

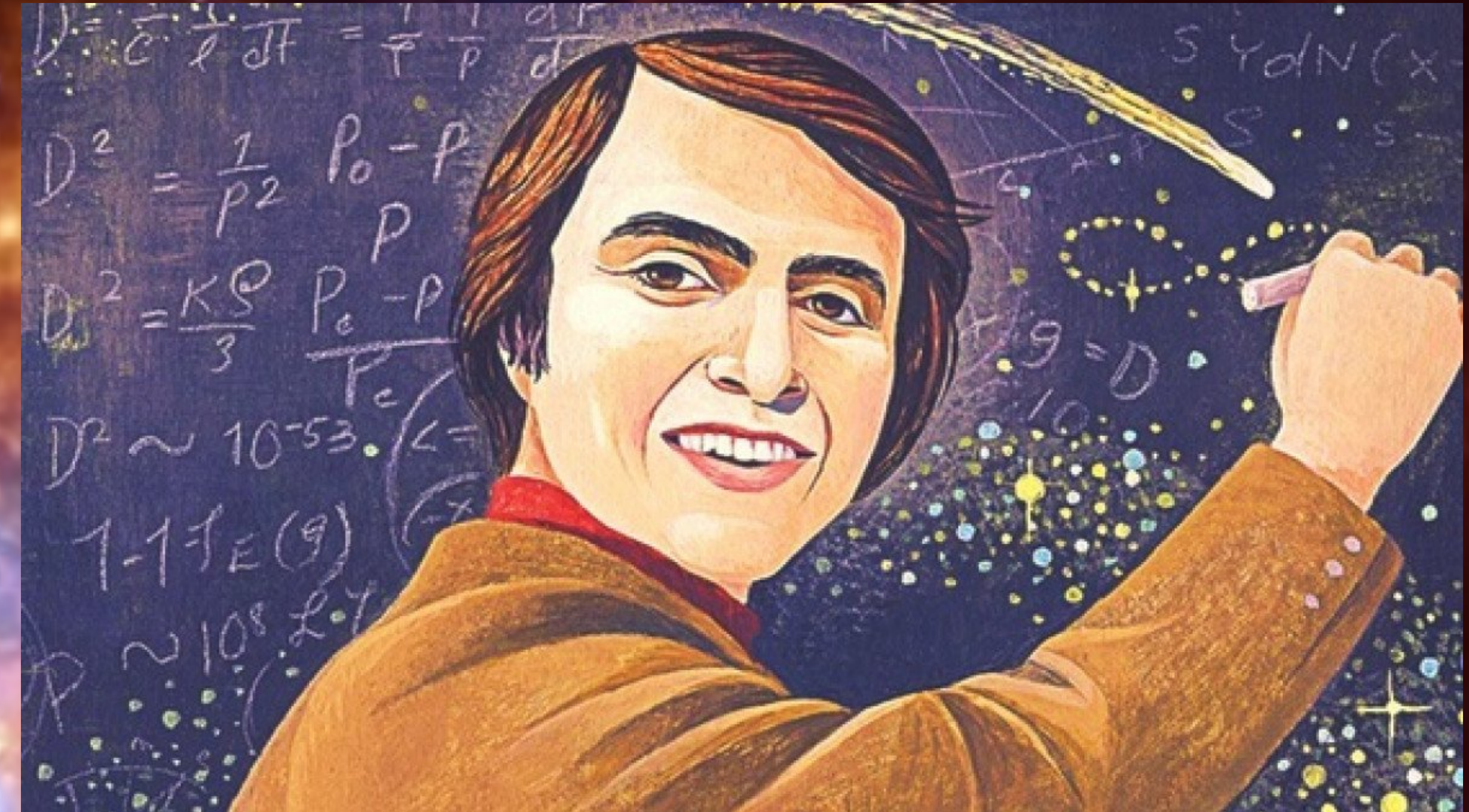
# Astrofísica

- Bienvenidxs a la materia!
- Por favor inscribanse en SIU Guarani si aún no lo hicieron
- Miren la página de la materia por horario, guías, cronograma y novedades:  
<http://materias.df.uba.ar/aa2024c1/>
- Utilicen el email de los docentes para consultas fuera del horario de clases.
- La evaluación de TPs se realiza a través de dos parciales y sus recuperatorios.

# Astrofísica

“Some part of our being knows this is where we came from. We long to return. And we can, because the cosmos is also within us. We are made of star stuff. We are a way for the Universe to know itself.”

— Carl Sagan (1934-1996)



- Me encanta empezar el curso con esta provocativa frase de Sagan. A que se refiere cuando dice que todxs estamos hechxs de material estelar ?

- Seguramente a que cada molécula de las cuales estamos hechos, está a su vez hecha de materia que alguna vez fue parte de algún núcleo estelar. Pero como sabemos esto ?

