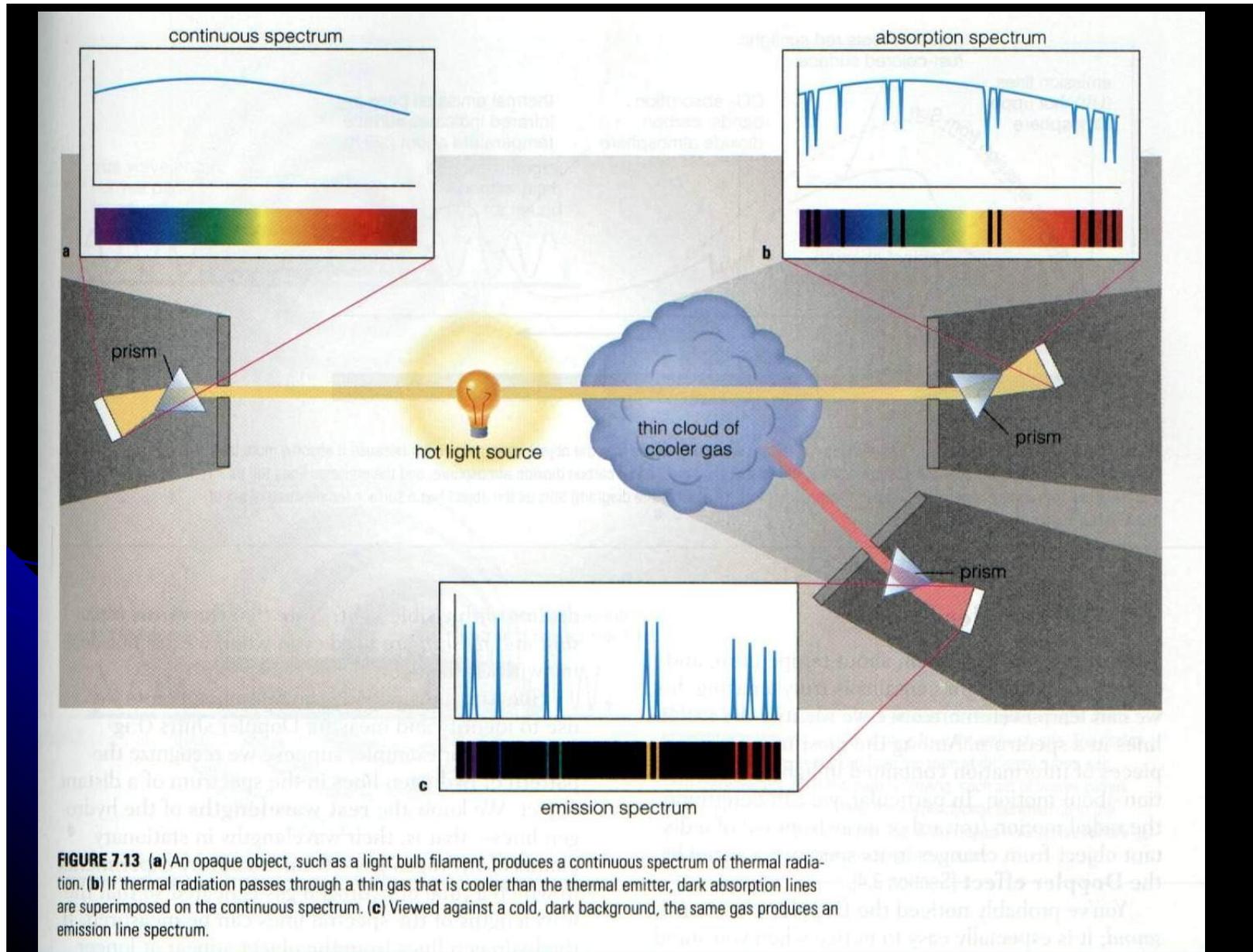


# Tema 3

- \* Espectros. Leyes de Kirchhoff.
- \* Efecto Doppler.
- \* Espectro de Fraunhofer.
- \* Física solar.
- \* Actividad solar. Viento solar.

# Distintos tipos de espectros - Leyes de Kirchhoff



Tenemos 3 tipos de espectros:

1) **Contínuo:** Proviene de una fuente incandescente (superficie sólida o gaseosa muy densa).

2) **Absorción:** Se produce cuando entre la fuente y el observador se interpone un gas de baja densidad.

3) **Emisión:** Se produce cuando la radiación proviene de un gas excitado de baja densidad.

\* Para el mismo gas, sus líneas de absorción coinciden con las de emisión.

## ¿Porqué se producen los espectros?

Los electrones que rodean los núcleos atómicos son capaces de absorber o emitir fotones, lo que lleva a que el electrón salte o baje a otros niveles de energía. Los fotones transportan cantidades discretas de energía, dada por la relación:

