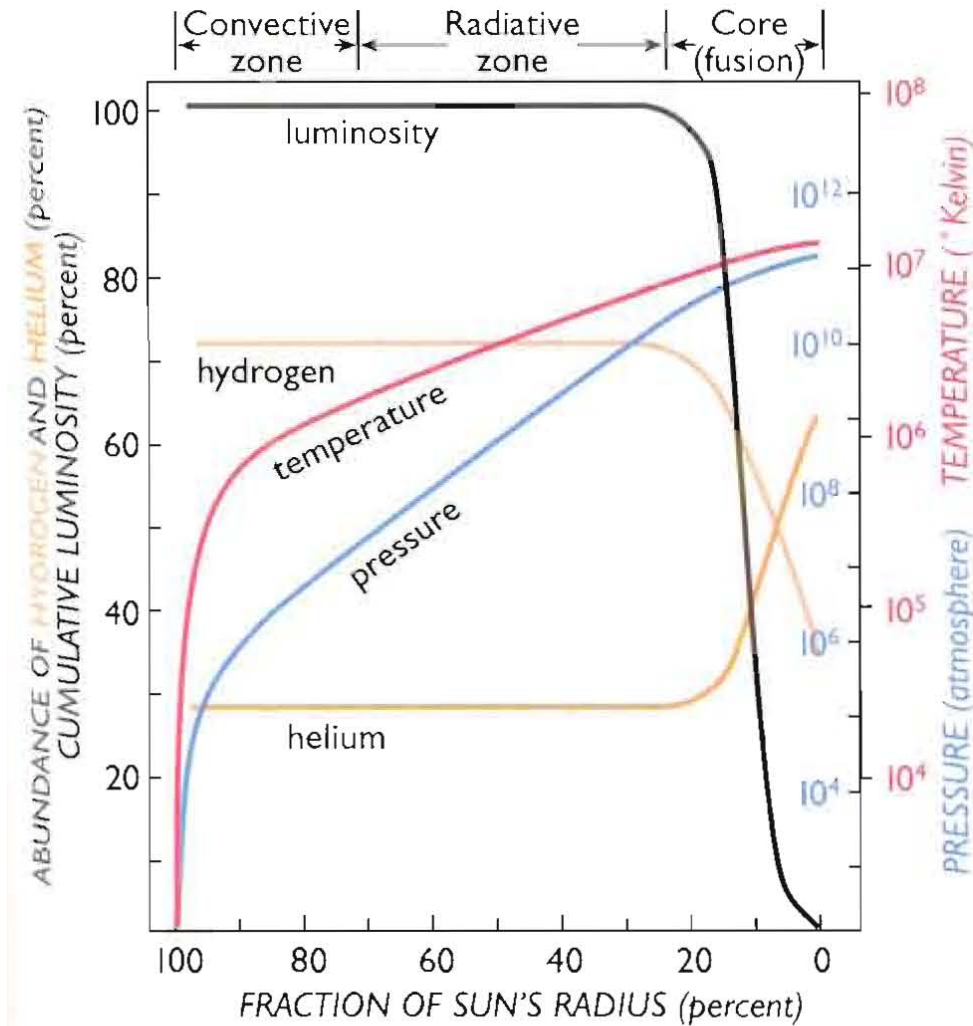
- * Capa delgada (~ 1000 km de espesor con una temperatura ~ 10000 K). La luz es mucho más débil que la fotosfera, por lo tanto sólo se puede observar durante un eclipse total de Sol.
- * Presenta un espectro de emisión donde predominan líneas de H, He y algunos metales. Una de las líneas más intensas es la H_{α} del H a $\lambda = 6563 \text{ \AA}$, responsable de la tonalidad rojiza.

La corona solar



- * Visible sólo durante eclipses totales de Sol como un extenso halo.
- * Se observan también líneas de emisión intensas debidas a átomos altamente ionizados como, p. ej. FeXIV, que corresponden a temperaturas entre 1.000.000 y 2.000.000 K.
- * Origen de la energía: calentamiento del material coronal por corrientes eléctricas inducidas por campos magnéticos variables.

Propiedades físicas del interior solar y generación de energía



* Asumimos un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la presión del material gaseoso.

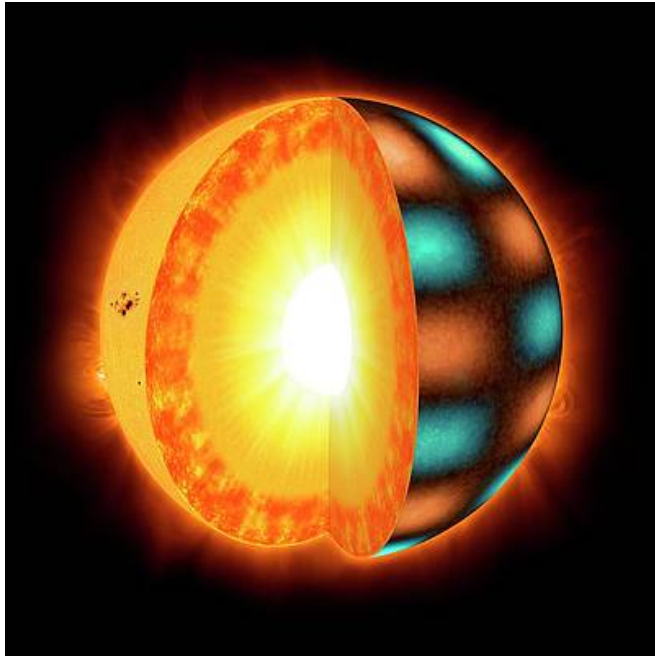
Ecuación de equilibrio hidrostático:

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{GM_r}{r^2}$$

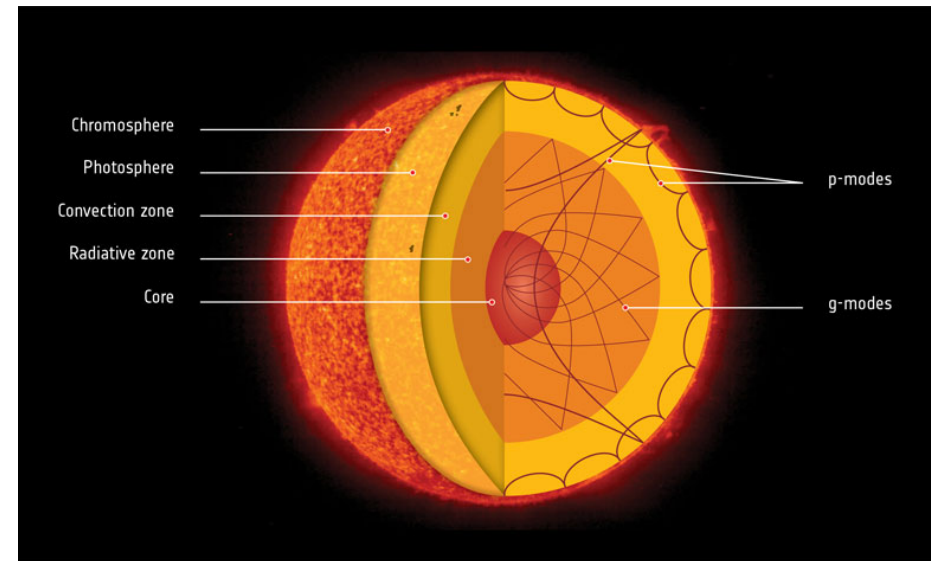
Ecuación de estado de un gas ideal:

$$P = \rho \frac{kT}{\mu}$$

Heliosismología



“Pulsaciones solares”: movimientos rítmicos de elevación (regiones azules) y de depresión (regiones rojas) debidas a ondas de presión (sonido), atrapadas en el interior y que se reflejan múltiples veces en la superficie. Los movimientos son observados como corrimientos Doppler en el espectro.



