

LFIS223

Astronomía General

Patricia Arévalo

Tema 3

Espectro electromagnético
parte 2

(Cap. 3 Carroll & Ostlie)

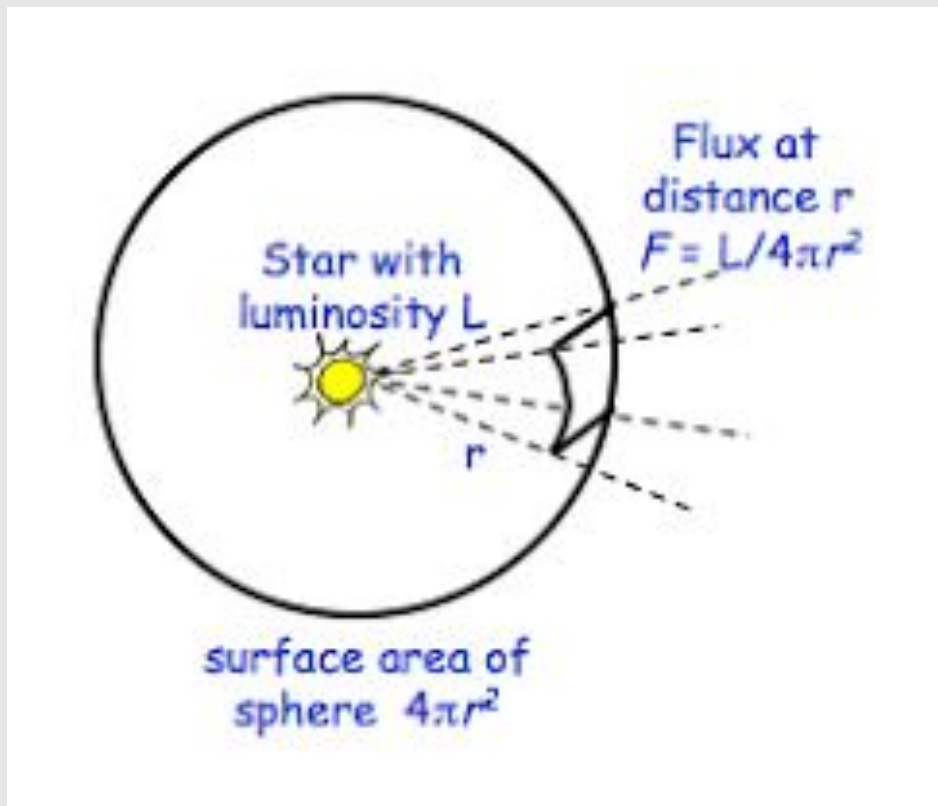
04/09

¿Y cómo medimos la luz de los objetos celestes?

Flujo observado

Imaginemos una cáscara esférica de radio r , rodeando a una estrella de luminosidad L .

El flujo de radiación **observado a una distancia r** será igual a la luminosidad dividida en el área superficial de la cáscara esférica:



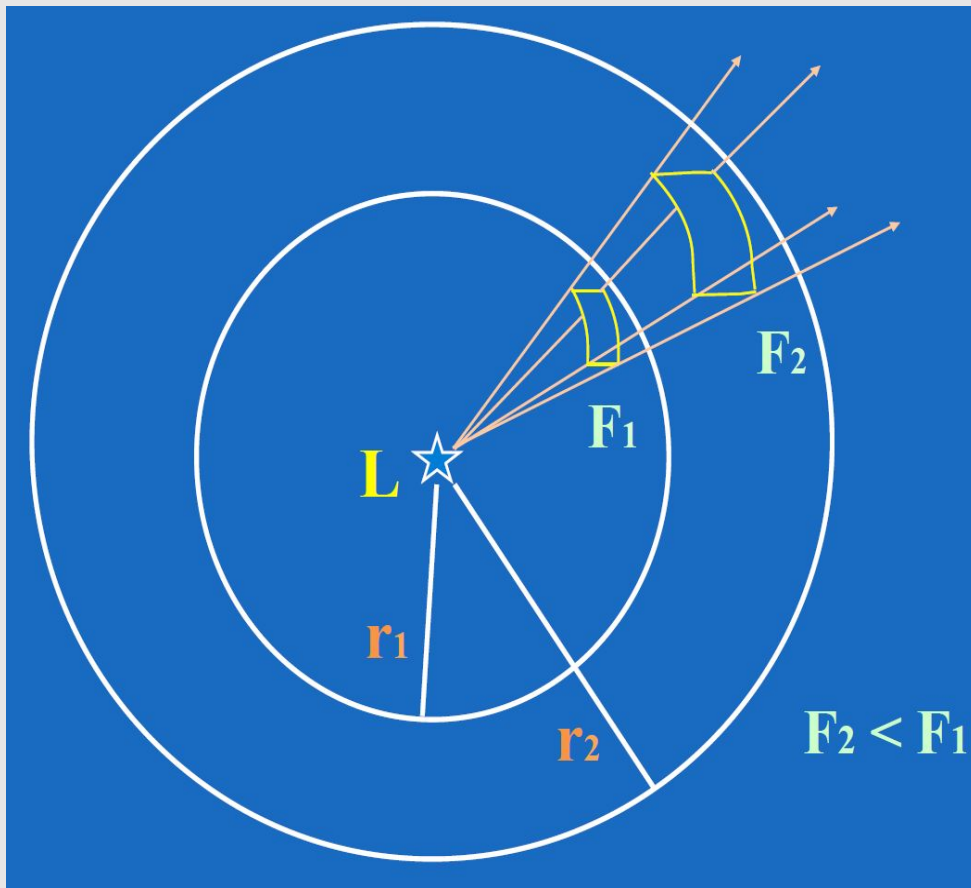
$$F = \frac{L}{4\pi r^2},$$

El flujo emitido (desde la superficie) corresponde al caso: $r = R$ (radio de la estrella)

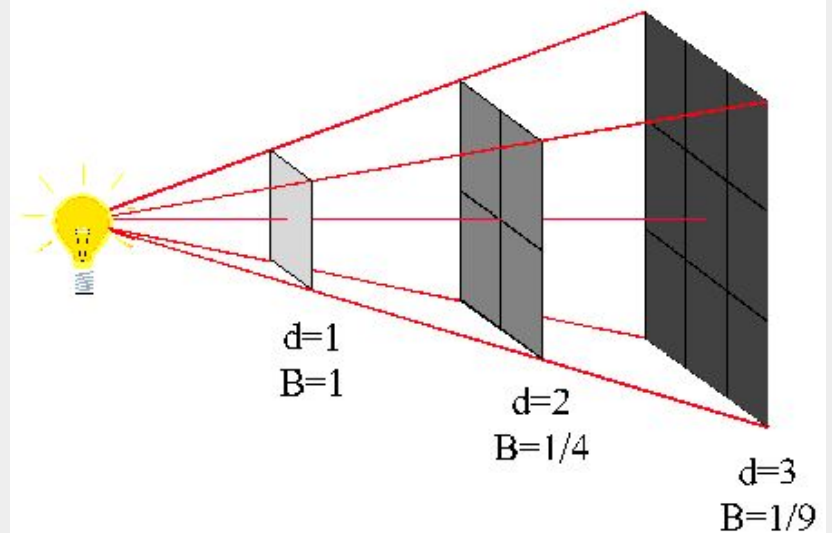
Flujo Observado

A medida que aumentamos la distancia a la estrella, el área del cascarón esférico se hace más grande

Ley de los inversos cuadrados: El flujo observado (o recibido, F^{rec}) disminuye con el cuadrado de la distancia (d) al objeto.



$$F^{rec} = F^{em} \left(\frac{R}{d} \right)^2$$



Flujo Observado

Ley de los inversos cuadrados: El flujo observado disminuye con el cuadrado de la distancia al objeto.