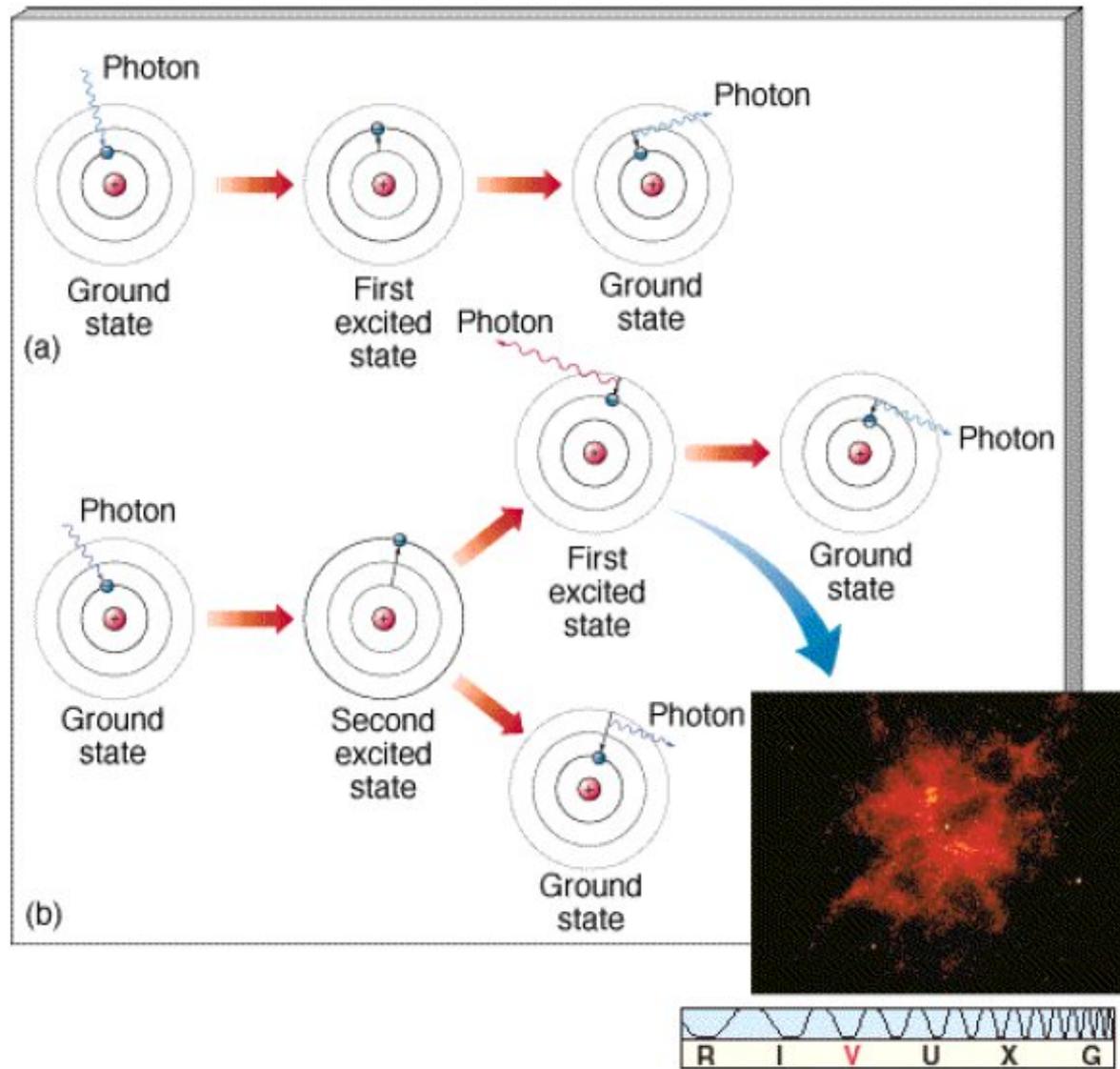
$$\Delta E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

donde  $h$  es la constante de Planck.

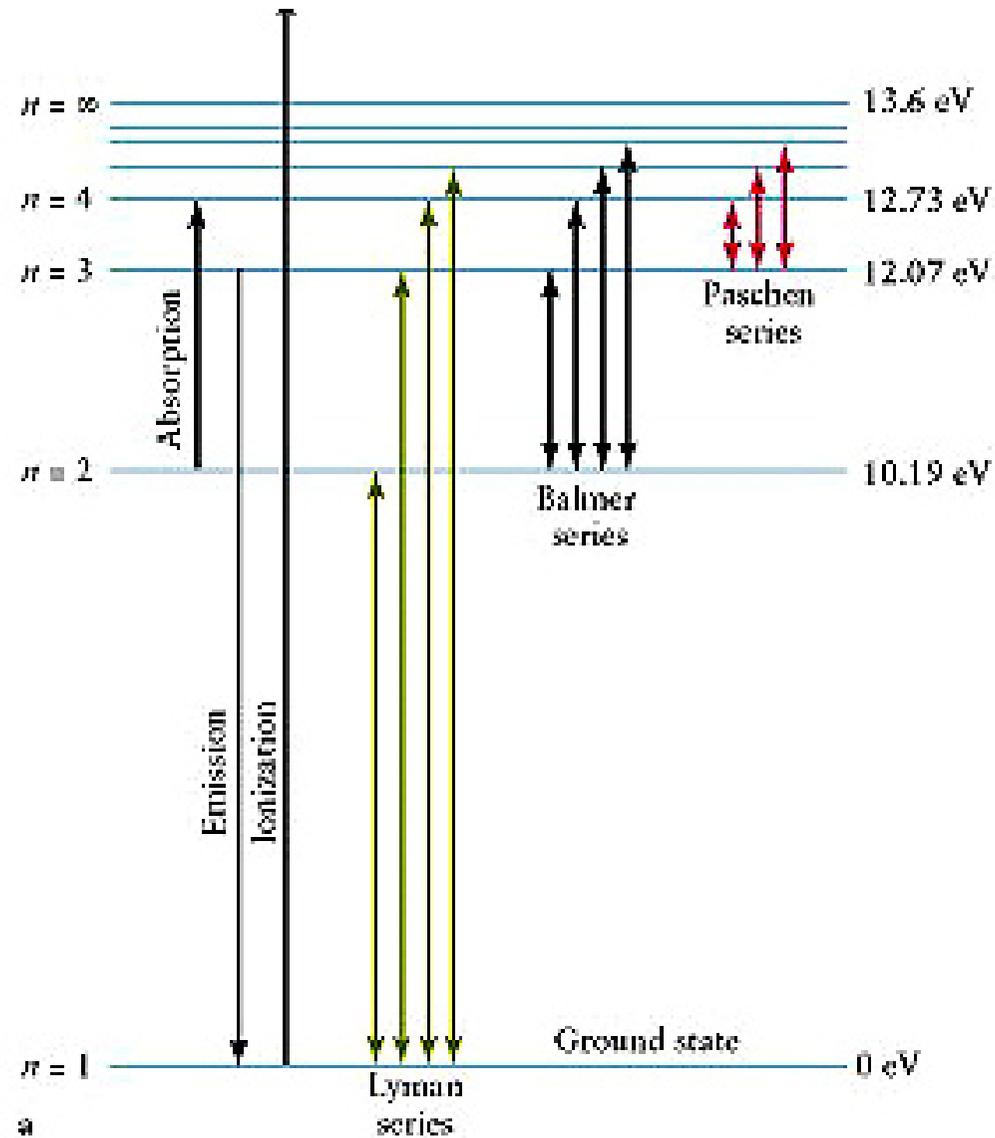
Los átomos de cada elemento constan de una serie de niveles de energía discretos  $E_1$ ,  $E_2$ , .....  $E_n$ , que son los únicos que puede ocupar un electrón ligado al núcleo atómico por la fuerza de atracción electroestática (átomo de Bohr). El nivel de energía más bajo, se llama el *nivel fundamental*. Si un electrón se encuentra en el nivel fundamental  $E_1$ , para pasar al nivel  $E_2$  deberá absorber un fotón de energía:  $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu_{12}$ . O sea que el átomo sólo absorberá la radiación de longitud de onda:

$$\lambda_{12} = \frac{c}{\nu_{12}} = \frac{ch}{(E_2 - E_1)}$$

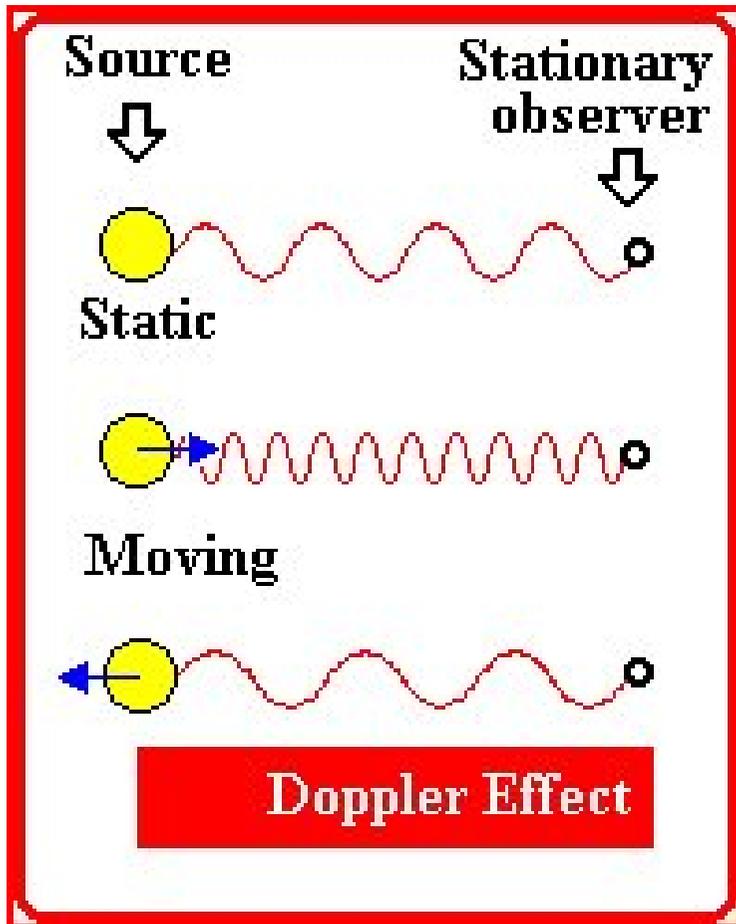
Un razonamiento similar se puede hacer para la emisión de un fotón.



# El átomo de hidrógeno: principales líneas



# El efecto Doppler



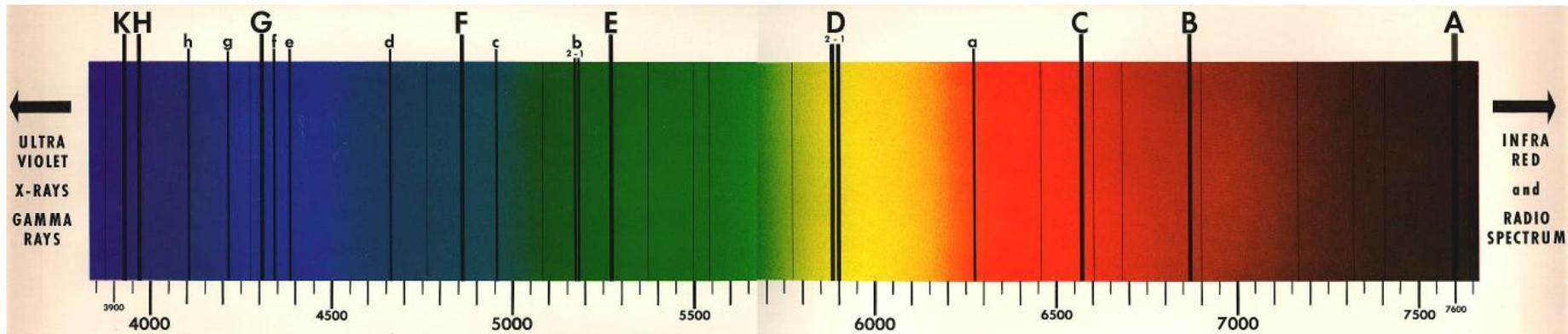
En el caso de una fuente luminosa en movimiento, las líneas se observarán desplazadas con respecto a las que produciría la fuente en reposo. El corrimiento será hacia el rojo si la fuente se aleja del observador, o hacia el azul si la fuente se acerca. La magnitud del desplazamiento  $\Delta\lambda$  con respecto a  $\lambda$  está dada por:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$$

donde  $v_r$  es la velocidad radial de la fuente con respecto al observador, y  $c$  la velocidad de la luz. esta expresión es válida siempre que  $v_r \ll c$ .

# Espectro de Fraunhofer

\* Las líneas de absorción en el Sol fueron observadas por primera vez por Joseph Fraunhofer en 1814 sin entender en ese momento su naturaleza física.



## El Sol: Observación en el visible



### DATOS GENERALES:

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

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

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

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

$$T_c = 1,5 \times 10^7 \text{ K}$$

\* La baja densidad media del Sol comparada con la de la Tierra ( $5,5 \text{ g/cm}^3$ ) sugiere que en su constitución química predominan los elementos más livianos (H y He).

## La constante solar

\* Es la cantidad de energía solar que se recibe en la Tierra por encima de la atmósfera (por unidad de área y de tiempo).



Se utilizan diferentes instrumentos como el *piranómetro* que mide la radiación solar global (difusa y directa). El instrumento utiliza un termopar sobre el que incide la radiación, se genera una tensión eléctrica que es la que se mide. El *pirheliómetro* mide en cambio sólo la radiación directa del Sol, y el instrumento debe estar orientado permanentemente hacia el Sol.

**Resultado:**

Se encuentra un valor para la constante solar de  $1370 \text{ W/m}^2$ .

