

LFIS223

# Astronomía General

Mónica Zorotovic

## Tema 7

Multiplicidad (binarias, múltiples,  
cúmulos..)

# Multiplicidad



## **Sistema Estelar Múltiple:**

Grupo de 2 o más estrellas ligadas gravitatoriamente entre sí, orbitando alrededor del centro de masa común.

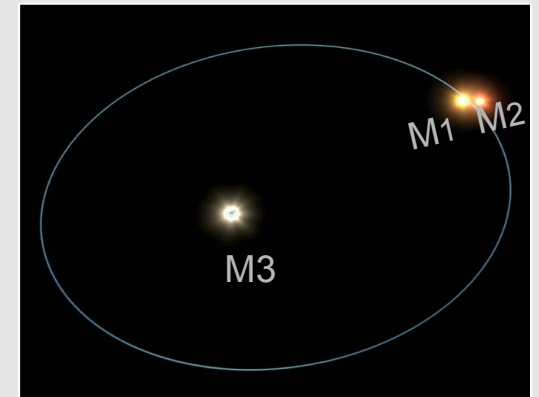
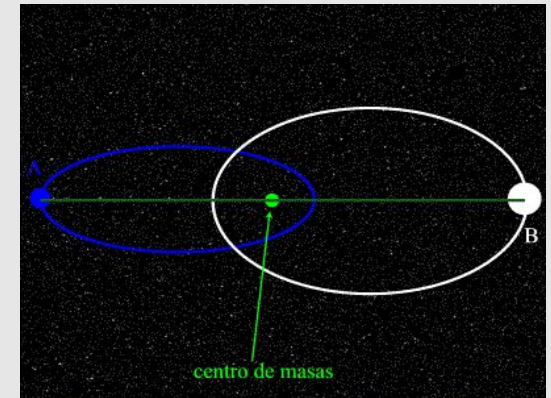
# Multiplicidad

**Sistema Binario:** Dos estrellas orbitando en órbitas elípticas en torno a un centro de masa.

**3 o más estrellas:**

- **Sistemas Jerárquicos:** Son **estables**. Ejemplo: un sistema triple jerárquico sería una binaria interior (de componentes M1 y M2) con órbita de semieje mayor  $a_{in}$  y una binaria exterior cuyas componentes son M3 y el par M1+M2, con un semieje mayor  $a_{ext} \gg a_{in}$ .

- **Sistemas NO Jerárquicos:** las separaciones entre las componentes son comparables entre si  $\rightarrow$  **no es estable**. Son jóvenes y se espera que se destruyan en unos pocos millones de años por interacciones gravitacionales.



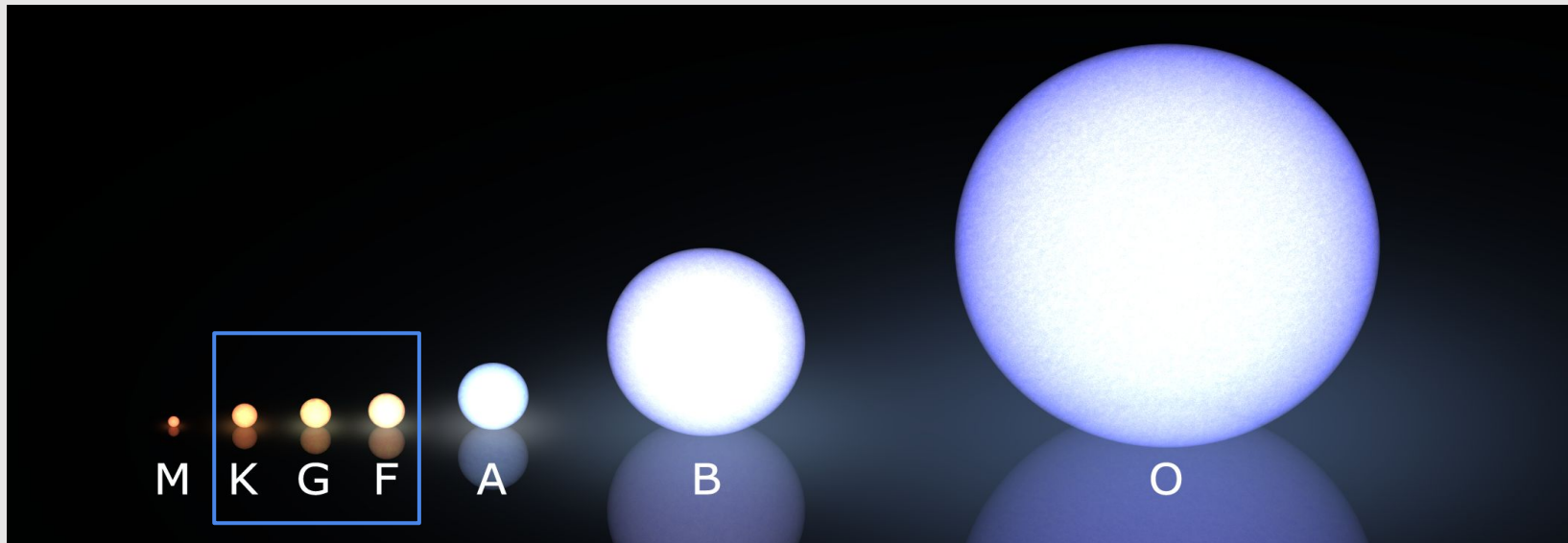
# Multiplicidad

## Dependencia con la Masa

Estudios de estrellas de tipo espectral F, G y K temprano, en la vecindad solar muestran que ~60% de las estrellas de SP tipo solar tienen al menos un compañero (Duquennoy & Mayor 1991; Raghavan et al. 2010).

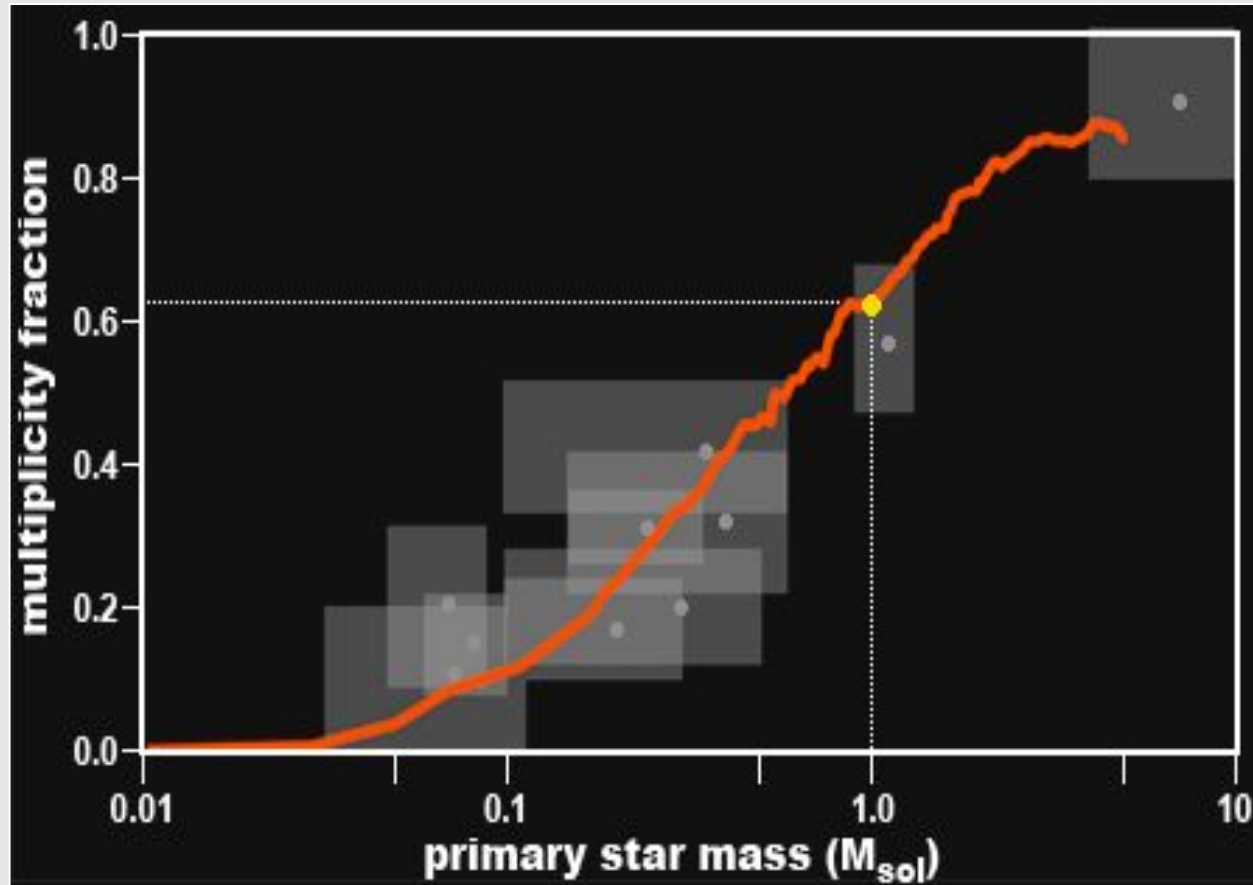
En estrellas más masivas (O, B o A) este porcentaje es mayor, mientras que en las de poca masa (K tardío, M o enanas cafés) parece ser menor.

Como los sistemas múltiples están ligados por atracción gravitacional y la gravedad depende de la masa → **la fracción de multiplicidad depende de la masa de la estrella primaria.**



# Multiplicidad

## Dependencia con la Masa



→ Fracción de estrellas con al menos un compañero, dependiendo de la masa de la más masiva (resultado de varios estudios).

Los puntos (y cajas) grises muestran la estimación (y su incertidumbre) para 10 estudios diferentes.

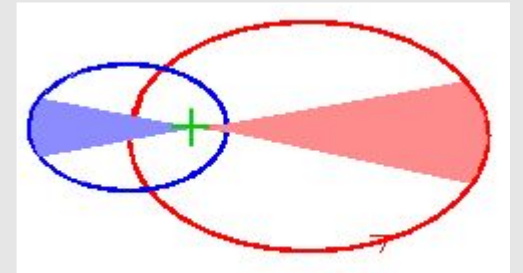
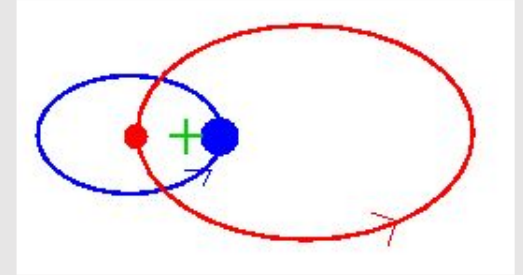
# Estrellas Binarias

## Leyes de Kepler

Ambas estrellas siguen órbitas elípticas en torno a un centro de masa común.

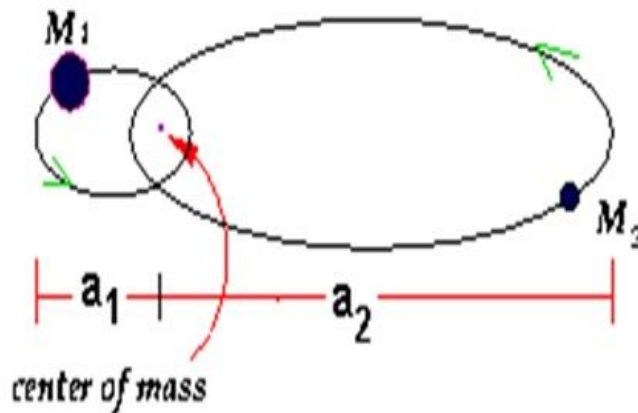
En cada momento, la línea que conecta ambas estrellas pasa por el centro de masa.

Cada estrella sigue la **segunda ley de kepler** de forma independiente, barriendo áreas iguales en tiempos iguales



$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2}$$

$$a = a_1 + a_2$$



La **tercera ley** también se aplica, pero generalizada (incluye las masas de ambos objetos, al no cumplirse  $M_1 \gg M_2$ ).

