

Sistemas Estelares

curso 2016

Cúmulos abiertos

Imágenes y gráficos de apoyo a las clases

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Profesor Asociado: Dr. Sergio A. Cellone

Esto no es un apunte de clases

Temario

- 1 Generalidades
 - Descripción
 - Catálogos y clasificación
 - Métodos cuantitativos de identificación de CA
- 2 Diagrama Color – Magnitud
 - Distancias
 - Edades y metalicidades
- 3 Distribución espacial - Historia evolutiva
 - Coordenadas Galácticas
 - Distribuciones en edad y metalicidad
 - Brazos espirales
- 4 Funciones de Luminosidad y de Masa
 - Función de Luminosidad en CA
 - Parametrizaciones de la FIM

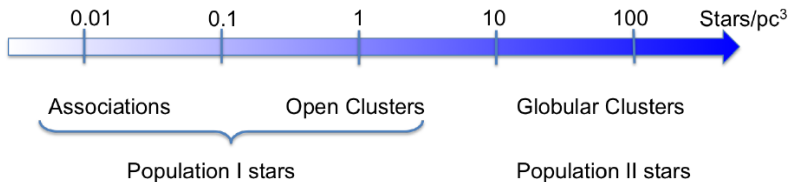
Cúmulos abiertos

- 1 Generalidades
 - Descripción
 - Catálogos y clasificación
 - Métodos cuantitativos de identificación de CA
- 2 Diagrama Color – Magnitud
 - Distancias
 - Edades y metalicidades
- 3 Distribución espacial - Historia evolutiva
 - Coordenadas Galácticas
 - Distribuciones en edad y metalicidad
 - Brazos espirales
- 4 Funciones de Luminosidad y de Masa
 - Función de Luminosidad en CA
 - Parametrizaciones de la FIM

Descripción

Distintas agrupaciones estelares

Asociaciones estelares, cúmulos abiertos, cúmulos globulares



(Estelle Moraux, 2016, ArXiv:1607.00027)

Las estrellas se forman en grupos de $10 \rightarrow 10^5$ individuos

Se conocen actualmente:

- ~ 80 asociaciones OB
- ≥ 2000 CA

M 45 (\equiv Melotte 22) - “Las Pléyades”



$$N_{\star} > 600$$

$$d = 150 \text{ pc}$$

$$t = 135 \times 10^6 \text{ años}$$

Imágenes ópticas

Collinder 50 (\equiv Melotte 25) - “Las Híades”



$$N_{\star} \approx 200$$

$$d = 45 \text{ pc}$$

$$t = 790 \times 10^6 \text{ años}$$

$$m_V = 0.5 \text{ (mag)}$$

$$\phi = 330'$$

(©Babak Tafreshi - la imagen incluye a las Pléyades y al planeta Venus)

Imágenes ópticas

Collinder 50 (\equiv Melotte 25) - “Las Híades”



$$N_{\star} \approx 200$$

$$d = 45 \text{ pc}$$

$$t = 790 \times 10^6 \text{ años}$$

$$m_V = 0.5 \text{ (mag)}$$

$$\phi = 330'$$

(©Jerry Lodriguss - la imagen incluye al cúmulo abierto NGC 1647)

$$\phi = 330'$$

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ≡ ≡ ≡ ↺ 🔍 ↻

The Big Dipper

David Greiner, Wierzbicki@rednet.com
 Canon EOS 5D and 17.4k zoom lens at f/4, exposures at 15", 1.000 ISO, 4000 ISO
 1.5-2.0 arcsec, 10-150 arcmin

$$\phi \simeq 23^\circ$$

Imágenes ópticas



M 39

Imágenes ópticas

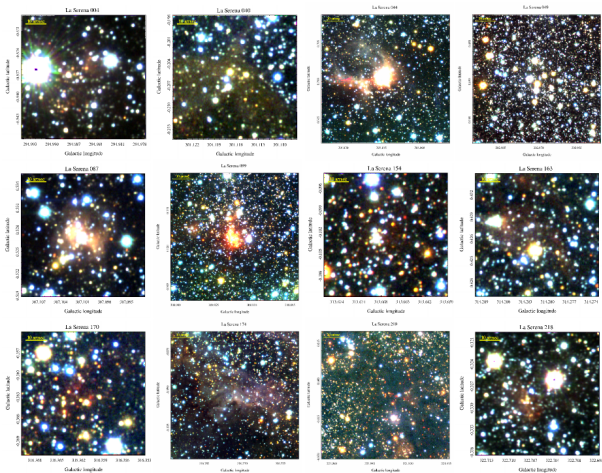


M 7

Descripción

Imágenes en otras frecuencias

Infrarrojo cercano (*J*, *H*, *K*)

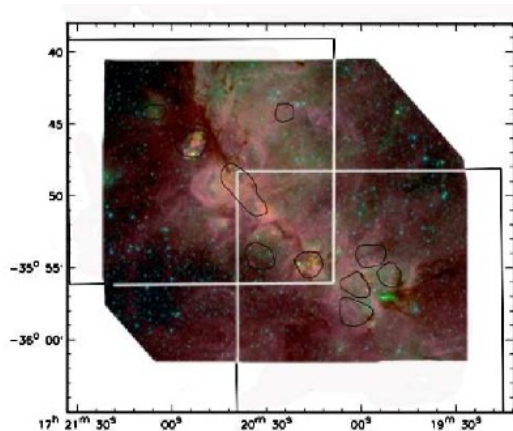


(Barbá et al. 2015, A&A, 581, A120)

Descripción

Imágenes en otras frecuencias

IR medio (Spitzer)



NGC 6334

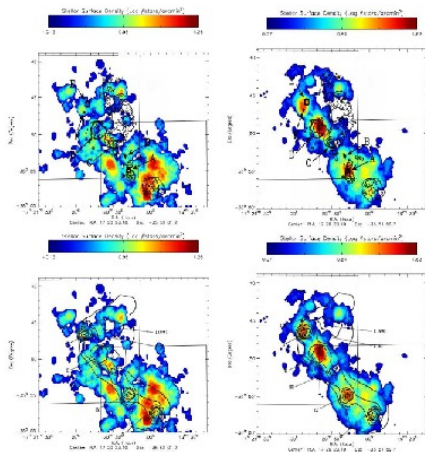
(Feigelson et al. 2009)

Fig. 7. Spitzer GLIMPSE map with the X-ray fields and cluster superposed. Here the 3.6μm, 5.6μm, and 8μm intensities are represented as blue, green and red, respectively. 7

Descripción

Imágenes en otras frecuencias

X – IR – Radio (Chandra – Spitzer – VLA)



NGC 6334

(Feigelson et al. 2009)

Fig. 6. The X-ray source map superposed on long-wavelength maps. Top: an 18-cm radio continuum map by Sarma et al. (2000). Bottom: a 71 μ m far infrared map by Loughran et al. (1996). The left and right panels show the soft and hard X-ray stellar surface density maps, respectively.