# Comentarios preliminares

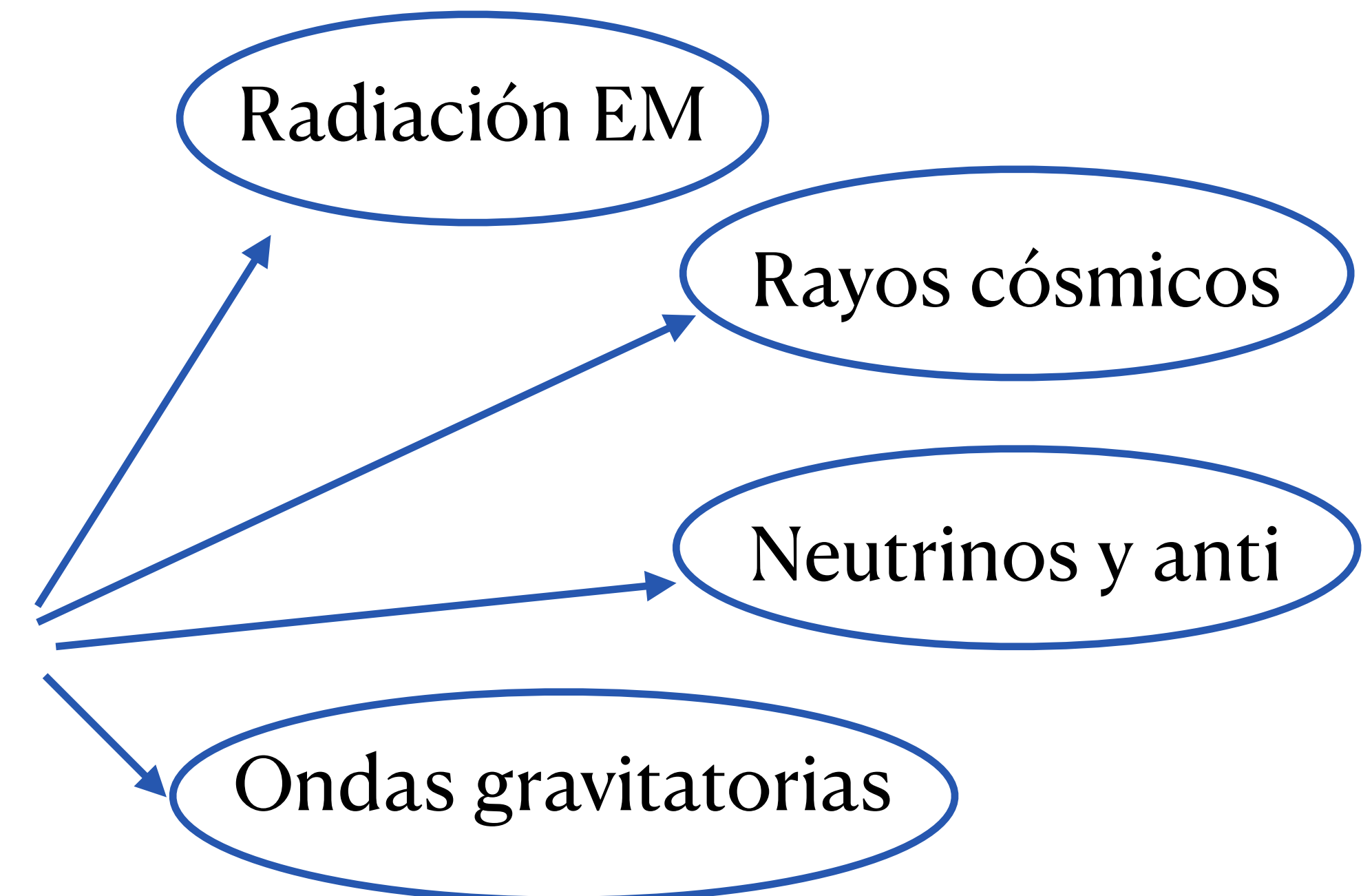
- A lo largo del curso iremos viendo el cuerpo teórico que compone la Astrofísica actual, siendo conscientes que como toda teoría esta sujeta permanentemente a revisión. La **Astronomía** es una ciencia tan antigua como la humanidad, que en las últimas décadas ha sido enriquecida por la **Física**, dando lugar a lo que llamamos **Astrofísica**.
- A su vez, la **Física** y la **Astrofísica** se realimentan mutuamente. Notese por ejemplo que muchas leyes de la Física, han sido testeadas solo a escala de laboratorio. Veremos que para entender cada objeto o fenómeno astronómico, se requiere combinar varias areas de la Física, lo cual es un aspecto fascinante de la Astrofísica.
- Otro aspecto fascinante, es el alto grado de ingenio puesto en juego para paliar las limitaciones insalvables que presentan las **observaciones** astronómicas, si se las compara con las **mediciones** en un laboratorio. A la par de que vayamos recorriendo los distintos temas, iremos introduciendo la **jerga** de la Astronomía, que suele no coincidir con la de la Física.

Objetos: planetas, estrellas, galaxias, cometas, ...

Eventos: cambios observados en los objetos (color, brillo, tamaño, ...)

Evolución: secuencia temporal de eventos

La información astronómica nos llega en forma de:



# El Sol

- El Sol es la estrella mas cercana, y la única que (por su cercanía) podemos ver con resolución espacial.

- Algunos datos:

$$R_{sol} = 7 \cdot 10^{10} cm$$

$$L_{sol} = 3.8 \cdot 10^{33} erg/s$$

$$M_{sol} = 2 \cdot 10^{33} g$$

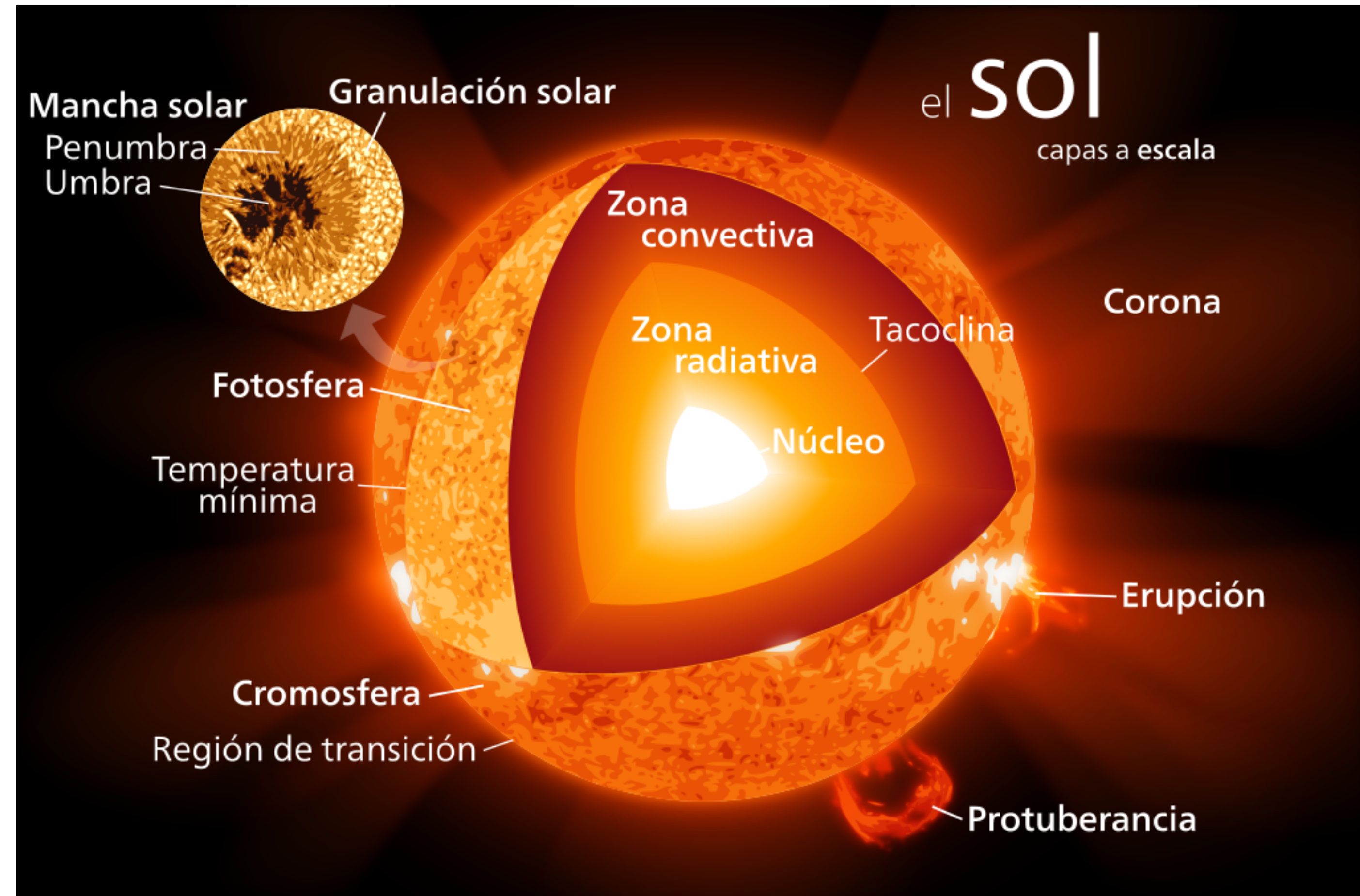
$$T_{eff} = 6000 K$$

- Estos valores estan bien determinados, y se usan como unidad de medida para las demas estrellas.