Magnitudes

Sistema de Hipparco:

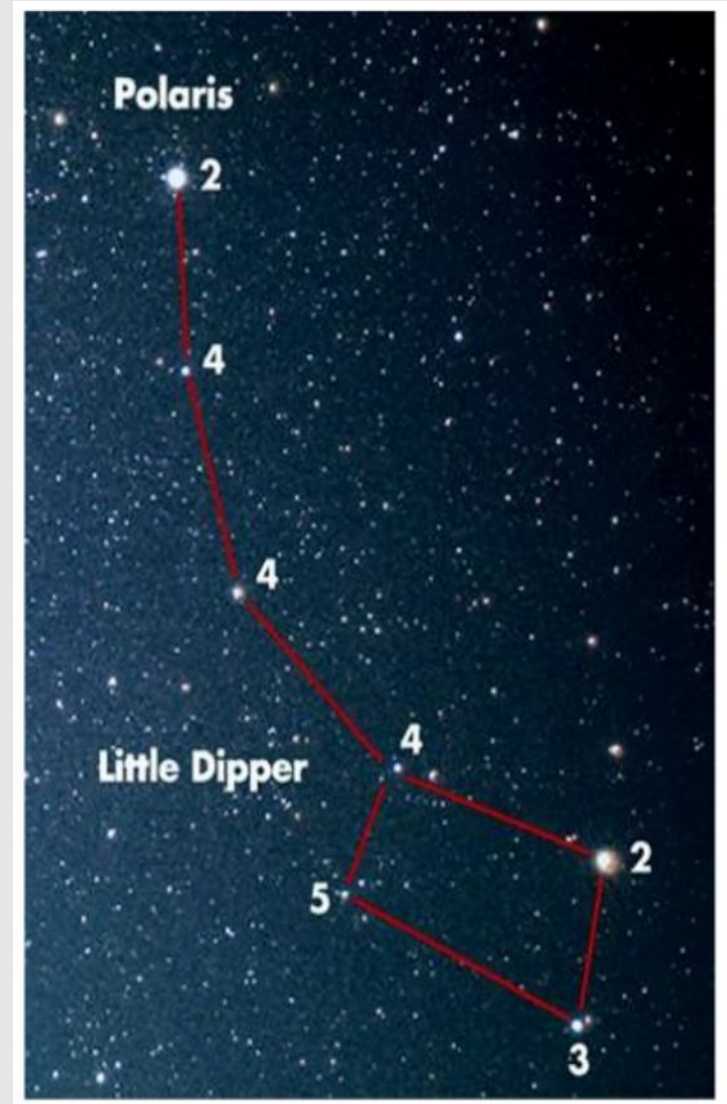
Hipparco clasificó 850 estrellas visibles en el cielo a ojo, en una escala de **magnitud aparente** del 1 al 6:

- ★ Las estrellas más brillantes tienen número menor (1).
- ★ Las estrellas más débiles tienen un número mayor (6).



En el S. XIX se sospechaba que el ojo humano respondía a diferencias logarítmicas en brillo, por lo que se ajustó la escala.

En la definición moderna, una diferencia de 5 magnitudes corresponde a un factor de 100 en brillo.



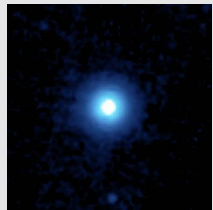
Magnitudes

La definición actual relaciona la **magnitud aparente** con el **flujo** mediante la ecuación:

$$m = -2.5 \log(F) + C$$

donde C (punto cero) se calcula en base a un flujo de referencia, para el cual la magnitud es cero

$$C = -2.5 \log(F_0)$$



La estrella Vega es comúnmente utilizada como punto cero

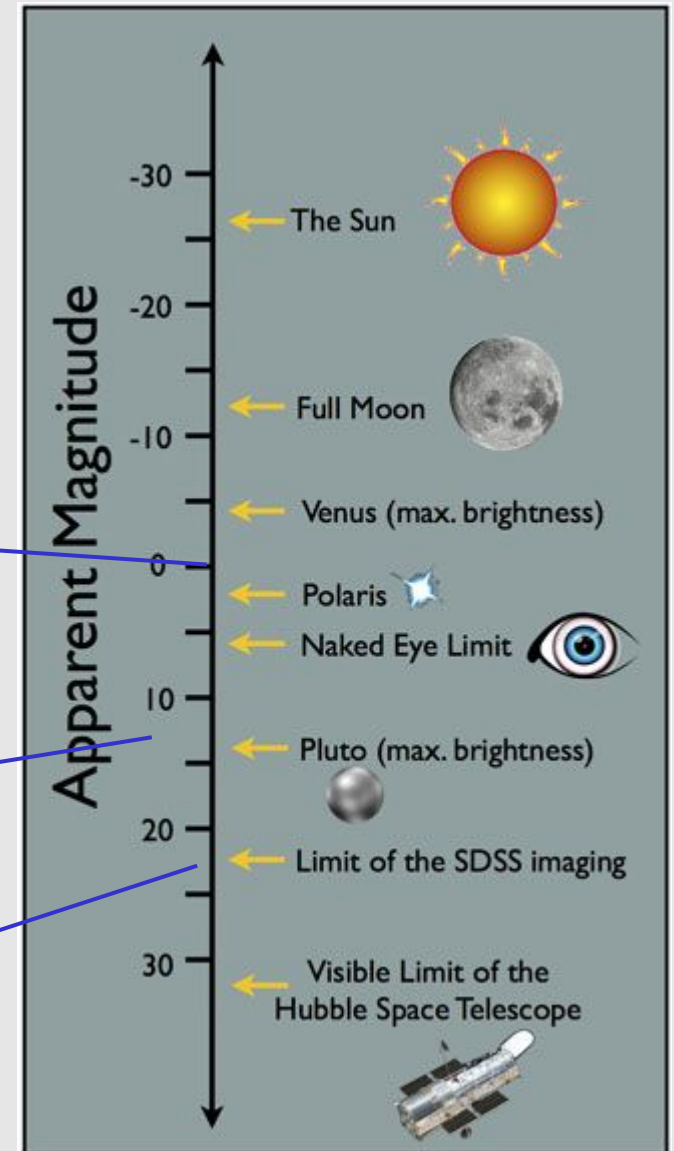
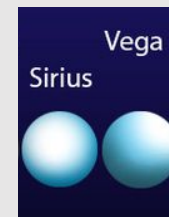
Magnitudes

$$m = -2.5 \log(F) + C$$

$$C = -2.5 \log(F_0)$$

¡Noten que las magnitudes pueden ser negativas!

El rango de las magnitudes aparentes va **desde $m \sim -26.83$ para el Sol, hasta los objetos más débiles con $m \sim 30$** (no visibles a simple vista)



Magnitudes

- ★ **Magnitud aparente m :** Es la magnitud que observamos desde la tierra, a una distancia r

$$m = -2.5 \log(L/4\pi r^2) + C$$

- ★ **Magnitud absoluta M :** Es la magnitud que observaríamos si estuviésemos a una distancia de 10 pc del objeto.

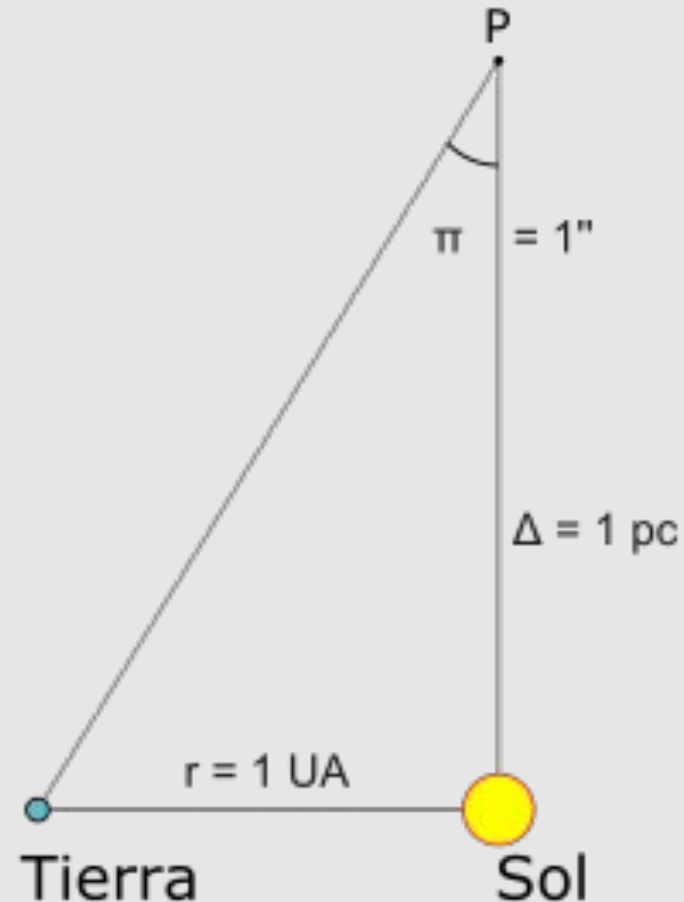
¿Cómo se calcula M a partir de m ?