Descripción

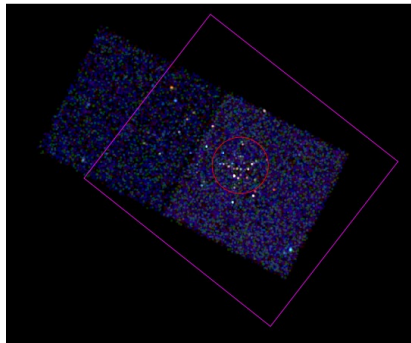
Imágenes en otras frecuencias

Rayos-X



NGC 7129 (óptico)

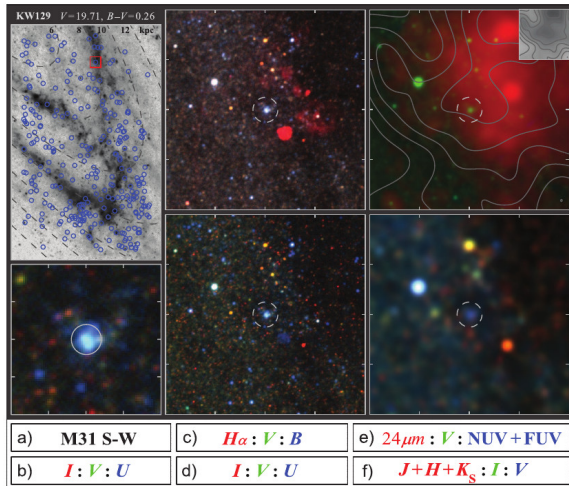
(Bob and Janice Fera)

NGC 7129 (*Chandra*)

(Stelzer & Scholz 2009)

Descripción

CA en M 31



Cúmulo abierto en
M 31, con Subaru

(Narbutis, D. et al. 2008,
ApJS, 177, 174)

b) $15'' \times 15''$,

c)-f) $80'' \times 80''$

M31: $d = 834$ kpc

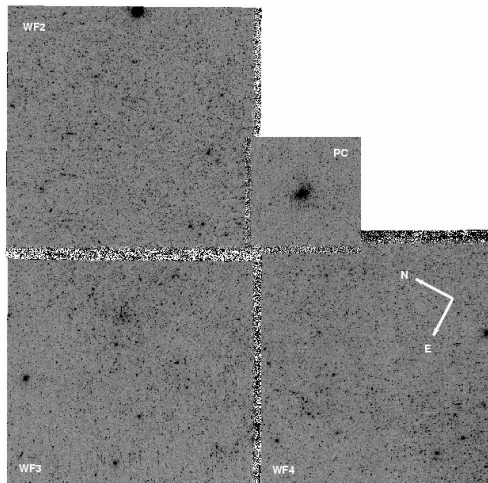
$\rightarrow 15'' \equiv 60$ pc

CA en M31



Cúmulos abiertos en M31, con HST

(Hodge et al. 2009, AJ, 138, 770)



(Perina et al. 2009, A&A, 494, 933)

PC (planetary camera):
 $34'' \times 34'' \equiv 14 \times 14 \text{ pc}$

Historia

En el canto XVIII de *La Ilíada*, Homero relata la fabricación de las armas de Aquiles, por parte de Hefesto. Éste grabó figuras artísticas en el escudo, poniendo allí “*la tierra, el cielo, el mar, el sol infatigable y la luna llena; allí las estrellas que el cielo coronan, las Pléyades, las Híades, el robusto Orión y la Osa, llamada por sobrenombre el Carro, la cual gira siempre en el mismo sitio, mira a Orión y es la única que deja de ba narse en el océano.*”

Características básicas

$$\begin{array}{llll}
 N_{\star} & \sim 10^1 & \rightarrow & \sim 10^3 \\
 M_V & -3 & \rightarrow & -9 \text{ (mag)} \\
 D & 10^0 \text{ pc} & \rightarrow & 10^1 \text{ pc (típico: 5pc)} \\
 \rho_{\star} & 0.1 \text{ pc}^{-3} & \rightarrow & 10^3 \text{ pc}^{-3}
 \end{array}$$

Cúmulos abiertos

poco compactos

pocas estrellas

contienen estrellas jóvenes

≠

Cúmulos globulares

compactos

muchas estrellas

dominados por gigantes rojas

Características básicas

$$\begin{array}{llll}
 N_{\star} & \sim 10^1 & \rightarrow & \sim 10^3 \\
 M_V & -3 & \rightarrow & -9 \text{ (mag)} \\
 D & 10^0 \text{ pc} & \rightarrow & 10^1 \text{ pc (típico: 5pc)} \\
 \rho_{\star} & 0.1 \text{ pc}^{-3} & \rightarrow & 10^3 \text{ pc}^{-3}
 \end{array}$$

Cúmulos abiertos

poco compactos

pocas estrellas

contienen estrellas jóvenes

≠

Cúmulos globulares

compactos

muchas estrellas

dominados por gigantes rojas

Clasificación

Trumpler, 1930: Lick Obs. Bull. 14, 154

Grado de concentración: $I (+) \dots IV (-)$

Rango en el brillo de las estrellas: 1 (menor) \dots 3 (mayor)

Riqueza:

$p (N_{\star} < 50)$

$m (50 < N_{\star} < 100)$

$r (N_{\star} > 100)$

Nebulosidad: n (sufijo)

Clasificación

Trumpler, 1930: Lick Obs. Bull. 14, 154

Grado de concentración: $I(+)$... $IV(-)$

Rango en el brillo de las estrellas: 1 (menor) ... 3 (mayor)

Riqueza:

$p(N_{\star} < 50)$

$m(50 < N_{\star} < 100)$

$r(N_{\star} > 100)$

Nebulosidad: n (sufijo)



Ej.: Pléyades \rightarrow $I.3r,n$

Catálogos – bases de datos

VizieR: <http://vizier.u-strasbg.fr>
→ (de todo)

WEBDA: <http://obswww.unige.ch/webda>
→ (sólo CA)

Último catálogo:

New catalog of optically visible open clusters and candidates

(Dias et al. 2002, A&A, 389, 871)

Catálogo de CA de la Vía Láctea (enero/2016: 2167 CA).