- El Sol es una esfera gaseosa incandescente. En el **núcleo** se libera energía por **fusión** de hidrógeno.

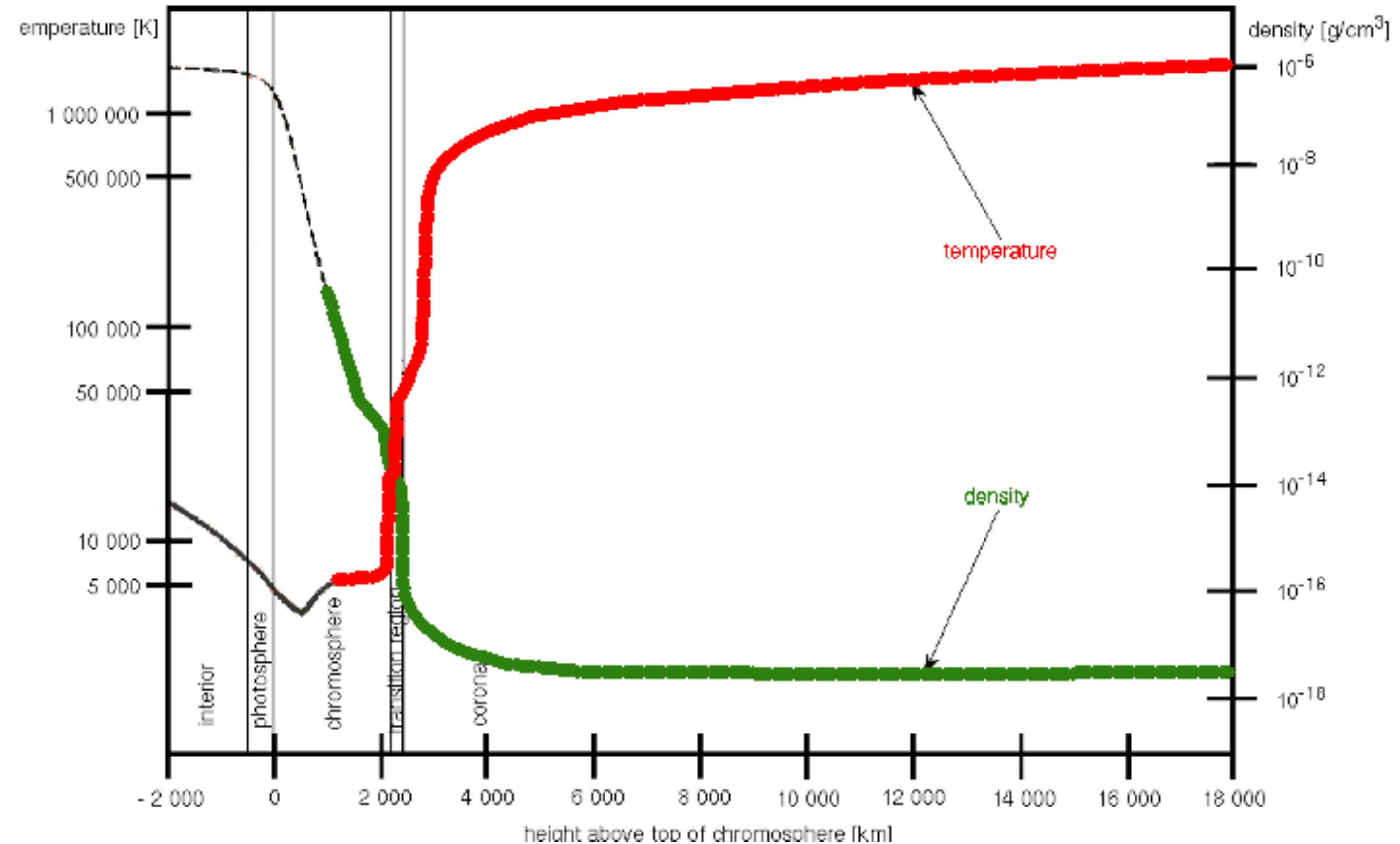
- El calor se transporta radialmente por radiación (**zona radiativa**) y luego por convección (**zona convectiva**) para finalmente radiarse en la superficie a través de todo el espectro EM.

- La superficie presenta estructuras tales como **fulguraciones**, **protuberancias** o **erupciones**, que son determinadas por el campo magnético, el cual presenta un ciclo de alrededor de 11 años. El campo magnético determina tambien la presencia de una corona de muy alta temperatura que recubre al Sol.



# El Sol

- El calor generado en el núcleo es transportado radialmente. Esto presupone una disminución de la temperatura con la distancia radial al centro.
- Eso ocurre en el interior solar, hasta llegar a una capa superficial llamada **fotósfera**, de donde provienen casi todos los fotones solares.
- De la fotósfera hacia afuera, la temperatura crece de 6000 K a 10000 K para formar la **cromósfera**, que tiene un espesor de 2000 km.
- Luego la temperatura crece a 2 millones de grados en la llamada **región de transición**, de solo 300 km de espesor. Noten que en esta región la densidad baja en igual magnitud que el incremento de temperatura, manteniendo la presión constante.



- La capa mas externa es la **corona**, con una temperatura de 2 millones de grados y muy baja densidad. Todo su comportamiento es determinado por el campo magnético solar, tal como veremos en el curso.
- La corona se expande radialmente, dando origen al llamado **viento solar**, que atraviesa todo el sistema solar llevando consigo no solo materia, sino tambien campo magnético.
- En el curso veremos las características de ese viento y tambien su interacción con las estructuras magnéticas de los planetas que encuentra a su paso.