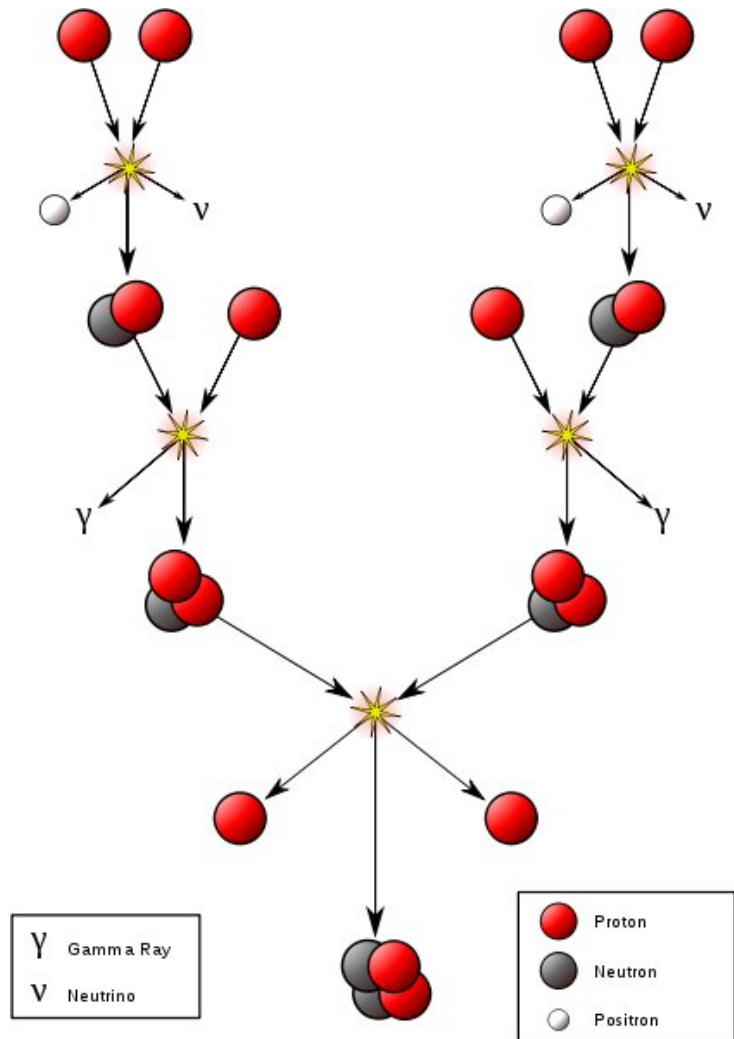
Propagación de las ondas en el interior solar.

Son fundamentalmente de 2 tipos:

p : ondas acústicas donde la fuerza restauradora es la presión.

g : la fuerza restauradora es la gravedad (más profundas).

El ciclo protón-protón



Debido a las altas temperaturas reinantes en las zonas centrales del Sol, ocurrirán reacciones termonucleares en las que se fusionan 4 núcleos atómicos de H (protones) para formar uno de He. Hay una ligera pérdida de masa:

$$\Delta m = 4m_H - m_{He}$$

que se convierte en energía E , la cual está definida por el principio de equivalencia masa-energía de Einstein:

$$E = \Delta m \times c^2$$

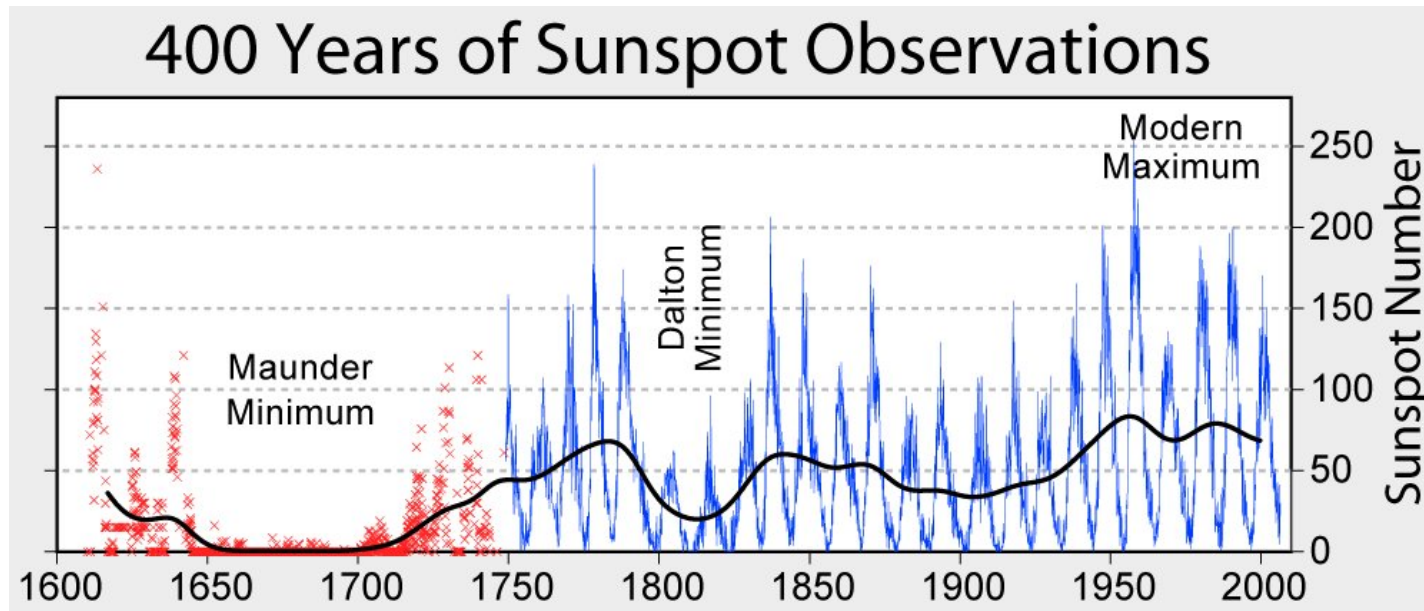
Ejemplo:

$$m_H = 1,6725 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$m_{He} = 6,644 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$\text{Pérdida de masa: } \Delta m = 0,046 \times 10^{-24} \text{ g}$$

Actividad solar - Manchas



* **Manchas solares:** Es el fenómeno más visible de la actividad solar.