<http://www.astro.iag.usp.br/~wilton/>

148 candidatos eliminados (entre ellos 49 objetos NGC)

Catálogos – bases de datos

Rangos de propiedades de > 2100 CA en el catálogo de Dias et al. (2002)

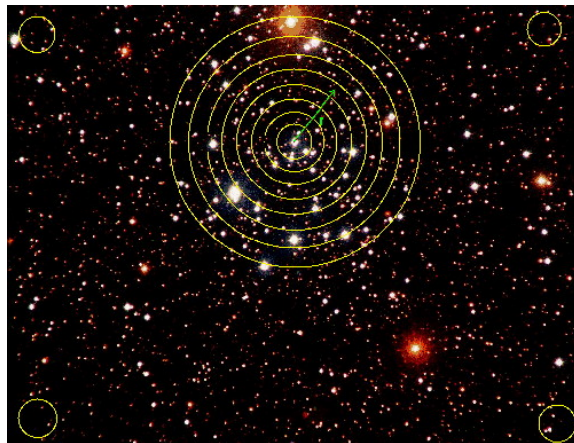
$$\begin{aligned}
 25 \text{ pc} &\leq d^{\dagger} \leq 15 \text{ kpc} \\
 12'' &\leq \phi^{\ddagger} \leq 948' \\
 1 \text{ Myr} &\leq t \leq 12 \text{ Gyr} \\
 -0.84 &\leq [\text{Fe}/\text{H}]^{\star} \leq 0.46
 \end{aligned}$$

†: cúmulos $d \leq 100 \text{ pc}$; 14 cúmulos $100 \text{ pc} < d \leq 200 \text{ pc}$.

‡: excepto Collinder 285 (Grupo Osa mayor), $\phi = 23^\circ$.

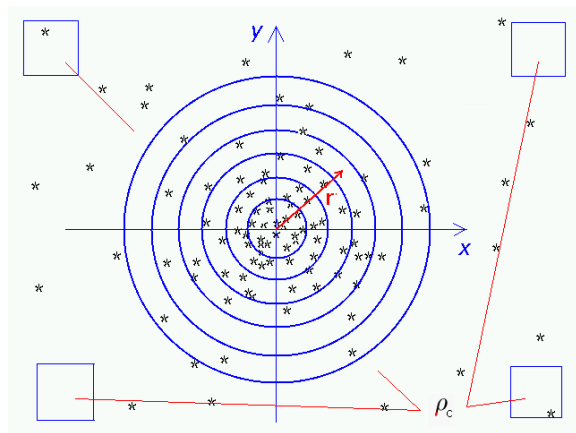
★: 2 cúmulos con $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.0$

Conteos



M50

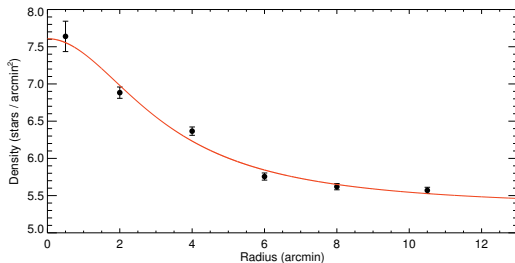
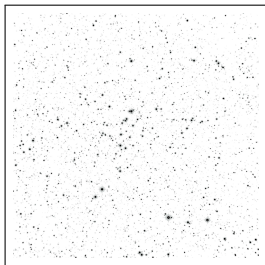
Conteos



Métodos cuantitativos de identificación de CA

Perfil radial

Densidad estelar en función de la distancia al centro



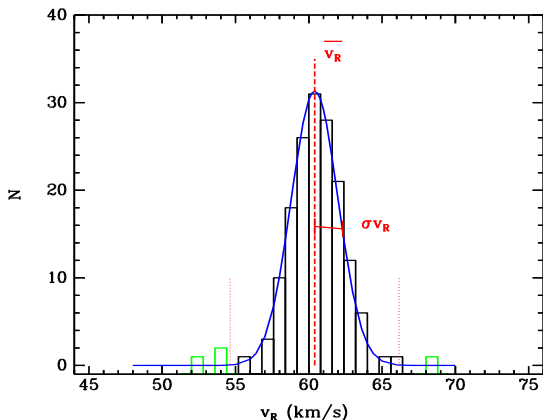
NGC 6866

(Bostanci et al. 2015, MNRAS, 453, 1095)



(Tofflemire, et al. 2014, AJ, 148, 61)

Velocidades radiales



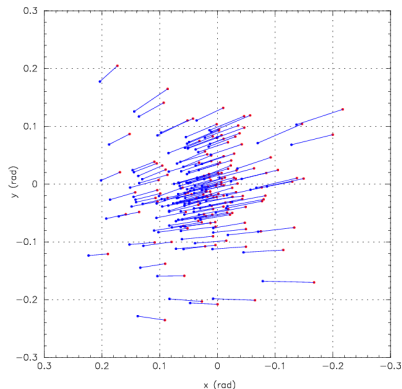
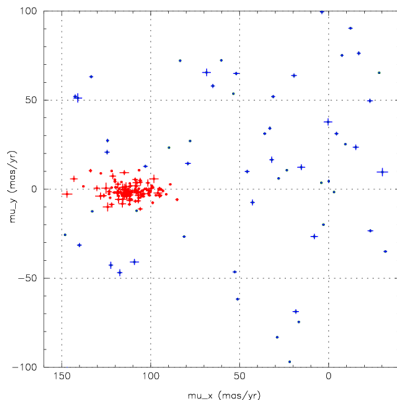
Distribución esquemática de velocidades radiales