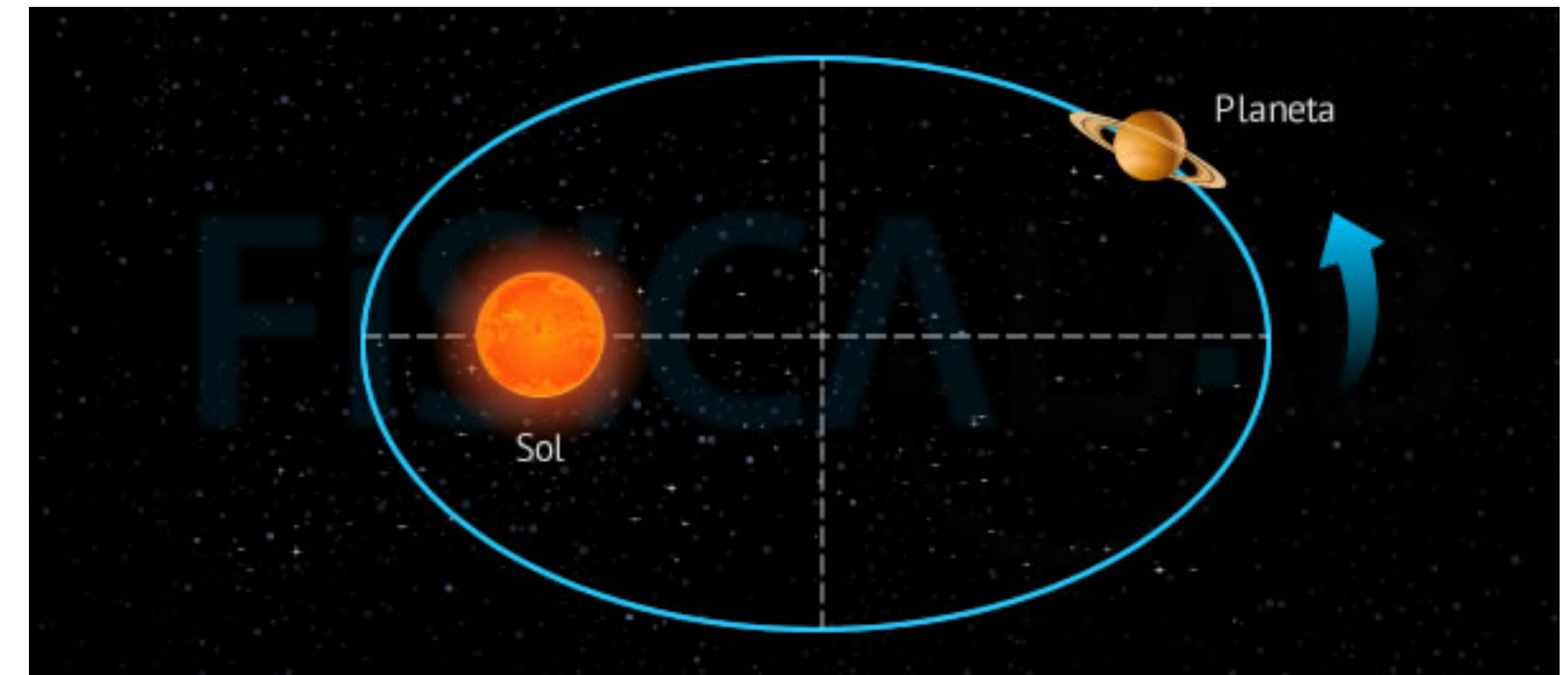
# Leyes de Kepler



- Rigen las regularidades observadas por Johannes Kepler (1571-1630) en las órbitas planetarias.

- Utilizó datos observacionales de Tycho Brahe (1546-1601) y fueron posteriormente confirmadas teóricamente por Isaac Newton (1643-1727).

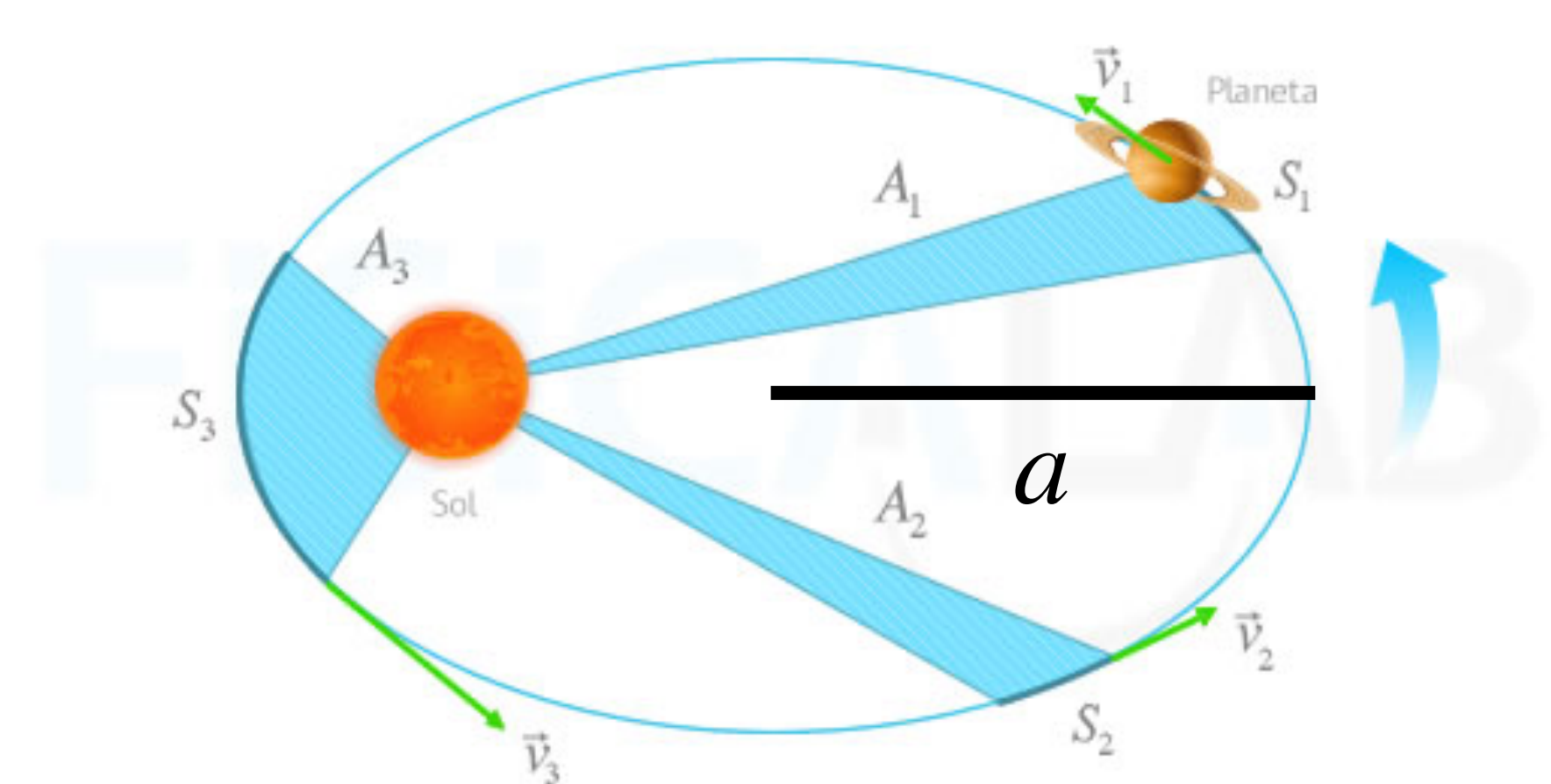
**Primera ley:** Las órbitas planetarias son elipses, con el Sol en uno de los focos.