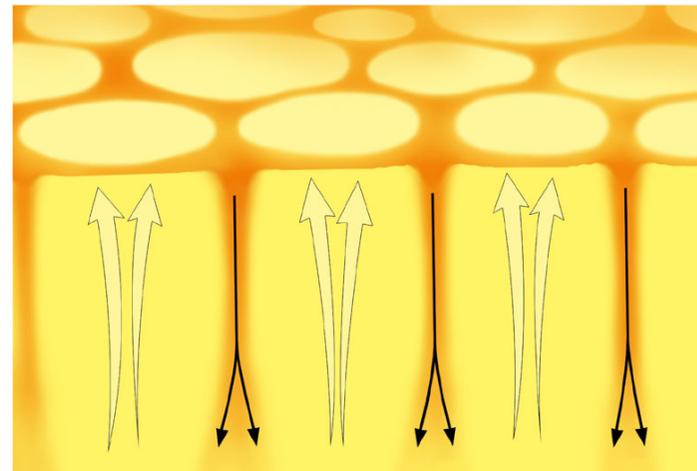
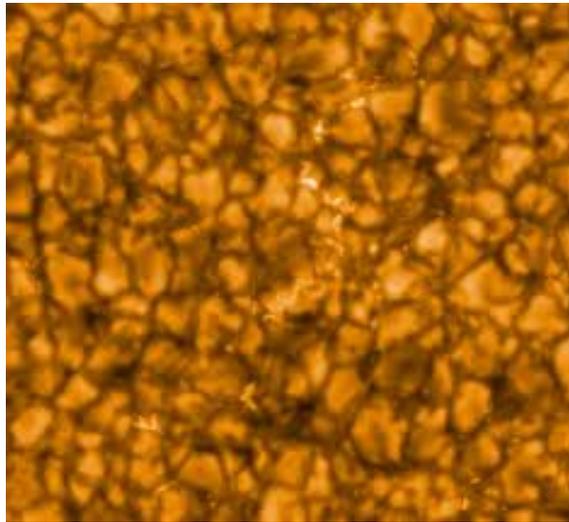
# La estructura interior del Sol



# Las capas externas del Sol

## FOTOSFERA

Es la capa visible del Sol con un espesor de 300-500 km. La densidad y temperatura decaen rápidamente desde unos 8000 K en la base de la fotosfera hasta unos 4500 K en la parte superior. En esta capa se forma el espectro continuo del Sol y las líneas de absorción. La convección solar se manifiesta en la superficie como la *granulación*. En la parte más brillante el gas a mayor temperatura asciende.

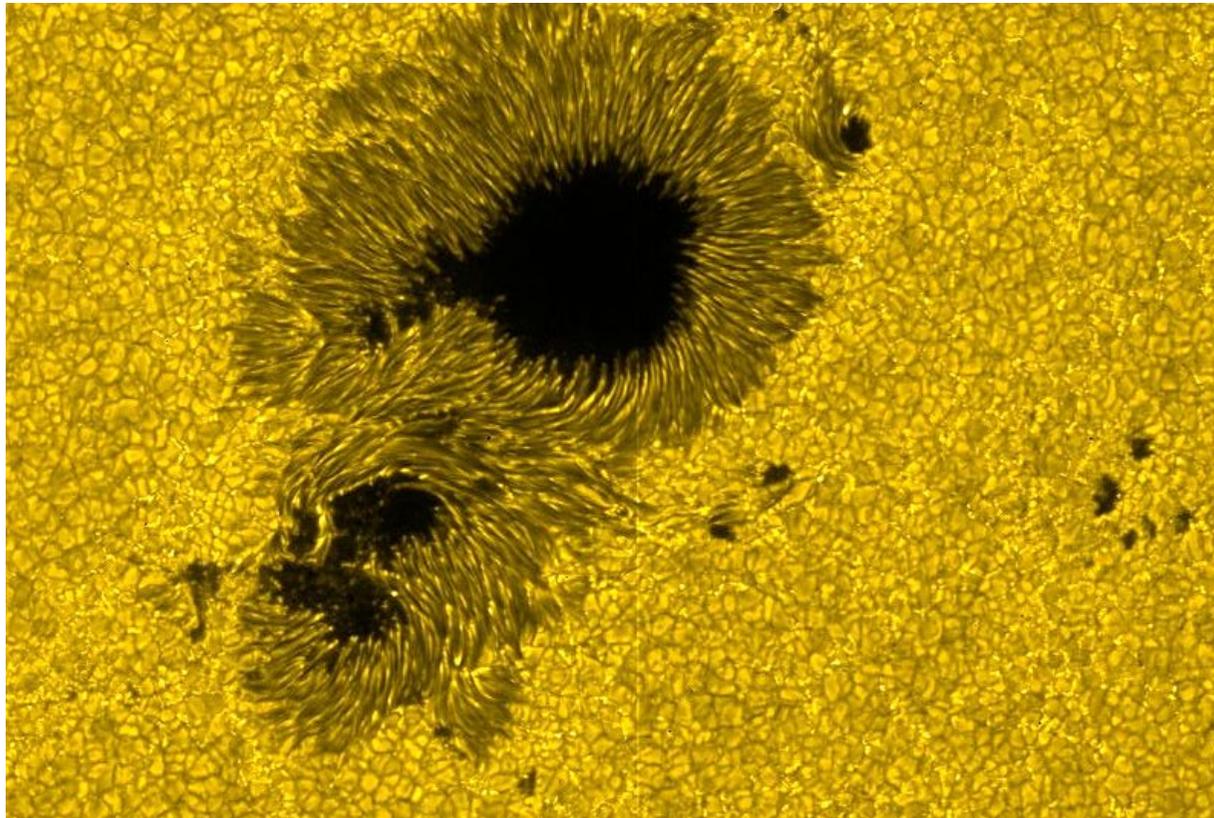


Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison Wesley.

