

# Espectro Solar y Manchas Solares

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno

*International Astronomical Union*

*Escola Secundária de Loulé, Portugal*

*ITeDA y Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*

*Colegio Retamar de Madrid, España*



# Objetivos

- Comprender qué es el espectro del Sol.
- Comprender el por qué del espectro de Sol.
- Comprender qué son las manchas solares.
- Comprender la importancia histórica del trabajo de Galileo sobre manchas solares.



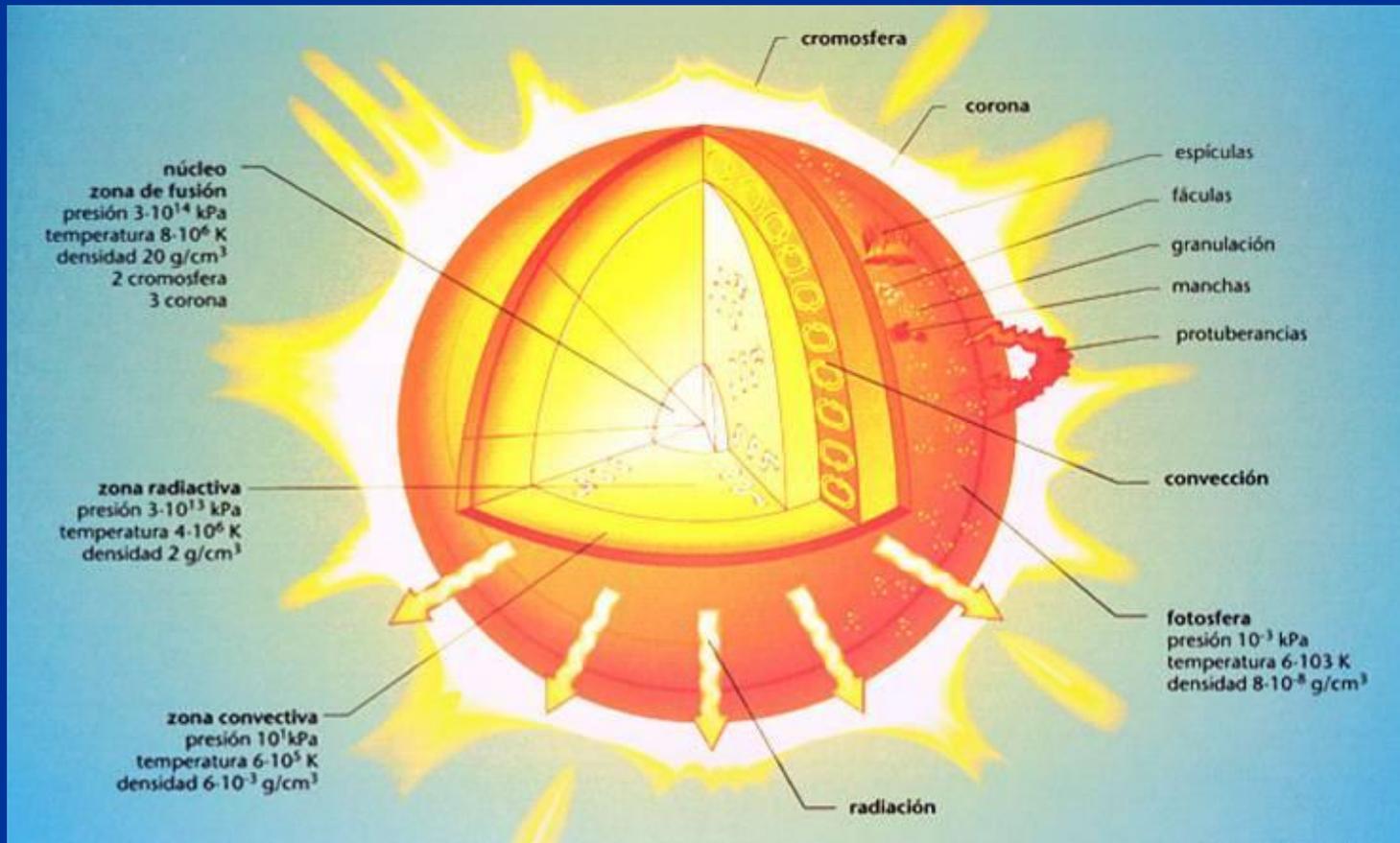
# La Radiación Solar

Toda la energía (luz, calor) que usamos nos llega del Sol.



# La Radiación Solar

Esa radiación es creada en el núcleo, a 15 millones de grados C y presión altísima. Se produce a partir de reacciones nucleares de fusión.



# La Radiación Solar

- 4 protones (núcleos de H) se unen y dan un átomo de Helio (fusión).



- La masa resultante es menor que la de los 4 protones iniciales, el resto se transforma en energía:

$$E=mc^2$$

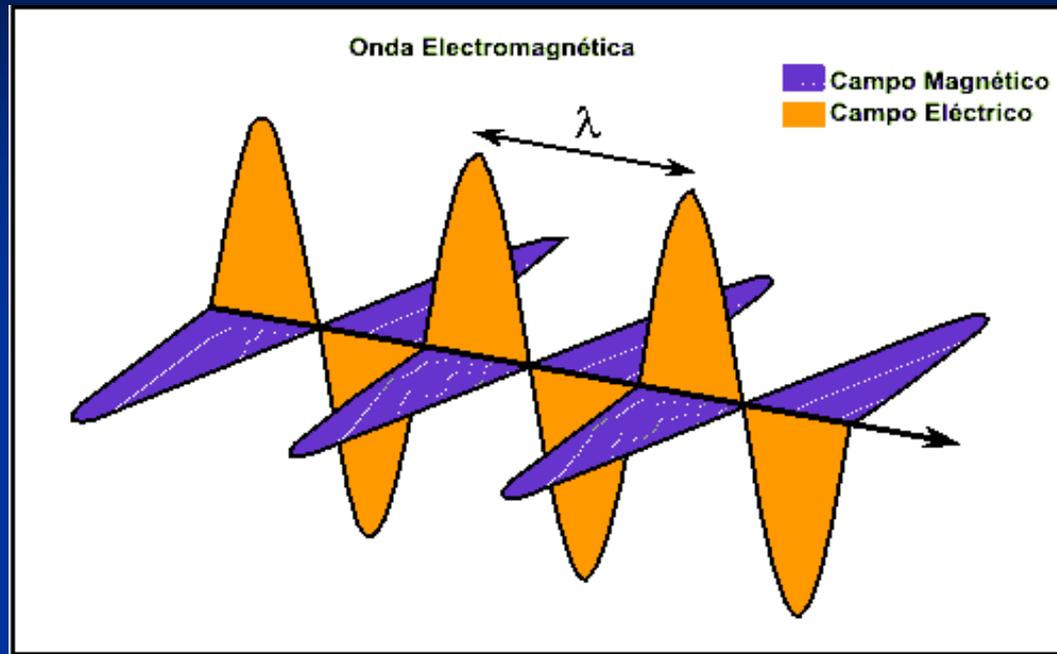
- Cada segundo, 600 millones de toneladas de H se transforman en 595,5 millones de toneladas de He, el resto se convierte en energía.
- El Sol tiene tanta masa que, perdiéndola a ese ritmo, durará miles de millones de años.

# La Radiación Solar

Esa energía se transporta a una velocidad de 299.793 km/s. Tarda 8 minutos en llegar a la Tierra.



# Espectro Solar: Radiación

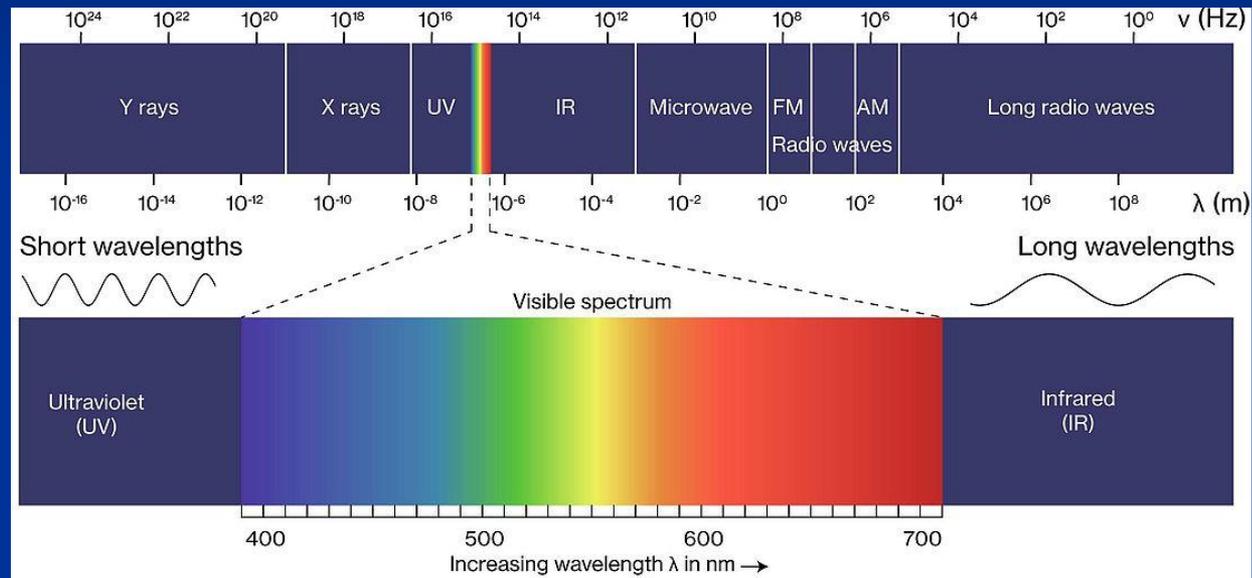


La longitud de onda  $\lambda$ , la frecuencia  $\nu$  y la velocidad de propagación  $c$  de las ondas electromagnéticas, están relacionadas a través de la ecuación:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

# Espectro Solar: Radiación

## Espectro Electromagnético



Gamma



Rayos X



Visible



Infrarrojo

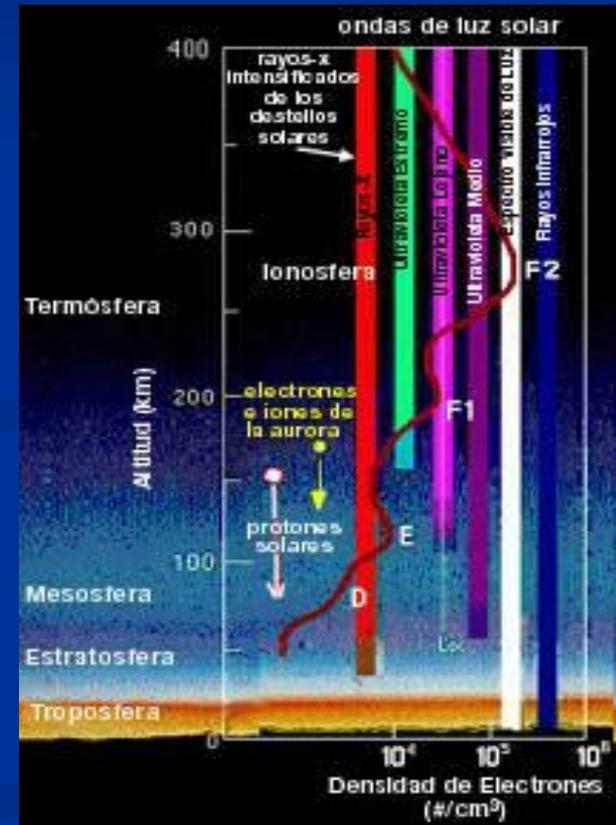
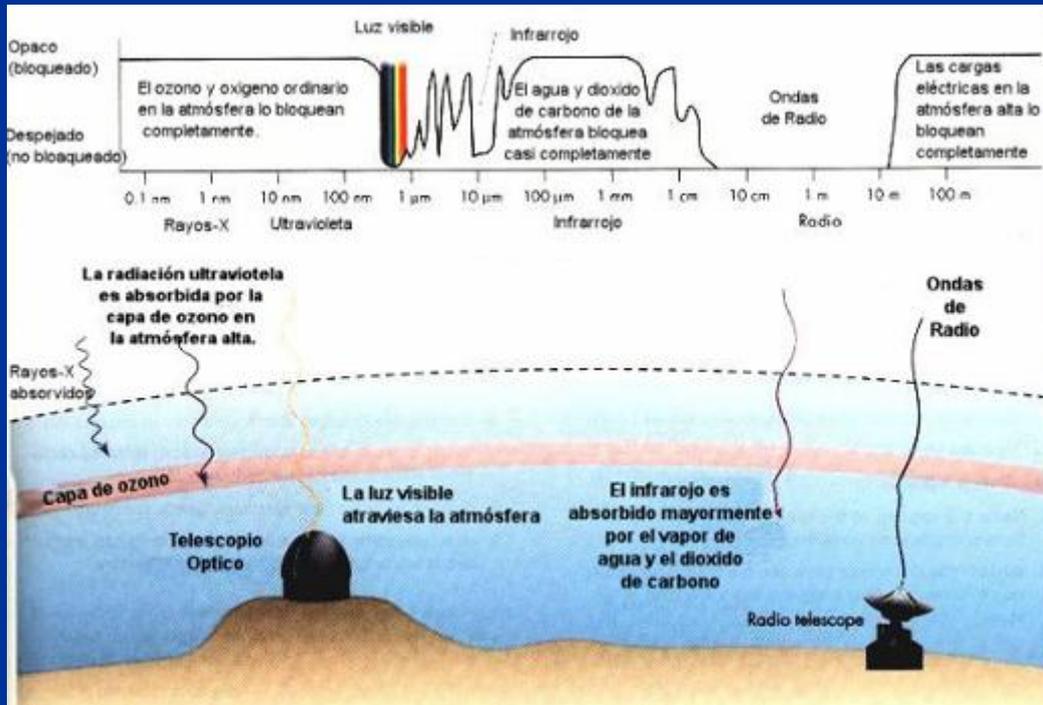