Qué es un Parsec (pc)

Unidad de distancia: 1 pc = 206265 UA = 3,2616 años luz

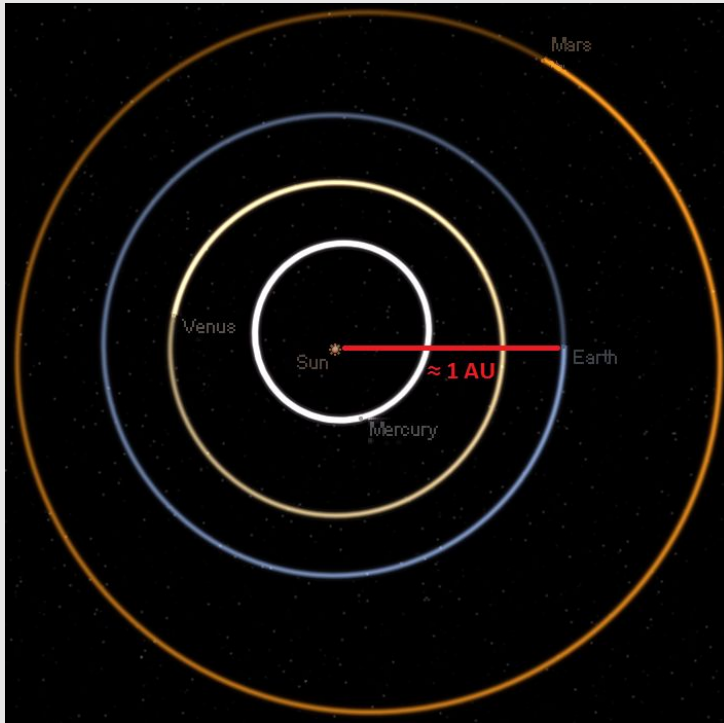
Viene de la abreviación de “*parallax of one arc second*” y corresponde a la distancia a la que 1 unidad astronómica (UA) subtende un ángulo de 1 segundo de arco (1”).

Es decir, si una estrella está a 1 pc, formará un ángulo de 1 segundo de arco entre el sol y la tierra.

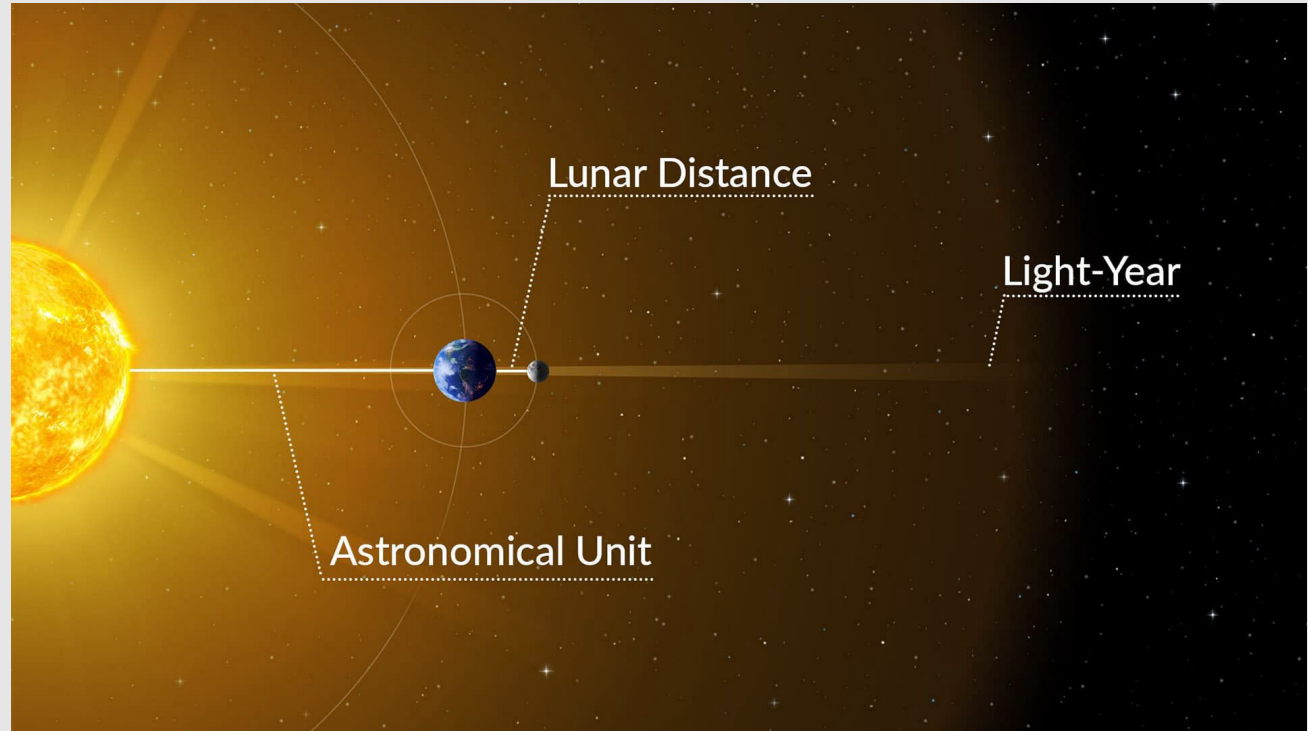


Qué es un Parsec (pc)

Unidad de distancia: $1 \text{ pc} = 206265 \text{ UA} = 3,2616 \text{ años luz}$



Unidad astronómica
(UA -- o AU en inglés)



Año luz

Magnitudes

- ★ **Magnitud absoluta M:** Es la magnitud que observaríamos si estuviésemos a una distancia de 10 pc del objeto.

¿Cómo se calcula M a partir de m? → Sabemos que en la escala de m una diferencia de 5 magnitudes entre 2 objetos corresponde a:

$$\frac{F_2}{F_1} = 100^{(m_1 - m_2)/5}.$$

Tomando el logaritmo en ambos lados:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_1}{F_2} \right).$$

Magnitudes

- ★ **Magnitud absoluta M:** Es la magnitud que observaríamos si estuviésemos a una distancia de 10 pc del objeto.

¿Cómo se calcula M a partir de m? → Sabemos que en la escala de m una diferencia de 5 magnitudes entre 2 objetos corresponde a:

$$\frac{F_2}{F_1} = 100^{(m_1 - m_2)/5}.$$

Tomando el logaritmo en ambos lados:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_1}{F_2} \right).$$

La relación entre m y M puede obtenerse combinando esta expresión con la ley de los inversos cuadrados

$$F^{rec} = F^{em} \left(\frac{R}{d} \right)^2$$

$$100^{(m-M)/5} = \frac{F_{10}}{F} = \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right)^2,$$

Magnitudes

$$100^{(m-M)/5} = \frac{F_{10}}{F} = \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right)^2,$$

Despejando la distancia d obtenemos:

$$d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ pc.}$$

Donde $m-M$ es el “**módulo de distancia**” :

$$m - M = 5 \log_{10}(d) - 5 = 5 \log_{10} \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right).$$

m y M están relacionadas por la distancia d

Magnitudes

Para 2 estrellas **a la misma distancia**, de la ecuación tenemos que el cociente de sus flujos es igual al de sus luminosidades. Por lo que de la ecuación para magnitudes absolutas sería:

$$F = \frac{L}{4\pi r^2},$$

$$\frac{F_2}{F_1} = 100^{(m_1 - m_2)/5}.$$

$$100^{(M_1 - M_2)/5} = \frac{L_2}{L_1}.$$

Si una de las estrellas es el sol, la relación entre la magnitud absoluta de la estrella y su luminosidad es:

$$M = M_{\text{Sun}} - 2.5 \log_{10} \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right),$$