Tamaño típico : ~ 10000 km

Temperatura típica : ~ 4500 K

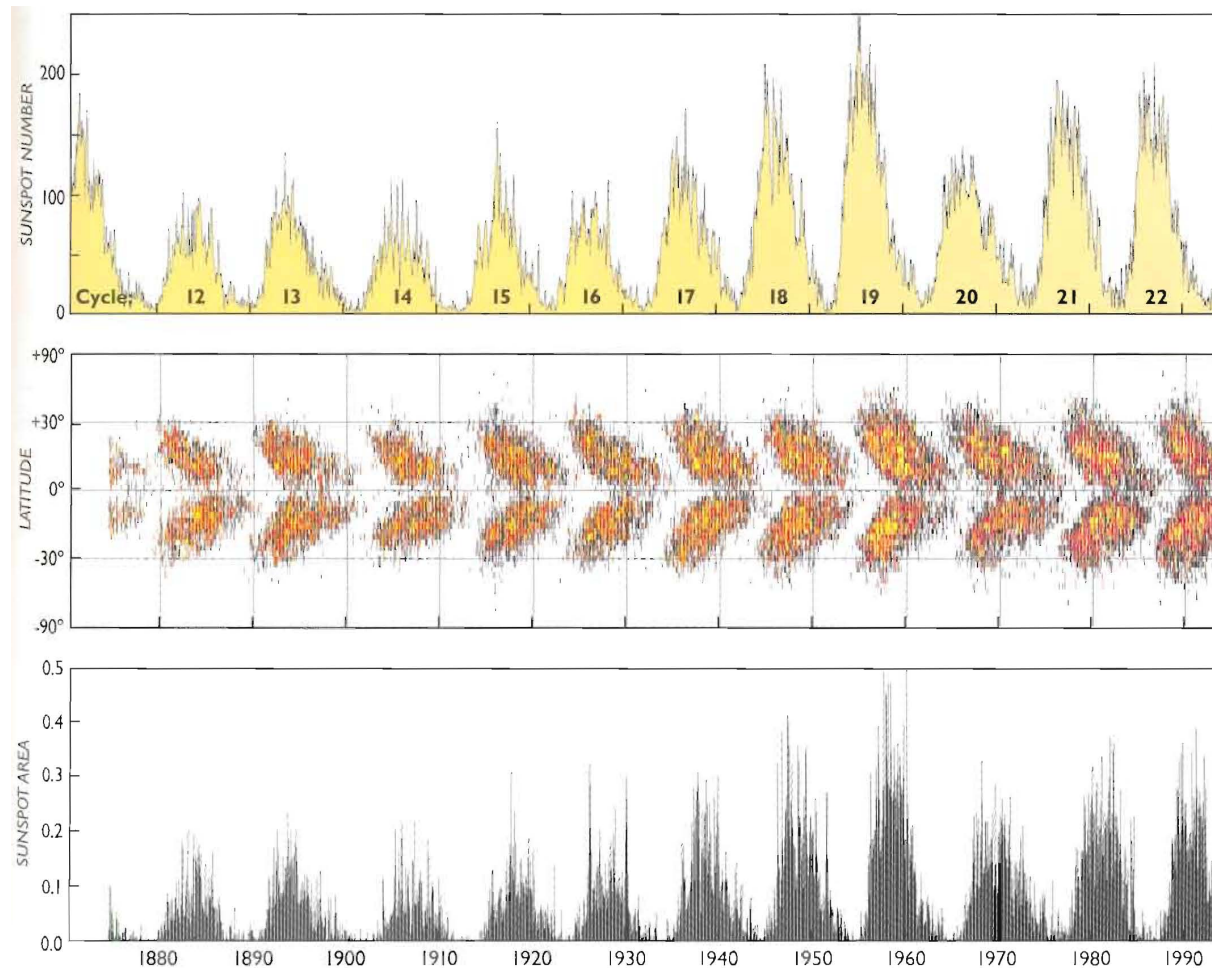
Intensidad del campo magnético : varios miles Gauss (orientado en la dirección radial)

Vida media : días a varios meses

* **El número de manchas varía con un ciclo de 11 años.**

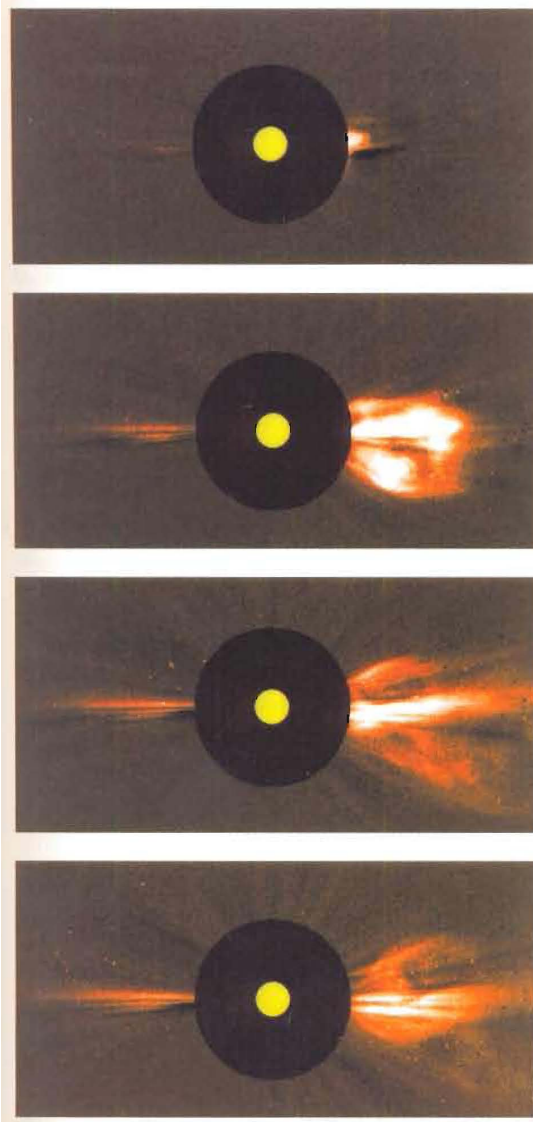
* **El Sol cuenta además con un campo magnético general generado por el material interior conductor en rotación.**

El ciclo undecenal



El ciclo de 11 años se refleja en la variación del número de manchas (panel superior), su migración en latitud, formando lo que se denomina el “diagrama mariposa” (medio), y el área total (abajo).

Otras manifestaciones de la actividad solar



Eyección de masa coronal (EMC) registrada por el coronógrafo a bordo del satélite *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO). Los chorros en la dirección opuesta pueden estar magnéticamente vinculados a la EMC. El disco negro oculta el resplandor del Sol cuyo tamaño aparente aparece indicado por el disco amarillo.