Radio

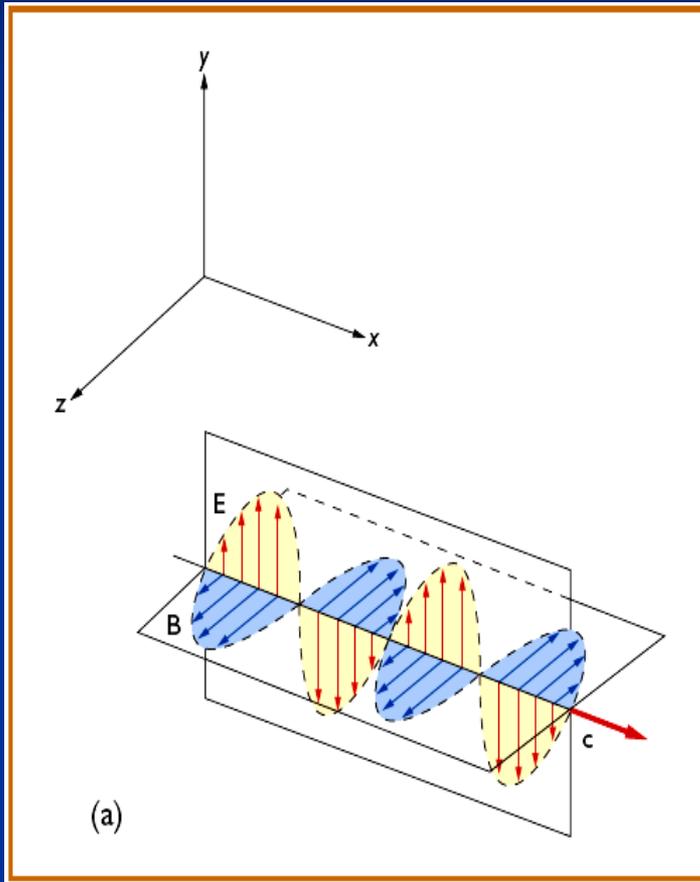


# Espectro Solar: Radiación Solar

La atmósfera terrestre es opaca para la mayoría de las radiaciones



# Radiación Solar: Polarización

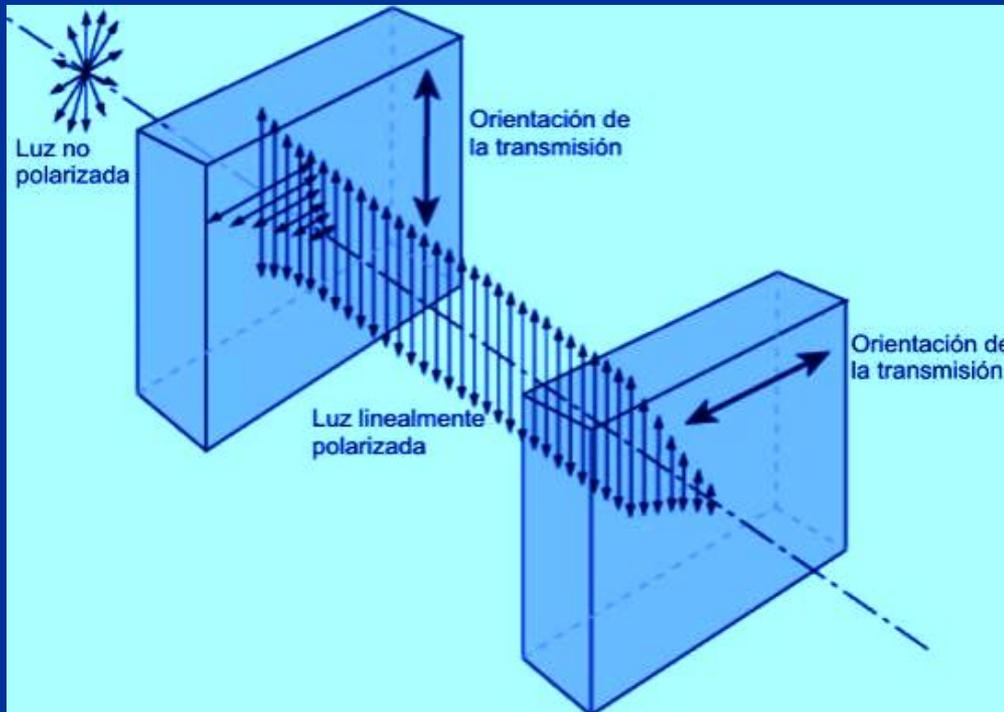


- La radiación electromagnética perfecta tiene un perfil como el de la figura.
- Hay una dirección de vibración para cada uno de los campos eléctricos y magnéticos.
- Se dice que está linealmente polarizada.
- La luz del Sol no tiene ninguna dirección de vibración privilegiada.

# Espectro Solar: Polarización

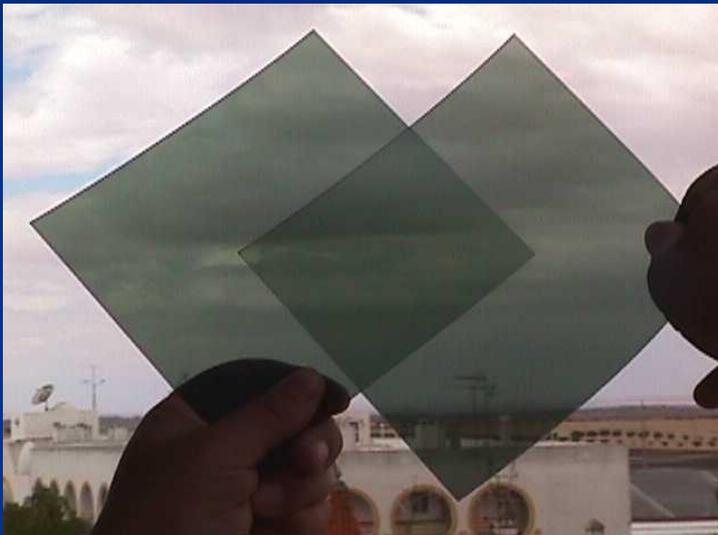
La luz solar se puede polarizar:

- Por reflexión.
- Haciéndola pasar por un filtro Polaroid .

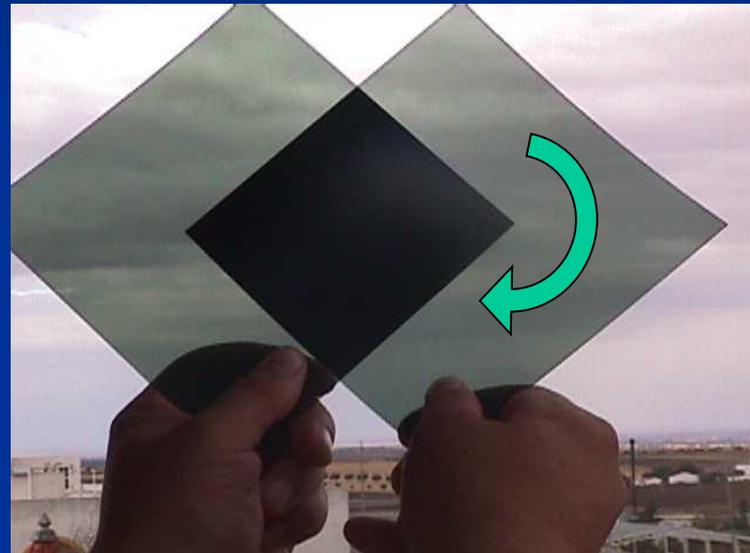


Cuando los dos filtros Polaroid tienen las orientaciones de polarización paralelas, la luz pasa a través de ellos. Si las tienen perpendiculares, la luz que pasa por el primer filtro queda bloqueada por el segundo y no pasa la luz.

# Actividad 1: Espectro Solar: Polarización



Si los filtros tienen la misma orientación, la luz pasa a través.



Si uno de los filtros se gira  $90^\circ$ , se bloquea la luz

# Activitat 1. Espectro Solar: Polarización



Las moléculas de ambos filtros tienen igual orientación, la luz pasa a través.



Si un filtro se gira  $90^\circ$ , la luz no puede pasar

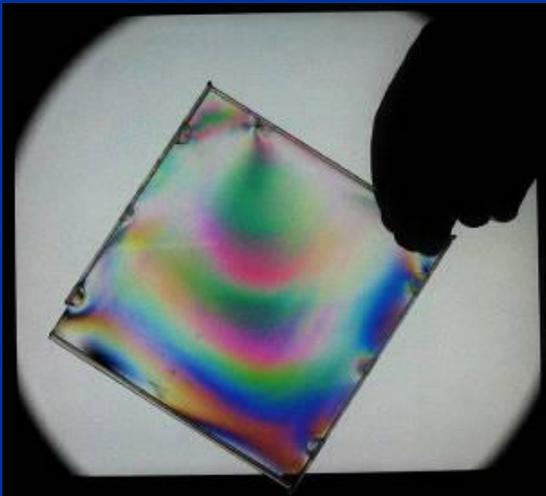
En Astrofísica, la polarización de la luz permite estudiar la orientación y el tamaño de los granos de polvo interestelar



# Actividad 1: Espectro Solar: Polarización



- También se puede polarizar la luz por reflexión.
- Las gafas de sol polarizadas, evitan reflejos.
- Se usa en fotografía,
- y en ingeniería, para ver tensiones internas en materiales.

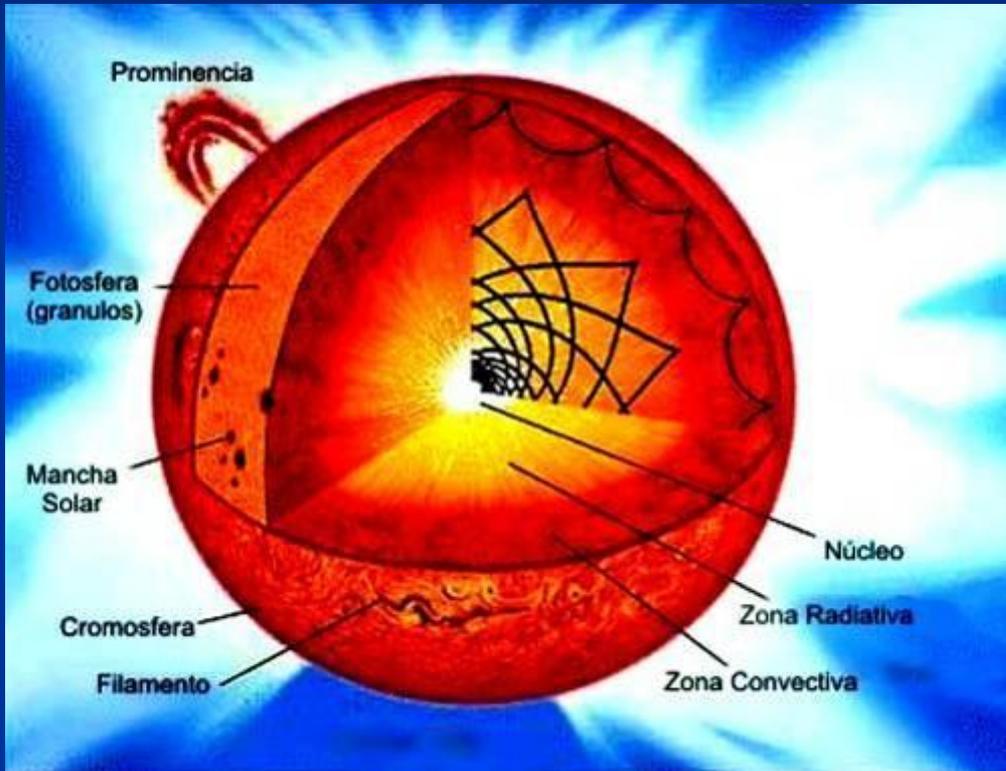


## Actividad 2: Polarización de la luz

- La pantalla de cristal líquido de un ordenador portátil emite luz polarizada.
- Observar el plano de polarización con gafas de sol polarizadas.
- Algunos objetos giran el plano de polarización: cinta adhesiva sobre cristal.
- Observar las tensiones internas en una pieza de plástico transparente (caja de CD).