**P** en años, **a** en AU, Masas en Msun.

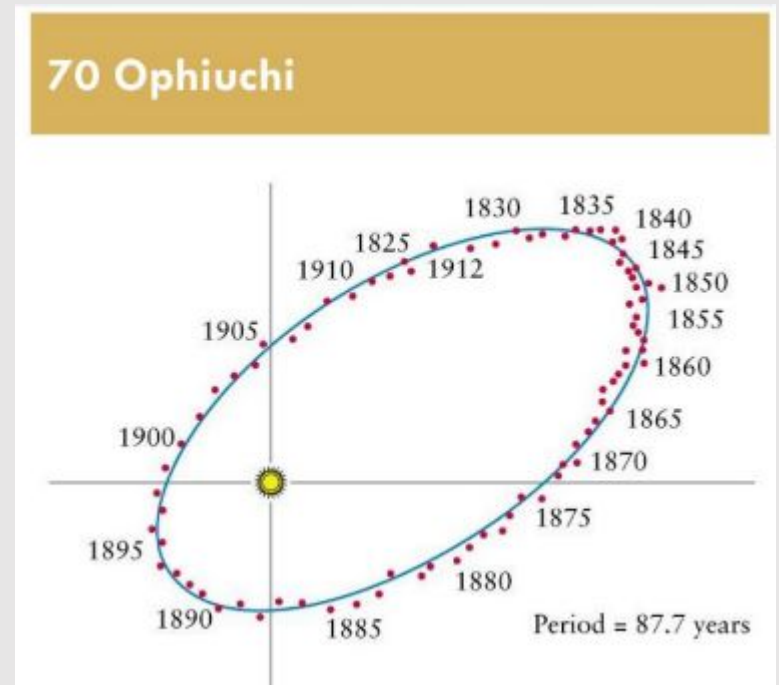
# Estrellas Binarias

## Clasificación según su método de detección

1. **Visuales:** Están suficientemente separadas como para ver ambas a través del telescopio. Suelen estar no muy lejos de nosotros (separación angular grande).



También puede ser que solo veamos una pero en órbita en torno a un foco que no vemos (una compañera muy débil, como una enana blanca o estrella de neutrones)



La estrella completa una órbita cada 87.7 años



# Estrellas Binarias

## Clasificación según su método de detección

2. **Espectroscópicas:** dos estrellas ligadas gravitacionalmente, pero demasiado cerca una de la otra (y/o lejos de nosotros) para ser vistas por separado

→ sistema no resuelto (separación angular pequeña).

La naturaleza binaria es revelada por espectros. A veces se identifica un espectro compuesto (se nota que es la suma de dos espectros de estrellas diferentes), y hay un corrimiento doppler periódico (azul y rojo durante la órbita) de las líneas espectrales.

- SB1: sólo se ven las líneas de una estrella
- SB2: líneas de ambas estrellas

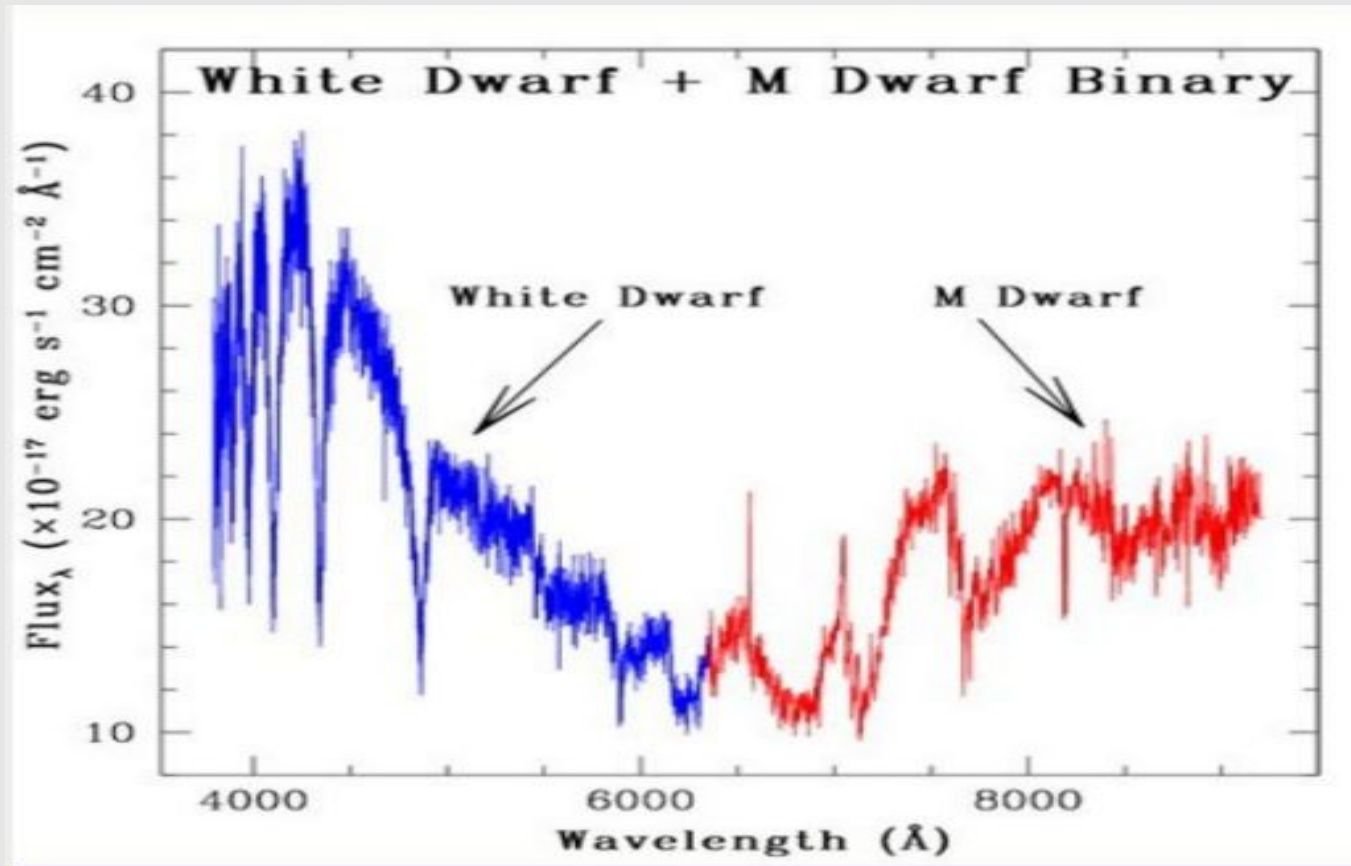


# Estrellas Binarias

Clasificación según su método de detección

## 2. Espectroscópicas:

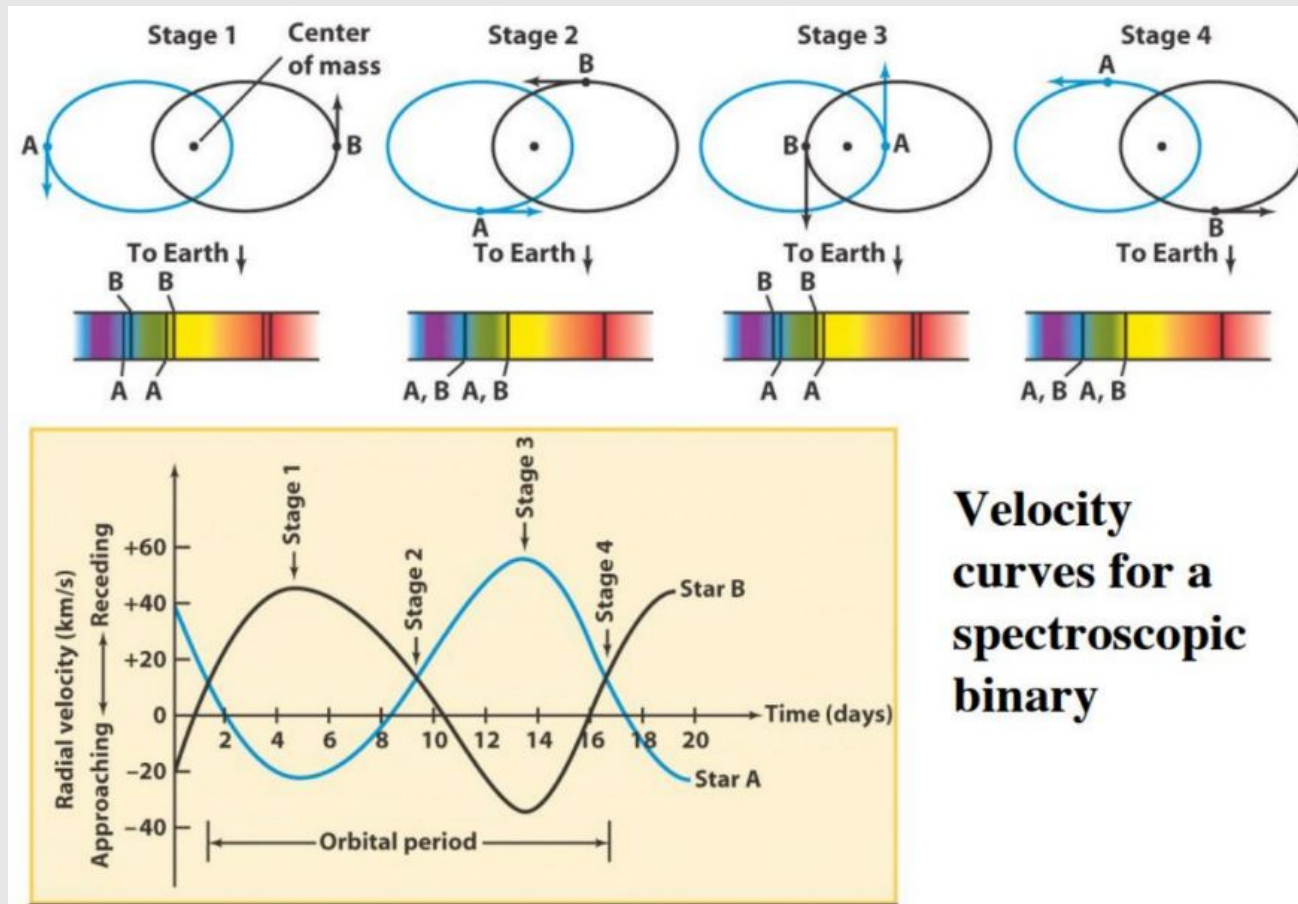
Ejemplo de un espectro compuesto



# Estrellas Binarias

## Clasificación según su método de detección

2. **Espectroscópicas:** el corrimiento de las líneas nos da la velocidad con respecto a la línea de visión (la velocidad real depende del ángulo de inclinación del plano orbital respecto a nuestra línea de visión)

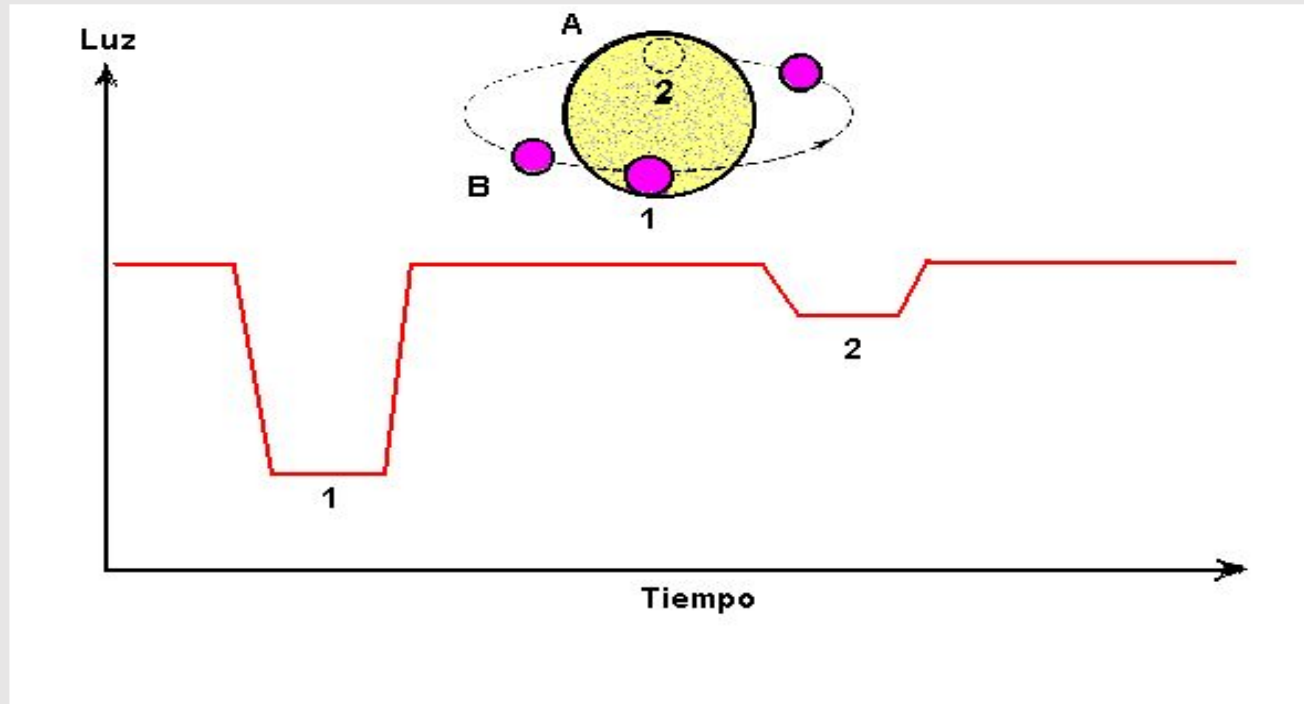


# Estrellas Binarias

## Clasificación según su método de detección

3. **Fotométricas (o Eclipsantes)**: Sus órbitas están alineadas con nuestra línea de visión de manera que, periódicamente, una estrella pasa por delante de la otra produciendo un eclipse.