El Sol en el Ultravioleta extremo

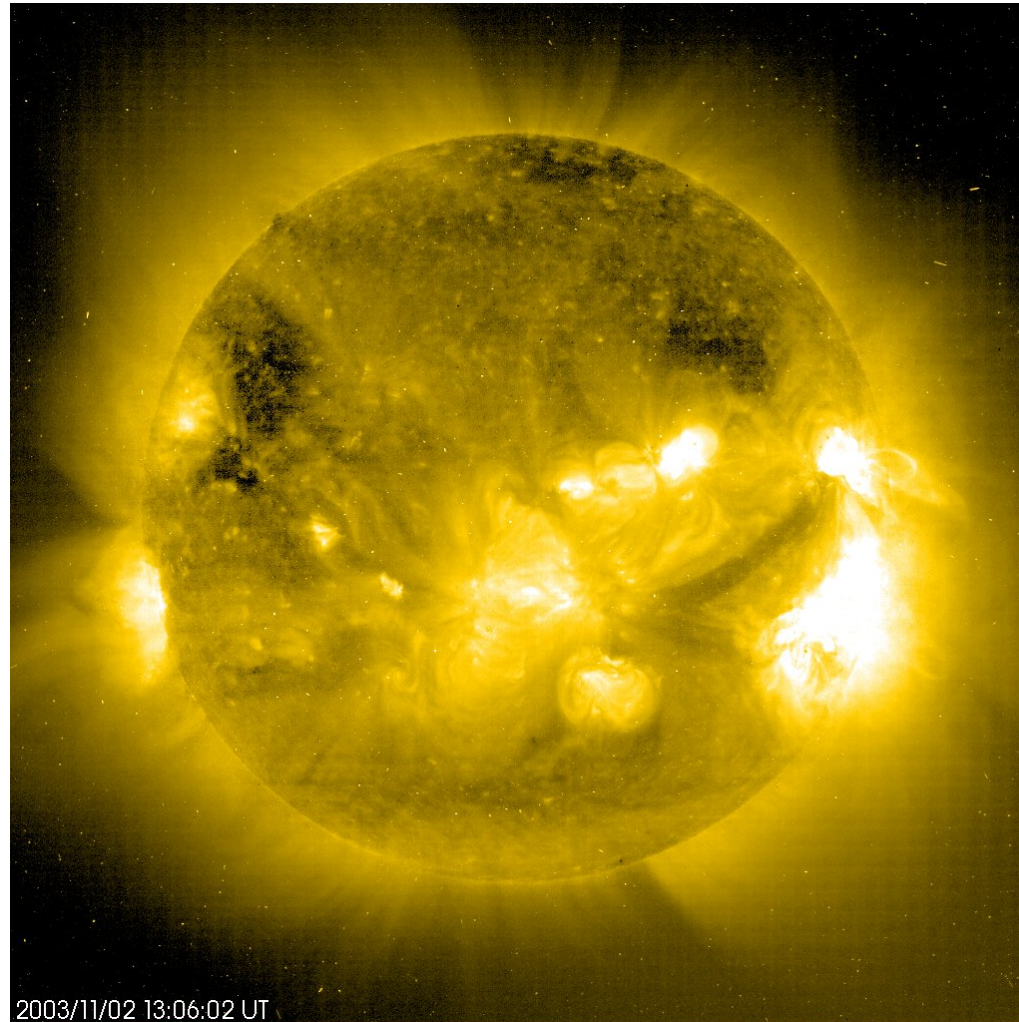
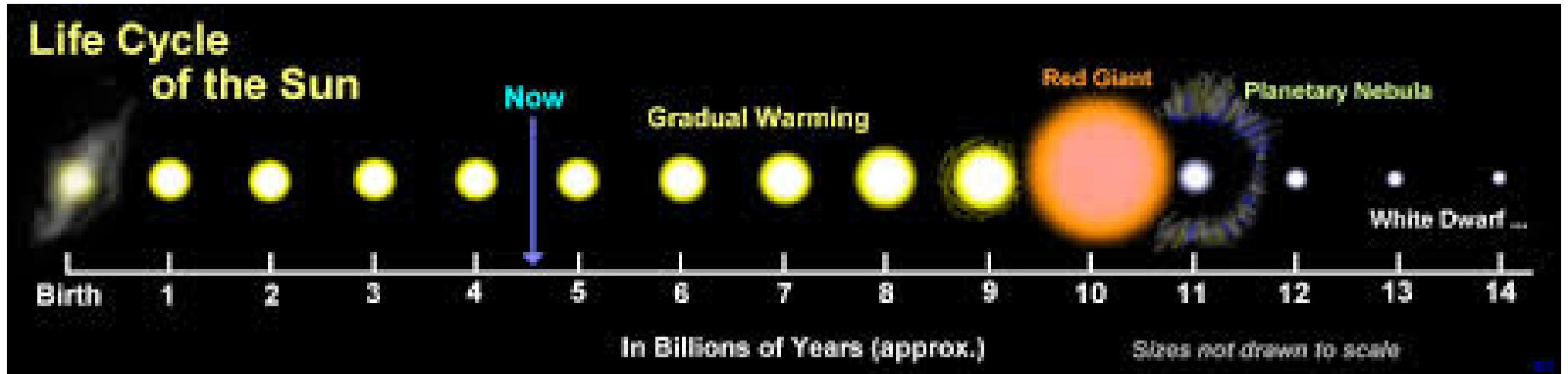


Imagen tomada con el satélite SOHO en la línea del Fe XV (284 \AA) (temperatura 2.000.000 K) que muestra unas regiones oscuras, denominadas *agujeros coronales*, donde se origina el viento solar más rápido.

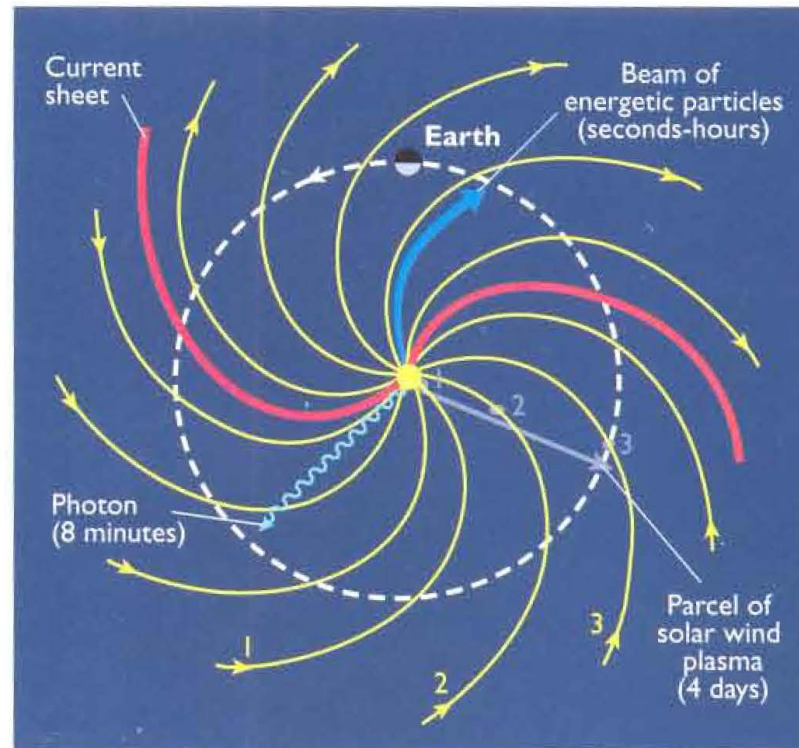
La evolución del Sol a través del tiempo



El Sol irá aumentando lentamente su luminosidad hasta que en un poco ms de 5000 millones de años se va a convertir en un gigante roja, y luego de expulsar su envoltura va a dejar una enana blanca.