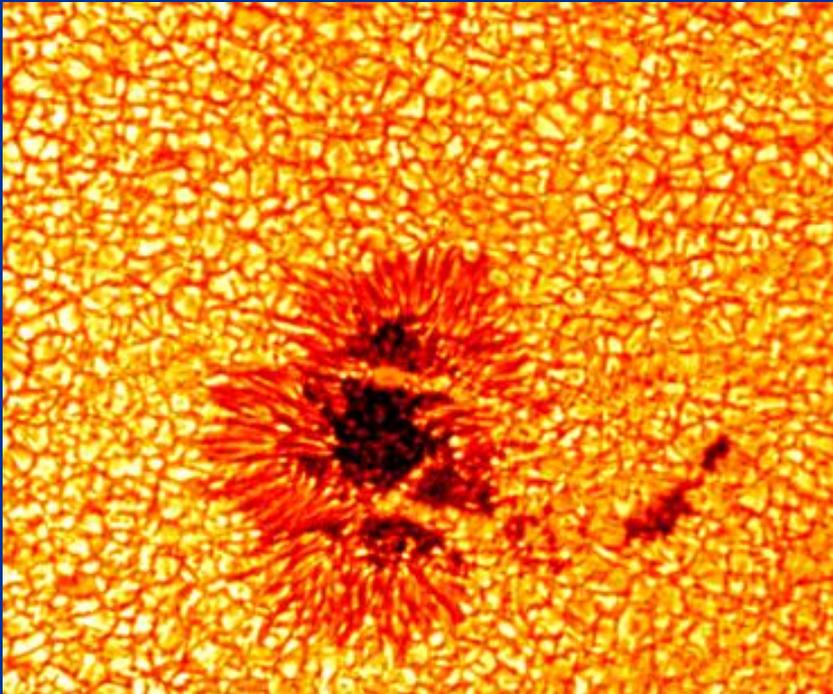


# La Estructura del Sol



- Núcleo:  
15 millones de grados K
- Zona radiativa:  
8 millones grados K
- Zona convectiva:  
500.000 grados K.
- Hay convección  
(movimiento de materia)

# La Estructura del Sol



- Fotosfera:

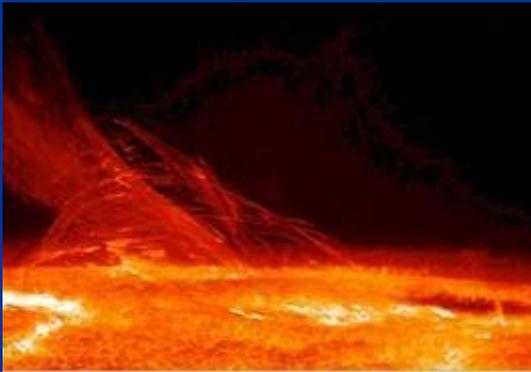
6.400 - 4.200 K,  
es la “superficie” del Sol.

Tiene granulación de  
~1000 km

# La Estructura del Sol

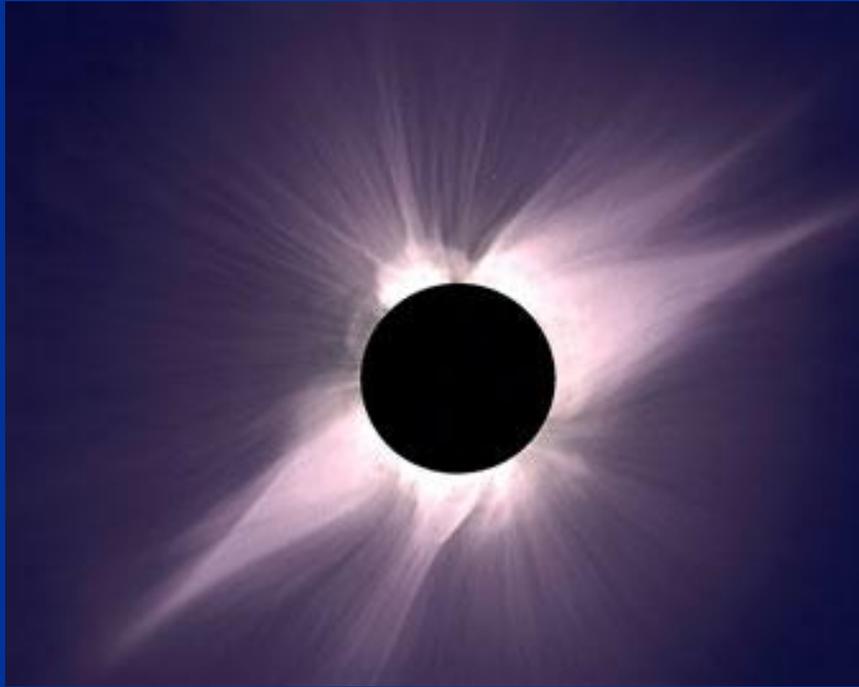


- Cromosfera: “pradera ardiente”, de  $4.200-1 \cdot 10^6$  K.  
Hay prominencias, (protuberancias) y fulguraciones.

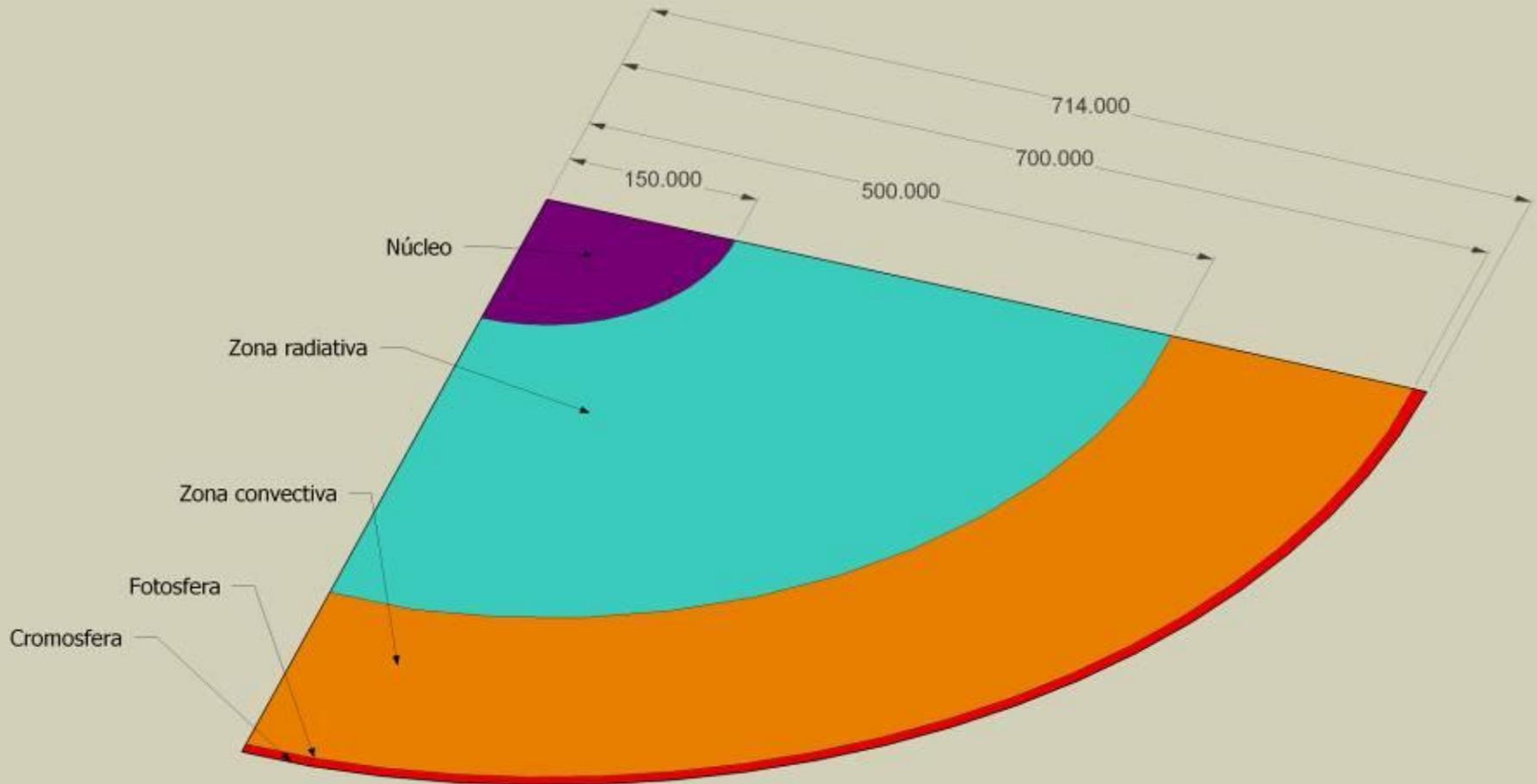


# La Estructura del Sol

- Corona: viento solar,  $1-2 \cdot 10^6$  K.
- Sólo se ve en eclipses.