Velocidades radiales

Criterio de pertenencia:

$$v_{R0} - 3\sigma_{v_R} < v_R^* < v_{R0} + 3\sigma_{v_R} \Rightarrow * \in \text{al CA.}$$

Movimientos propios



Mapa de movimientos propios para las Híades

(van Leeuwen, 2009, A&A, 497, 209)

Movimientos propios

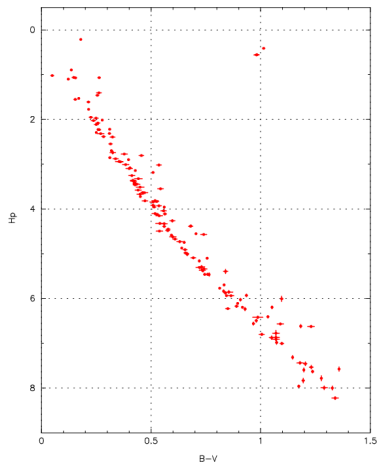
Criterio de pertenencia:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{\alpha}^0 - 3\sigma_{\mu_{\alpha}} < \mu_{\alpha}^* < \mu_{\alpha}^0 + 3\sigma_{\mu_{\alpha}} \\ \mu_{\delta}^0 - 3\sigma_{\mu_{\delta}} < \mu_{\delta}^* < \mu_{\delta}^0 + 3\sigma_{\mu_{\delta}} \end{array} \right.$$

Cúmulos abiertos

- 1 Generalidades
 - Descripción
 - Catálogos y clasificación
 - Métodos cuantitativos de identificación de CA
- 2 Diagrama Color – Magnitud
 - Distancias
 - Edades y metalicidades
- 3 Distribución espacial - Historia evolutiva
 - Coordenadas Galácticas
 - Distribuciones en edad y metalicidad
 - Brazos espirales
- 4 Funciones de Luminosidad y de Masa
 - Función de Luminosidad en CA
 - Parametrizaciones de la FIM

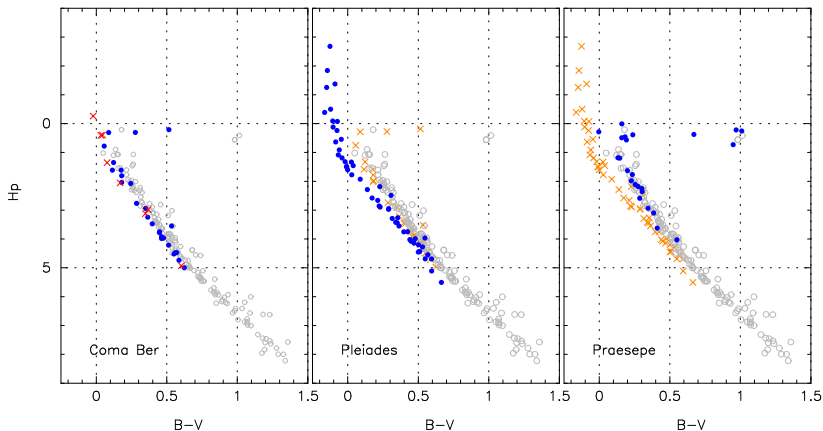
Diagrama Color – Magnitud



Las Híades

Datos de *Hipparcos* (van Leeuwen, 2009, A&A, 497, 209)

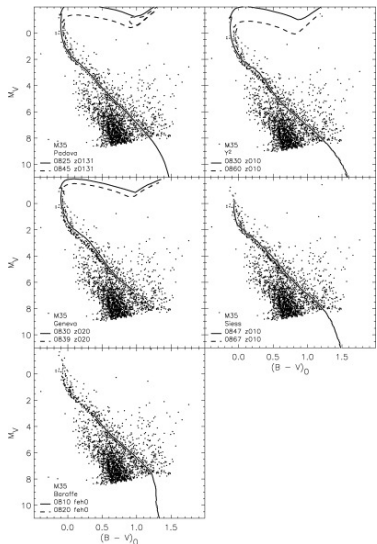
Diagrama Color – Magnitud



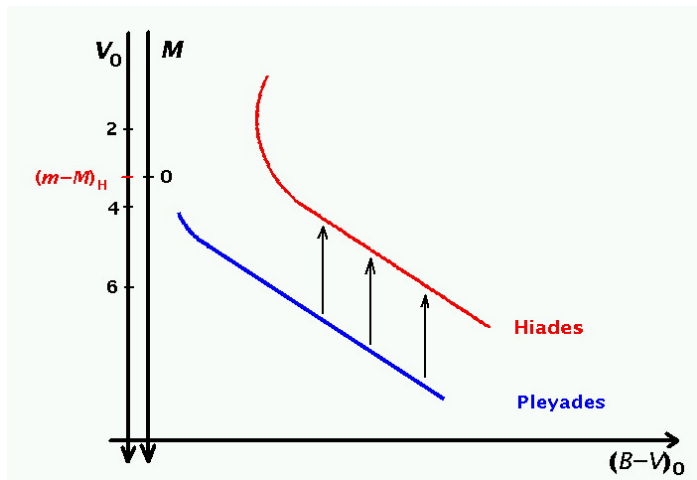
Círculos vacíos: Híades

Datos de *Hipparcos* (van Leeuwen, 2009, A&A, 497, 209)