Es más probable en estrellas binarias de periodo corto (cercanas)

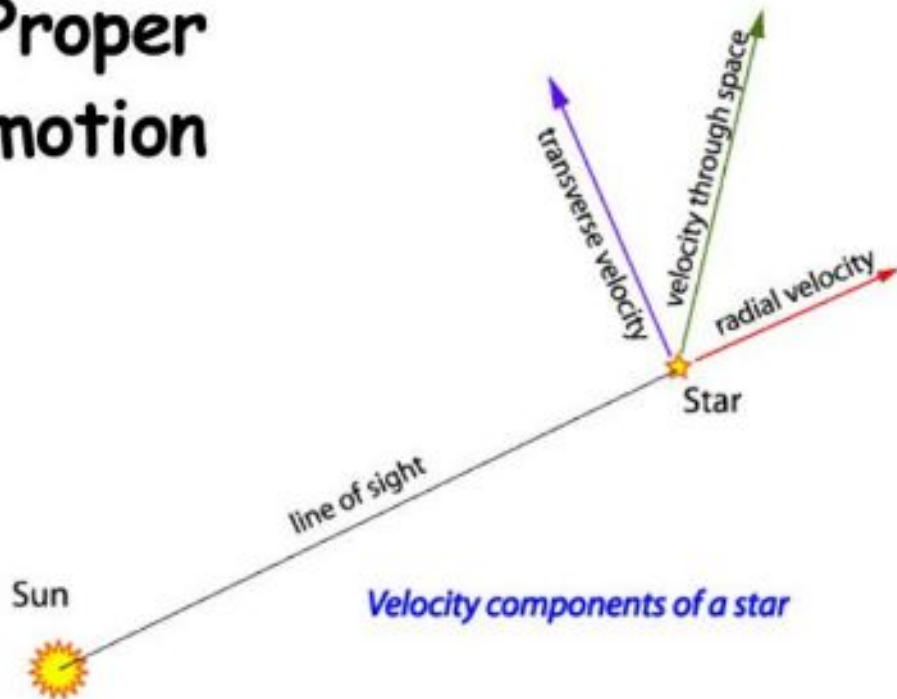


# Estrellas Binarias

## Clasificación según su método de detección

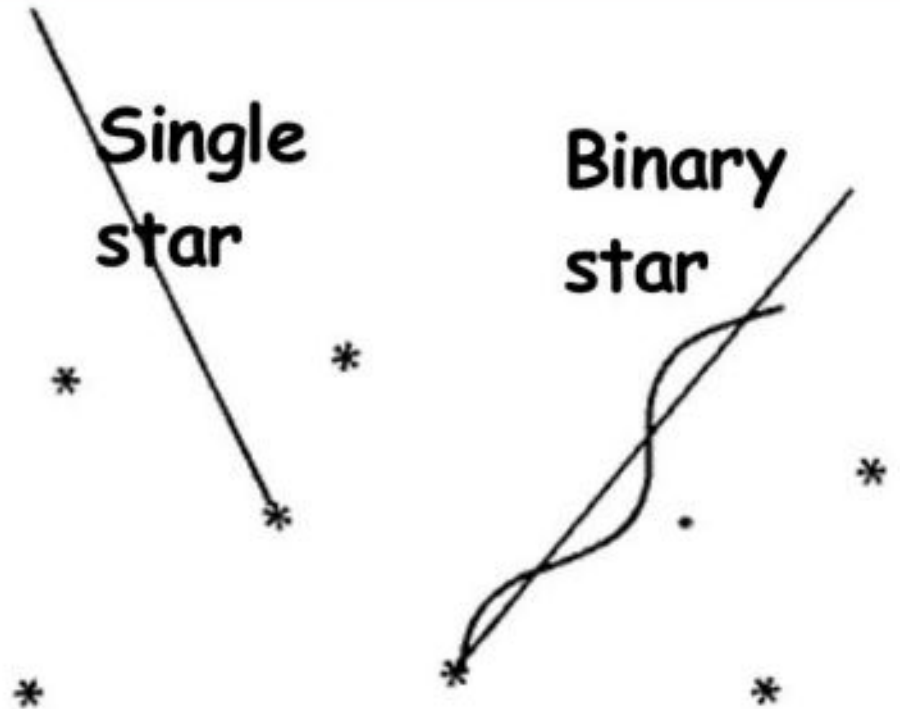
4. **Astrométricas:** Sólo se observa una, pero su movimiento propio es variable (hay un bamboleo producto de la leve influencia gravitacional de la compañera más débil).

### Proper motion



### Single star

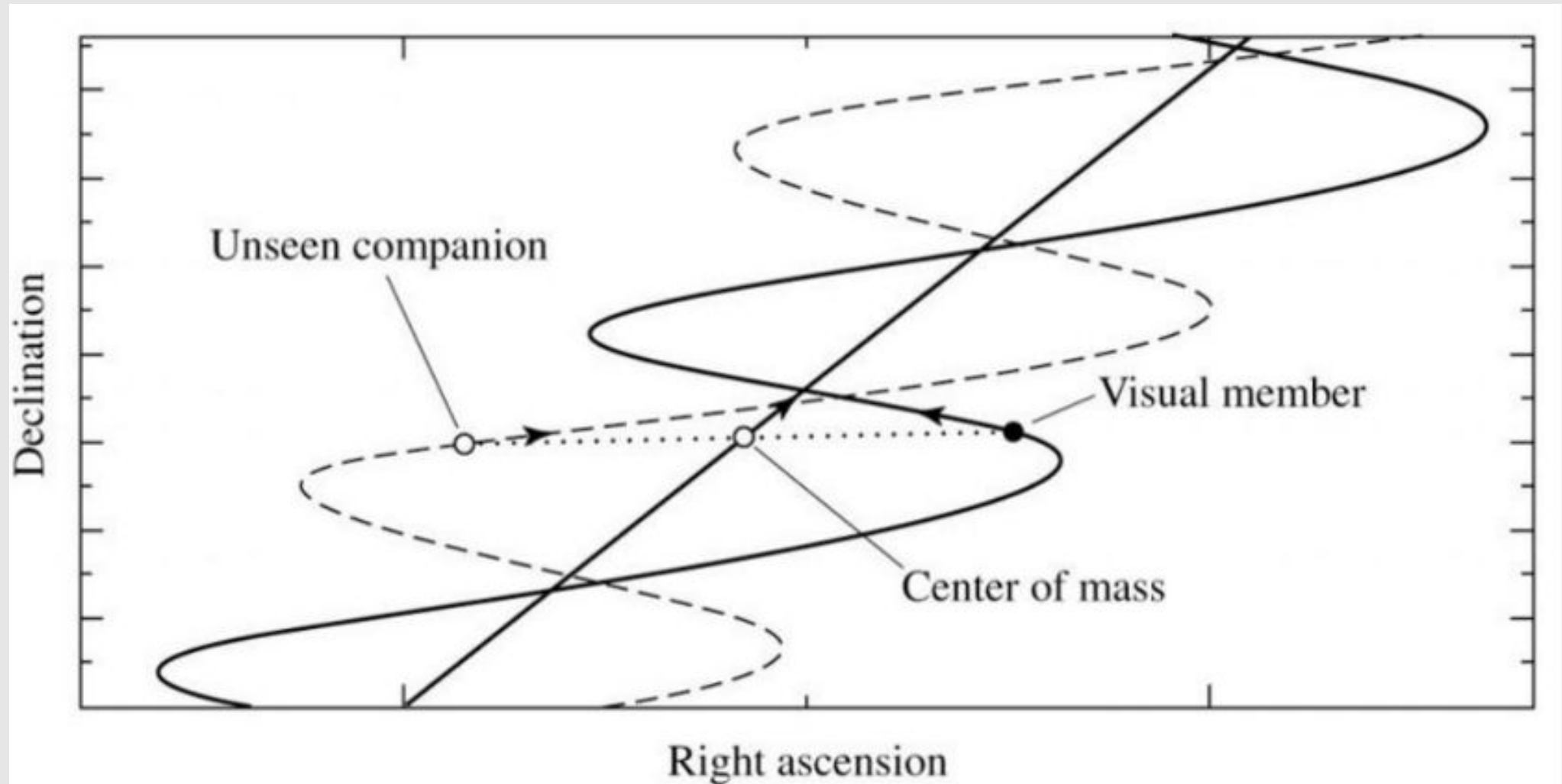
### Binary star



# Estrellas Binarias

Clasificación según su método de detección

## 4. Astrométricas:

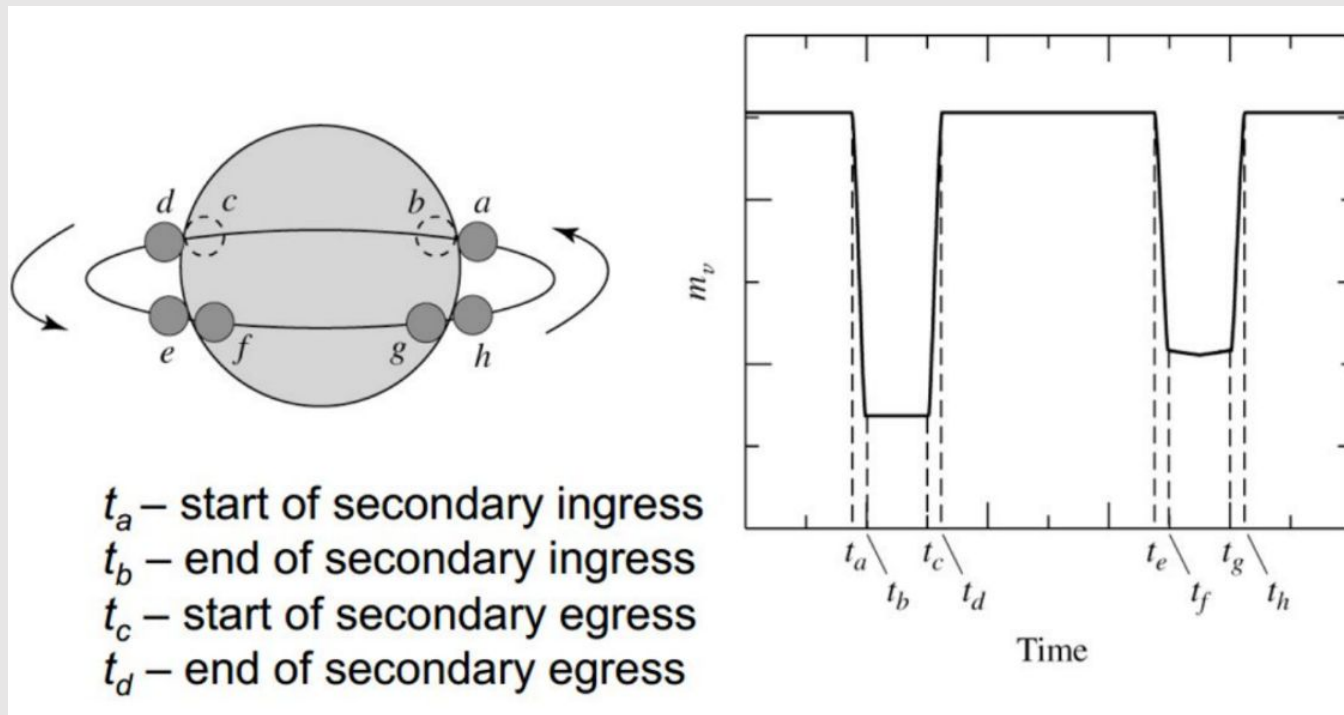


# Estrellas Binarias

## Clasificación según su método de detección

Las estrellas binarias pueden pertenecer a más de un grupo.