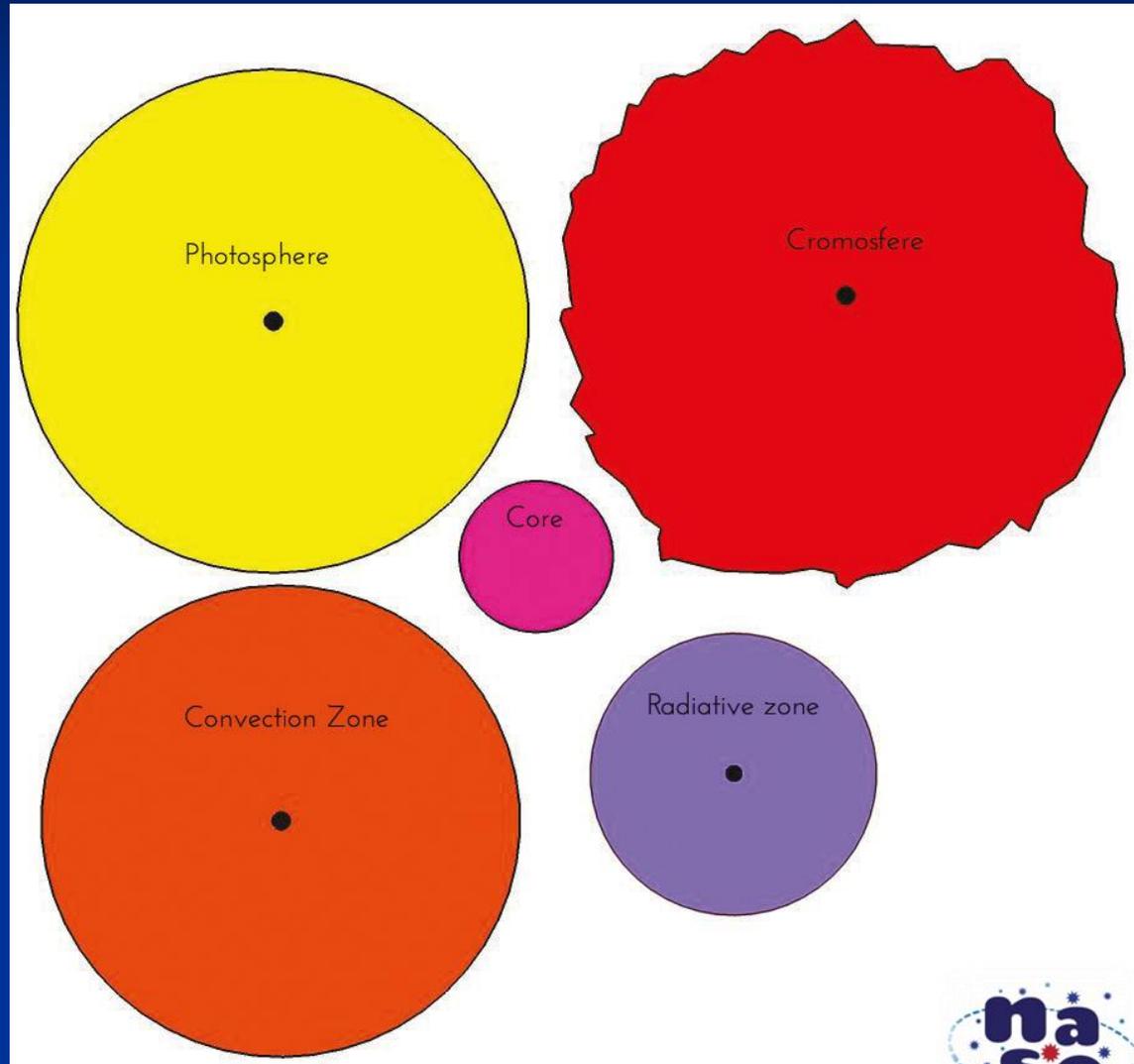


# La Estructura del Sol



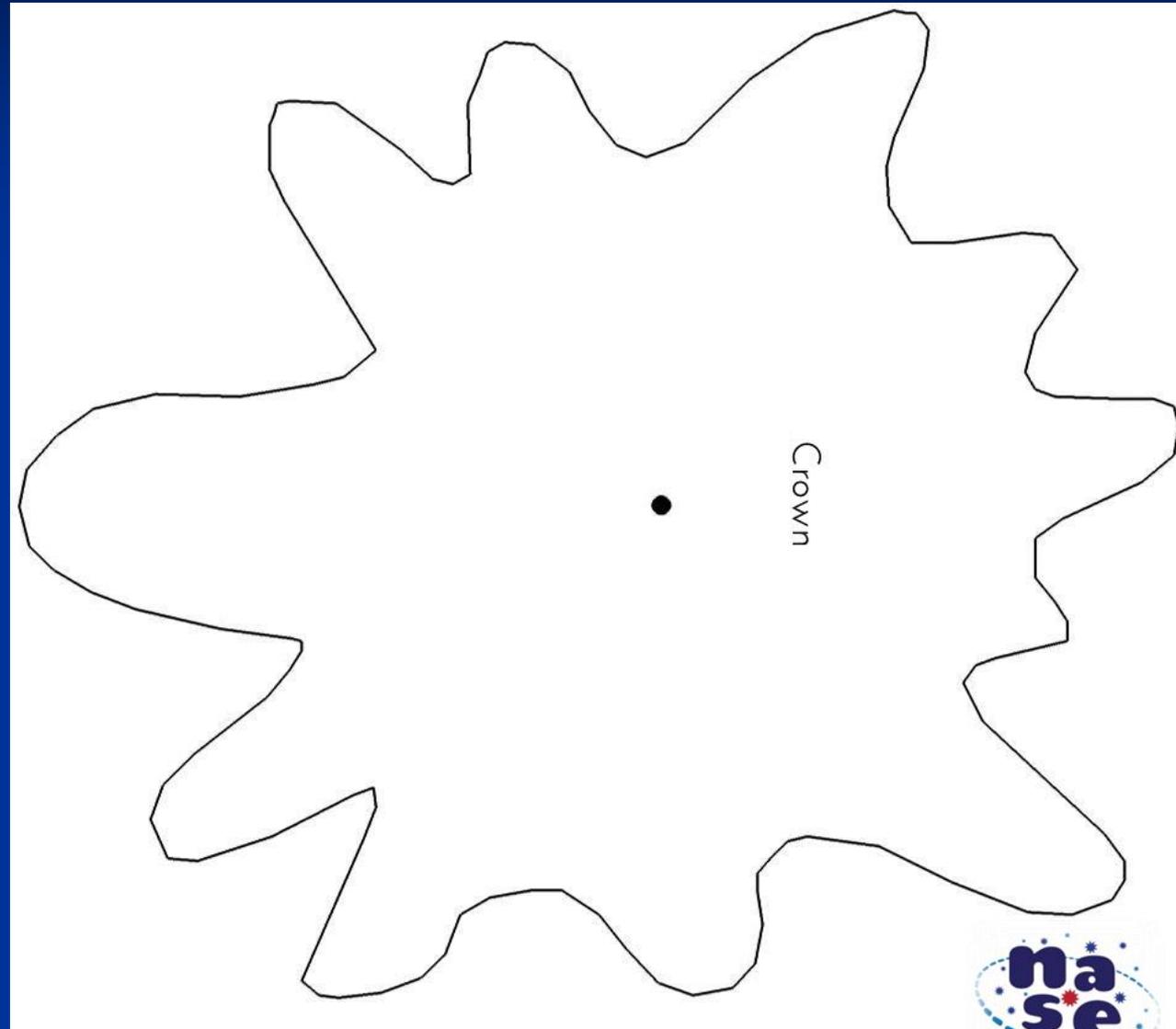
# Actividad 3: Estructura Solar

Modelo sencillo de capas del Sol. El objetivo es recortar las diferentes figuras. Se pueden cortar de diferentes papeles de colores o pintarse.



# Actividad 3: Estructura Solar

Finalmente, se pegan una encima de la otra, en el orden correcto.



# Actividad 3: Estructura Solar

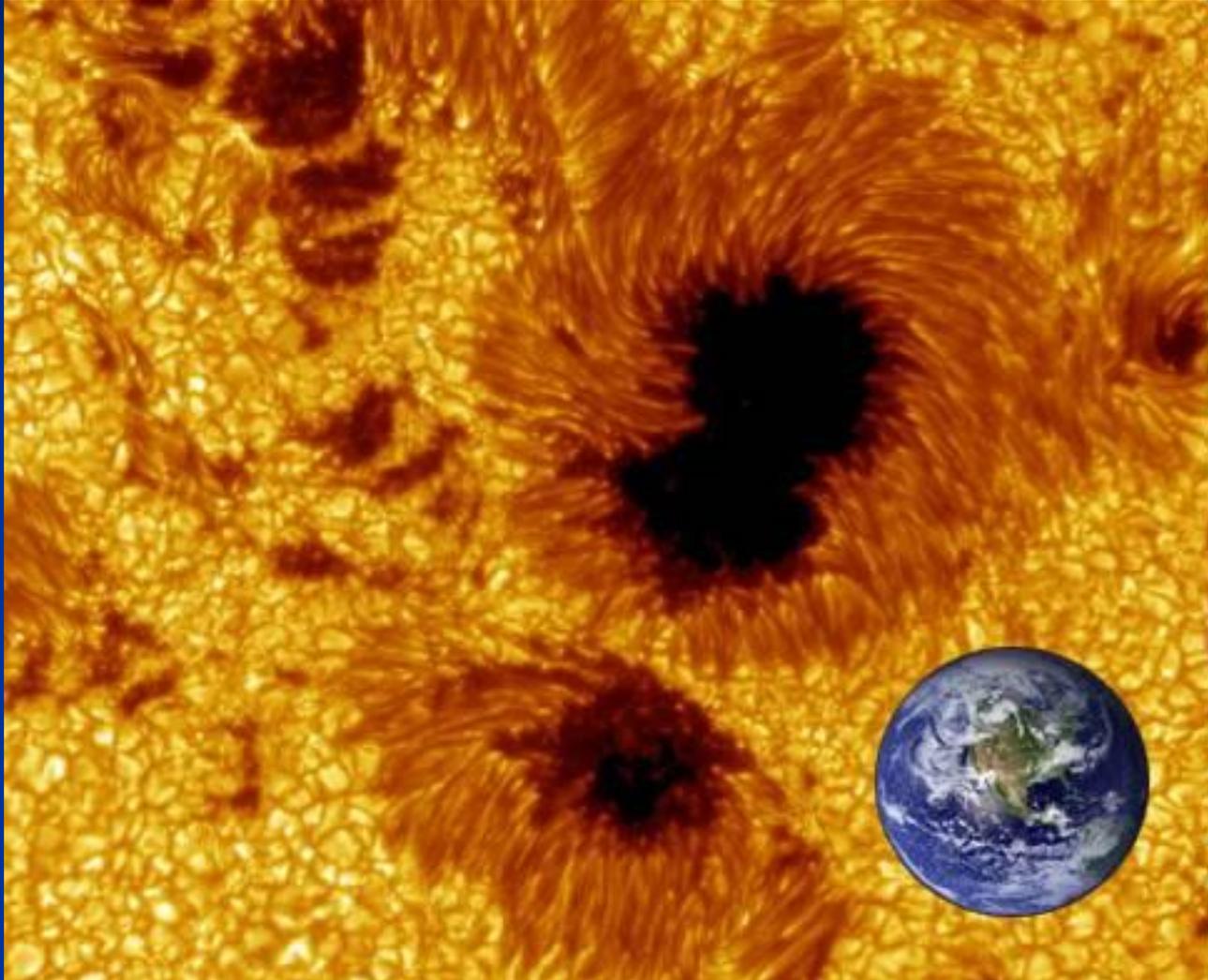


# Manchas Solares

- Manchas oscuras en la fotosfera, a 4.200 K en lugar de los 6.000 K.
- Cada mancha solar tiene dos regiones: Umbra (central) y Penumbra.

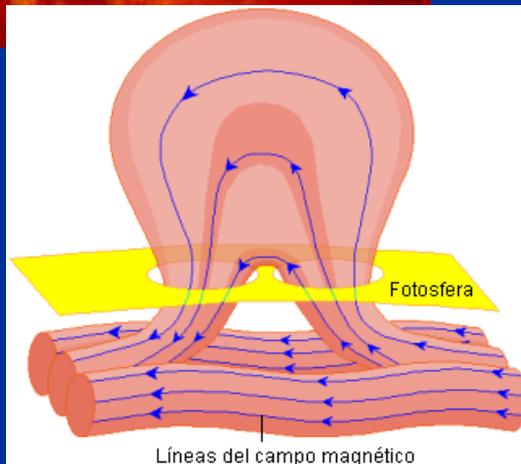
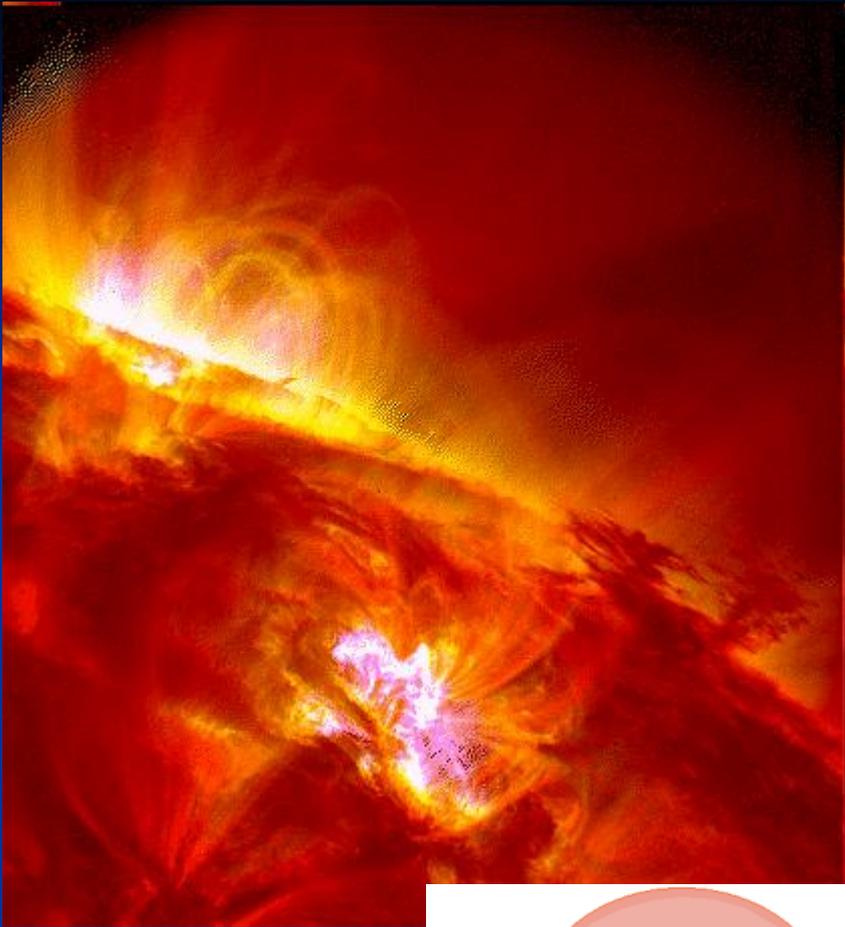


# Manchas Solares

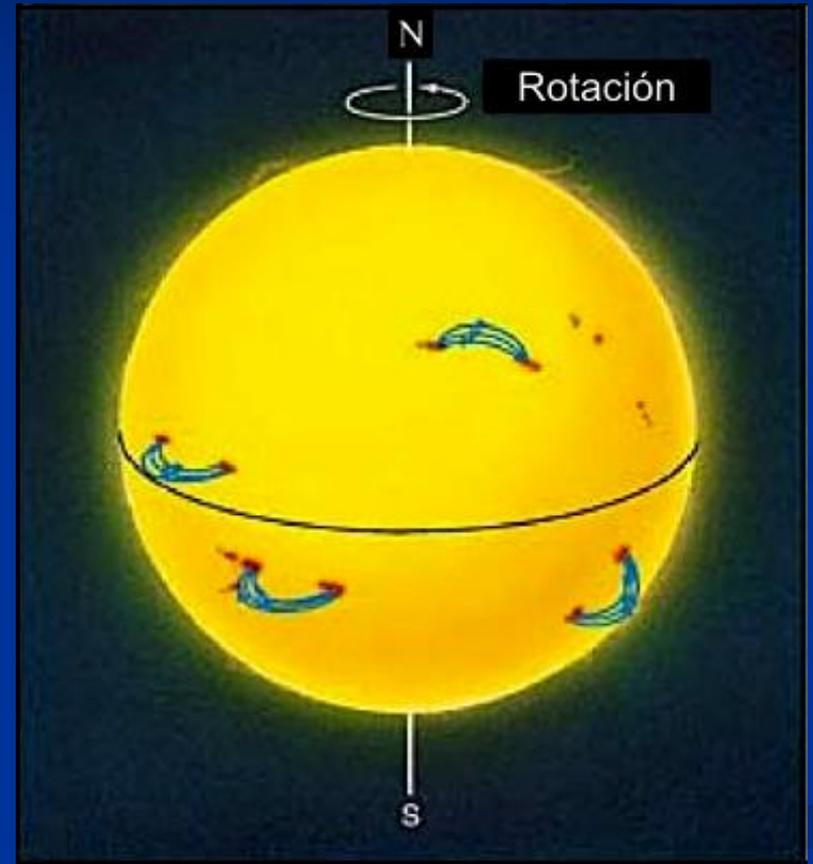
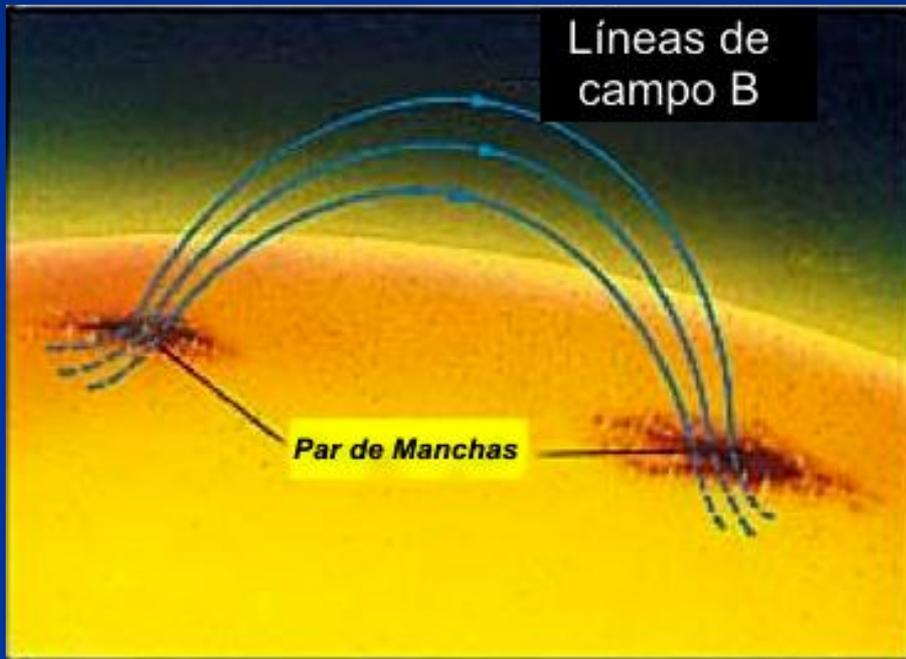


# Manchas Solares

- Hay fuertes campos magnéticos en ellas.
- Están producidas por afloramiento de líneas magnéticas en forma de lazo que suben desde el interior.