**Segunda ley:** La velocidad orbital es tal que el área barrida por unidad de tiempo, permanece constante.

**Tercera ley:** El cuadrado del período es proporcional al cubo del semieje mayor "a" de la elipse.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_{sol}} a^3$$



# Planetas del sistema solar

- Aquí mostramos (abajo) los ocho **planetas** de nuestro sistema solar.
- A la derecha se listan las principales características orbitales y físicas de estos planetas.
- Cabe destacar que todos los planetas comparten virtualmente el mismo plano orbital (**eclíptica**) y orbitan en el mismo sentido.
- Lxs desconfiadxs pueden chequear que todos los planetas cumplen la tercera ley de Kepler.
- Además de planetas, orbitan también **asteroides**, muchos de los cuales orbitan entre Marte y Júpiter, el mayor de los cuales se llama **Ceres**.

## Solar system fact sheet

### Orbital characteristics

Body	perihelion (10 <sup>6</sup> km)	aphelion (10 <sup>6</sup> km)	eccentricity	inclination (degrees)	orbital period (days)	orb.velocity (km.s <sup>-1</sup> )
Mercury	46	69.8	0.21	7	88	47.9
Venus	107.5	108.9	0.01	3.4	224.7	35
Earth	147.1	152.1	0.02	0	365.3	29.8
Mars	206.7	249.2	0.09	1.9	687	24.1
Ceres	381.4	447.8	0.08	10.6	1 679.8	17.9
Jupiter	740.5	816.6	0.05	1.3	4 331.6	13.1
Saturn	1 352.6	1 514.5	0.06	2.5	10 832.3	9.7
Uranus	2 741.3	3 003.6	0.05	0.8	30 799	6.8
Neptune	4 452.9	4 553.9	0.01	1.8	60 190	5.4

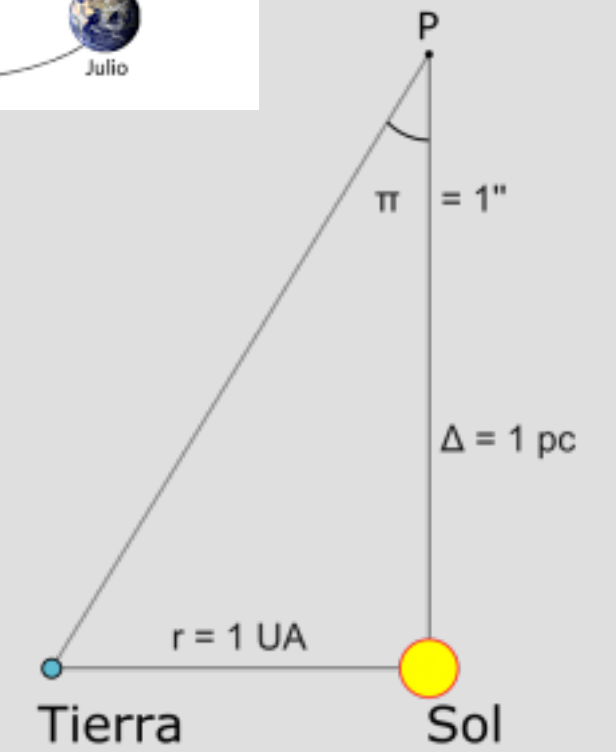
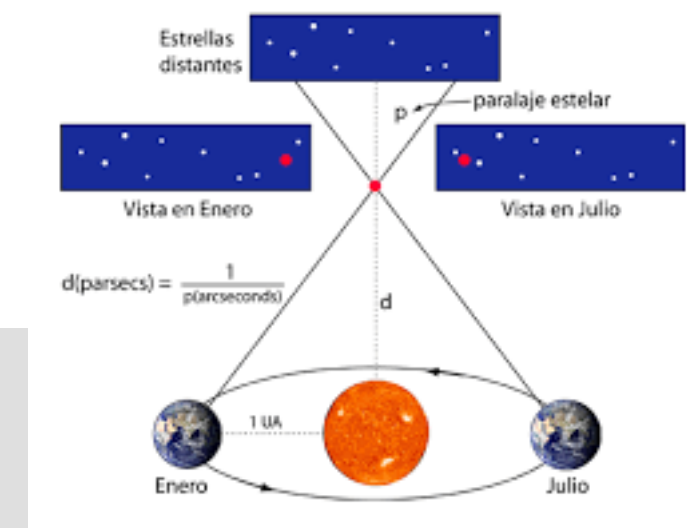
### Physical characteristics

Body	mass (10 <sup>23</sup> kg)	radius (km)	density (g/cm <sup>3</sup> )	gravity (m/s <sup>2</sup> )	rotation (hours)	albedo
Mercury	3.302	2440	5.427	3.701	1407.5088	0.106
Venus	48.685	6052	5.204	8.87	-5832.444	0.65
Earth	59.736	6378	5.515	9.78	23.93419	0.367
Mars	6.4185	3390	3.933	3.71	24.622962	0.15
Ceres	0.00943	487	2.077	0.27	9.074170	0.09
Jupiter	18981.3	71492	1.326	24.79	9.924913	0.52
Saturn	5683.19	60268	0.687	10.44	10.65622	0.47
Uranus	868.103	25559	1.318	8.87	17.24	0.51
Neptune	1024.1	24766	1.638	11.15	16.11	0.41

- Hay también objetos con órbitas muy excéntricas, llamados cometas, la mayoría de los cuales se nuclean en la nube de Oort.
- Los planetas también tienen satélites orbitando en torno suyo.



# Estrellas: brillo



## Parsec

Unidad de distancia correspondiente a un paralaje de 1".

Ejercicio: Usando que la distancia Sol\_Tierra es 1 UA =  $1.5 \cdot 10^{13}$  cm, verifiquen que  $1 \text{ pc} = 3 \cdot 10^{18}$  cm.