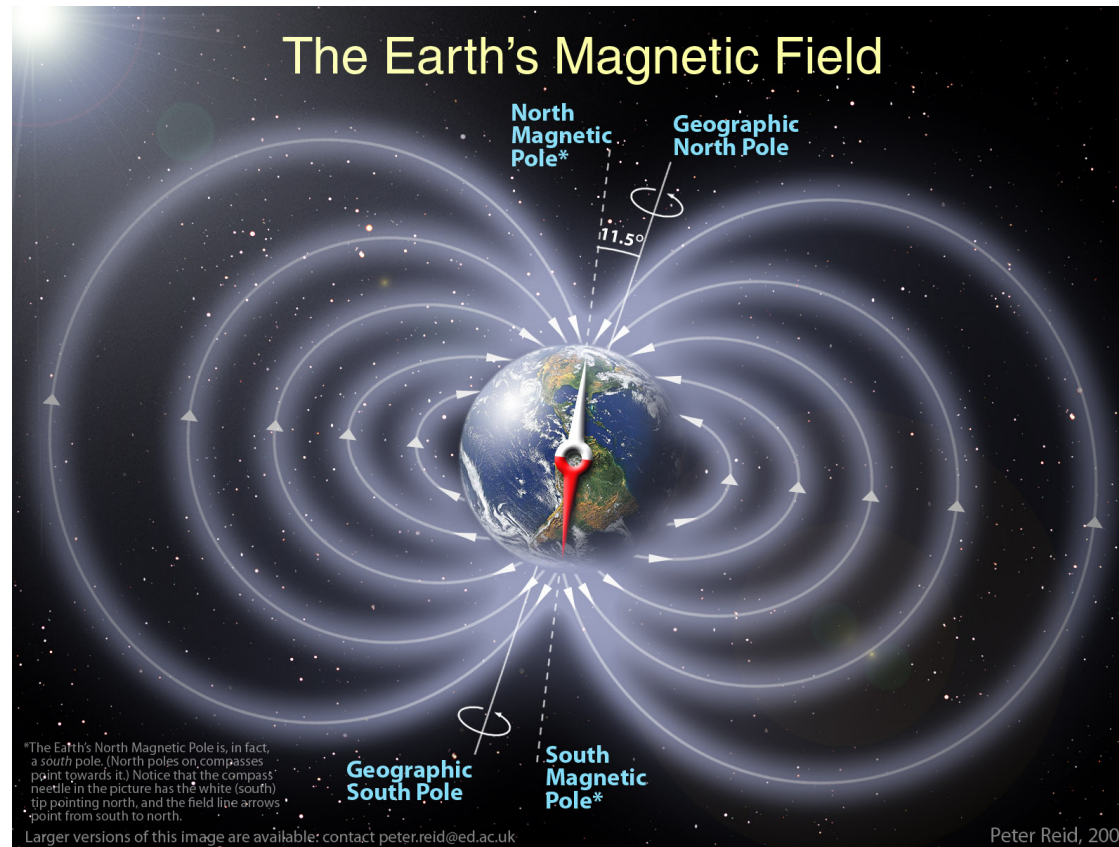
El viento solar

* Consiste en un *plasma* caliente (gas de partículas eléctricamente cargadas, electrones, protones, y algunos núcleos más pesados) a una temperatura de unos 100000 K que emana como una extensión de la corona solar. La velocidad promedio es de aproximadamente 450 km/s.



En el plano de la eclíptica el flujo radial del viento solar y la rotación del Sol se combinan para enrollar el campo magnético solar en espirales.

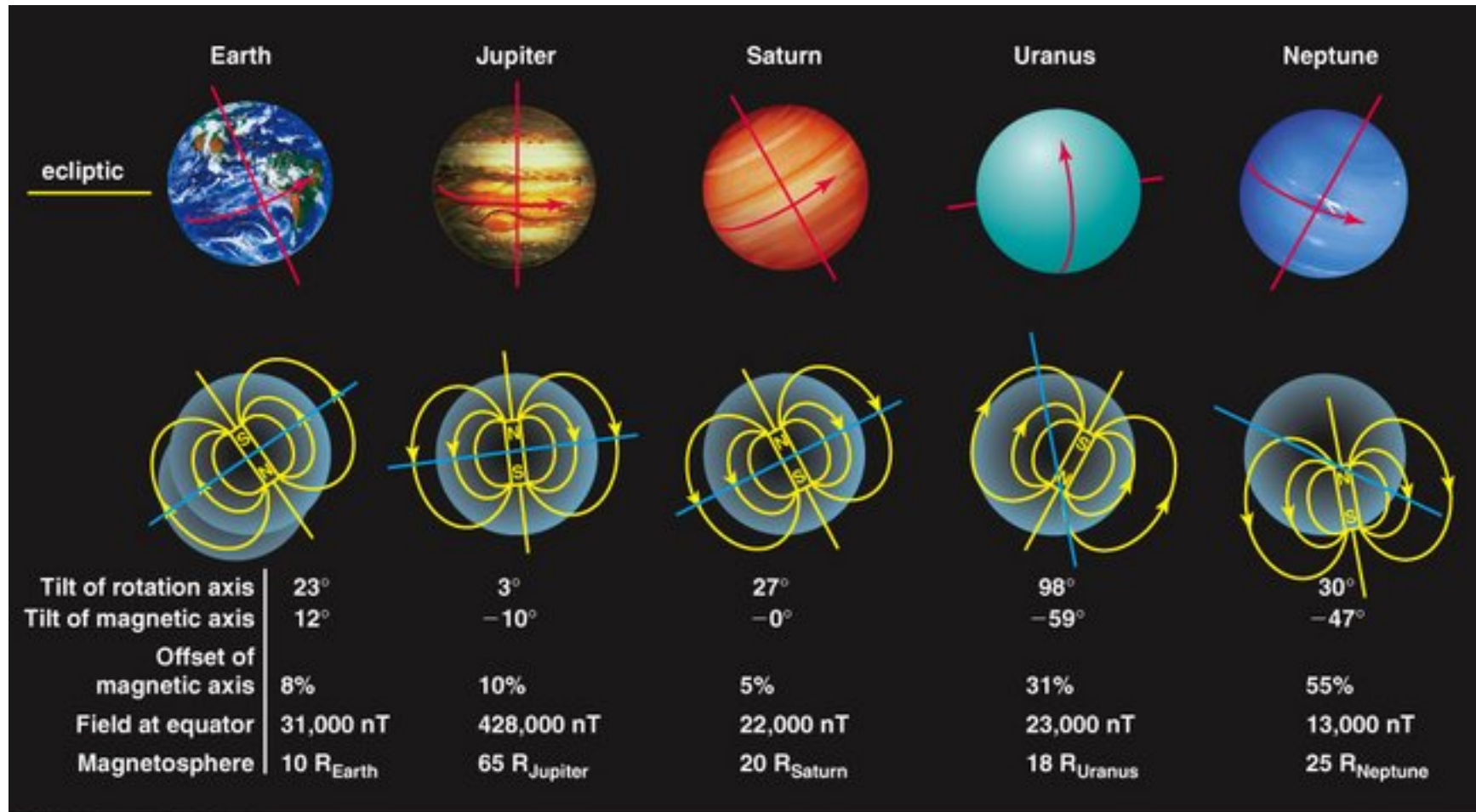
Campos magnéticos planetarios



* Planetas con fuertes campos magnéticos: Tierra (0,305 Gauss), Júpiter (4,28 Gauss), Saturno (0,22 Gauss), Urano (0,23 Gauss), Neptuno (0,14 Gauss).