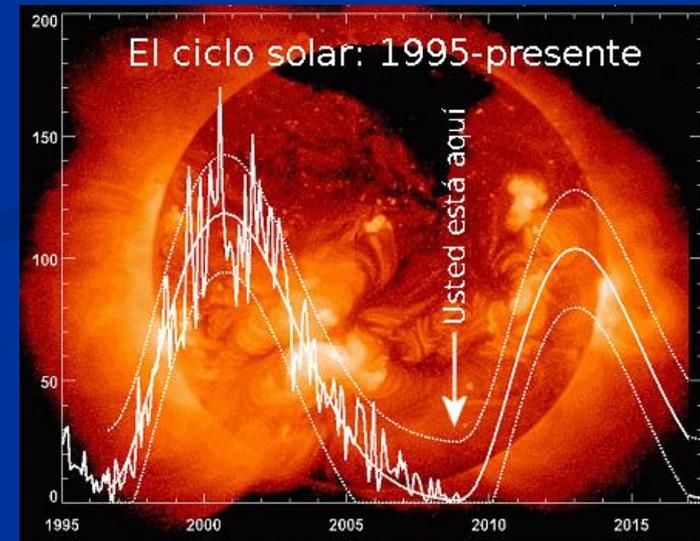
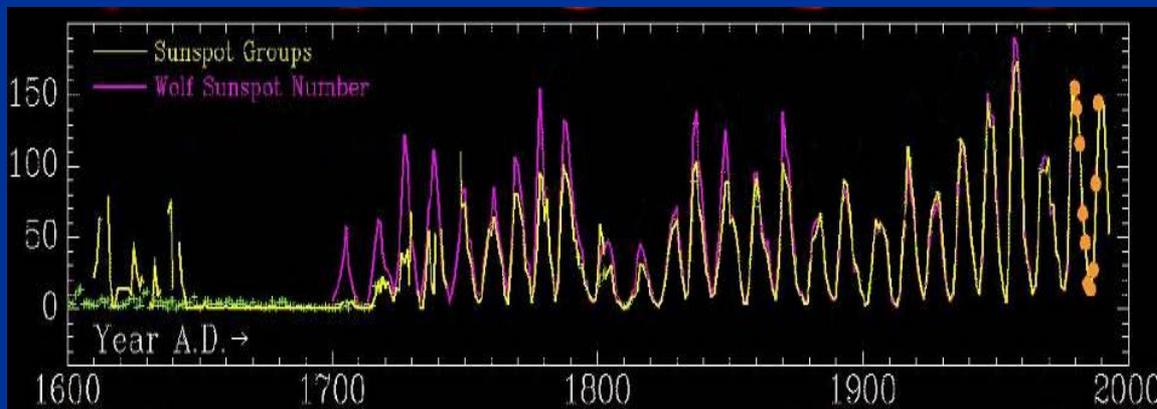


# Manchas Solares



# Manchas Solares

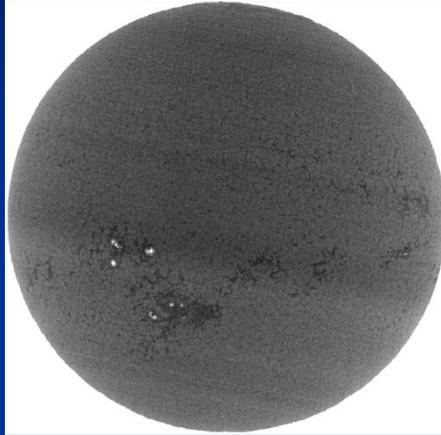
- El número de manchas indica la “actividad solar”.
- $N^{\circ}$  de Wolf =  $10 \cdot G + F$   
( $G$ =grupos;  $F$ = $n^{\circ}$  total de manchas)
- Tiene un ciclo de 11 años.



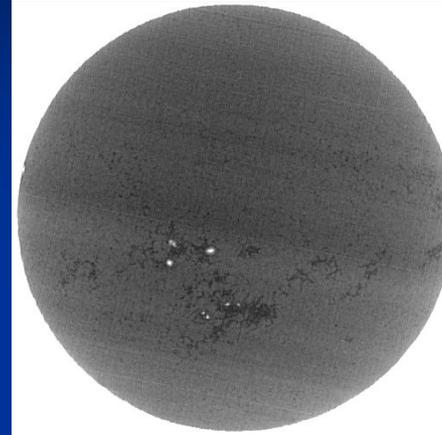
En el 2008 hubo un mínimo, que se prolongó más de lo normal.

# Manchas Solares: Rotación Solar

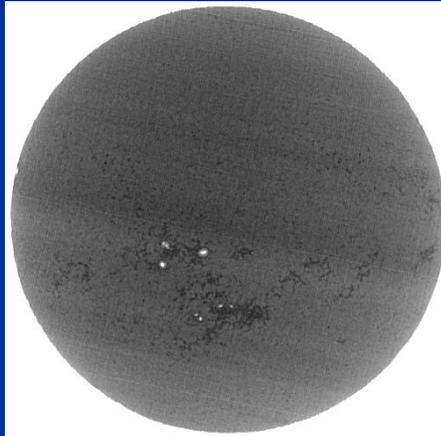
21 de Noviembre 1992



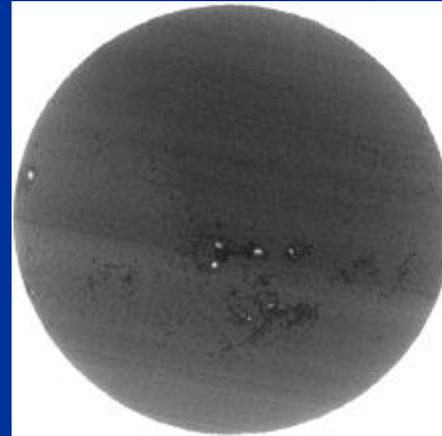
22 de Noviembre 1992



23 de Noviembre 1992



24 de Noviembre 1992



Fuente: Observatorio Astronómico de la Universidad de Coimbra



# Manchas Solares y Rotación Solar



- Sirven para medir la rotación solar.
- Galileo con el telescopio fue el primero que las vio, y calculó ese período.
- Rotación diferencial: 25 días en el ecuador y 34 días en los polos.

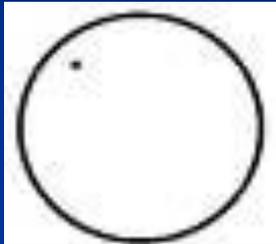
# Actividad 4: Determinación del periodo de rotación del Sol

- Las observaciones se deben hacer siempre por proyección, con un telescopio o unos prismáticos. Nunca directamente.

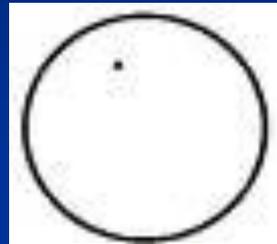


# Actividad 4: Determinación del periodo de rotación del Sol

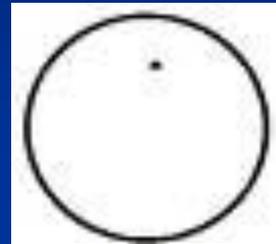
- Se dibujan las manchas durante varios días.



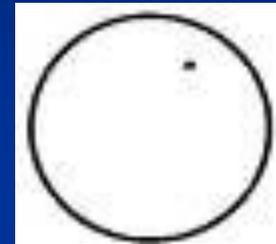
Día 1



Día 4

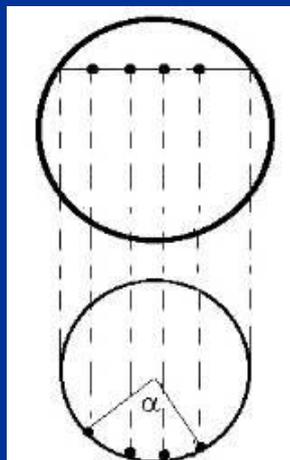


Día 6



Día 8

- Se dibuja el recorrido, la circunferencia y el ángulo  $\alpha$ . Así se calcula el período  $P$  en días.



$$\frac{360^\circ}{\alpha^\circ} = \frac{T}{t}$$

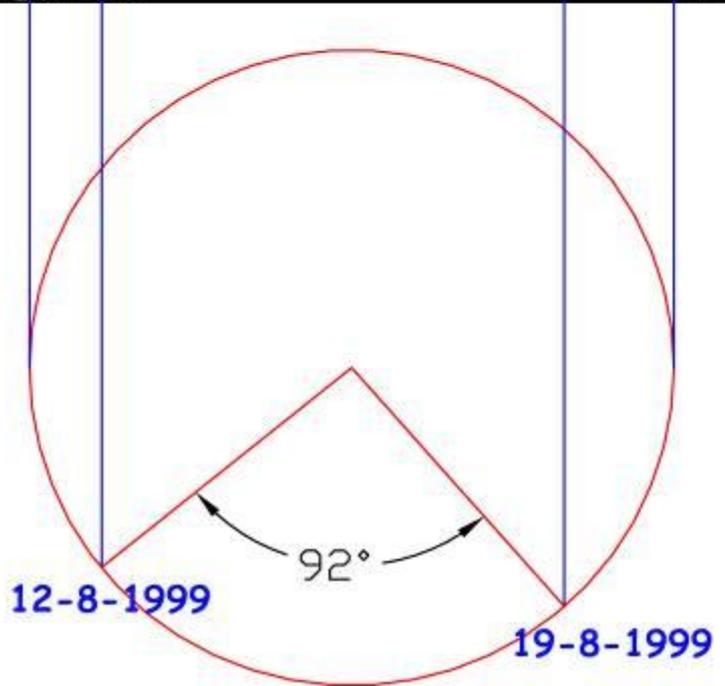


12-8-1999

19-8-1999

Observed:  
August 1999

LS



12-8-1999

19-8-1999

92°

# Actividad 4: Determinación del periodo de rotación del Sol

$$T = \frac{360^\circ \times 7 \text{ días}}{92^\circ} = 27,3 \text{ días}$$

# La Radiación del Sol

- El Sol es un gran reactor nuclear. Produce fotones, cada uno con una frecuencia (color) y una energía de  $E=h\cdot\nu$
- La luminosidad (potencia, en watos) del Sol es enorme: cada segundo emite lo mismo que trillones de bombas atómicas.
- Esa energía se trasmite por el espacio como una burbuja cada vez más grande. El área de esa burbuja es  $4\cdot\pi\cdot R^2$ .
- A una distancia del Sol de  $R$ , la energía que llega cada segundo a  $1\text{ m}^2$  es:

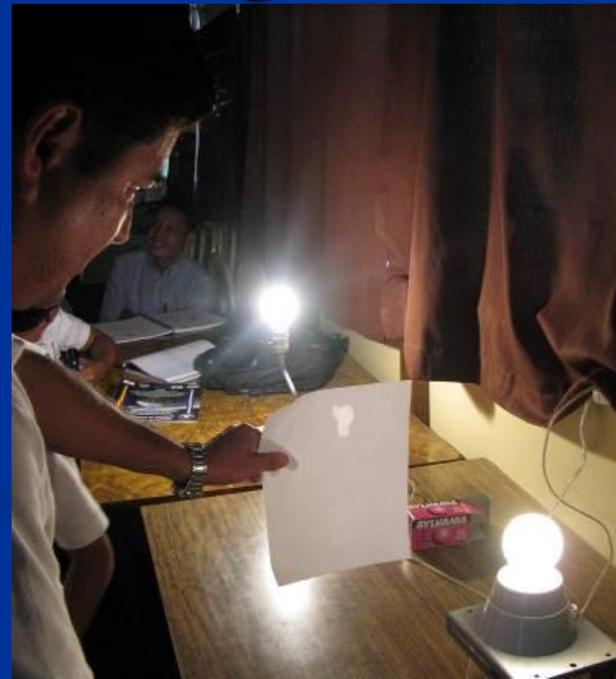
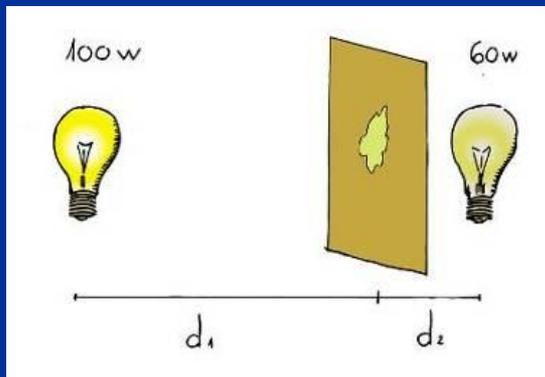
$$\frac{P}{4\pi R^2}$$