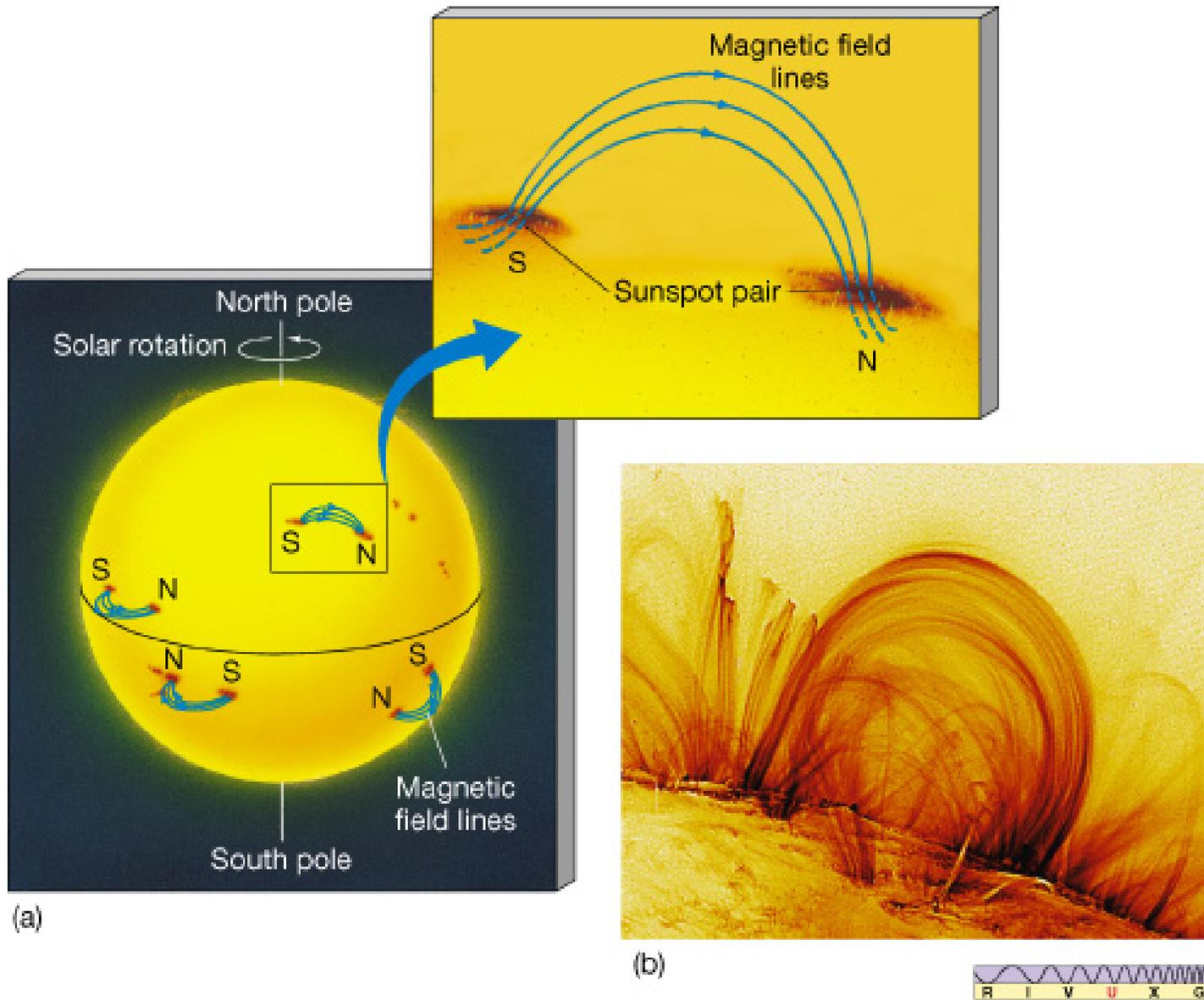
## CROMOSFERA

Es la capa que sigue a la fotosfera de unos 500 km de espesor, donde la temperatura aumenta de 4500 K a unos 6000 K. La luz de la cromósfera es muy débil como para ser observada normalmente. Sin embargo se puede observar durante un eclipse total de Sol como un anillo rojizo.

## Manchas solares y actividad

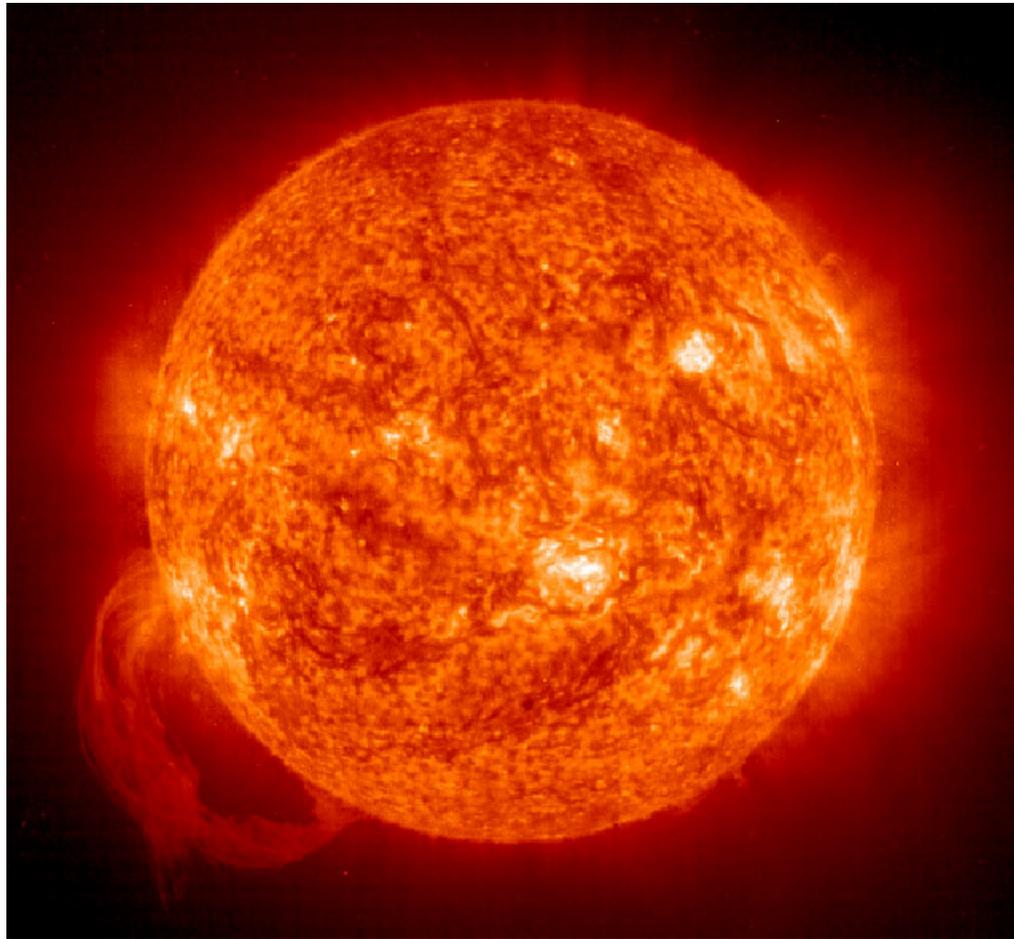


**Manchas:** Constan de una zona central más oscura, el *núcleo* (*umbra*) rodeada de una menos oscura (*penumbra*). La temperatura es unos 1500 K menor que la fotosfera. Diámetro típico:  $\sim 10^4$  km. Tiempo de vida: de unos pocos días a varios meses. Hay muy fuertes campos magnéticos asociados a las manchas de hasta 0,45 Teslas que inhiben el transporte convectivo de energía.