Donde $M_{\text{sun}} = +4.74$ y $L_{\text{sun}} = 3.839 \times 10^{26} \text{ W} = 3.839 \times 10^{33} \text{ erg/s}$

Magnitudes

- ★ **Magnitud aparente:** Es la magnitud que observamos desde la tierra, a una distancia r

$$m = -2.5 \log(L/4\pi r^2) + C$$

- ★ **Magnitud absoluta:** Es la magnitud que observaríamos si estuviésemos a una distancia de 10 pc del objeto.

$$M = -2.5 \log[L/4\pi(10\text{pc})^2] + C$$

$$d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ pc}$$

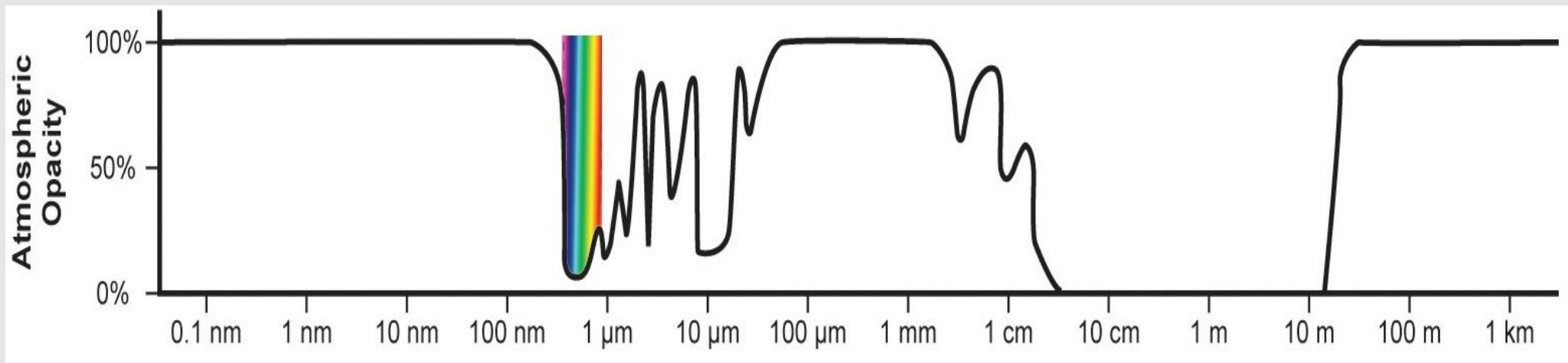
$$m - M = 5 \log_{10}(d) - 5 = 5 \log_{10} \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right)$$

→ Estas magnitudes son bolométricas (cubren todo el rango espectral), pero en la práctica medimos sólo una porción del espectro electromagnético, dependiendo del **FILTRO** con que observemos.

Filtros

Un **filtro** permite que sólo una parte de la luz pase. Tiene una λ central, y detecta un rango de λ s.

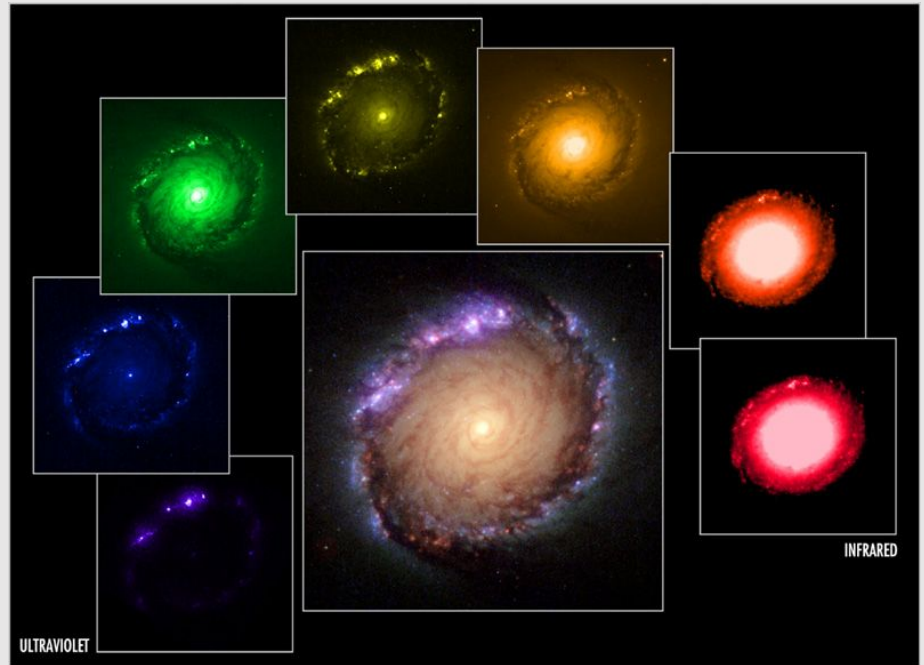
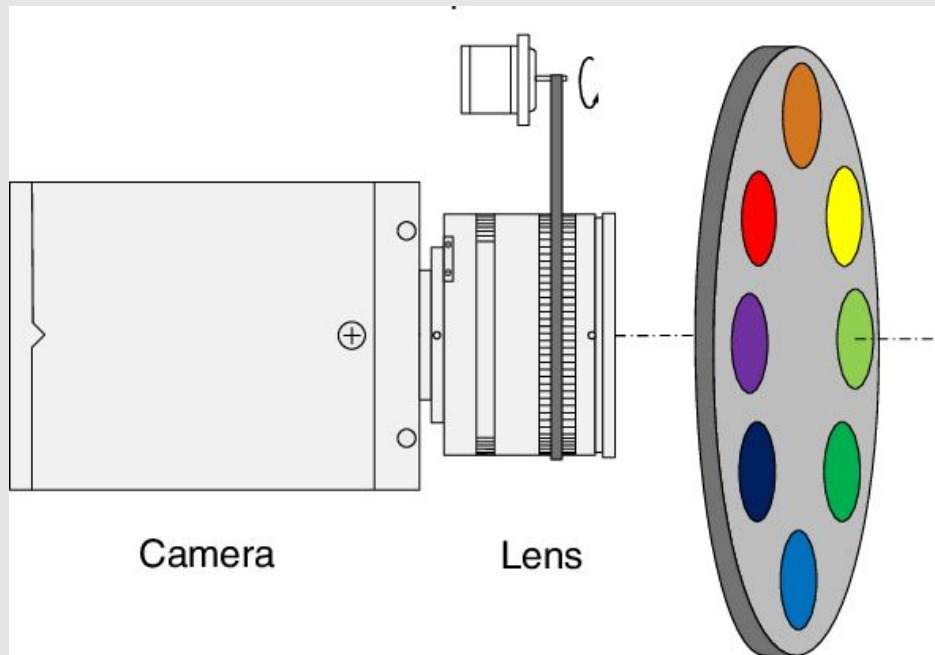
Ejemplo: La atmósfera terrestre actúa como un sistema de filtros.



Los principales gases responsables de la absorción atmosférica son: vapor de agua, dióxido de carbono y ozono.