# Actividad 5: Cálculo de la Luminosidad del Sol

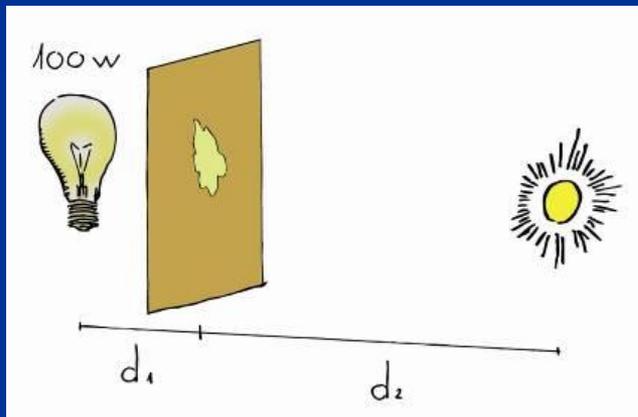
- La energía se transmite de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Si sabemos la distancia al Sol, podemos calcular su potencia.
- Hacemos un fotómetro de mancha de aceite. Cuando no se ve la mancha, se ha igualado la iluminación en los lados del papel, llega la misma energía a cada lado, luego:

$$\frac{P_1}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{P_2}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$

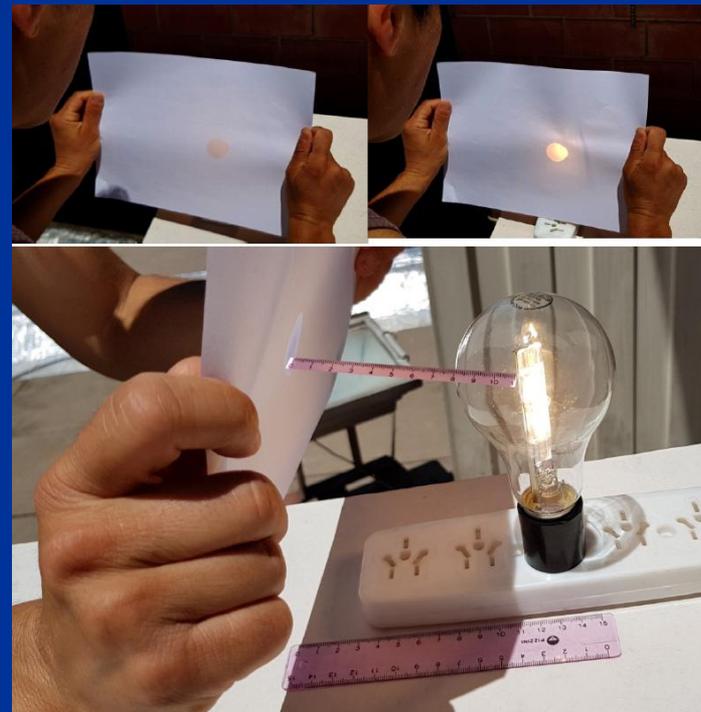


# Actividad 5: Cálculo de la Luminosidad del Sol

Comparamos una bombilla de 100 W con el Sol, que está a 150 millones de km ( $1,5 \cdot 10^{11}$  m), y calculamos  $P$ .



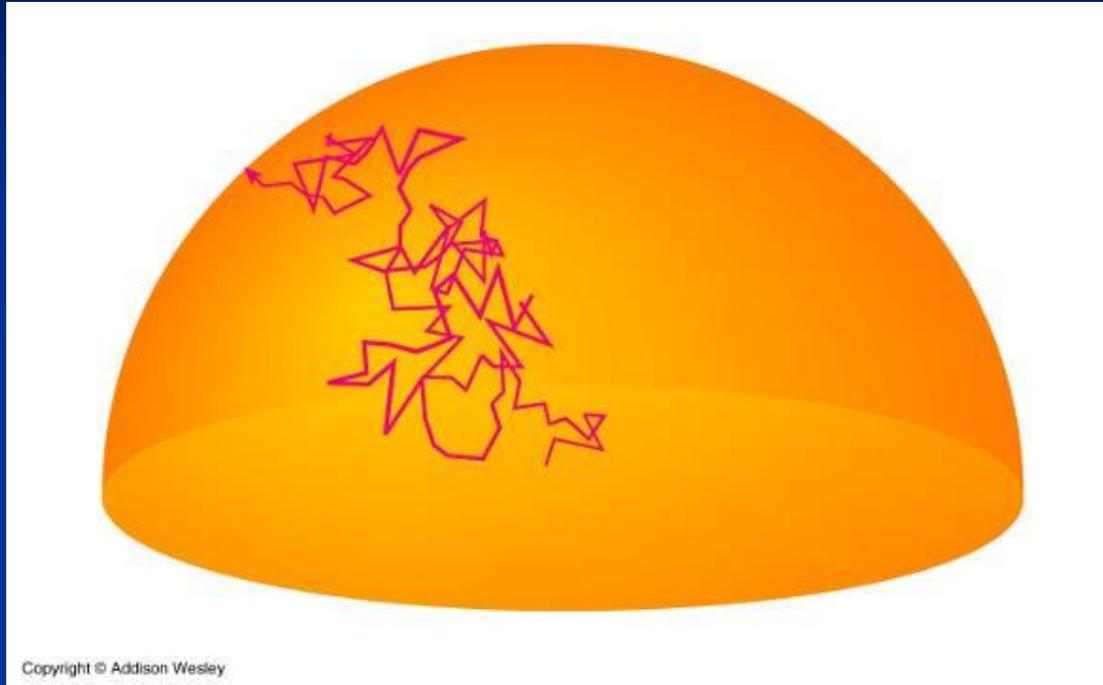
$$\frac{100 \text{ W}}{d_1^2} = \frac{P}{d_2^2}$$



El resultado debería aproximarse a  $3,8 \cdot 10^{26}$  W



# Espectro Solar: Opacidad



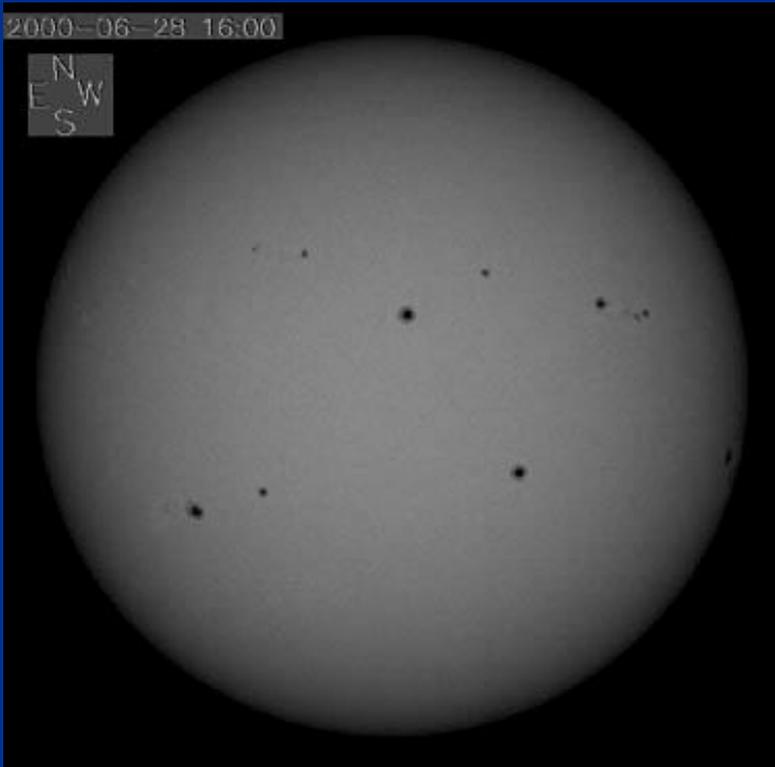
Los fotones son producidos en las partes más interiores del Sol, e interactúan con la materia muy densa en esa zona. Un fotón producido en el núcleo del Sol tarda hasta 1 millón de años en llegar a la fotosfera.

# Espectro Solar: Opacidad

Las partes más interiores del Sol son opacas (muchas interacciones, como en un sólido).

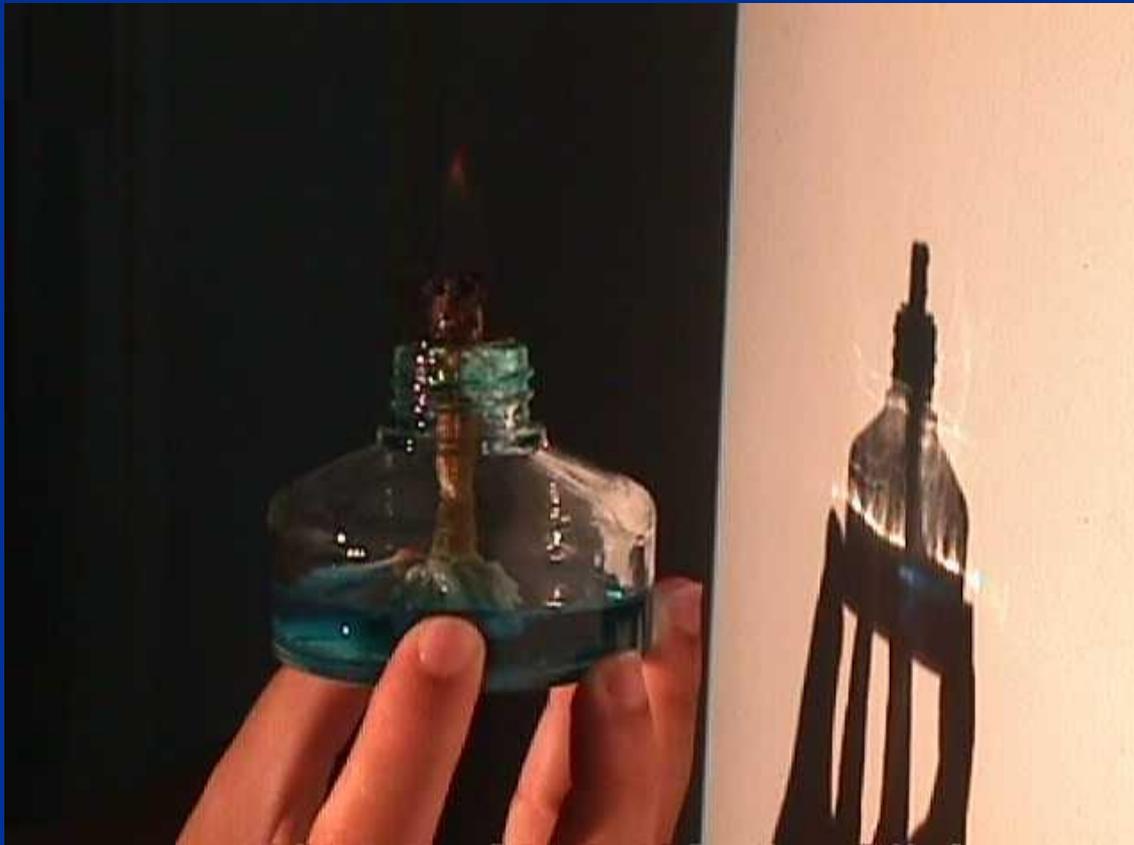
Las partes más exteriores son transparentes.

Evidencia: oscurecimiento del limbo, en el borde el Sol es menos brillante porque es más transparente.

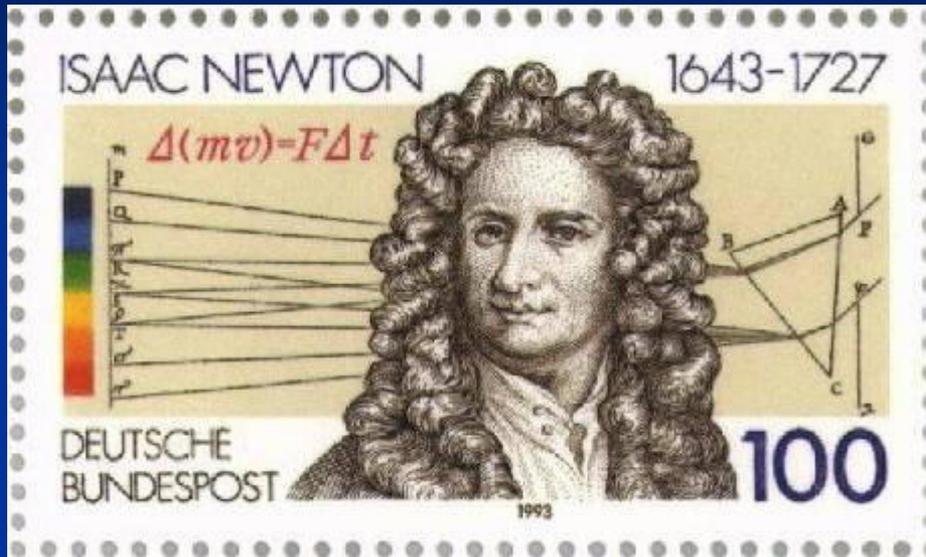


# Actividad 6: Transparencia y Opacidad

Transparente no es lo mismo que invisible



# Espectros



Fuente: Deutsche Bundespost 1993



En 1701, Newton usó un prisma y descompuso la luz solar en colores.