Las binarias que son eclipsantes y espectroscópicas de doble línea (se ve el movimiento de las líneas de ambas estrellas), son nuestros mejores **estimadores de masa**.



Masas

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} = \frac{v_{2r}}{v_{1r}}$$

Radios

$$R_1 = \frac{v_1 + v_2}{2} (t_b - t_a)$$

$$R_2 = \frac{v_1 + v_2}{2} (t_c - t_a)$$

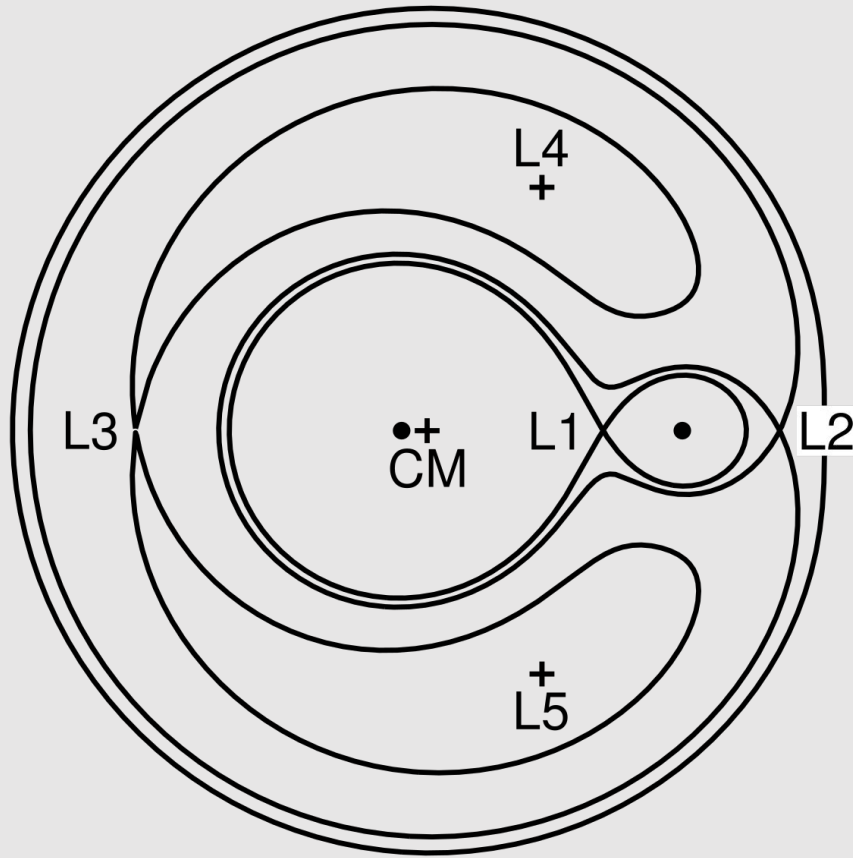
Flujos

$$\frac{F_o - F_{prim}}{F_o - F_{sec}} = \left( \frac{T_{eff1}}{T_{eff2}} \right)^4$$



# Estrellas Binarias

## Clasificación según su configuración



→ Superficies equipotenciales en torno a una estrella binaria.

La superficie que se cruza en L1 define los **lóbulos de Roche**: región del espacio alrededor de cada estrella del sistema binario en la que el material orbitante está ligado gravitacionalmente a dicha estrella.

Esta superficie es mayor para la estrella más masiva

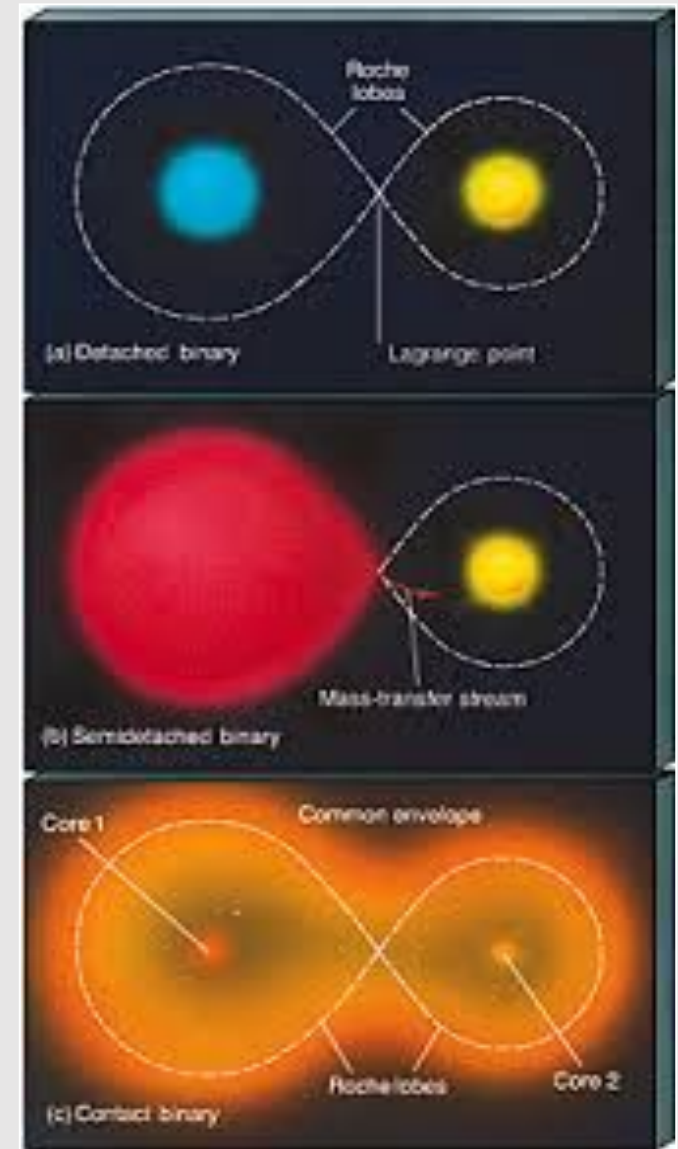
*Si la estrella se expande más allá de su lóbulo de Roche entonces el material exterior a este puede: perderse del sistema, orbitar a ambas estrellas o ser acretado por la otra estrella (típicamente a través de un disco de acreción)*



# Estrellas Binarias

## Clasificación según su configuración

- **Separadas** (detached): Ninguna de las componentes llena su lóbulo de Roche. Evolucionan separadamente, sin transferencia de masa, como si fueran estrellas aisladas.
- **Semi-separadas** (semi-detached): Una de las estrellas justo llena su lóbulo de Roche y transfiere masa a la compañera (típicamente por un disco de acreción).
- **En Contacto**: Ambas componentes llenan su lóbulo de Roche. Se forma una envoltura común que rodea a las dos estrellas. La fricción reduce la distancia orbital y las estrellas pueden llegar a fusionarse.



\*En este tipo de clasificación, las binarias solo pertenecen a UN grupo en un momento dado de su vida. Pero durante su vida pueden pasar por más de uno.

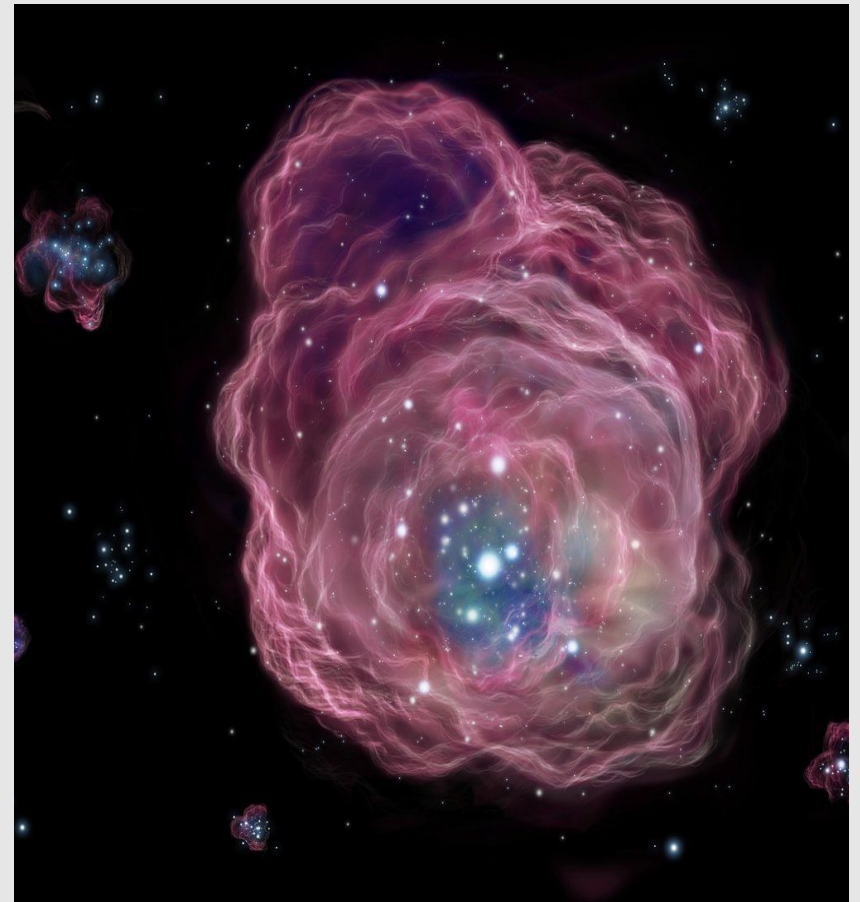
# Poblaciones Estelares

Las estrellas pueden clasificarse en distintas poblaciones **según su metalicidad**.

→ La **primera generación de estrellas** que se formó justo después del Big-Bang, de **H y He casi puro**, se denomina **Población III**.

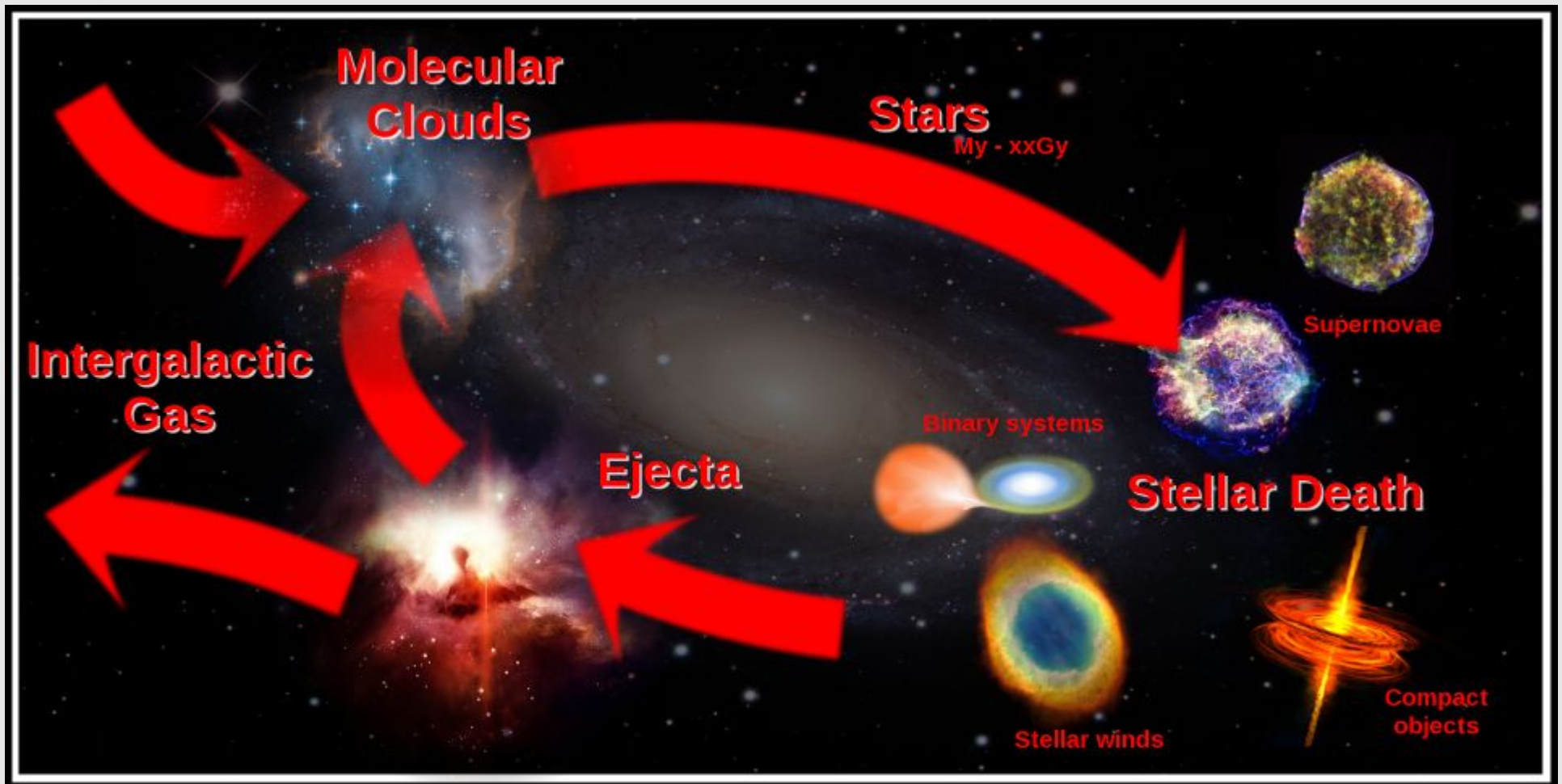
Debido a su composición primordial, las estrellas de población III habrían sido muy **masivas y calientes**, y habrían acabado explotando como **supernovas** después de tan solo unos dos millones de años (no se conoce ninguna).