Filtros

En astronomía usamos filtros para observar distintos fenómenos físicos, que se observan mejor dependiendo de la longitud de onda donde más emiten (lo cual depende de la temperatura, ley de desplazamiento de Wien)

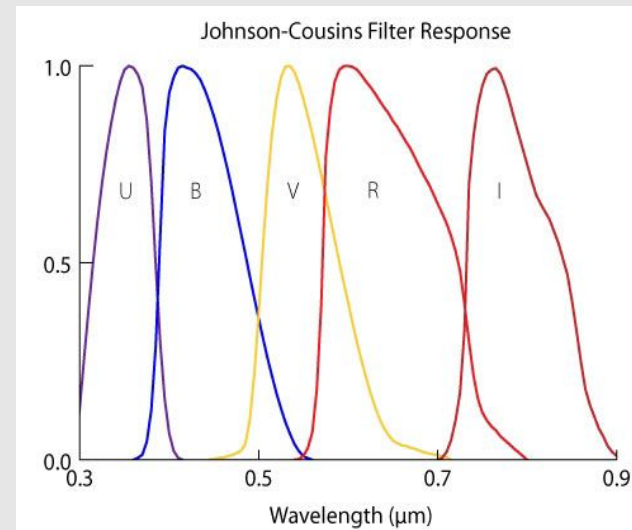


Por ejemplo, filtros centrados en longitudes de onda corta nos permiten observar mejor procesos más energéticos (relacionados a objetos más calientes) mientras que para observar algo más frío (como un planeta) nos convienen filtros que permitan el paso de longitudes de onda más largas

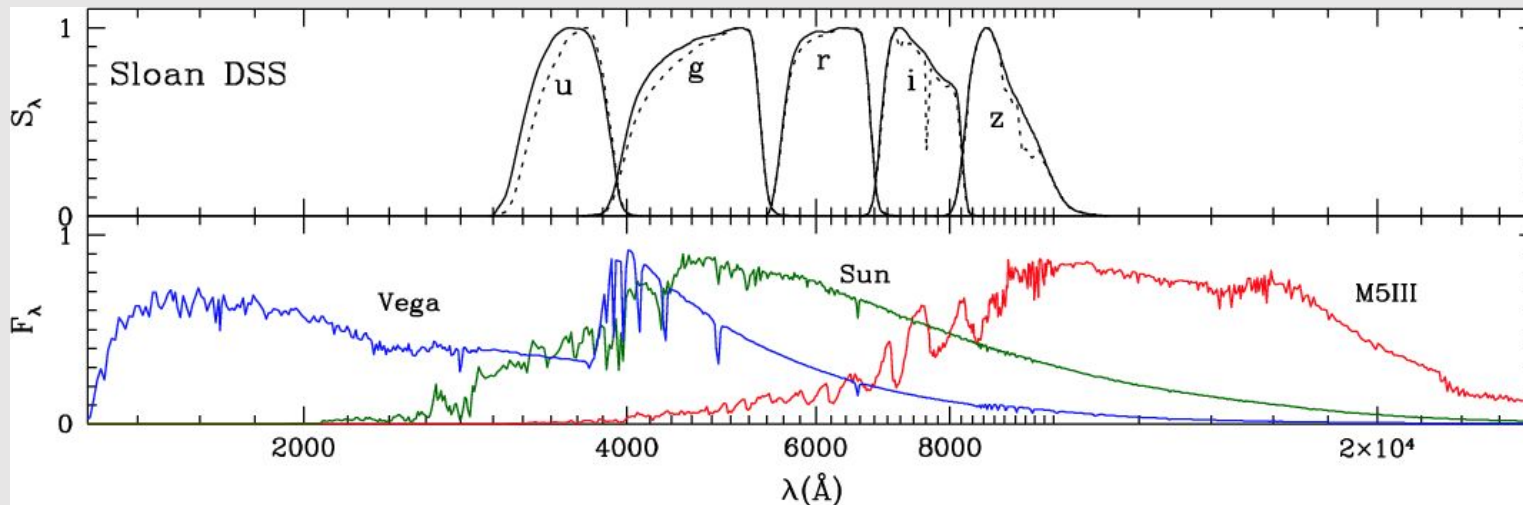
Filtros

Sistemas usados con frecuencia:

- ★ Johnson-Cousins (UBVRI)
- ★ Strömgren (ubvy- β)
- ★ Sloan (ugriz)



U = ultraviolet
B = Blue
V = Visual
R = Red
I = Infrared



u = ultraviolet
g = green
r = Red
i = near infrared
z = infrared

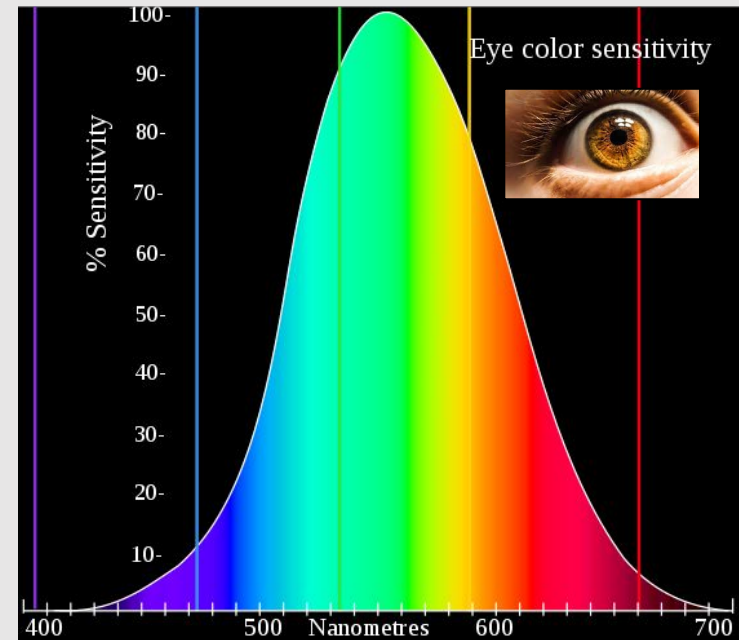
La magnitud aparente en un filtro usualmente se abrevia por la letra del filtro (ejemplo $m_v = V$) mientras que la magnitud absoluta en ese filtro es M_v

Magnitudes visuales

El ojo humano es un filtro en el rango de luz visible, centrado en $\lambda \sim 5500\text{\AA}$.

Su sensibilidad decrece hacia el rojo y hacia el violeta.

El ojo define la **magnitud visual**



Ejemplo de magnitudes visuales aparentes (V o m_V):

<i>Sol</i>	-26.8
<i>Luna Llena</i>	-12.5
<i>Venus en su máximo brillo</i>	-4.4
<i>Sirio</i>	-1.4
<i>Alfa Centauri</i>	-0.3
<i>límite visual</i>	6.0
<i>límite con el Telescopio Espacial Hubble</i>	28.0

Magnitudes visuales

Podemos derivar la magnitud visual absoluta del sol a partir de su magnitud visual aparente.

Sol	-26.8
<i>Luna Llena</i>	-12.5
<i>Venus en su máximo brillo</i>	-4.4
<i>Sirio</i>	-1.4
<i>Alfa Centauri</i>	-0.3
<i>límite visual</i>	6.0
<i>límite con el Telescopio Espacial Hubble</i>	28.0