Cualquier luz se puede descomponer con un prisma o una red de difracción. Lo que se obtiene es su espectro.

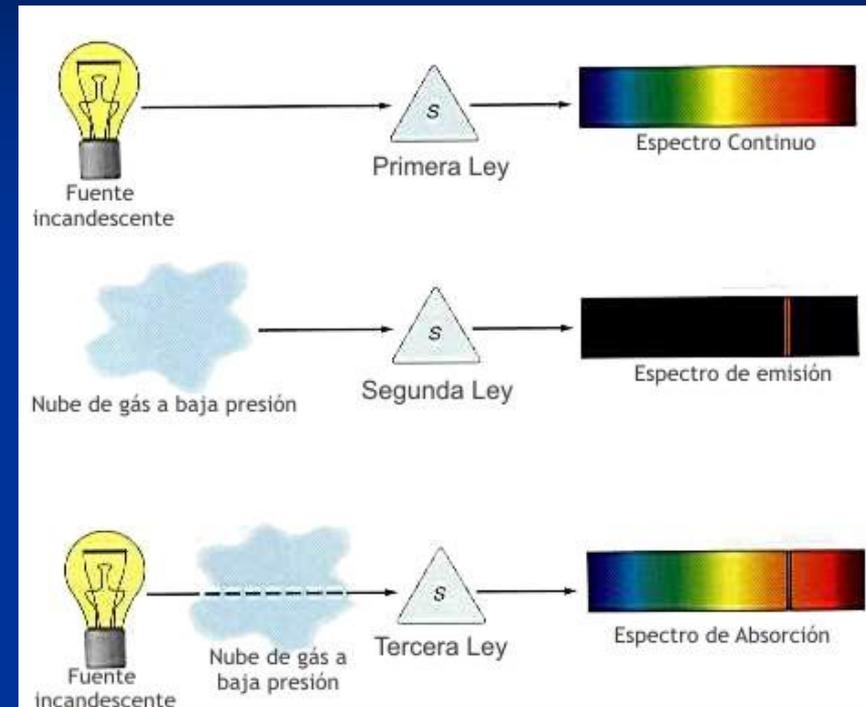


# Leyes de Kirchhoff y Bunsen

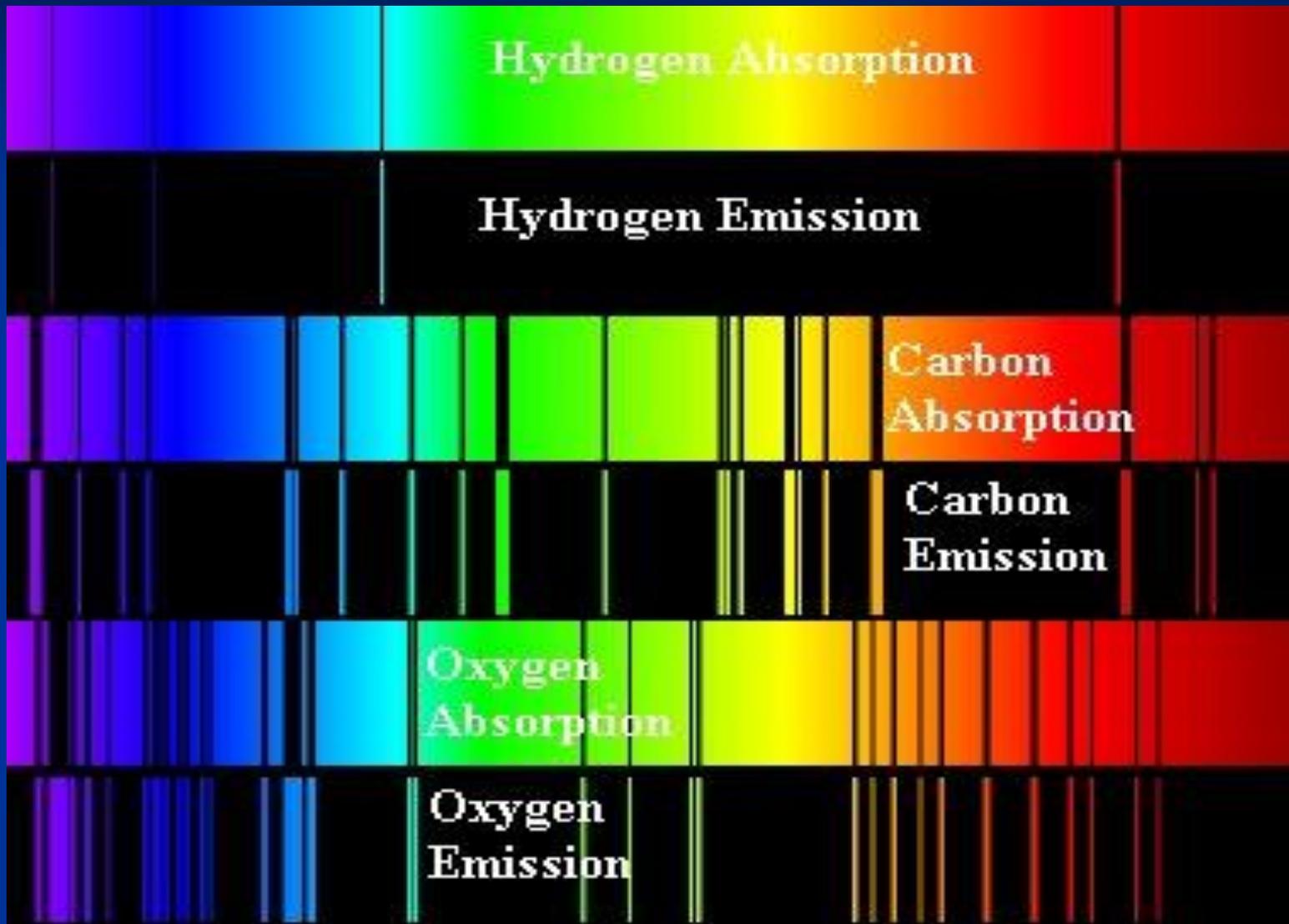
1ª Ley - Un objeto sólido incandescente produce luz con espectro continuo.

2ª Ley - Un gas tenue caliente produce luz sólo en algunas longitudes de onda que dependen de la composición química del gas.

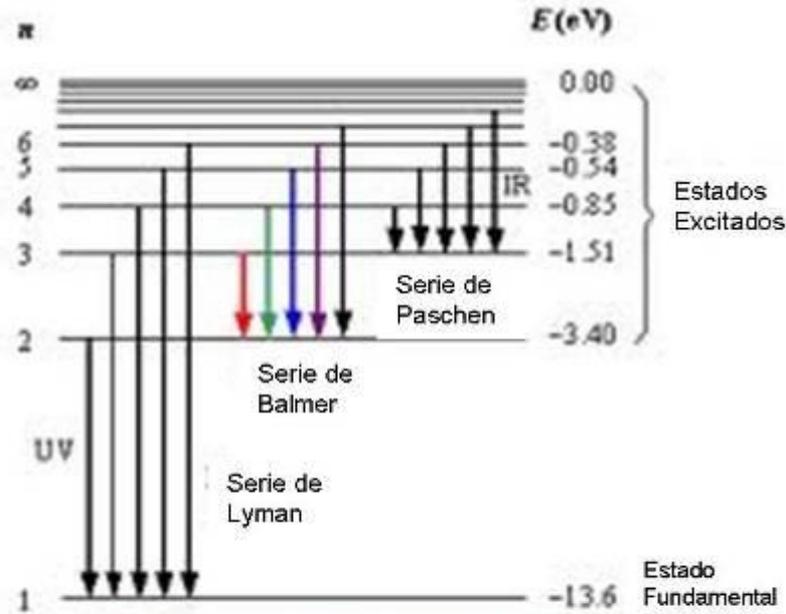
3ª Ley - Un objeto sólido incandescente rodeado de un gas a baja presión produce un espectro continuo con huecos en longitudes de onda cuyas posiciones coinciden con las de la 2ª Ley.



# Espectros



# Espectros



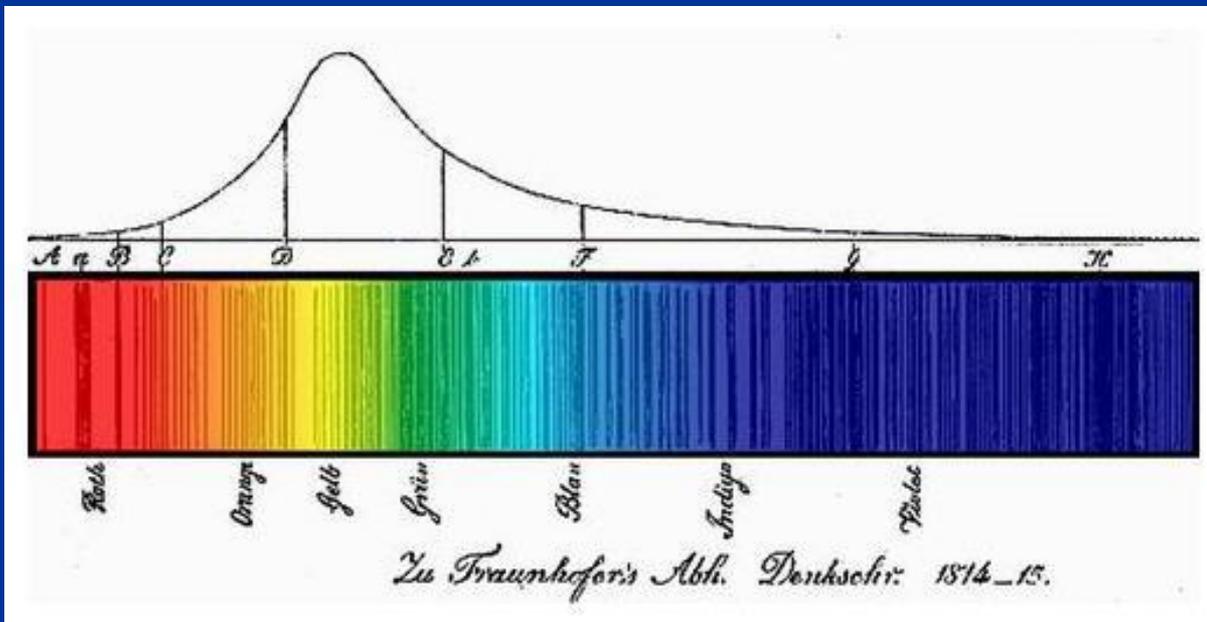
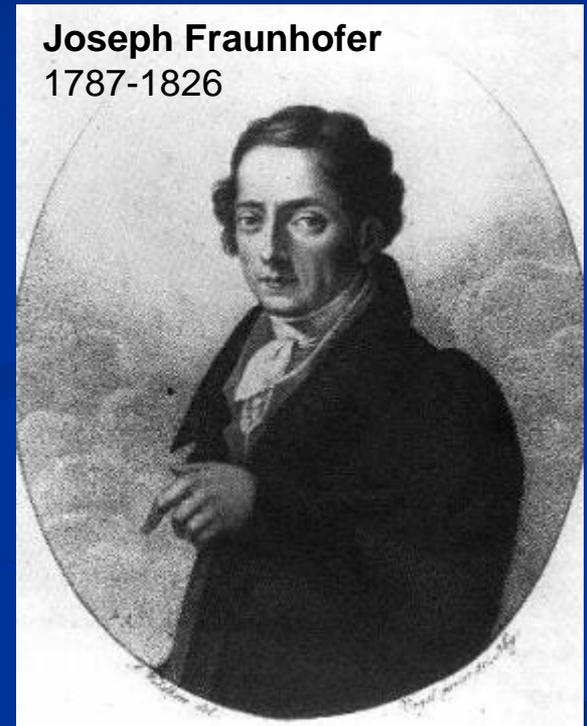
Niveles de Energía del átomo de hidrógeno, con algunas de las transiciones que producen las líneas espectrales indicadas

Las líneas de emisión y de absorción son debidas a saltos de electrones entre dos niveles de energía, que están cuantizados (a escalones).