Diagrama Color – Magnitud



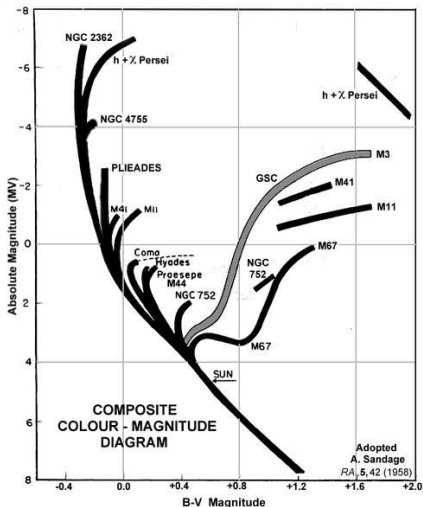
Ajuste de secuencia principal





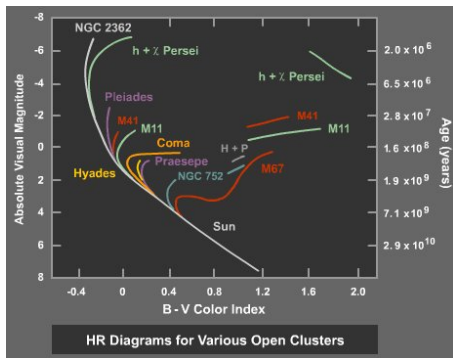
Edades y metalicidades

Diagrama CM según la edad



Edades y metalicidades

Diagrama CM según la edad

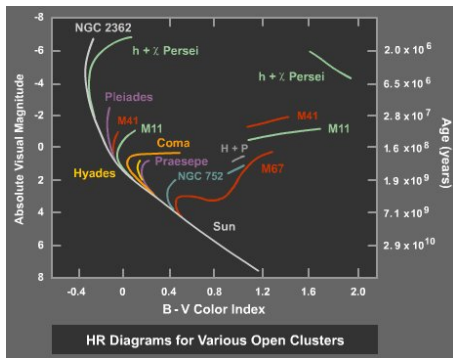


NGC 2362

(jthommes.com/Astro/NGC2362.htm)

Edades y metalicidades

Diagrama CM según la edad

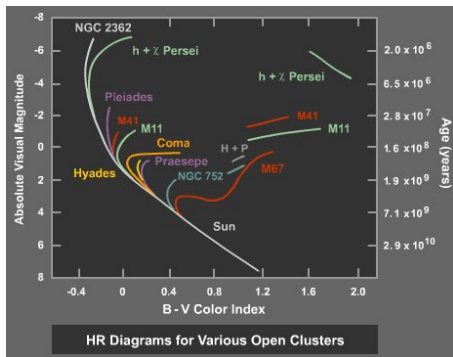


h + χ Persei

(www.celestronimages.com)

Edades y metalicidades

Diagrama CM según la edad

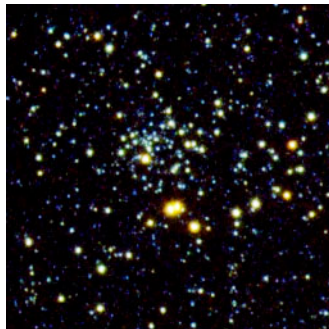
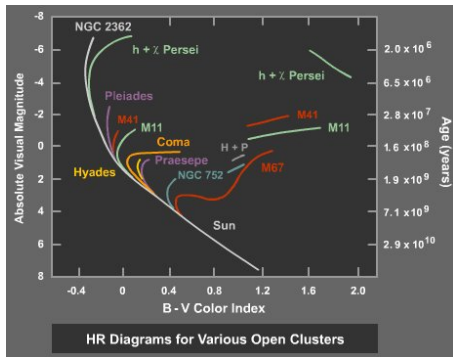


M 11

(rst.gsfc.nasa.gov)

Edades y metalicidades

Diagrama CM según la edad

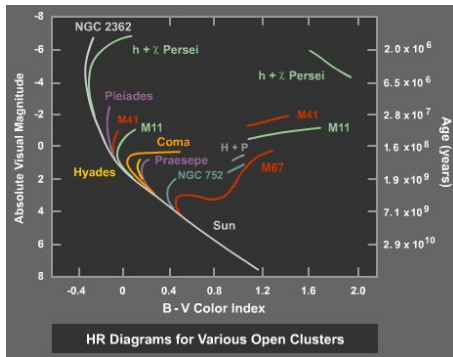


NGC 752

(www.allthesky.com)

Edades y metalicidades

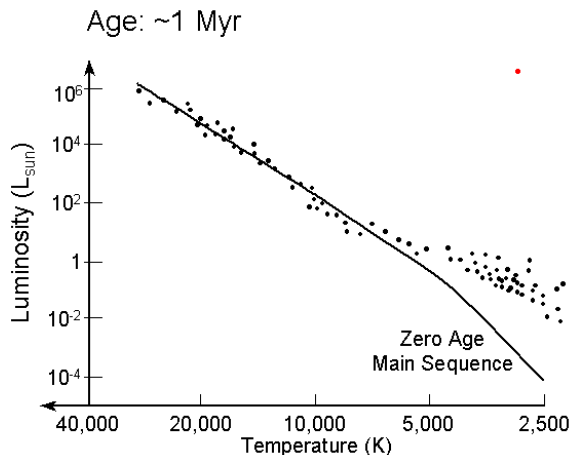
Diagrama CM según la edad



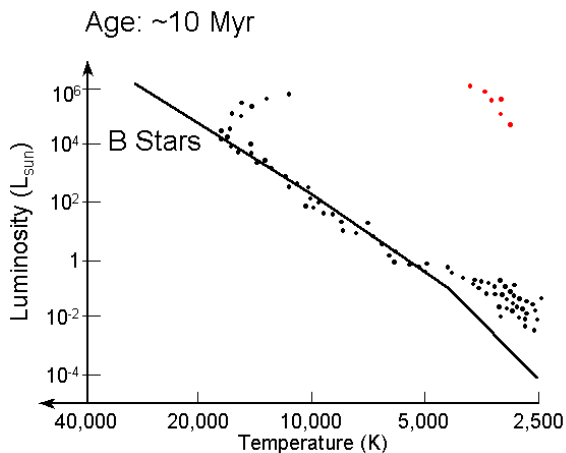
M67 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -0.15$)

(www.waid-observatory.com)