31 es el record de HST

$$m_V - M_V = 5 \log_{10}(d) - 5$$

con d en pc

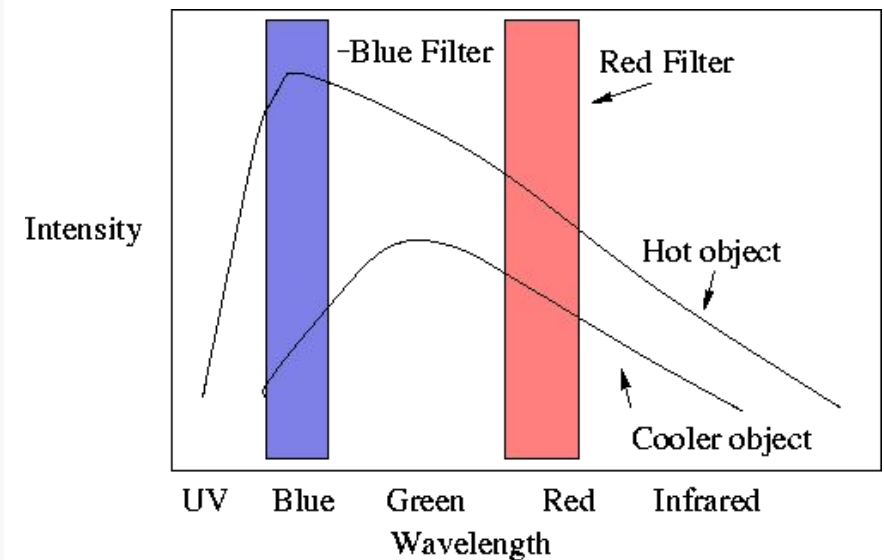
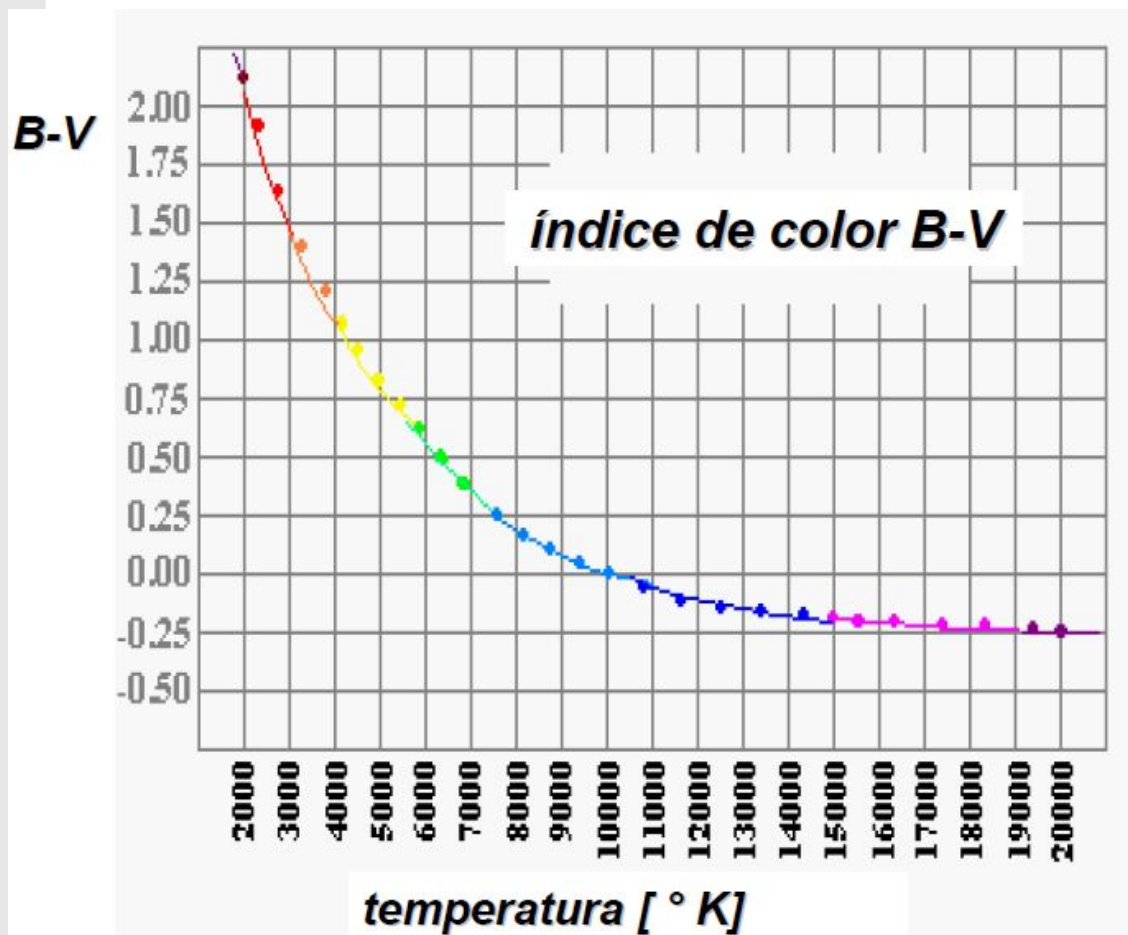
$$1 \text{ pc} = 206264,8 \text{ AU} \rightarrow 1 \text{ AU} = 1/206264,8 \text{ pc}$$

$$M_V = -26,75 + 5 - 5 \times \log 1/206264,806248 = + 4,81$$

Indice de Color

Es la diferencia entre las magnitudes de la misma estrella, a la misma distancia, en dos filtros diferentes, e.g. $M_B - M_V = B - V$

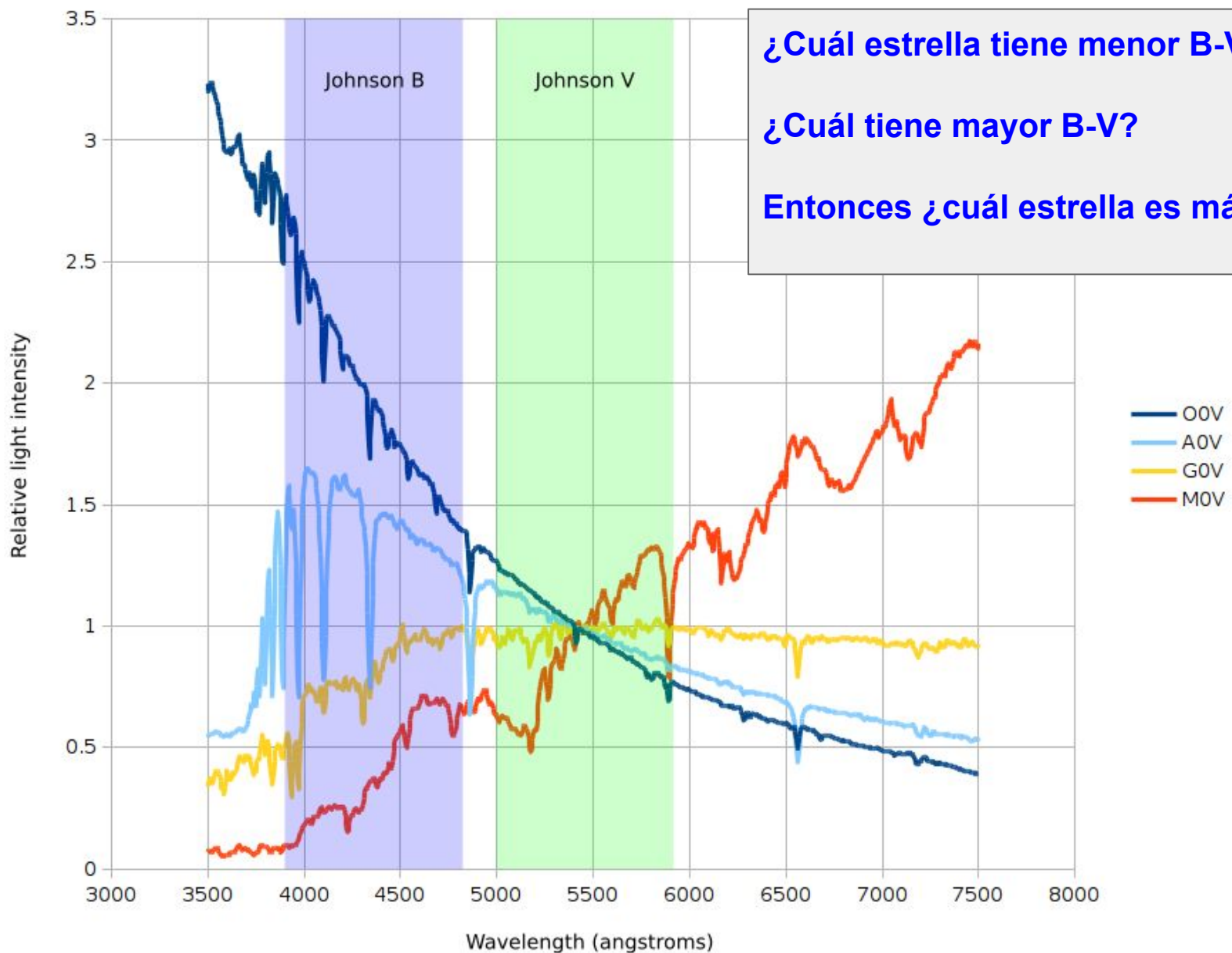
Notar que el indice de color es independiente de la distancia



El indice de color depende de T_{eff}

→ es más bajo para estrellas más azules (más calientes)