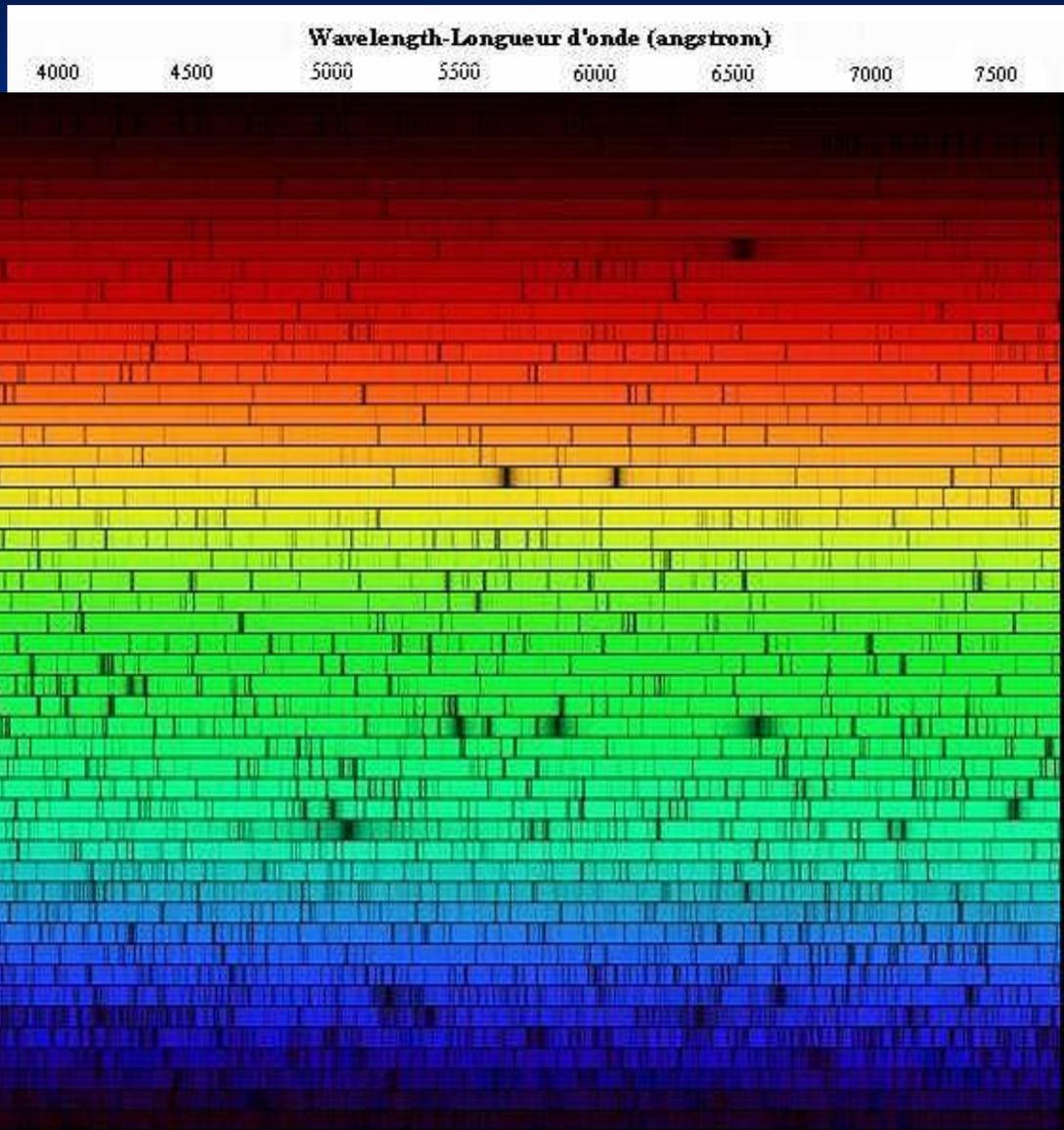
# Espectro Solar: ESPECTRO DE ABSORCIÓN

En 1802, William Wollaston observó líneas negras sobre el espectro solar.

En 1814, Joseph Fraunhofer estudió sistemáticamente el espectro del Sol y detectó cerca de 700 líneas oscuras.



# Espectro Solar: ESPECTRO DE ABSORCIÓN



- Las líneas oscuras son debidas a los gases en la atmósfera solar.
- Podemos saber de qué está hecho el Sol sin ir allí.
- Hoy hay espectros de alta definición, con muchas más líneas.



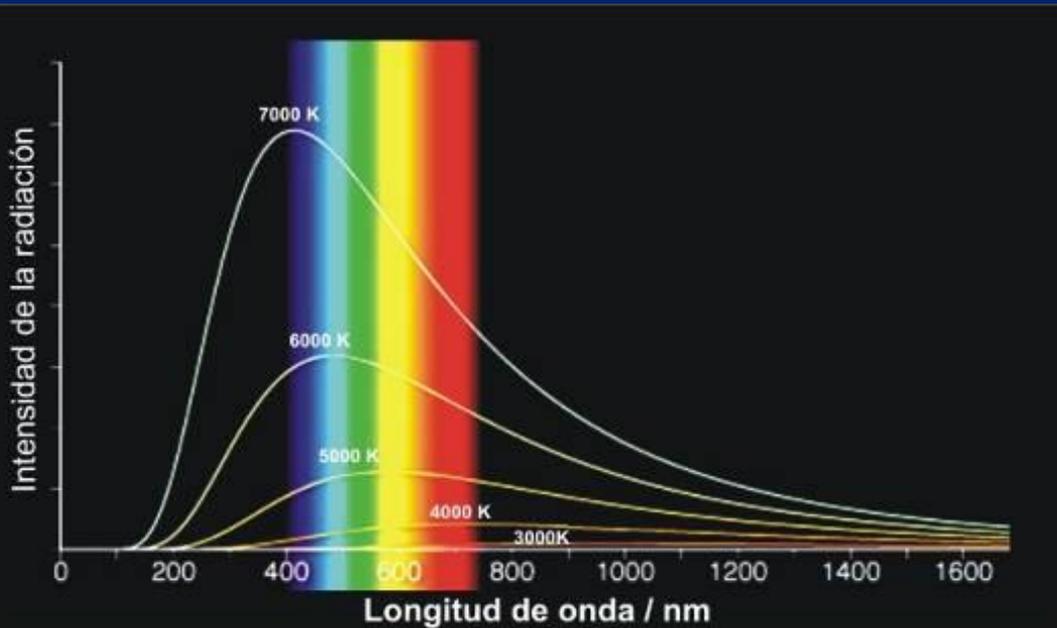
# Radiación de un cuerpo negro



Cuando un hierro se va calentando, emite luz:

- Roja,
- amarilla,
- blanca,
- azulada.

# Radiación de un cuerpo negro



Estudiando la radiación de un objeto lejano, podemos saber a qué temperatura está sin necesidad de ir hasta allí.

Cualquier “cuerpo negro” al ser calentado emite luz en muchas longitudes de onda. Hay una  $\lambda_{\text{máx}}$  en la que la energía es máxima.

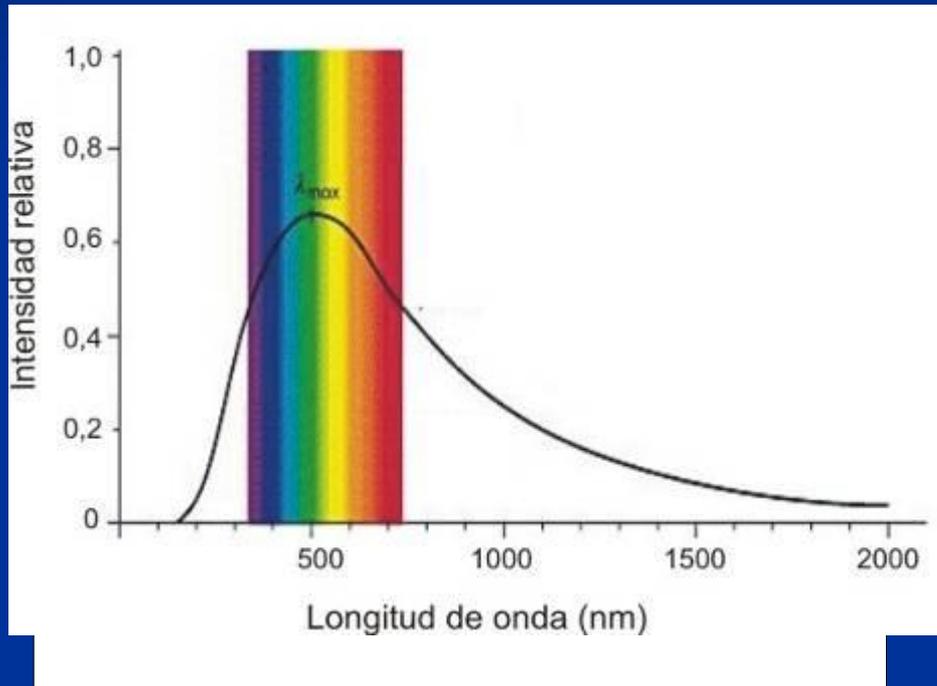
$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T} \quad (\text{m})$$

Esa  $\lambda_{\text{máx}}$  depende de la temperatura T:

Ley de Wien



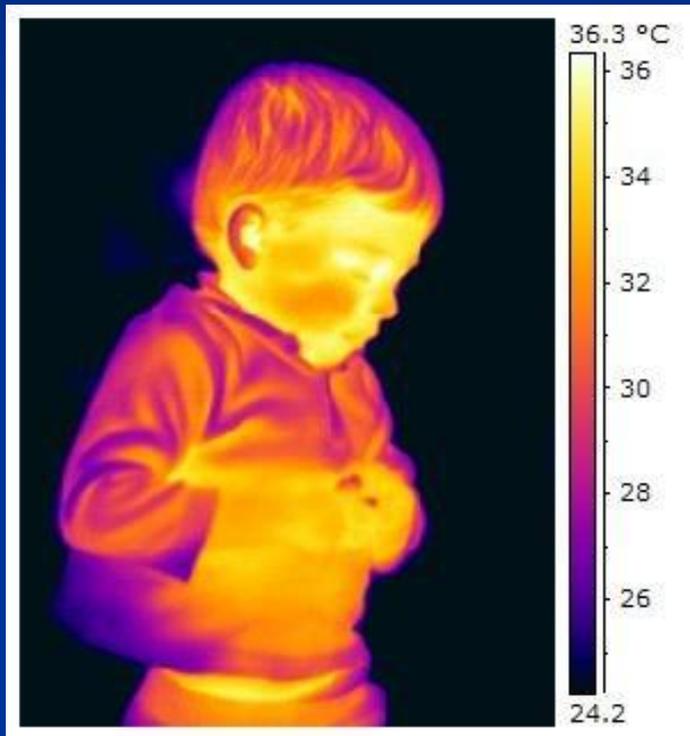
# Radiación de un cuerpo negro



El Sol tiene una  $\lambda_{m\acute{a}x}$  de 500 nm.

Eso indica que su temperatura superficial es 5.800 K.

# Radiación de un cuerpo negro



El cuerpo humano tiene una temperatura de

$$T = 273 + 37 = 310 \text{ K.}$$

Emite más energía en una  $\lambda_{\text{máx}} = 9300 \text{ nm.}$

Los dispositivos de visión nocturna usan esas  $\lambda$ .

# Dispersión de la luz



- Si la luz blanca atraviesa un gas con partículas grandes, todos los colores son dispersados igual (nube blanca).
- Si las partículas son del tamaño similar a la  $\lambda$  de algunos fotones, estos son dispersados y los otros no (dispersión de Rayleigh).
- En la atmósfera, los fotones azules se dispersan más que los rojos, y nos vienen desde todas direcciones: vemos el cielo azul.

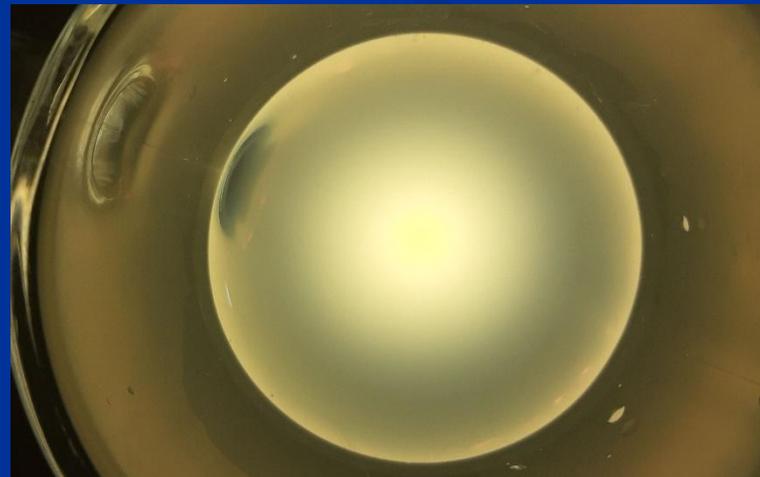
Al atardecer, la luz atraviesa más atmósfera, y es más amarilla-roja.

# Actividad 6: Dispersión de la luz

- Agua en un vaso largo con unas gotas de leche y una linterna. Cuando la luz pasa a través del agua lechosa:



- Si la luz atraviesa lateralmente el vaso, se ve azulada.
- Pero si la luz atraviesa todo el vaso, si miramos desde arriba del vaso, la luz va enrojeciéndose.



# Actividad 6: Dispersión de la luz

- Barrita de silicona termofusible para usar de pagamento
- La linterna de un móvil



- La barra cerca de la luz del móvil se ve de color azulado.
- La barra en la zona mas alejada de la luz del móvil se ve amarillenta y rojiza.



¡Muchas gracias  
por su atención!