* Planetas con débiles campos magnéticos: Mercurio, Venus, Marte.

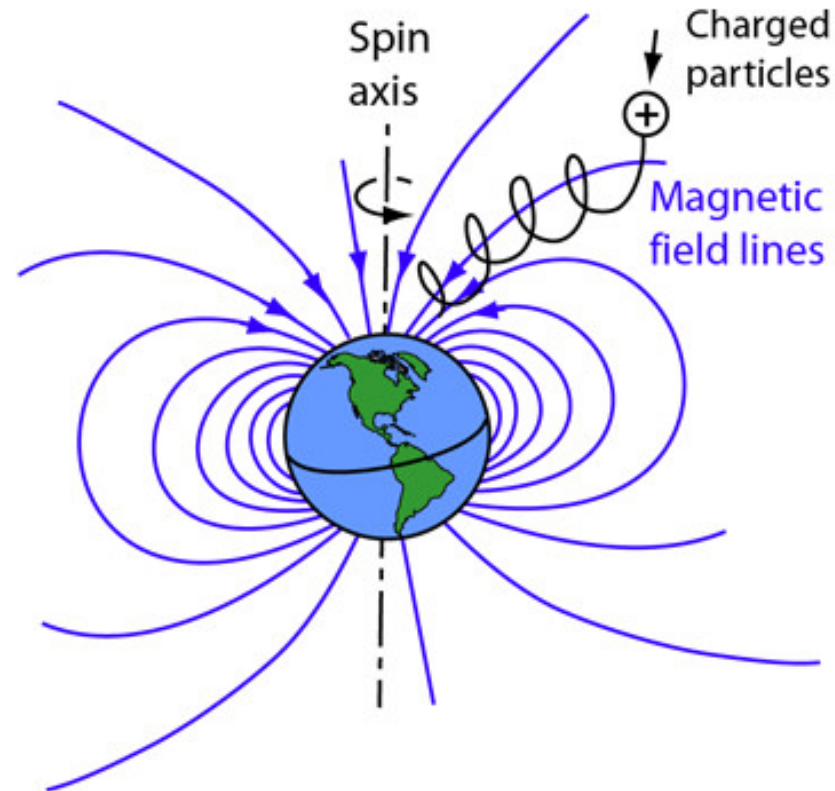
Inclinación del campos magnético con respecto al eje de rotación



© 2007 Thomson Higher Education

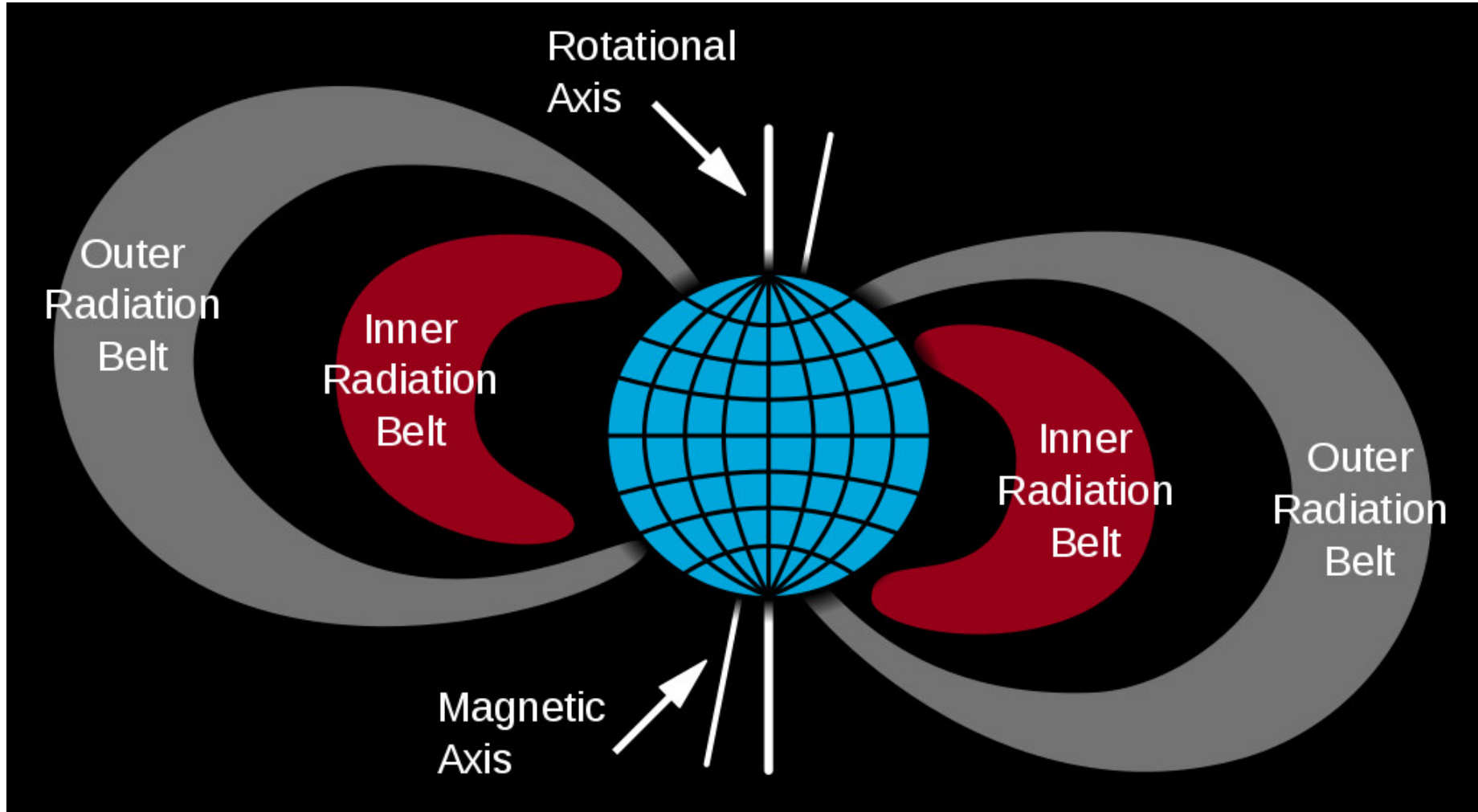
Teoría general de la formación de campos magnéticos: el *dinamo* que requiere: (1) un cuerpo en rotación, (2) un fluido interior conductor, y (3) movimientos convectivos en el fluido.