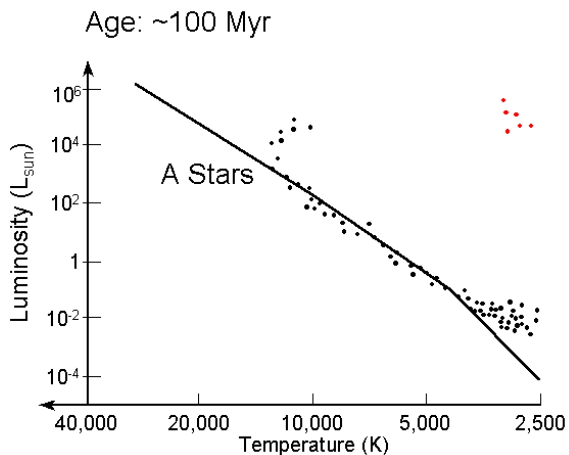
Cúmulos abiertos y evolución estelar



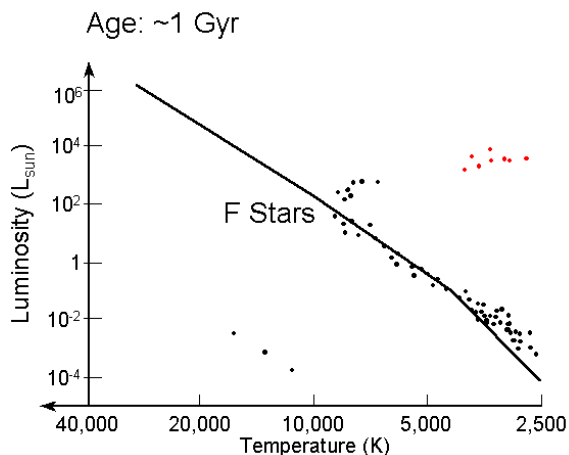
Cúmulos abiertos y evolución estelar



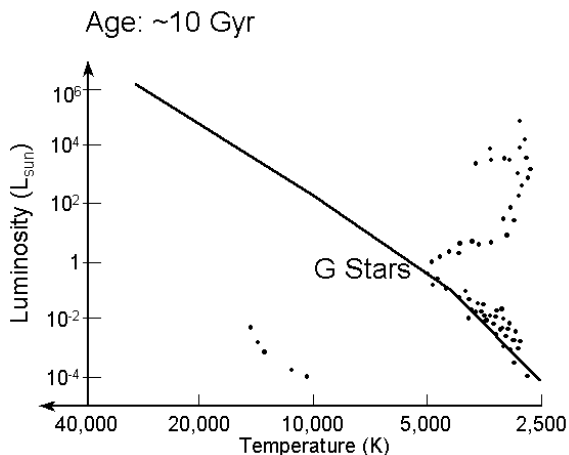
Cúmulos abiertos y evolución estelar



Cúmulos abiertos y evolución estelar



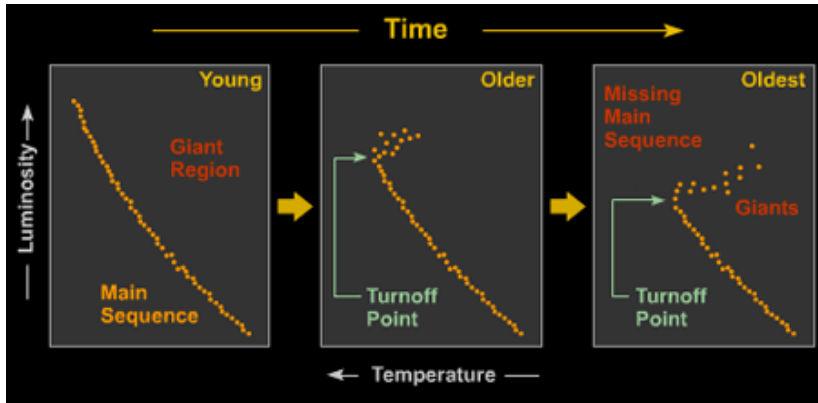
Cúmulos abiertos y evolución estelar



Edades y metalicidades

Diagrama CM según la edad y la metalicidad

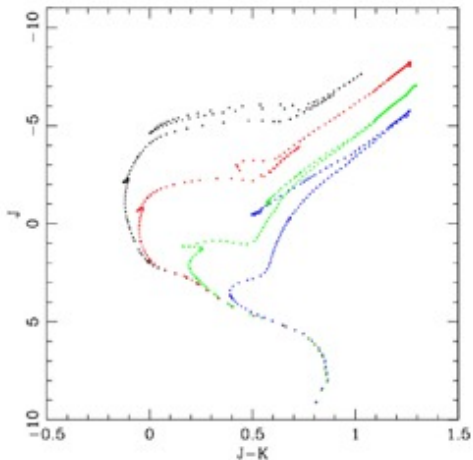
Efectos de la edad



Edades y metalicidades

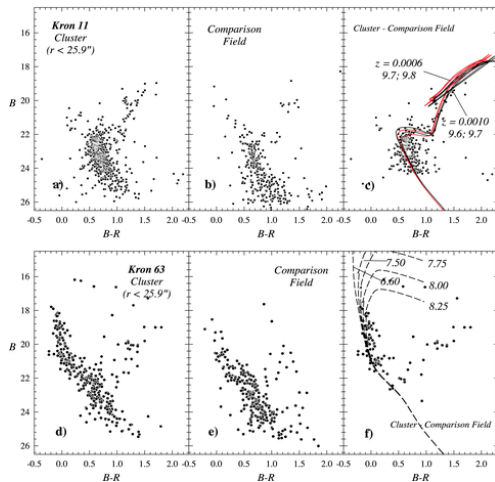
Diagrama CM según la edad y la metalicidad

Efectos de la metalicidad



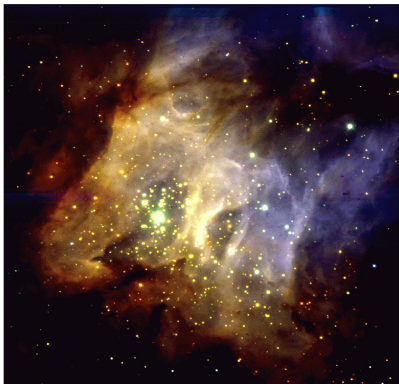
Edades y metalicidades

Ajuste de isocronas



(G. Baume et al. 2008, MNRAS, 390, 1683)

Formación estelar



IR Colour Composite of RCW38 Region
(VLT UT1 + ISAAC)