- Salvo el Sol, las demas estrellas son puntos luminosos de los cuales distinguimos dos características: **brillo** y **color**.
- Nuestro ojo distingue contrastes de brillo (cocientes de intensidad) en un factor 2.5. Por ejemplo distinguimos una lamparita de 40W de otra de 100 W.
- Se define la **magnitud visual aparente**  $m_V$  de modo que  $m_V = 1$  es 2.5 mas brillante que  $m_V = 2$  y asi siguiendo. Se trata entonces de una escala logarítmica.
- Esta escala tiene dos limitaciones: (1) solo considera el brillo en el rango visible del espectro y, (2) no corrige por la distancia entre el observador y la estrella.
- La **magnitud bolométrica**  $m_{bol}$  (medida con bolómetro) registra el brillo en todo el espectro EM.
- Tanto  $m_V$  como  $m_{bol}$  son **magnitudes aparentes**, ya que dependen de la distancia entre el observador y la estrella.
- Si pusieramos todas las estrellas a una misma distancia de 10 parsec, el brillo de cada una sería su **magnitud bolométrica absoluta**  $M_{bol}$

- La magnitud  $M_{bol}$  mide entonces el brillo de la estrella en todo el espectro y es además independiente de la distancia. Se relaciona entonces con la luminosidad, que mide la energía por unidad de tiempo que emite la estrella:

$$M_{bol} - M_{bol-sol} = -2.5 \log \left( \frac{L}{L_{sol}} \right)$$

- La luminosidad cae como  $r^{-2}$ , entonces la relación entre magnitud aparente y absoluta resulta

$$M - m = -2.5 \log \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 - A$$

donde  $r_0 = 10 \text{ pc}$  y "A" es la **extinción interestelar**, que mide la absorción de luz entre la estrella y el observador.