Las manchas solares ocurren en pares con polaridades magnéticas opuestas.

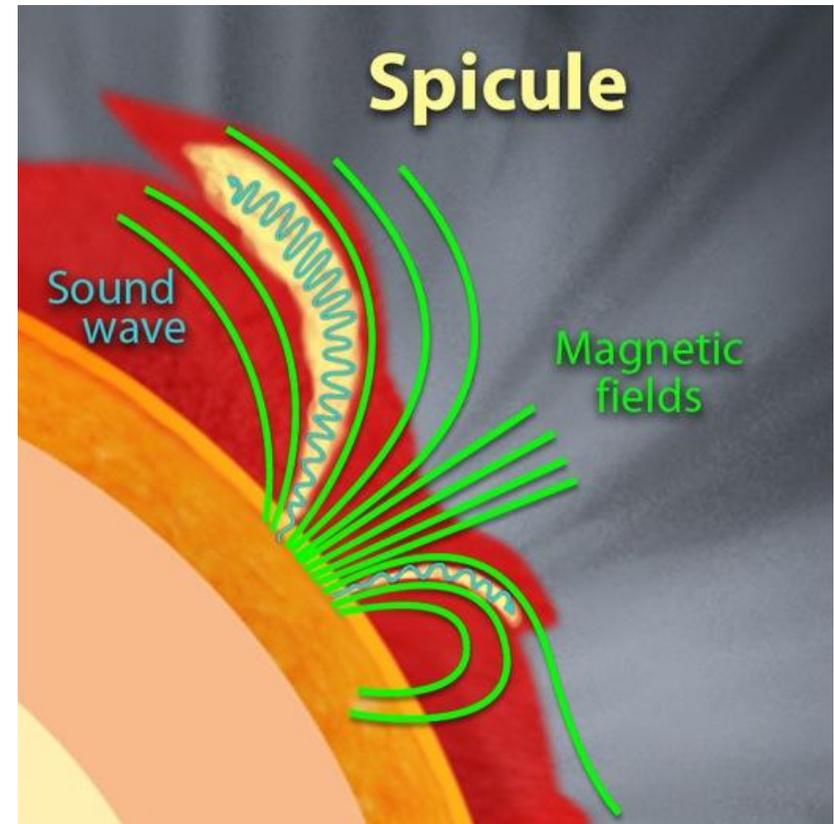
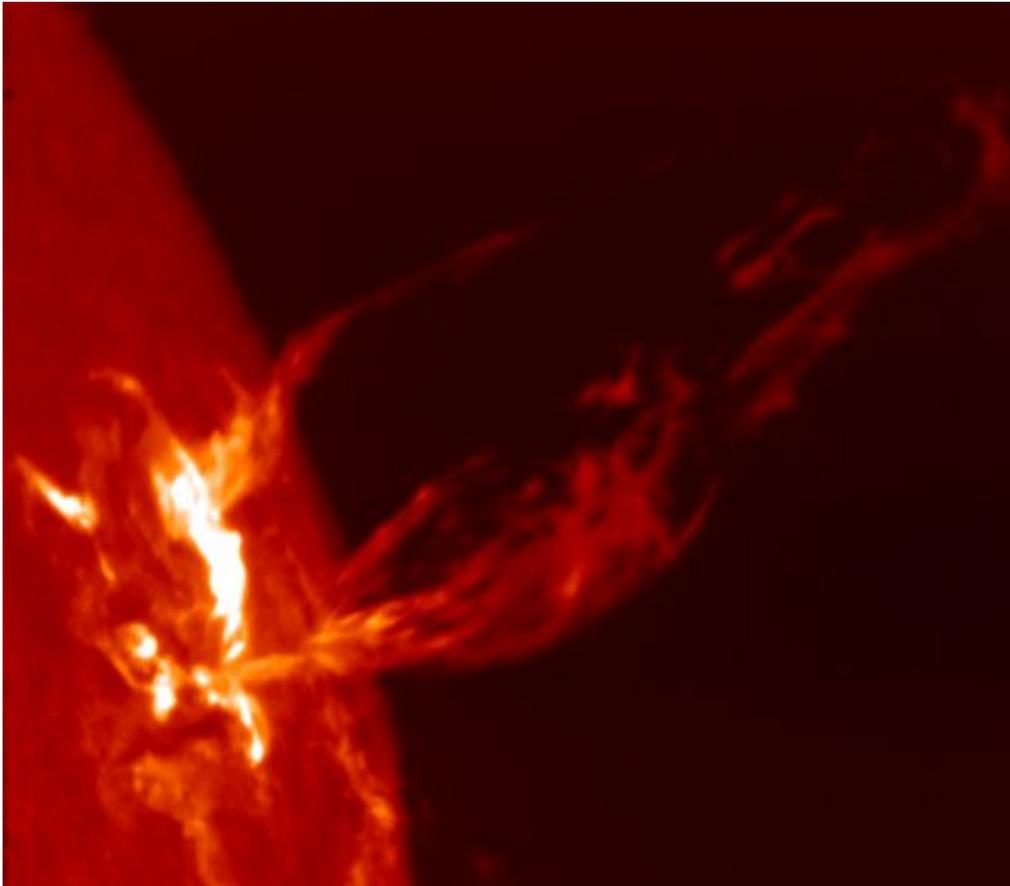
## El Sol en la línea $H_{\alpha}$ del hidrógeno



Las regiones activas aparecen brillantes. Los filamentos oscuros son prominencias.