Edades y metalicidades

Formación estelar

Objetos Herbig-Haro

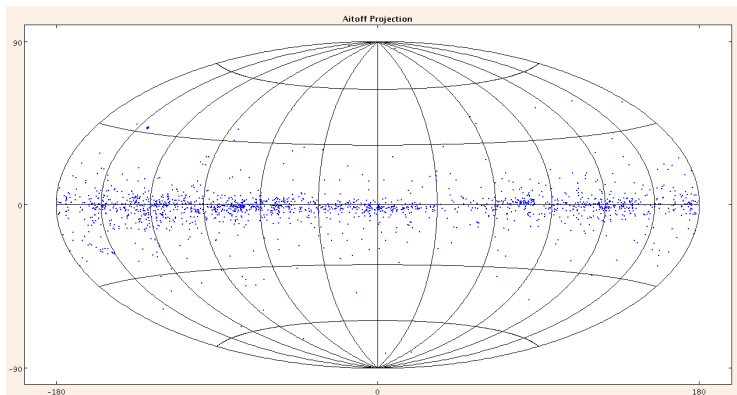


Cúmulos abiertos

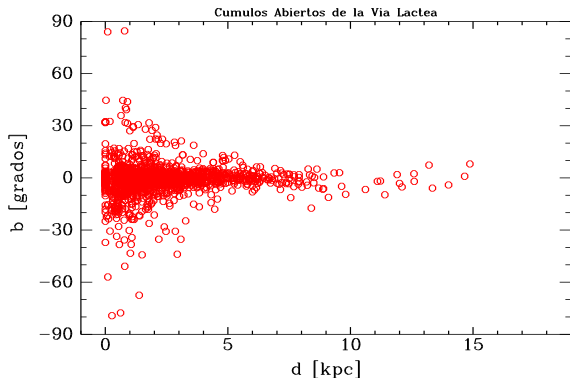
- 1 Generalidades
 - Descripción
 - Catálogos y clasificación
 - Métodos cuantitativos de identificación de CA
- 2 Diagrama Color – Magnitud
 - Distancias
 - Edades y metalicidades
- 3 Distribución espacial - Historia evolutiva
 - Coordenadas Galácticas
 - Distribuciones en edad y metalicidad
 - Brazos espirales
- 4 Funciones de Luminosidad y de Masa
 - Función de Luminosidad en CA
 - Parametrizaciones de la FIM



Distribución espacial

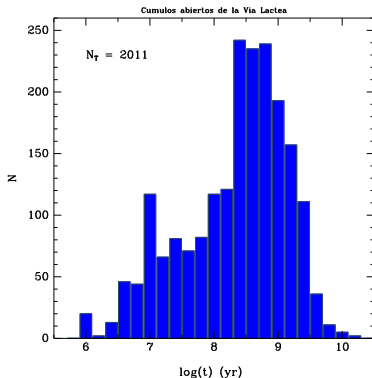


Distribución espacial

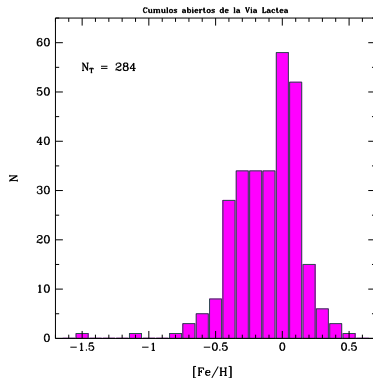


Distribuciones en edad y metalicidad

Distribuciones en edad y metalicidad



edad



metalicidad

Distribuciones en edad y metalicidad

(Falta de) relación edad - metalicidad

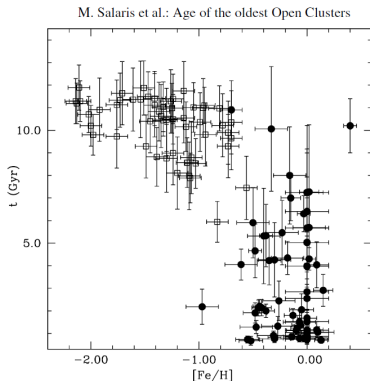
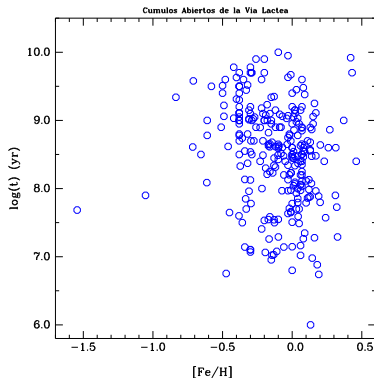


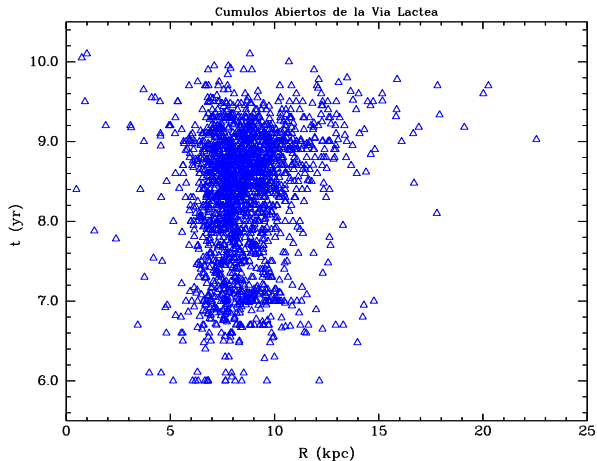
Fig. 10. Age distribution as a function of $[Fe/H]$ for the clusters analyzed in this study (filled circles) and the GCs studied by SW02 (open squares).