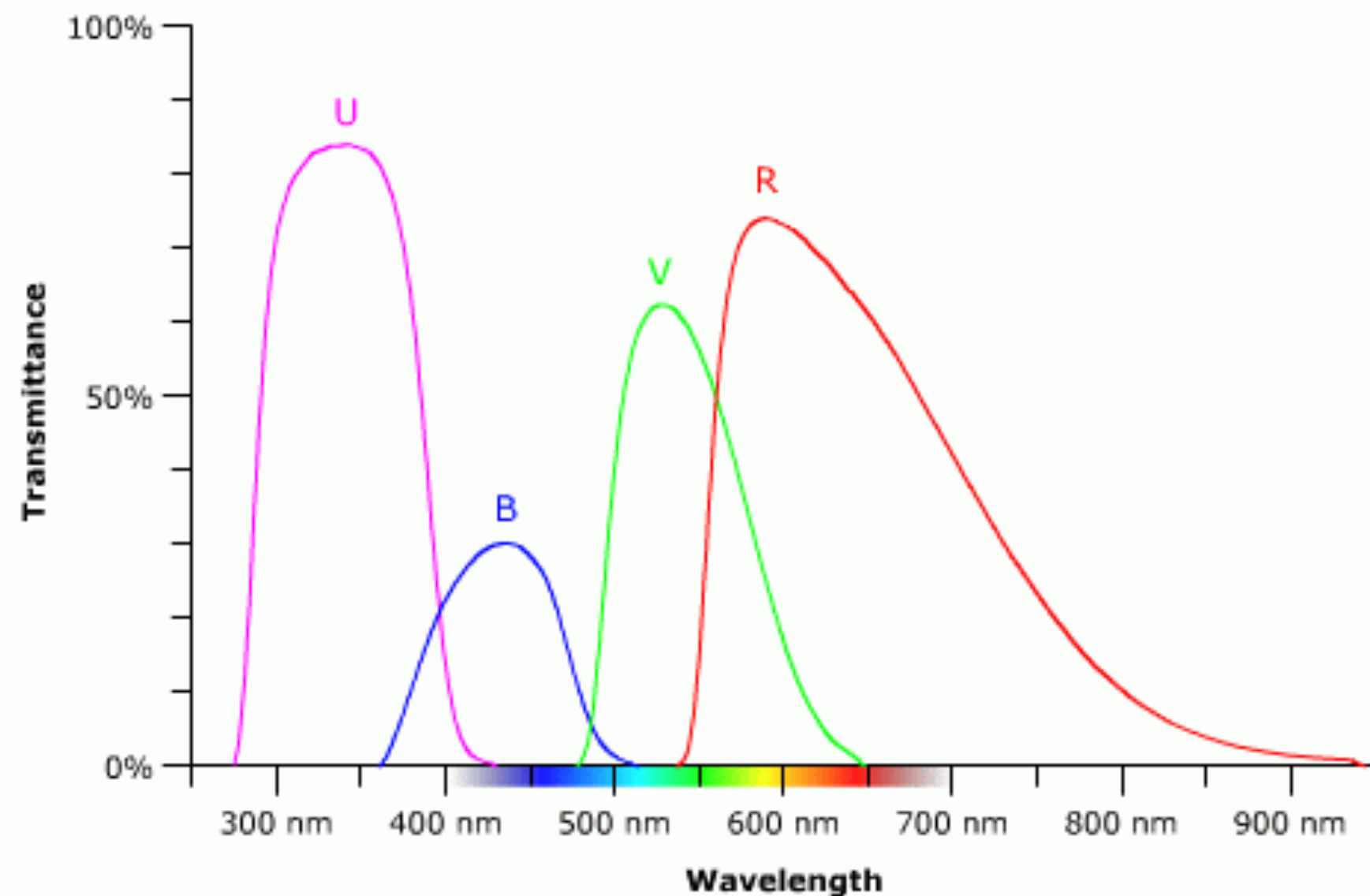


# Estrellas: color

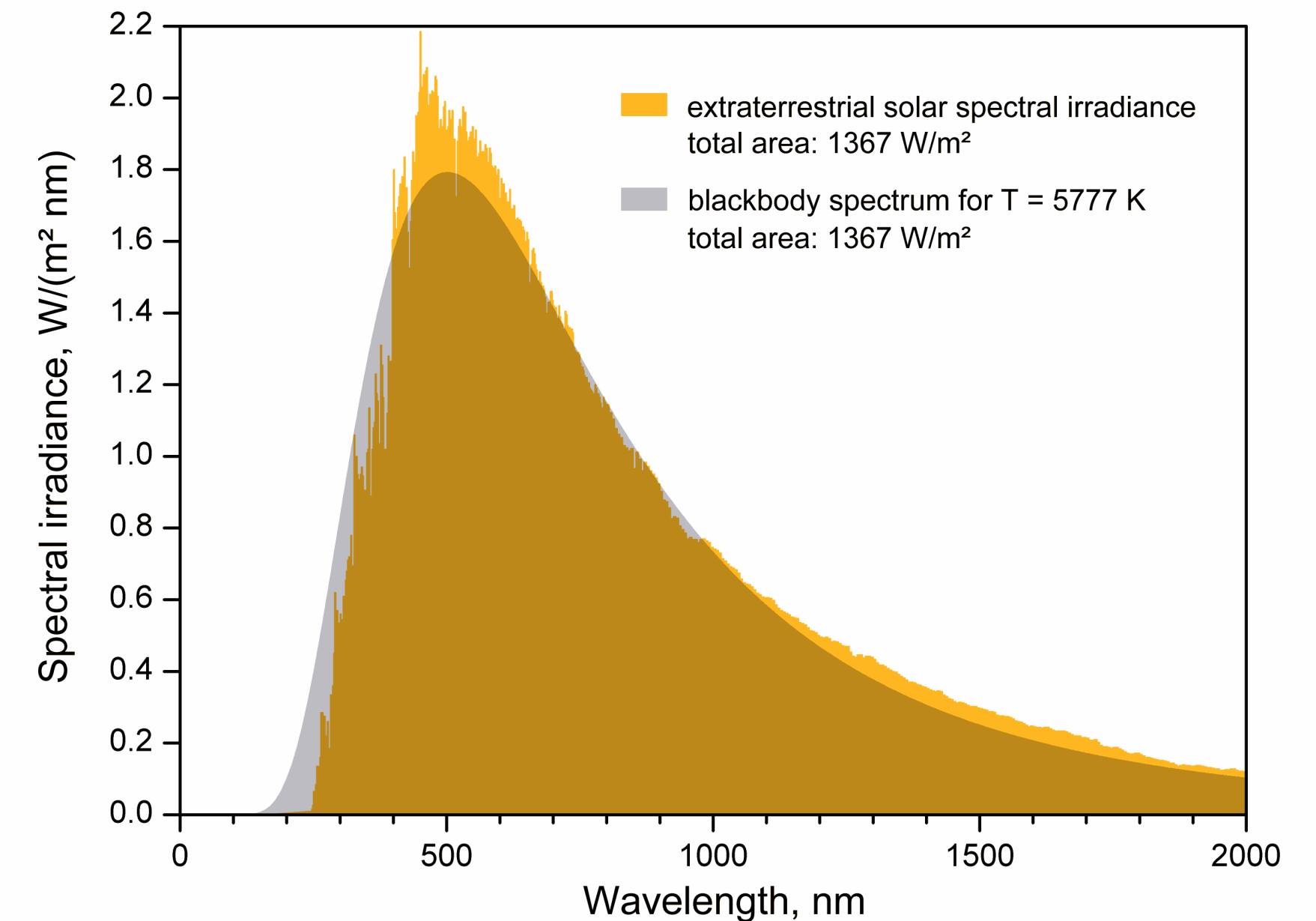
- El **color** de la luz emitida dá idea de su contenido espectral.
- En Astronomía determinan colores midiendo magnitudes de estrellas a la salida de diferentes filtros, tales como

U	0.36 $\mu m$	ultravioleta
B	0.44	blue
V	0.55	visible
R	0,70	red
I	0,90	infrarrojo
J, K, L, M, Q	1-20	infrarrojo

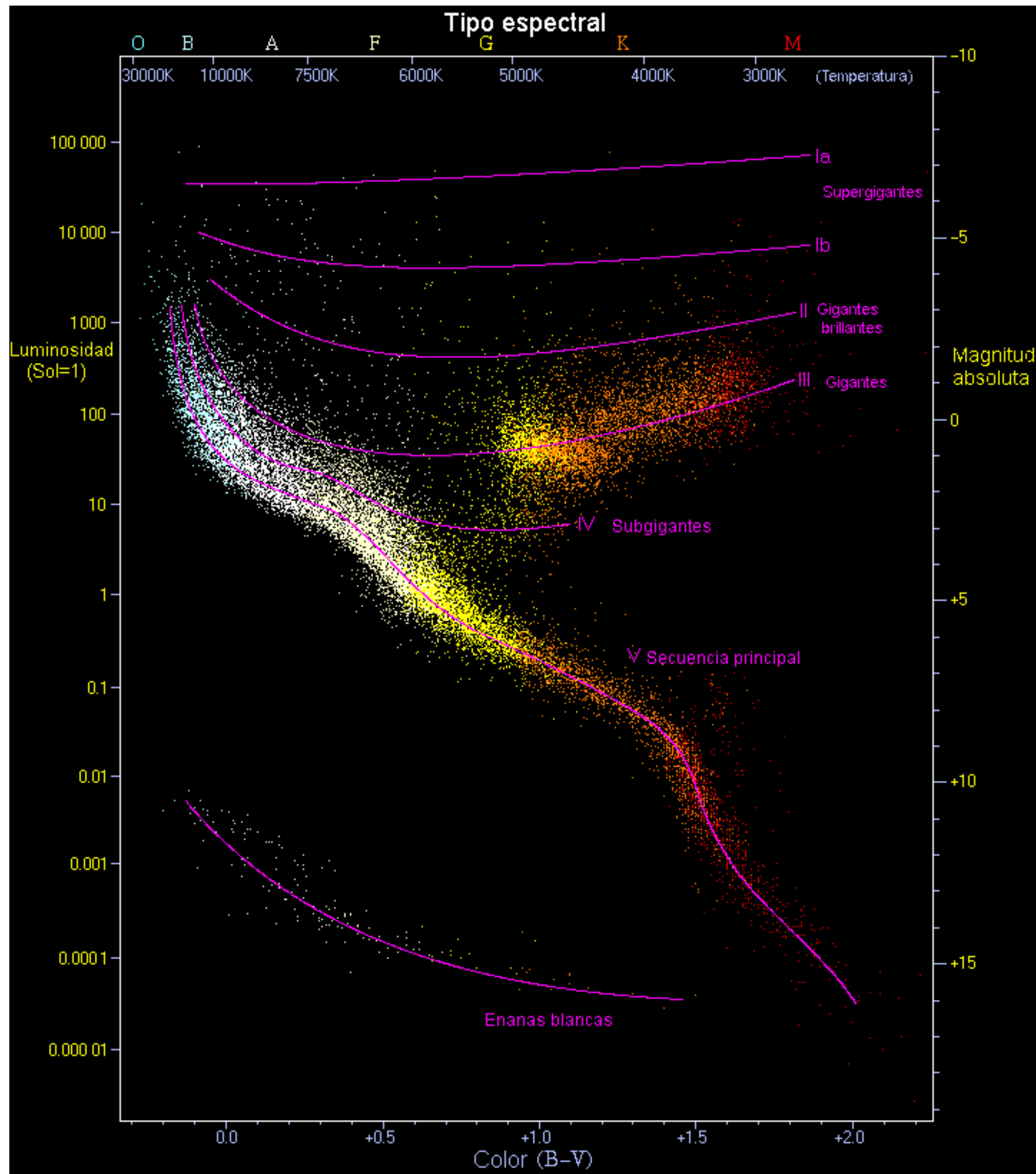
- La figura muestra la respuesta espectral de cada filtro.