Indice de Color



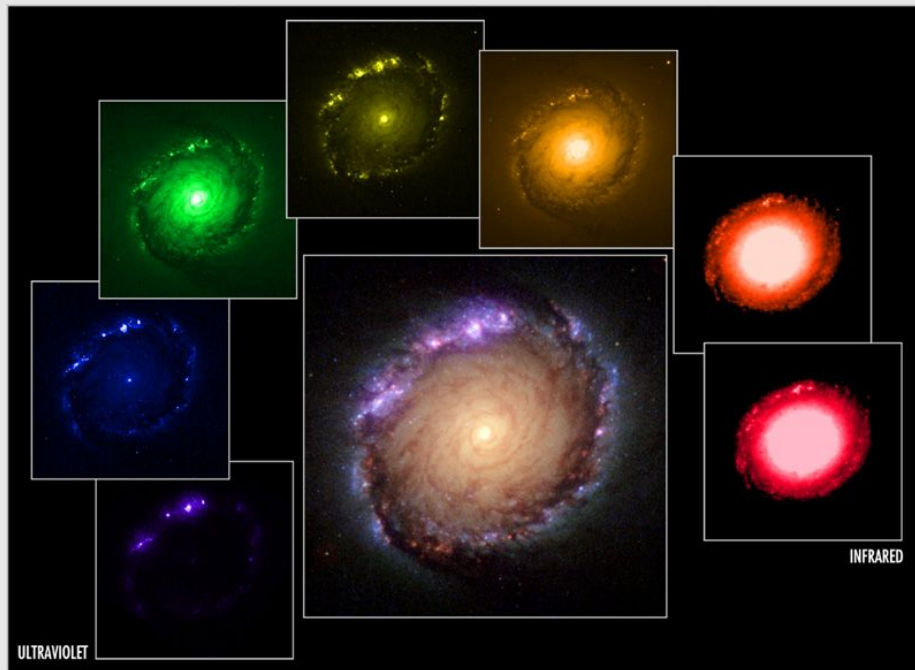
¿Cuál estrella tiene menor B-V?

¿Cuál tiene mayor B-V?

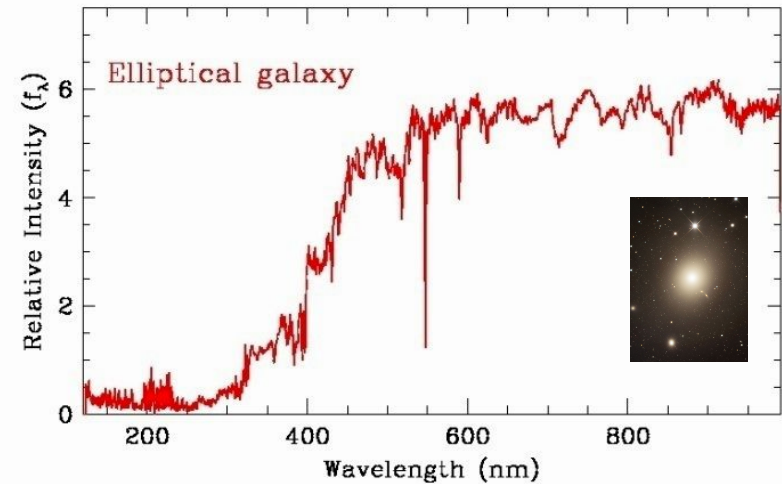
Entonces ¿cuál estrella es más azul?

Indice de Color

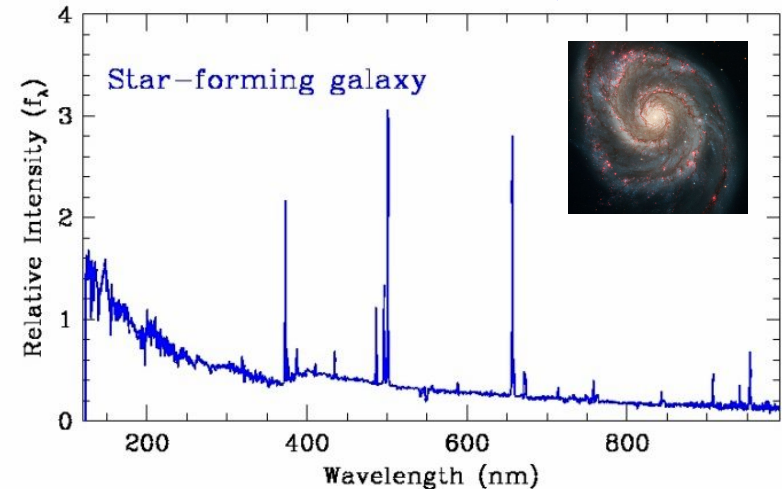
Lo mismo aplica para las galaxias!



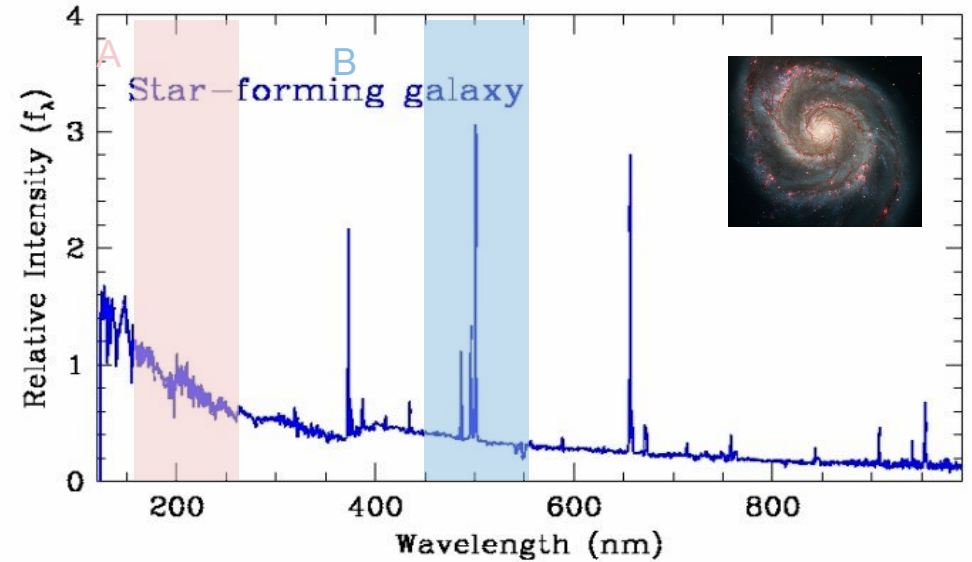
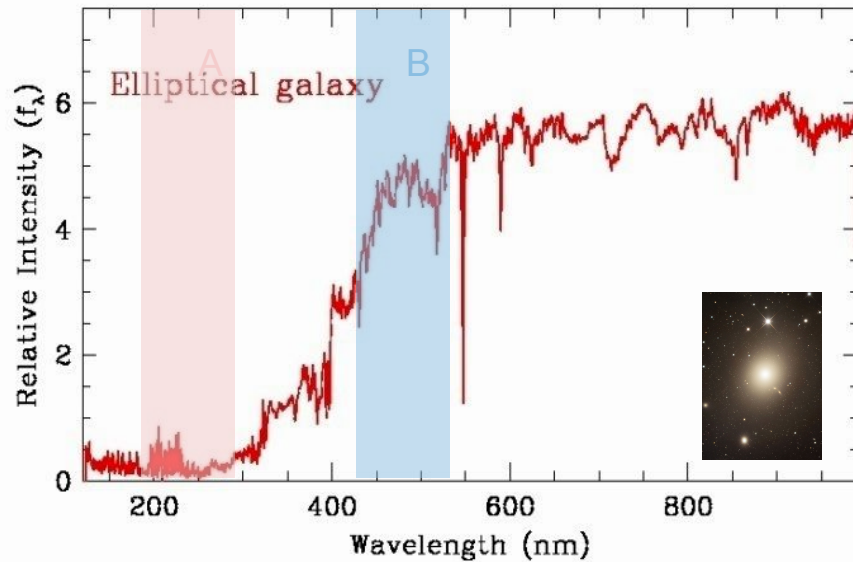
Galaxias elípticas son viejas, más rojas