Esas explosiones habrían enriquecido el medio interestelar, con elementos químicos más pesados creados en su interior, que al morir se mezclaron con las nebulosas existentes.



# Poblaciones Estelares

→ Ese gas enriquecido formó nuevas estrellas, pero ahora con un contenido “metálico” más pesado. Así surgió la **Población II**.



# Poblaciones Estelares

→ Ese gas enriquecido formó nuevas estrellas, pero ahora con un contenido “metálico” más pesado. Así surgió la **Población II**.

El proceso se repitió, las estrellas de Población II que murieron (las más masivas) enriquecieron nuevamente el medio interestelar.

→ Del nuevo gas enriquecido se formó la **Población I**, que corresponde a las estrellas más jóvenes.

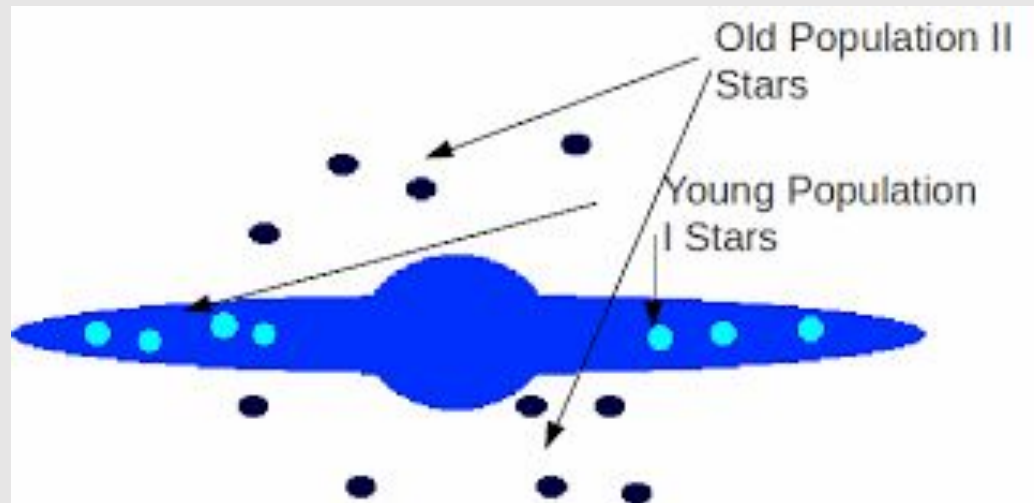
El sol pertenece a esta población

Se encuentran en el disco y brazos de galaxias espirales (zonas de formación estelar activa o reciente).



# Poblaciones Estelares

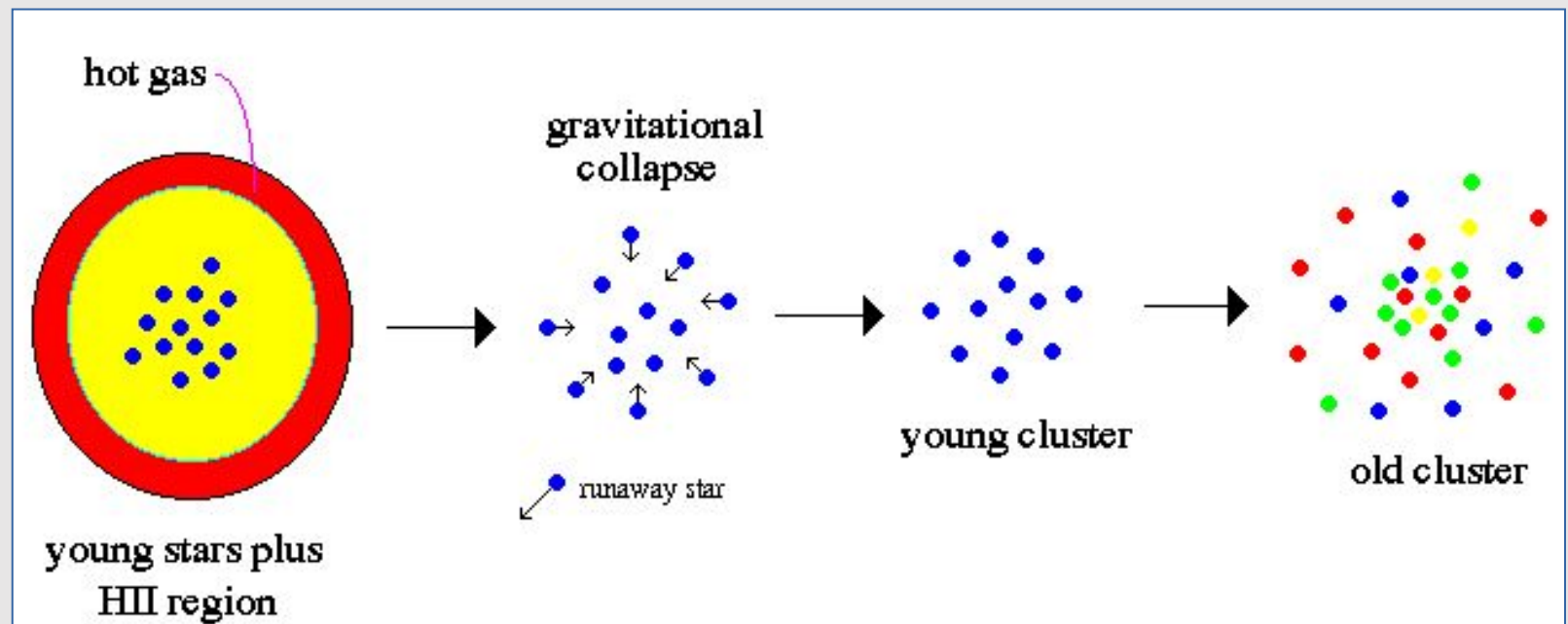
- **Población III:** Las más viejas, composición primordial (H y He casi puro), formada justo después del Big-Bang, no se conoce ninguna.
- **Población II:** viejas, baja metalicidad, formadas luego de la rápida muerte de la población III. Edad similar a la de la Galaxia. Distribuidas en el halo y núcleo (bulbo) de galaxias espirales, y en galaxias elípticas.
- **Población I:** Más jóvenes (como el sol), con alta metalicidad, en el disco y brazos de galaxias espirales.



# Cúmulos Estelares

Las estrellas se forman de **nubes grandes de gas molecular**, con masas de cientos de masas solares  
→ se forman en grupos o cúmulos.

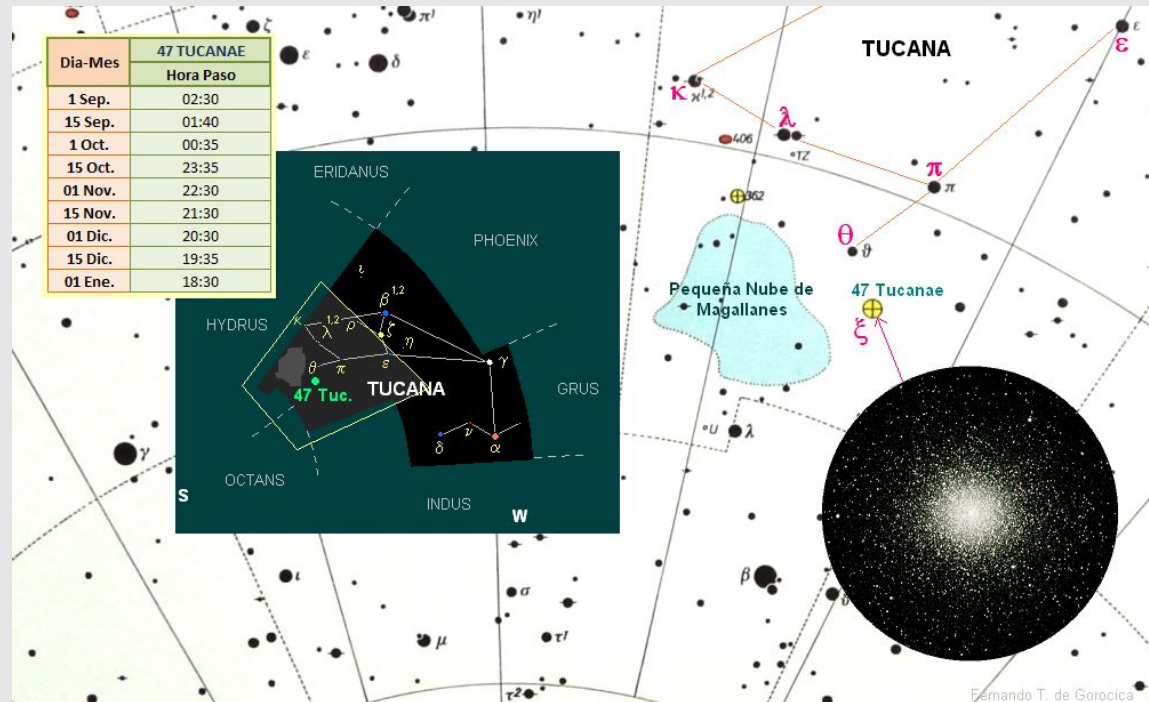
- El gas que sobra es calentado y desaparece, y las estrellas se atraen por gravedad.
- Durante el intercambio de energía entre las estrellas, algunas alcanzan la velocidad de escape del proto-cúmulo y se desligan (runaway stars). El resto quedan gravitacionalmente ligadas.



# Cúmulos Estelares

Grupos de estrellas atraídas entre sí por su gravedad mutua.