- Los **índices de color** como **B - V** o **U - B** dan información sobre el color de las estrellas.
- Las magnitudes U, B, V, ... son magnitudes, es decir, son proporcionales al log de la intensidad. Por lo tanto los índices de color miden intensidades relativas en las distintas bandas.
- La **temperatura efectiva**  $T_{\text{eff}}$  de una estrella es la de un cuerpo negro con igual luminosidad por unidad de area.
- Los índices de color dan información sobre la  $T_{\text{eff}}$  de la estrella. La figura muestra el espectro solar y la curva de cuerpo negro para  $T_{\text{eff}} = 5777$  K.



# Diagrama de Hertzsprung-Russell



- Hertzsprung y Russell graficaron la distribución de estrellas en función de su **índice de color B-V** y **magnitud absoluta**.
- La figura muestra 22000 estrellas en un **diagrama HR** relativamente reciente.
- Este diagrama puede convertirse en un diagrama de luminosidad  $L$  en función de  $T_{\text{eff}}$  que son cantidades físicas.
- Noten que no hay estrellas de cualquier luminosidad y cualquier temperatura, hay una concentración muy marcada en una franja que se llama **secuencia principal** y otros agrupamientos menores.
- Si suponemos que las estrellas son cuerpos negros, entonces hay una ley física que vincula su luminosidad con su temperatura. Cual es esa ley?

## Ley de Stefan-Boltzmann

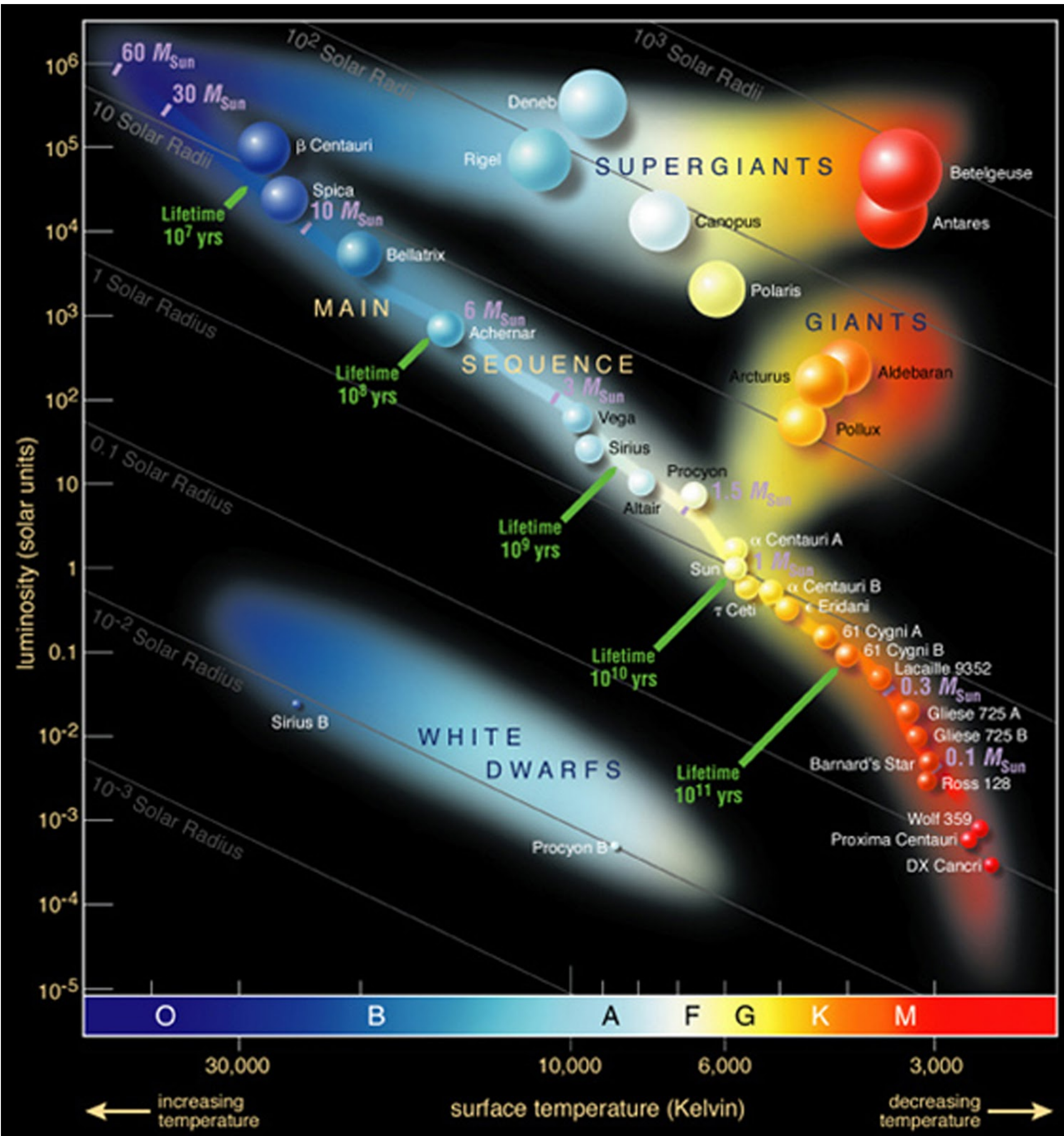
$$\frac{L}{4\pi R^2} = \sigma T_{\text{eff}}^4$$

donde  $R$  es el radio de la estrella y  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \text{K}^4 \text{s}}$  es la constante de Stefan-Boltzmann.

- Si suponemos que todas las estrellas tienen igual  $R$ , chequeen que cuando en el diagrama  $T_{\text{eff}}$  cambia un orden de magnitud,  $L$  cambia aproximadamente cuatro órdenes de magnitud!

# Diagrama de Hertzsprung-Russell

- Aquí podemos ver otros grupos de estrellas, además de la **secuencia principal**, que contiene a la gran mayoría.
- Están las ramas de las **gigantes**, y de las **supergigantes**. Se llaman así porque su mayor luminosidad se debe a su mucho mayor R.
- También tenemos la rama de las **enanas blancas**, con mucha menor luminosidad que las estrellas de secuencia principal.



## Tipo Espectral

Es una clasificación cualitativa basada en las características de los espectros estelares.

Estrellas tempranas y calientes

Estrellas tardías y frías

Spectral Type	Color	Temperature (K)*	Spectral Features
O	Blue	28,000-50,000	Ionized helium, especially helium
B	Light Blue	10,000-28,000	Helium, some hydrogen
A	White	7,500-10,000	Strong hydrogen, some ionized metals**
F	Yellow-White	6,000-7,500	Hydrogen and ionized metals such as calcium and iron
G	Yellow	5,000-6,000	Both metals and ionized metals, especially ionized calcium
K	Orange	3,500-5,000	Metals
M	Red	2,500-3,500	Strong titanium oxide and some calcium

\* To convert approximately to Fahrenheit, multiply by 9/5.  
 \*\* Astronomers regard elements heavier than helium as metals.