El campo magnético atrapa partículas del viento solar



- * Las partículas se mueven entre ambos polos magnéticos siguiendo trayectoria espirales.
- * Las partículas de altas energías imponen un riesgo a los instrumentos electrónicos y a los seres vivos \Rightarrow Los vuelos espaciales son seguros sólo a alturas por debajo de unos 400 km.

Los cinturones de radiación de van Allen



* Fueron descubiertos en 1958 por James van Allen con un detector de rayos cósmicos a bordo del satélite *Explorer I*. Son partículas cargadas atrapadas por el campo magnético terrestre.

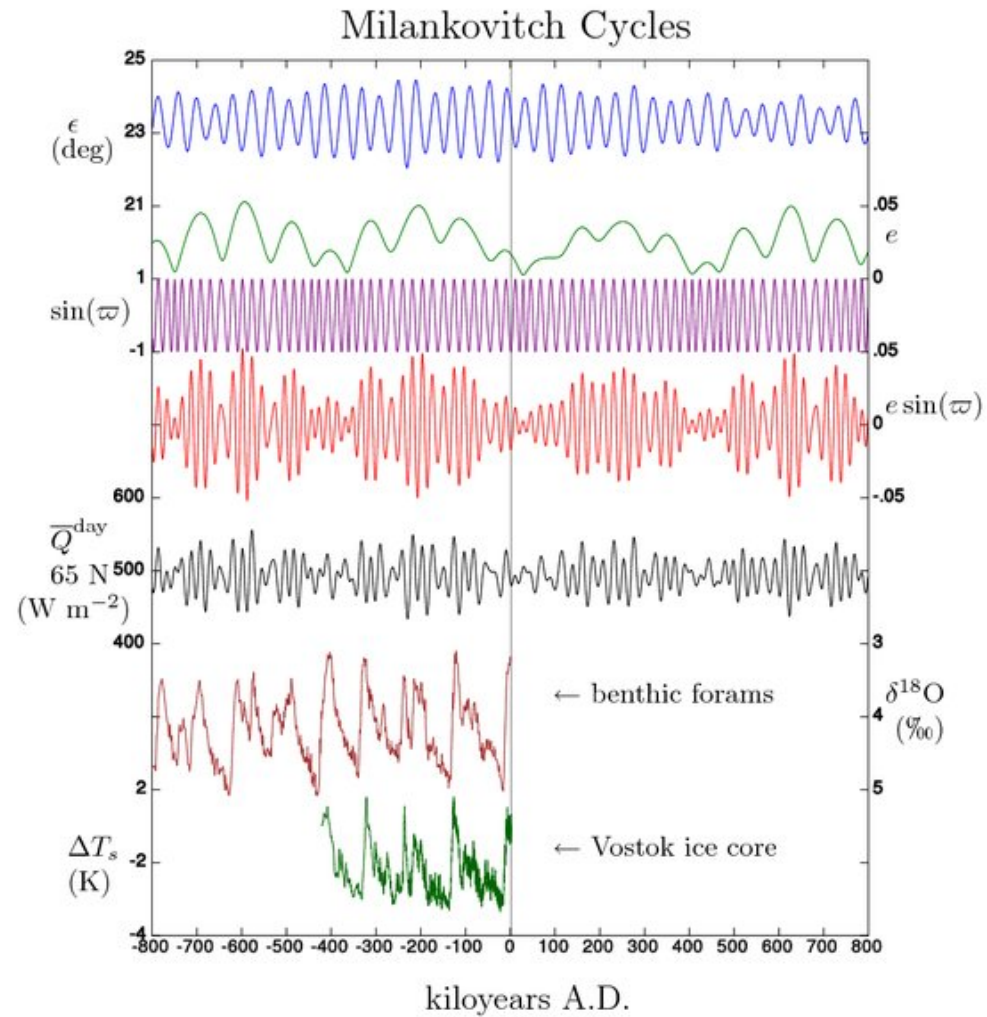
Auroras polares



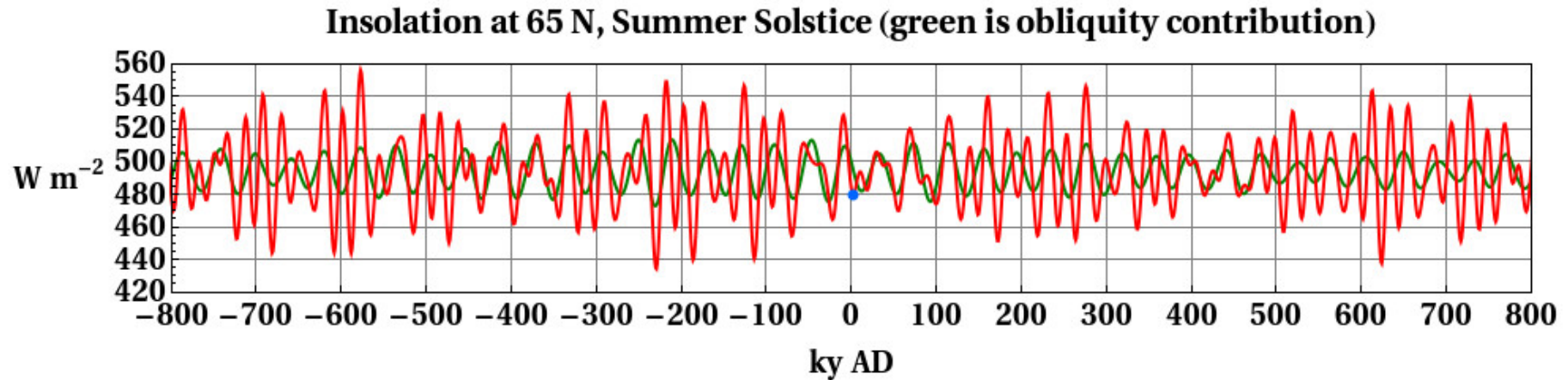
* Son fenómenos luminosos que ocurren generalmente a altas latitudes. Se producen cuando una eyección de masa solar (partículas cargadas) es atrapada por el campo magnético de la Tierra y converge hacia las zonas polares, chocando con átomos y moléculas atmosféricas -típicamente átomos de O, N, y moléculas N₂- que, excitadas, emiten radiación fluorescente al desexcitarse. El O es el responsable de los 2 colores primarios de las auroras: el verde/amarillo correspondiente a una transición de energía a 5577 Å, y otra roja a unos 7500 Å. Hay otras transiciones responsables de otros colores, p. ej. el N⁺ responsable de una luz azulada.

Ciclo de Milankovitch

* La pregunta básica es si variaciones en la órbita y en la orientación del eje de rotación de la Tierra pueden tener efecto en el clima.