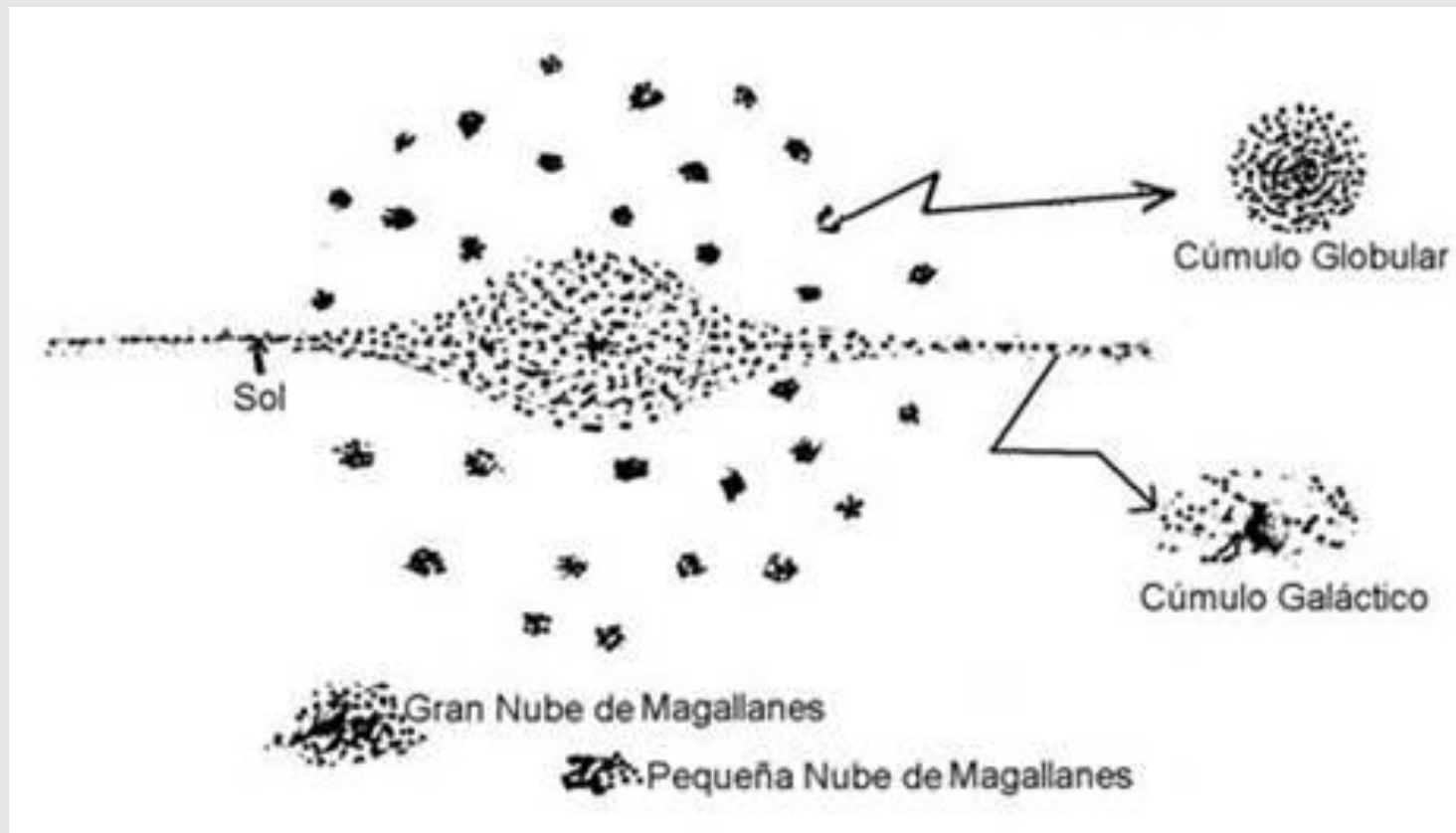
- Todas las estrellas del cúmulo se encuentran a  $\sim$  la **misma distancia** desde la tierra, y participan de un **movimiento común** dentro de la galaxia.
- Los cúmulos ayudan a comprender la evolución estelar, al ser estrellas formadas en la misma época, a partir del material de una misma nube molecular  $\rightarrow$  tienen  $\sim$  la **misma edad** y la **misma composición**.





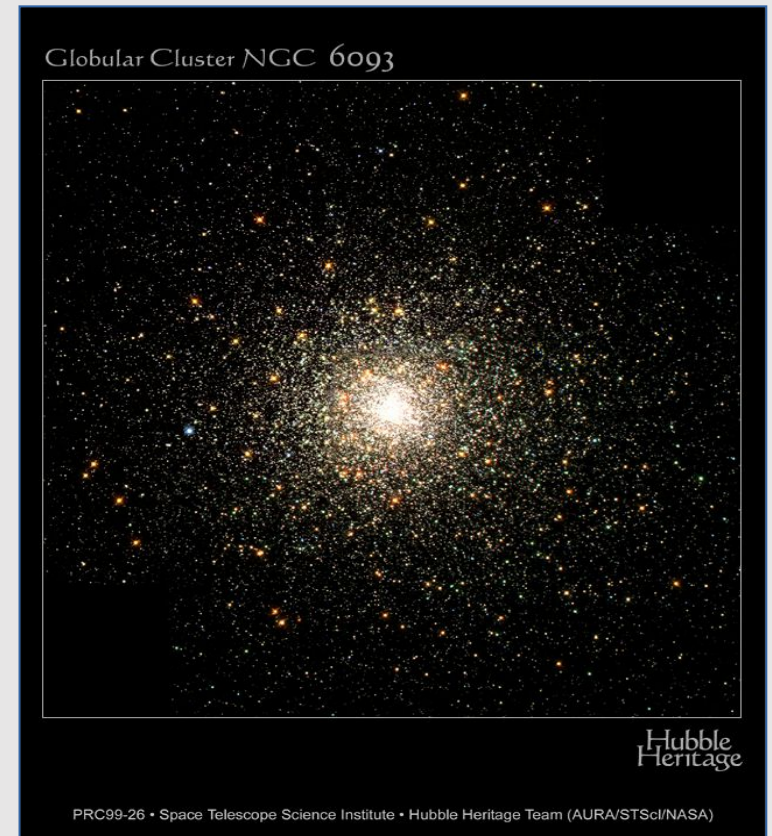
# Cúmulos Estelares

1. **Cúmulos globulares:** ~**esféricos**, con decenas-cientos de miles de estrellas esencialmente **viejas (Población II)**. Rodean a la galaxia (en el **Halo**).
2. **Cúmulos abiertos** (o galácticos): **irregulares**, con cientos a pocos miles de estrellas **jóvenes (Población I)**. Pertenecen al **Plano Galáctico** (disco), en los brazos espirales.



# Cúmulos Globulares

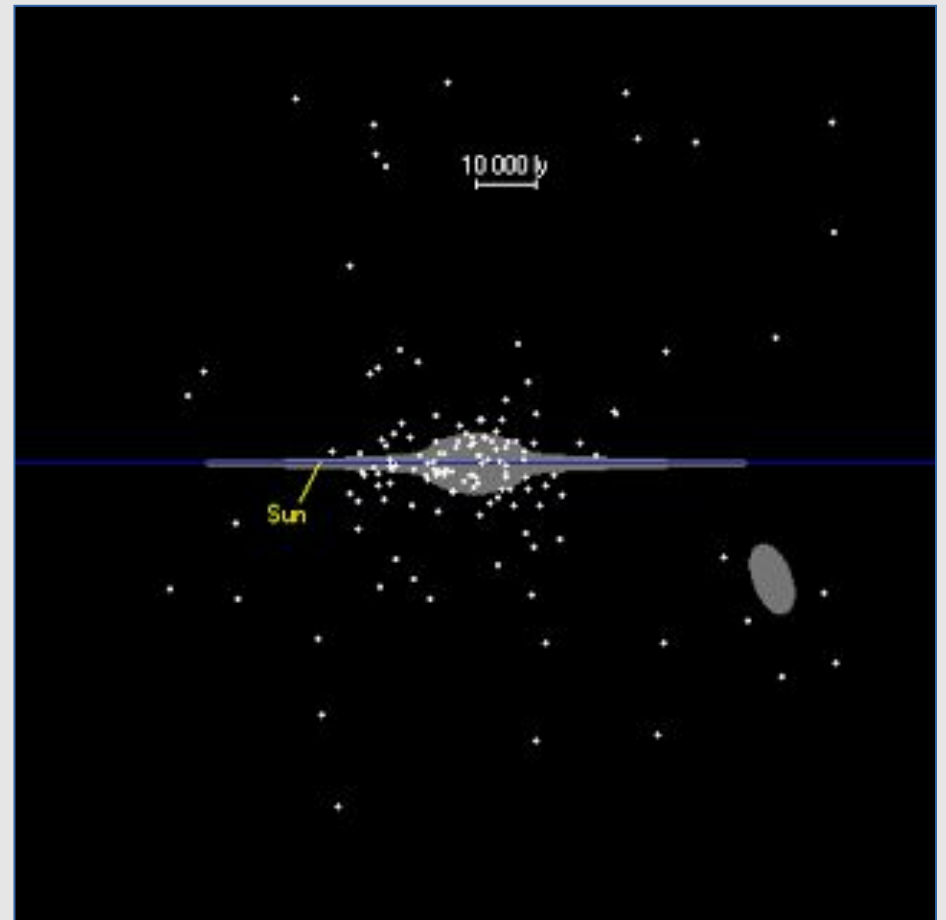
- Aproximadamente esféricos o levemente elípticos
- Formados por **decenas-cientos de miles** de **estrellas viejas** de baja metalicidad.
- La vía láctea tiene ~ **180 CGs**
- Rodean el centro de la Vía Láctea en el **halo**
- Sus edades típicas son de ~ 13 mil millones de años ( $\sim 1.3 \cdot 10^{10}$  yr), apenas 700-800 millones de años más jóvenes que el Big-Bang.



# Cúmulos Globulares

El primero descubierto fue M22, en la constelación de Sagitario (hacia el centro galáctico). Casi todos los CGs se ven en esa dirección, ya que rodean el centro de la Vía Láctea en el halo.

Los primeros mapas de CGs mostraron que el Sol no estaba en el centro de nuestra galaxia, ya que no están alrededor nuestro sino alrededor de un punto situado a 27 mil años-luz, en dirección a la constelación de Sagitario → el centro de la Vía Láctea



# Cúmulos Abiertos

- Se sitúan **muy cerca del plano** de simetría de la galaxia. La mayoría de ellos se hallan casi exactamente en este plano.
- **Estrellas relativamente jóvenes** a muy jóvenes, de **alta metalicidad**.
  - Es raro encontrar gigantes rojas y amarillas; faltan supergigantes rojas.
  - En cambio las gigantes blancas y azules, aunque son poco frecuentes, son importantes en un cúmulo abierto.
- De 50 a varios cientos de estrellas (en algunos casos miles).
- Se estima que en la Vía Láctea hay ~10 mil cúmulos abiertos
- No se observan de más de varios miles de millones de años, ya que la galaxia los disuelve antes, haciéndolos irreconocibles.

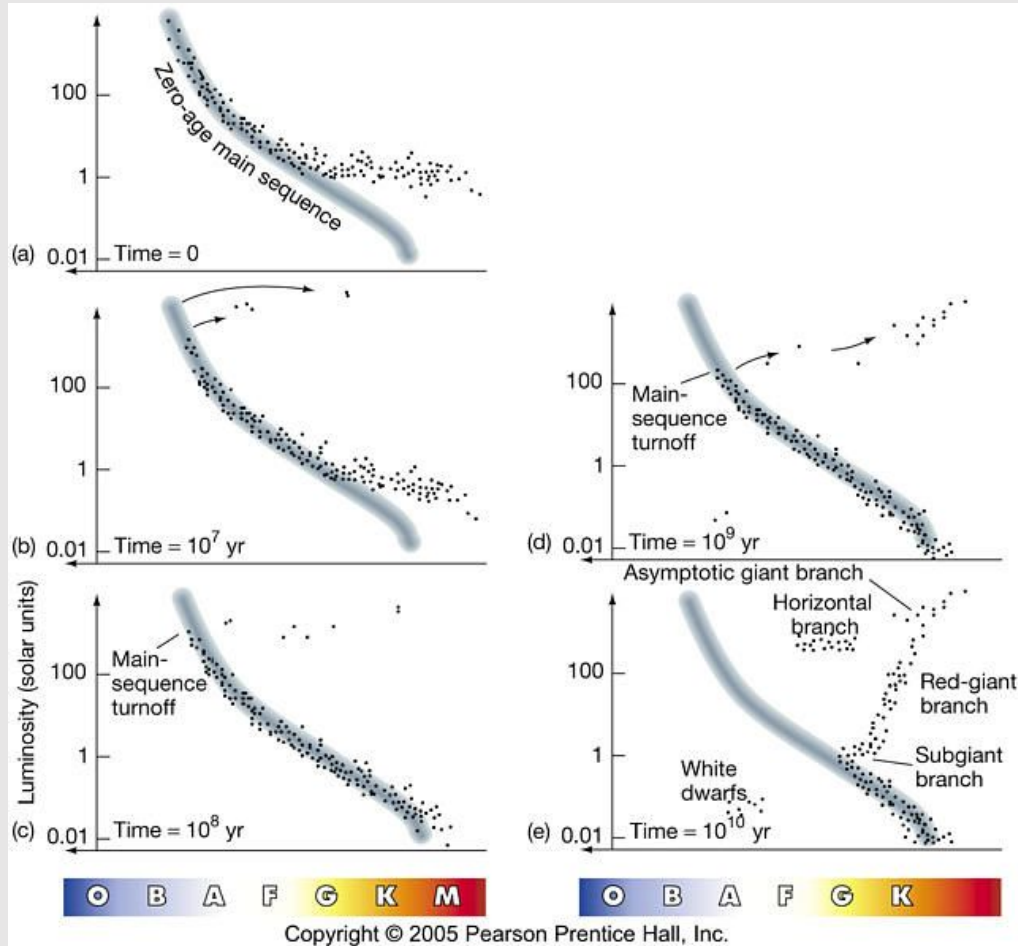


# Cúmulos y Evolución Estelar

Los cúmulos, abiertos y globulares son buenas herramientas para comprender la evolución estelar.