Galaxias con formación estelar, más azules



Indice de Color



$$\text{Color} = B - A$$

Flujo en el filtro B > Flujo en el filtro A
Galaxia roja

Flujo en el filtro B < Flujo en el filtro A
Galaxia azul

Magnitud Bolométrica

Toma en cuenta la radiación electromagnética en todas las longitudes de onda.

$$f = \int f_\nu d\nu = \int f_\lambda d\lambda \quad [erg \ s^{-1} \ cm^{-2}]$$

$$M_{bol,\star} - M_{bol,\odot} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{L_\star}{L_\odot} \right)$$

Corrección Bolométrica

$$m_{bol} = V + CB$$
$$= M_V + CB$$

$$CB \leq 0$$

La escala se define para que la corrección del Sol Sea nula ($CB_\odot = 0$)

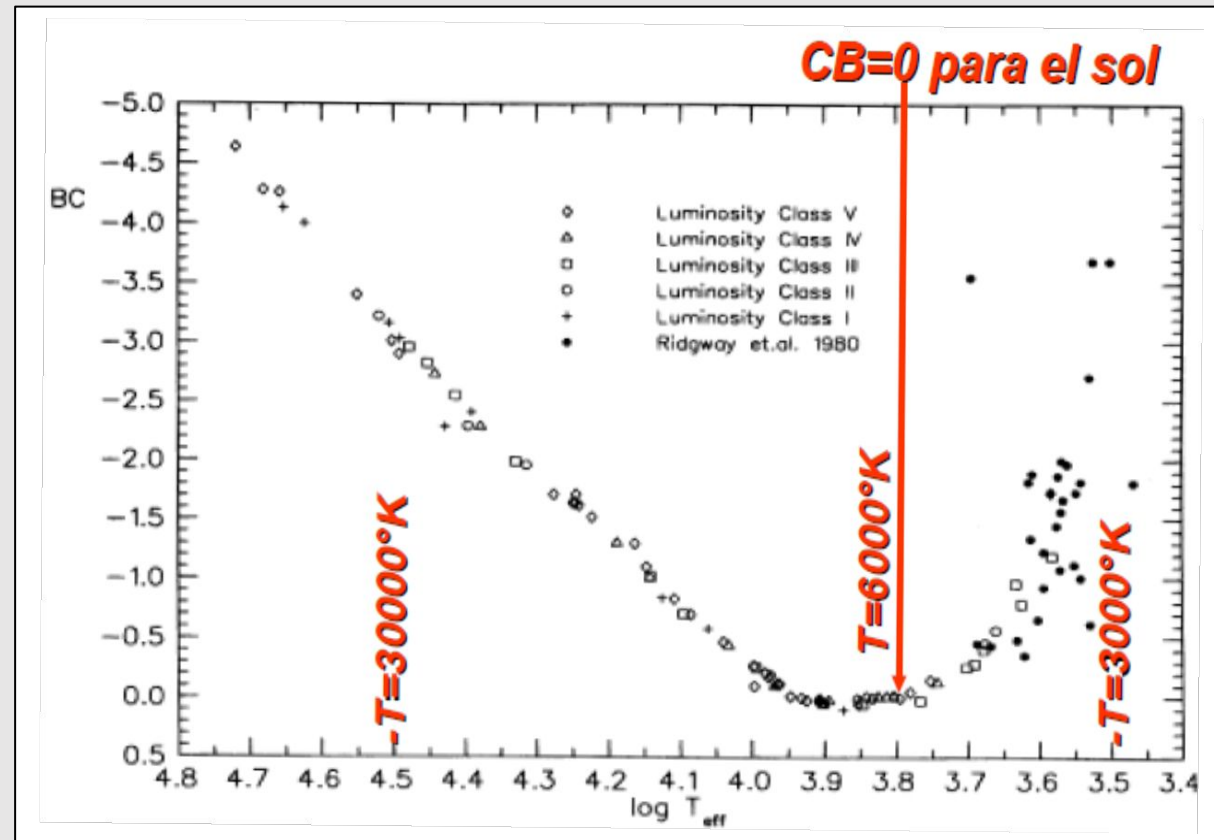
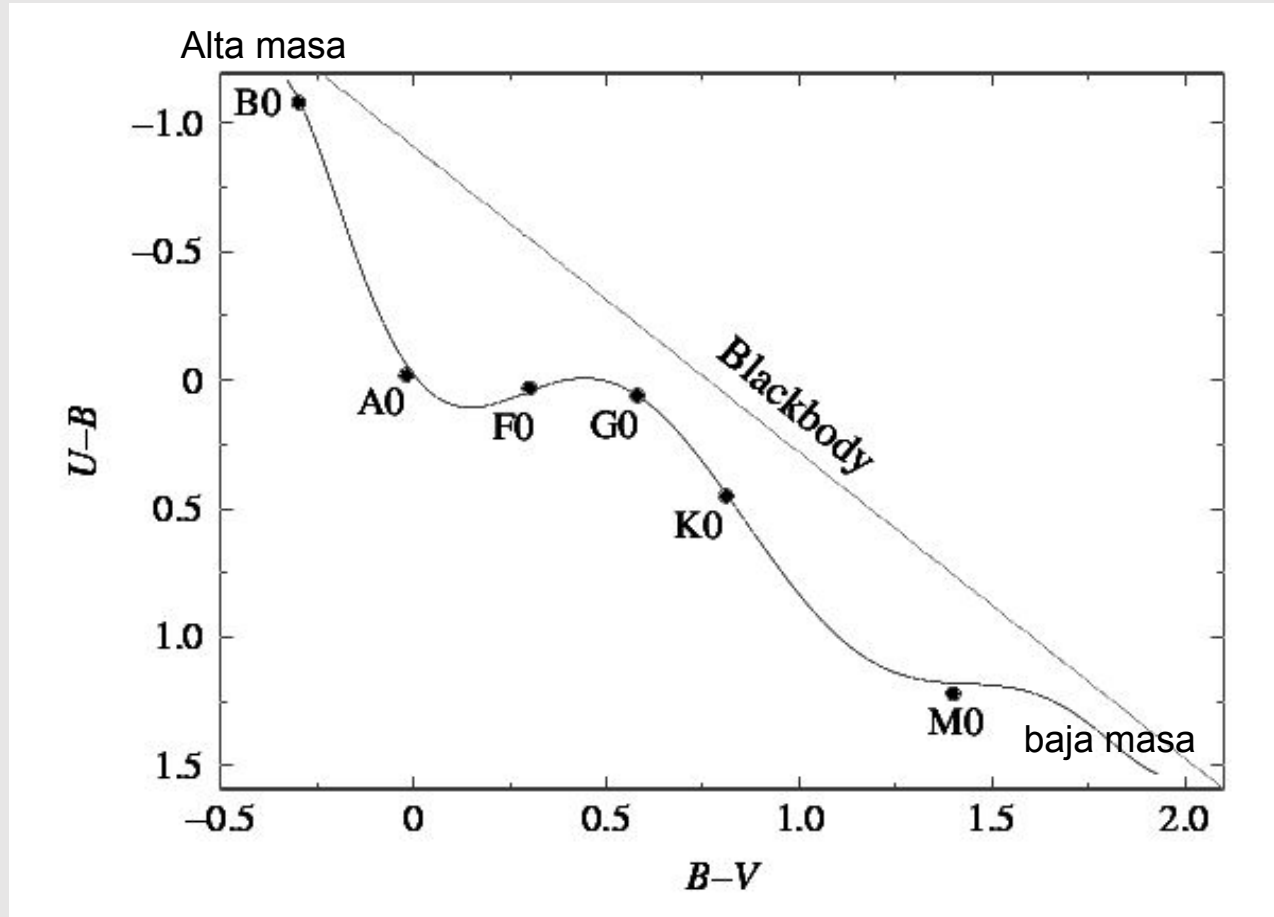


Diagrama Color-Color

Diagrama Color-Color para estrellas de secuencia principal



Las estrellas no son cuerpos negros ideales, ya que parte de la luz es absorbida por la atmósfera. Algunas se asemejan más que otras ya que la cantidad de luz absorbida depende de la temperatura y de la longitud de onda.