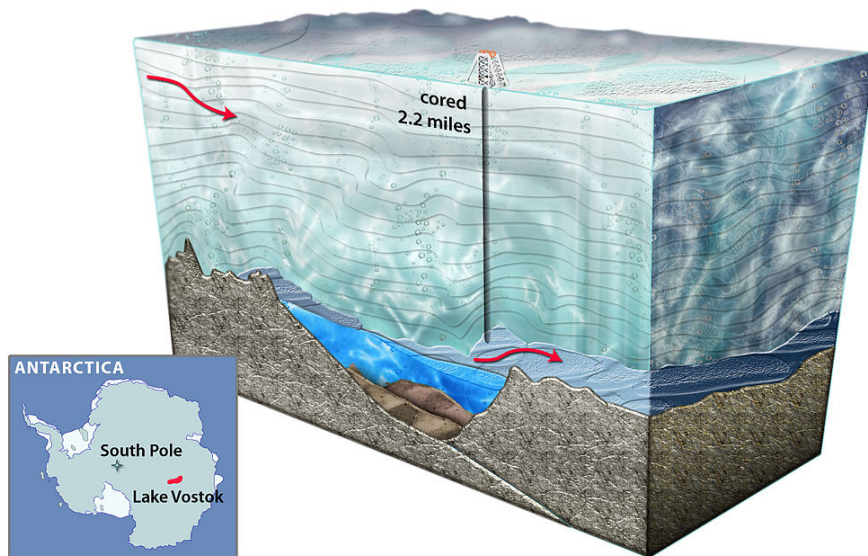
Variaciones en la insolación



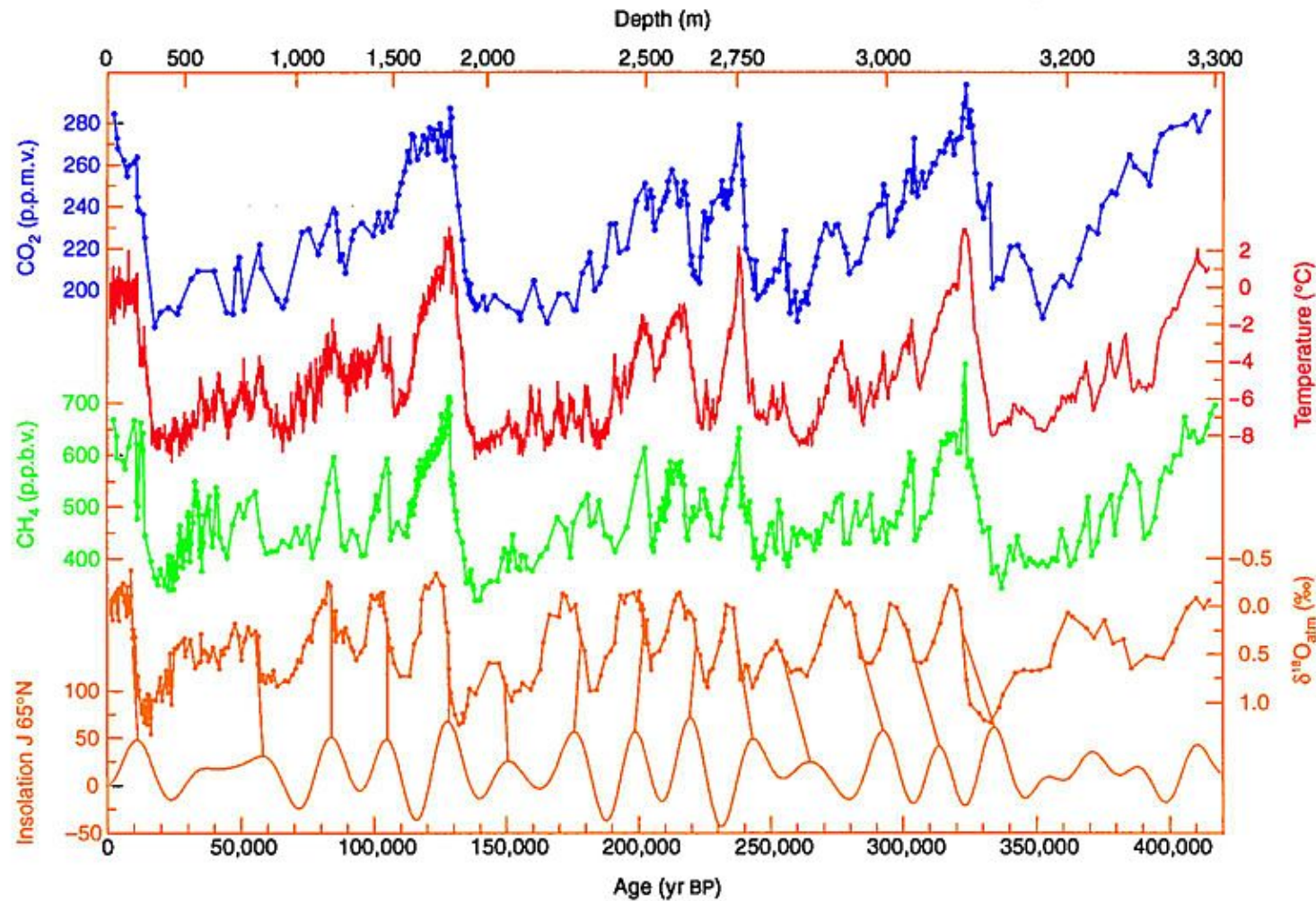
- * Milankovitch teorizó que variaciones en excentricidad, inclinación del eje de rotación, y la precesión de la órbita de la Tierra, ocasionan cambios climáticos cíclicos en la Tierra.
- * Forzamiento solar (*solar forcing*): son los cambios en la cantidad y localización de la radiación solar que alcanza la Tierra debidos a los movimientos de la Tierra.
- * Período de precesión del eje de la Tierra : 26000 años
- * Variación de la inclinación del eje de la Tierra : 21,6° a 24,5° (período \simeq 41000 años)
- * Variación de la excentricidad de la órbita terrestre : 0,005 a 0,058 (período mayor \simeq 413000 años). Una periodicidad menor es de unos 100000 años con una variación de e de aproximadamente -0,03 a +0,02 con respecto a su valor central de 0,017.

Estudios en el lago Vostok, Antártida

En el lago Vostok, en el corazón de la Antártida, hay una base rusa. Se ha realizado una perforación de más de 3600 m para estudiar climas pasados (corresponde a los últimos 420.000 años). Se midieron, por ejemplo concentraciones de CO_2 , CH_4 , y del isotopo ^{18}O .



Resultados del estudio de la columna de hielo



Se encuentra una buena correlación entre la insolación y diversos parámetros relacionados a la temperatura.

EJERCICIO 9

Supongamos que la densidad del Sol fuera constante con un valor $\rho = 1,4 \text{ g/cm}^3$. Halle:

- (a) la expresión para la masa M_r dentro de una distancia r al centro del Sol;
- (b) sustituya la expresión de la masa hallada antes en la ecuación de equilibrio hidrostático para calcular la presión y la temperatura en el centro del Sol.

Datos:

Constante de la gravitación universal : $G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$

$R_{\odot} = 7 \times 10^5 \text{ km}$

Constante de Boltzmann : $k = 1,38 \times 10^{-16} \text{ erg k}^{-1}$

masa atómica media de los átomos : $\mu = 2 \times 10^{-24} \text{ g}$