- En ellos se descubrió, por medio de sus diagramas HR, que las estrellas más masivas viven menos tiempo
- Como todas las estrellas del cúmulo tienen  $\sim$  la misma edad (nacieron juntas) entonces puede verse que las más masivas evolucionan más rápidamente que las menos masivas.

# Diagrama HR de cúmulos



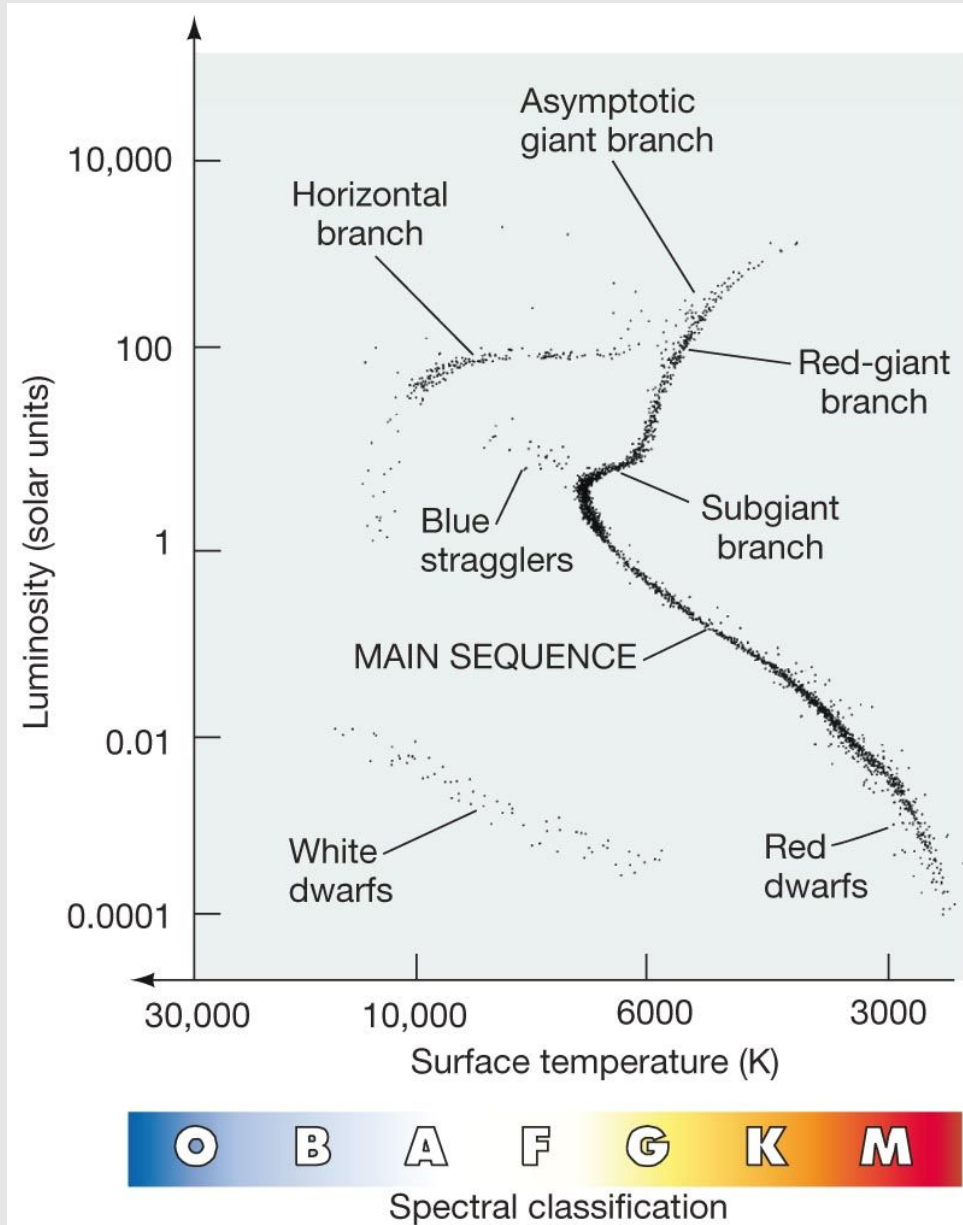
**Cúmulo joven** → mayoría de sus estrellas en la secuencia principal.

**Cúmulo de edad intermedia** → las estrellas más luminosas comienzan a salir de la secuencia.

**Cúmulos globulares (muy viejos)** → ya casi todas las estrellas salieron de la SP. Hay enanas blancas



# Diagrama HR de cúmulos



## Diagrama HR del cúmulo globular M80

- Cada punto representa una estrella del cúmulo
- Edad del cúmulo ~ 12 mil millones de años (12 Gyr)
- Las estrellas como el sol y más masivas ya salieron de la secuencia principal



## evolución del diagrama HR de un cúmulo

$10^6 \text{y}$

*estrellas con  $1M_{\odot}$  no llegaron a la SP*

$10^7 \text{y}$

*estrellas con  $1M_{\odot}$  recién llegaron a la SP  
estrellas con  $20M_{\odot}$  están dejando la SP*

$10^8 \text{y}$

*estrellas con  $m > 5M_{\odot}$  dejaron la SP*

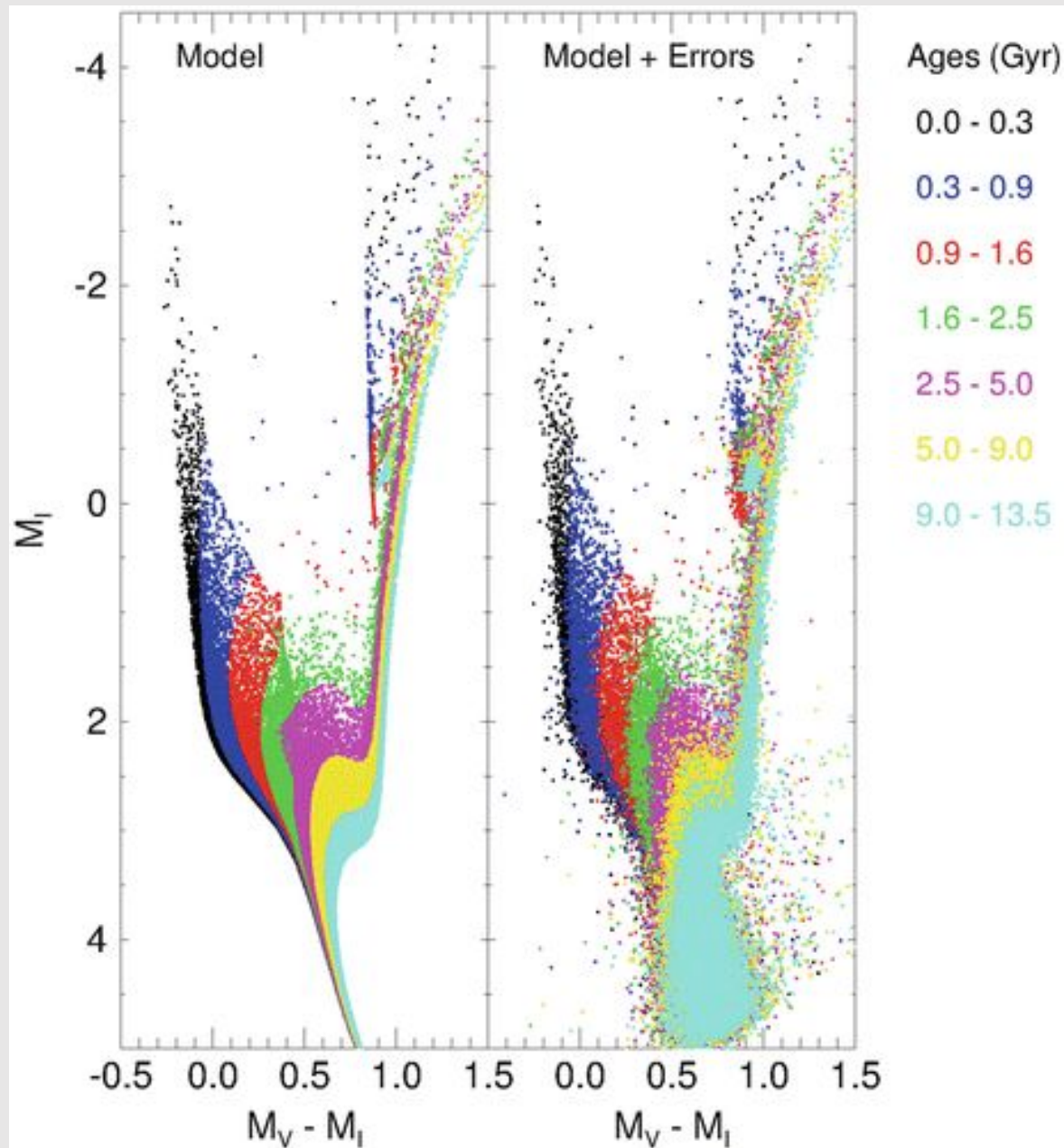
$10^9 \text{y}$

*estrellas con  $m > 2-3M_{\odot}$  dejaron la SP*

$10^{10} \text{y}$

*la mayoría de las estrellas dejaron la SP*

# Evolución del diagrama HR de un cúmulo



# Diagrama HR

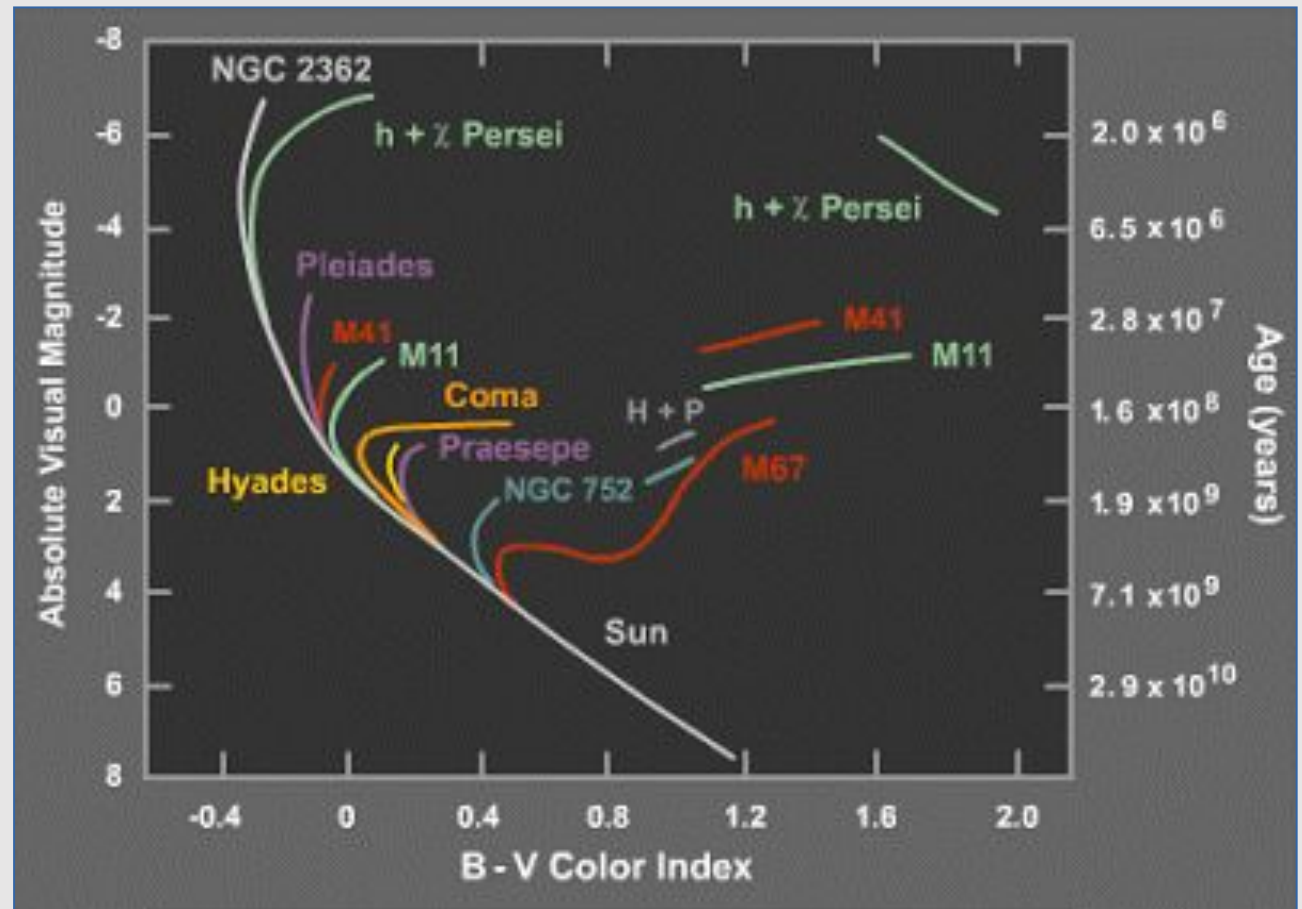
## cúmulos abiertos

Diagrama HR de varios cúmulos abiertos.