Distribuciones en edad y metalicidad

Gradientes de edad y de metalicidad

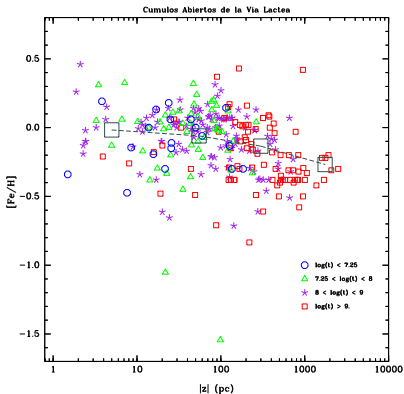
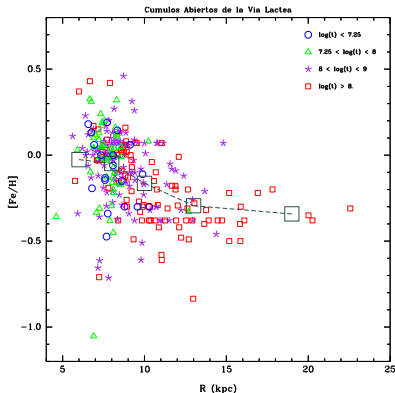
Edad en función de la distancia al centro Galáctico



Distribuciones en edad y metalicidad

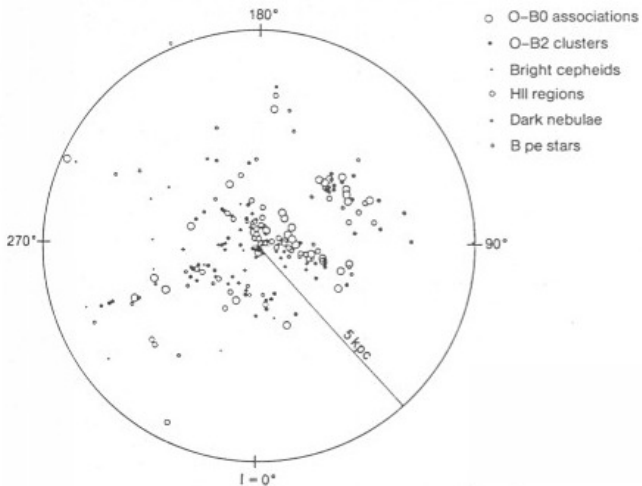
Gradientes de edad y de metalicidad

Metalicidad en función de la distancia al centro Galáctico y altura sobre el plano



Brazos espirales

Brazos espirales



Cúmulos abiertos

- 1 Generalidades
 - Descripción
 - Catálogos y clasificación
 - Métodos cuantitativos de identificación de CA
- 2 Diagrama Color – Magnitud
 - Distancias
 - Edades y metalicidades
- 3 Distribución espacial - Historia evolutiva
 - Coordenadas Galácticas
 - Distribuciones en edad y metalicidad
 - Brazos espirales
- 4 Funciones de Luminosidad y de Masa
 - Función de Luminosidad en CA
 - Parametrizaciones de la FIM

Función de Luminosidad en CA

Funciones de Luminosidad y de Masa

Distrib. observada mag. aparentes \rightarrow distrib. mag. abs.

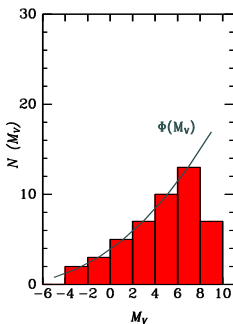
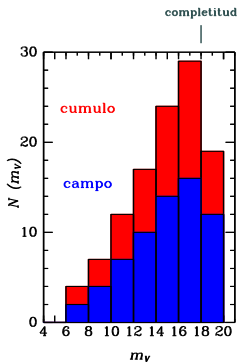
$$N(m_V) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ contaminación p/ } \star \text{ de campo} \\ \bullet \text{ completitud} \\ \bullet \text{ distancia y extinción} \end{array} \right\} \rightarrow \Phi(M_V)$$

Función de Luminosidad en CA

Funciones de Luminosidad y de Masa

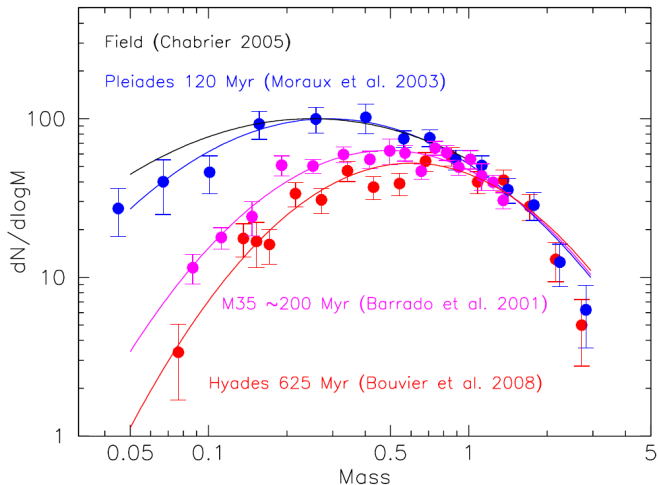
Distrib. observada mag. aparentes \rightarrow distrib. mag. abs.

$$N(m_V) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ contaminación p/ } \star \text{ de campo} \\ \bullet \text{ completitud} \\ \bullet \text{ distancia y extinción} \end{array} \right\} \rightarrow \Phi(M_V)$$



Funciones de Luminosidad y de Masa

Segregación dinámica



Funciones de Luminosidad y de Masa

Parametrizaciones de la FIM

Salpeter (1955):

$$\Psi_0(\mathcal{M}) \propto \mathcal{M}^{-\alpha} \quad (\alpha = 2.35)$$

(Scalo (1986)): tres valores de α , según rango de masas.

Kroupa, Tout, & Gilmore (1993):

$$\Psi_0(\mathcal{M}) \propto \begin{cases} \mathcal{M}^{-4.5} & , \mathcal{M} > 1M_{\odot} \\ \mathcal{M}^{-2.2} & , 0.5M_{\odot} < \mathcal{M} < 1M_{\odot} \\ \mathcal{M}^{-1.2} & , \mathcal{M} < 0.5M_{\odot} \end{cases}$$

Funciones de Luminosidad y de Masa

Parametrizaciones de la FIM

Salpeter (1955):

$$\Psi_0(\mathcal{M}) \propto \mathcal{M}^{-\alpha} \quad (\alpha = 2.35)$$

(Scalo (1986)): tres valores de α , según rango de masas.

Kroupa, Tout, & Gilmore (1993):

$$\Psi_0(\mathcal{M}) \propto \begin{cases} \mathcal{M}^{-4.5} & , \mathcal{M} > 1\mathcal{M}_{\odot} \\ \mathcal{M}^{-2.2} & , 0.5\mathcal{M}_{\odot} < \mathcal{M} < 1\mathcal{M}_{\odot} \\ \mathcal{M}^{-1.2} & , \mathcal{M} < 0.5\mathcal{M}_{\odot} \end{cases}$$