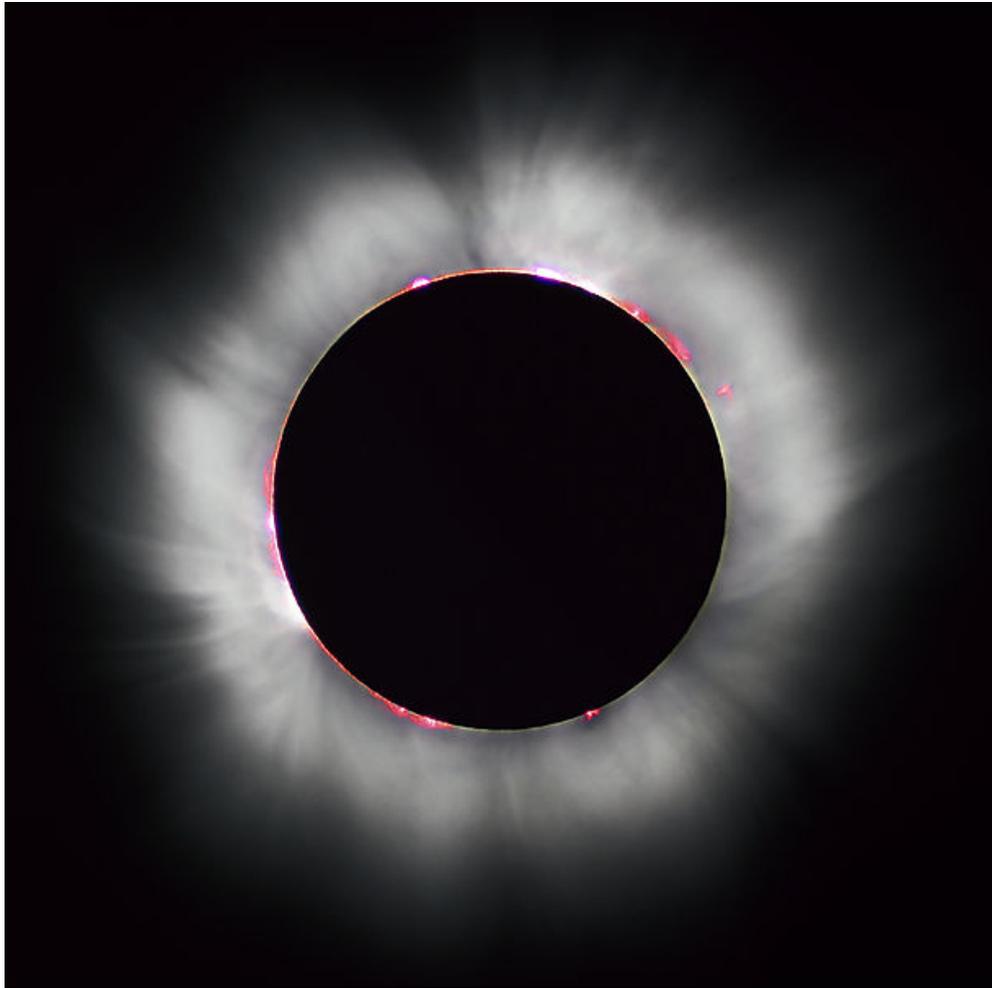
El Sol es también un fuerte emisor de radiación no térmica en rayos X, UV y en radio. Esta radiación está asociada a regiones activas.

## Eyecciones de masa coronales



El campo magnético del Sol potencia esta eyección masiva de plasma (gas ionizado) desde la superficie del Sol el que es acelerado hasta alcanzar muy altas velocidades. En estos fenómenos, denominados *fulguraciones* ("flares"), una gran cantidad de energía almacenada en el campo magnético es repentinamente liberada como energía cinética de las partículas eyectadas.

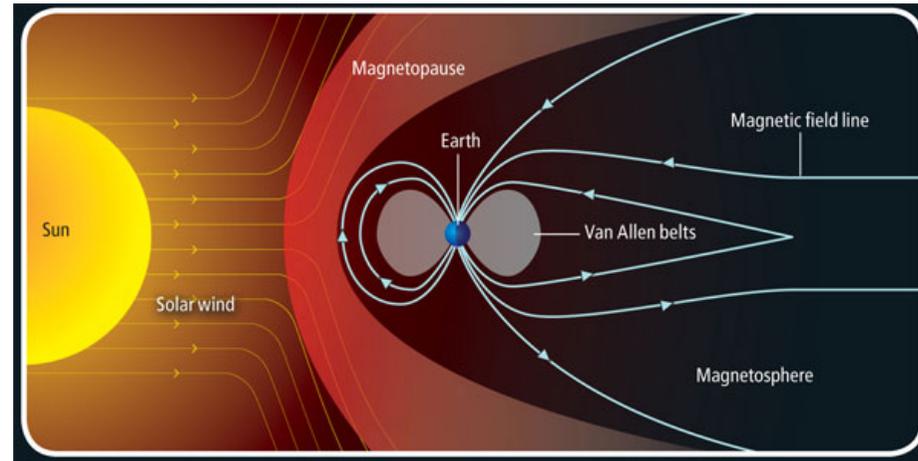
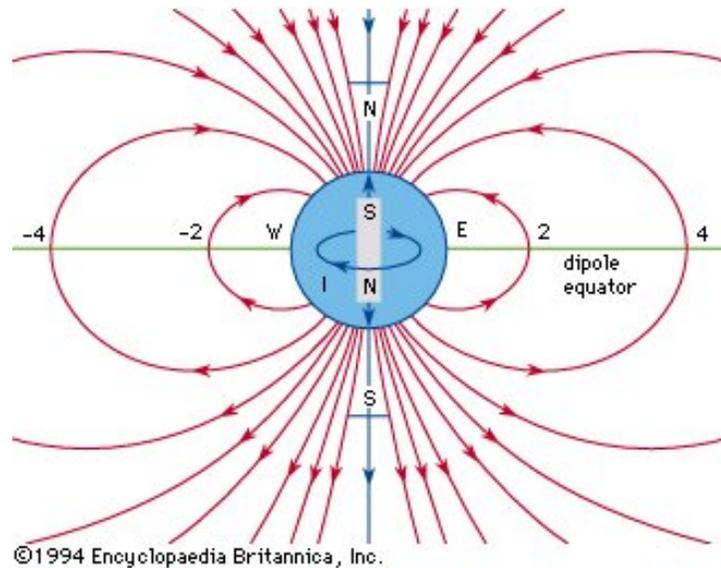
## La corona solar



Se la puede observar durante eclipses solares como un halo que se extiende hasta algunos radios solares. El gas coronal está fuertemente excitado, adquiriendo temperaturas cinéticas de  $\sim 10^6$  K. En el espectro de la corona se observó por primera vez el helio (denominado originalmente *coronium*). Las líneas espectrales de la corona son debidas en su mayoría a átomos fuertemente ionizados, como el Mg X, Si XII, Fe X.

En la foto se observa también la cromósfera como un fino anillo rojizo.