El lugar donde las estrellas del cúmulo se separan de la Secuencia Principal (Turn Off point) nos da la edad del Cúmulo.

¿Cuál es el más joven?

¿Cuál el más viejo?



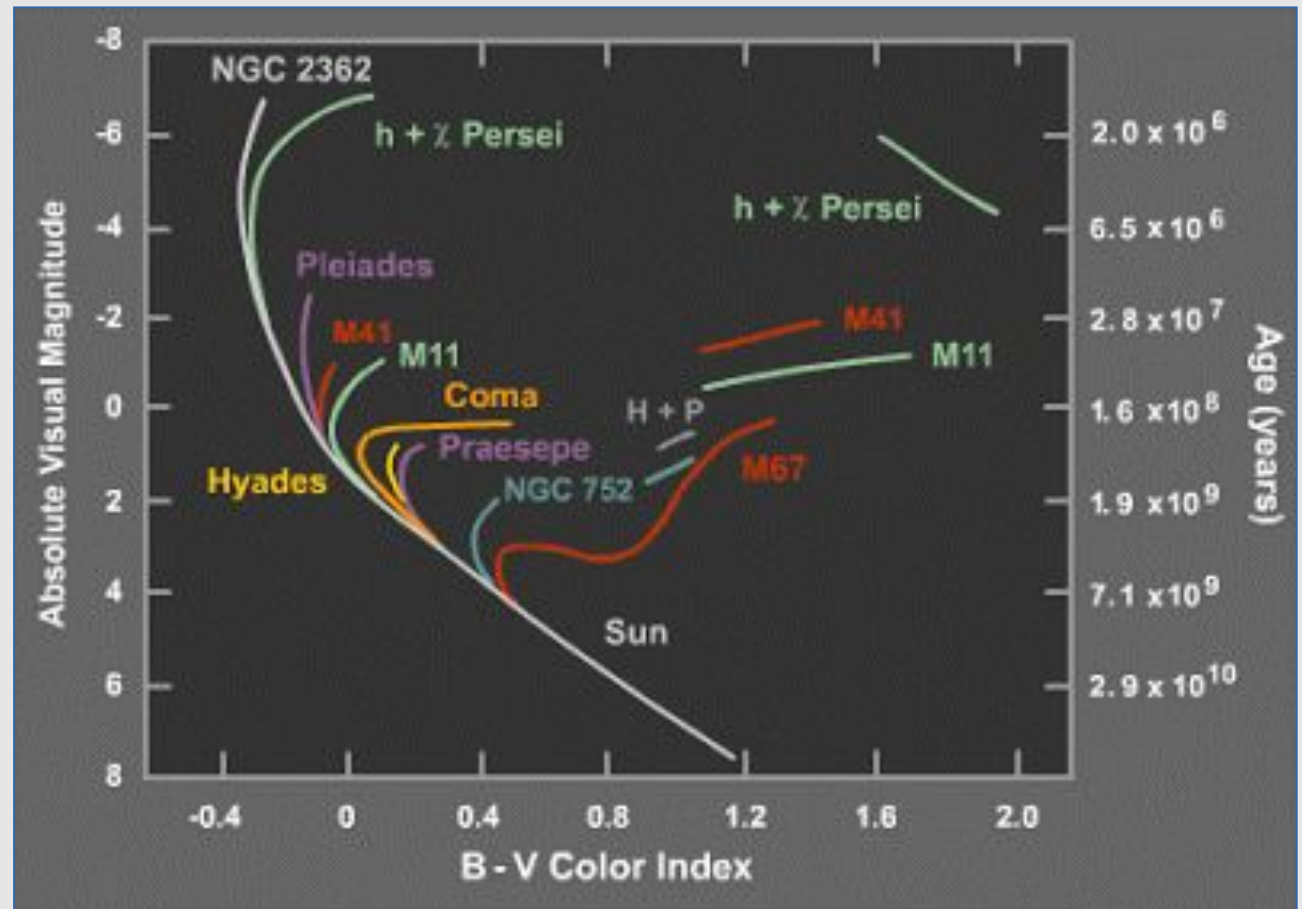


# Diagrama HR

## cúmulos abiertos

Diagrama HR de varios cúmulos abiertos.

El lugar donde las estrellas del cúmulo se separan de la Secuencia Principal (**Turn Off** point) nos da la edad del Cúmulo.

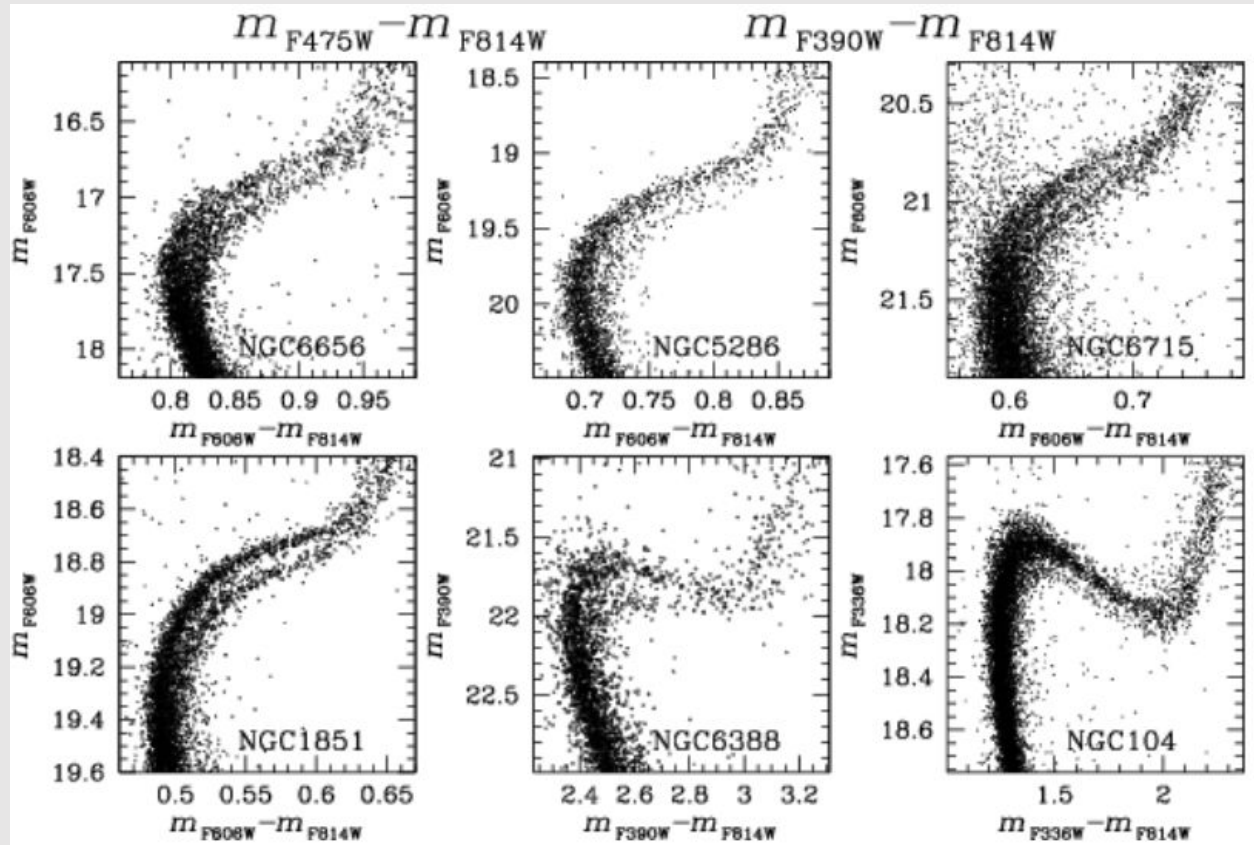


NGC 2362 ~ 4-5 Myr

M67 tiene ~ 3Gyr

# Diagrama HR

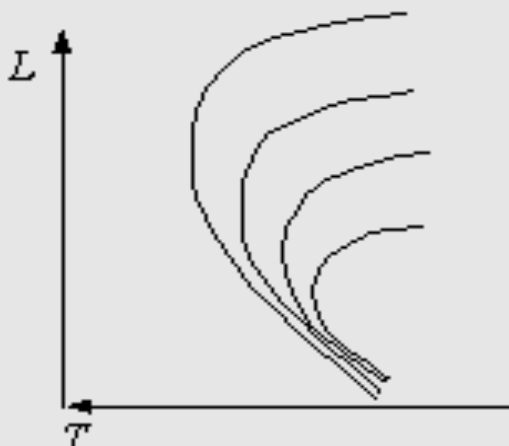
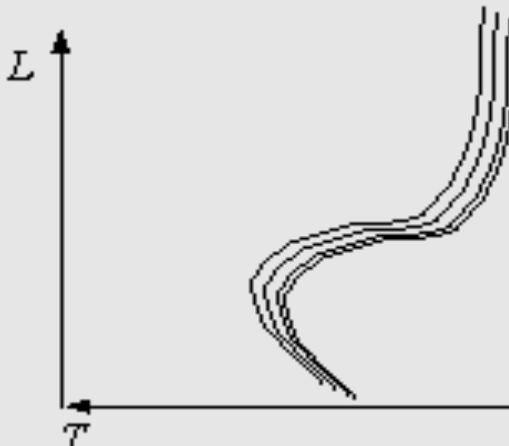
## cúmulos globulares



Actualmente se sabe que en los CGs NO existe una única población. Hay poblaciones de diferente edad y metalicidad (pero no demasiado) visibles en los diagramas HR

Piotto et.al (2010), Milone et al. (2008, 2010), Anderson et al.(2009)

# Resumen

	OPEN (GALACTIC) CLUSTERS	GLOBULAR CLUSTERS
Morphology	Loose, irregular collections of stars	Dense, spherically symmetric distribution of stars
Membership	$\sim 10^2$ stars, plus gas	$\sim 10^5 - 10^6$ stars, no gas
Distribution	restricted to galactic plane	roughly spherical distribution around Milky Way
H-R Diagram	 <p>The diagram shows a coordinate system with luminosity (L) on the vertical axis and temperature (T) on the horizontal axis. Five distinct curves are plotted, each representing the evolutionary track of an open cluster. All curves start at high temperatures and low luminosities (bottom right), curve upwards and to the left, and then turn back towards the right at higher luminosities. The turn-off points, where the stars leave the main sequence, occur at various temperatures and luminosities, indicating a wide variety of ages and masses.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— all show main sequence</li> <li>— wide variety of turn-off points</li> </ul>	 <p>The diagram shows a coordinate system with luminosity (L) on the vertical axis and temperature (T) on the horizontal axis. Five distinct curves are plotted, representing the evolutionary tracks of globular clusters. These curves are much more tightly grouped than those of open clusters. They all show a very similar pattern: a short main sequence, a sharp turn-off to the red giant branch, and then a steep ascent towards high luminosities. The turn-off points are very similar in temperature and luminosity for all clusters, indicating they are all very old and have similar masses.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— all show short main sequence</li> <li>— all have very similar turn-off points</li> </ul>