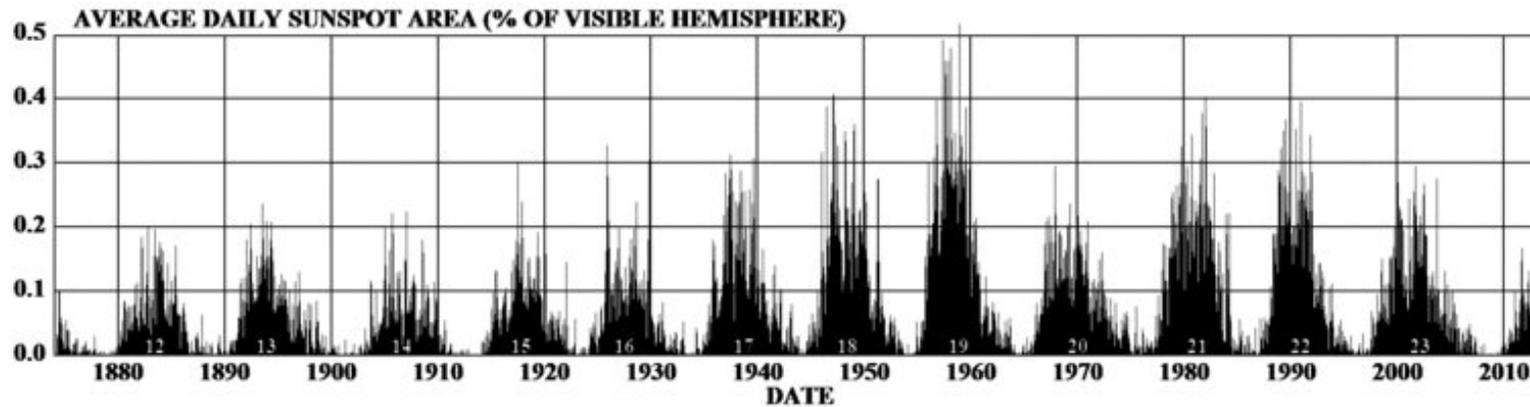
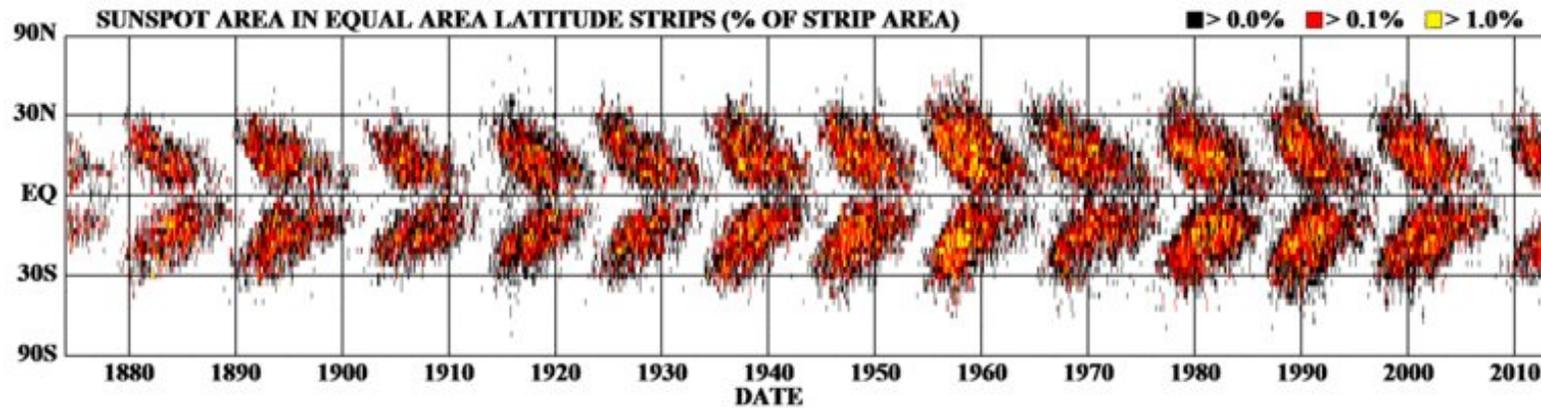
# El campo magnético general del Sol



El Sol tiene un campo magnético general bipolar y campos locales (p. ej. en manchas solares) muy intensos. Partículas cargadas eyectadas por el Sol se mueven en torno a las líneas de fuerza de su campo magnético como un flujo de partículas que pervade el medio interplanetario, el que se denomina *viento solar*. Cerca de la Tierra, la densidad del viento es típicamente de 5-10 partículas/cm<sup>3</sup> y su velocidad de aproximadamente 500 km/s. Al alcanzar la Tierra, se encuentra con su campo magnético que oficia como un escudo protector desviando las partículas.

# Ciclo de manchas y actividad solar

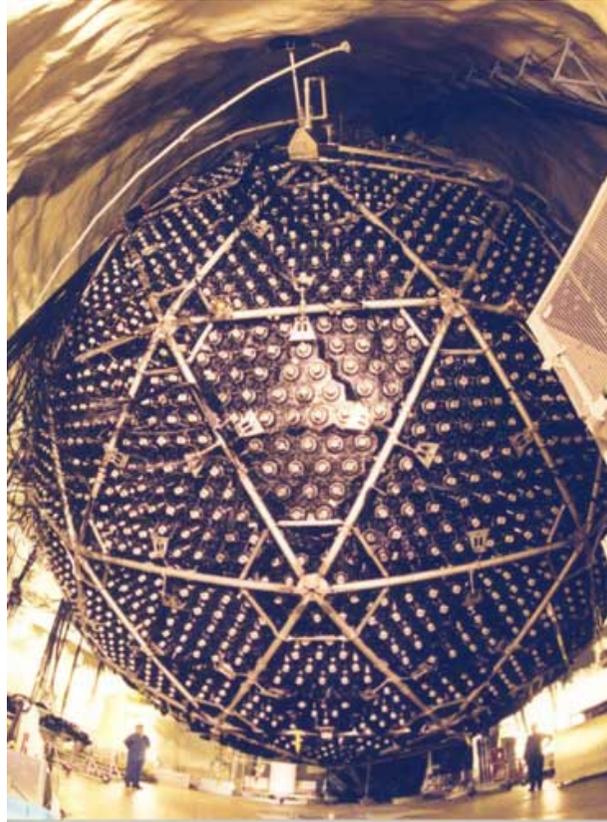
## DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>

HATHAWAY/NASA/MSFC 2013/04

## Los neutrinos solares



Observatorio de detección de neutrinos Sudbury, Canadá. Una esfera de 12 m de diámetro llenada con agua pesada, localizada a 2000 m debajo de la superficie. El deuterio en el agua pesada se puede romper por un neutrino incidente. El neutrón libre resultante es luego capturado produciendo un estallido de rayos gamma que pueden ser detectados. Los neutrinos permiten obtener información sobre las reacciones termonucleares que ocurren en el interior del Sol.