

Astronomía Extragaláctica

Cap. 8: El Grupo Local de galaxias

Profesor: Favio R. Faifer & Sergio A. Cellone

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

curso 2024

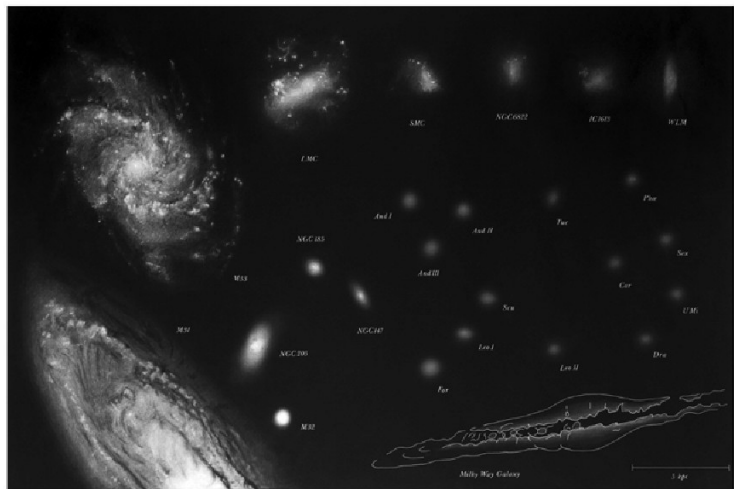
Cap. 8: El Grupo Local de galaxias

- 1 Descripción
- 2 Satélites de la Vía Láctea

Cap. 8: El Grupo Local de galaxias

- 1 Descripción
- 2 Satélites de la Vía Láctea

Galaxias del Grupo Local



Galaxias del Grupo Local

M33



Importancia de estudiar galaxias del LG:

- Distancias generalmente bien determinadas (Cefeidas, RR Lyr, TRGB en los peores casos).
- Poblaciones estelares resueltas $\rightarrow$ estudio de historias evolutivas mediante CMD.
- Población de galaxias típica del Universo local: la mayor parte de las galaxias a $z \sim 0$ se encuentran en grupos poco densos.

Desventaja:

- No hay E luminosas ni S0 $\rightarrow$ población $\neq$ a cúmulos de galaxias.

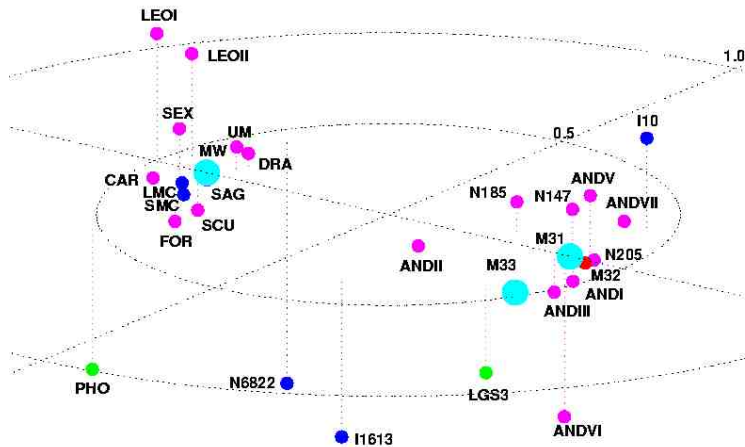
Importancia de estudiar galaxias del LG:

- Distancias generalmente bien determinadas (Cefeidas, RR Lyr, TRGB en los peores casos).
- Poblaciones estelares resueltas $\rightarrow$ estudio de historias evolutivas mediante CMD.
- Población de galaxias típica del Universo local: la mayor parte de las galaxias a $z \sim 0$ se encuentran en grupos poco densos.

Desventaja:

- No hay E luminosas ni S0 $\rightarrow$ población $\neq$ a cúmulos de galaxias.

Distribución espacial



Distribución espacial

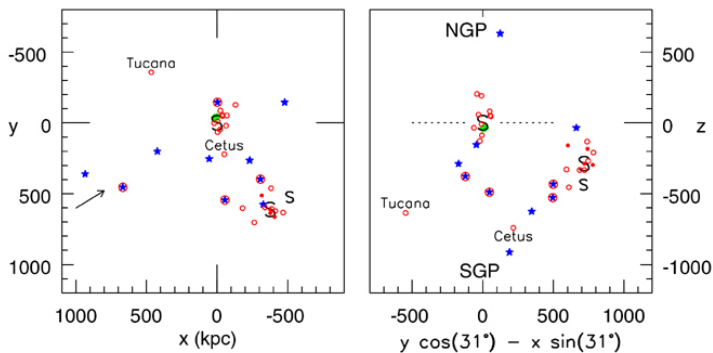


Fig 4.2 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

Movimientos propios

$$\mu [\text{arcsec yr}^{-1}] = \frac{v_R}{4.74 d} = \frac{120}{4.74 \times 10^5} = 2.5 \times 10^{-4}.$$

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

Órbita

$$r = a(1 - e \cos E) \quad (1)$$

$$t = \sqrt{\frac{a^3}{G(\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2)}} (E - e \sin E), \quad (2)$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr/dE}{dt/dE} = \sqrt{\frac{G(\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2)}{a}} \frac{e \sin E}{1 - e \cos E}$$

$$v_R = \frac{r}{t_0} \frac{e \sin E (E - e \sin E)}{(1 - e \cos E)^2}, \quad (3)$$

$$-120 \text{ km s}^{-1} = \frac{7.7 \times 10^5}{13.7 \times 10^9} \frac{3.084 \times 10^{13} \text{ km}}{3.1556952 \times 10^7 \text{ s}} \frac{\sin E (E - \sin E)}{(1 - \cos E)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\sin E (E - \sin E)}{(1 - \cos E)^2} = -2.185,$$

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

Órbita

$$E = 4.25$$

$$a = \frac{r}{1 - \cos E} \simeq 530 \text{ kpc},$$

$$\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 = \frac{a^3}{G} \left(\frac{E - \sin E}{t_0} \right)^2 = \frac{(5.3 \times 10^5 \text{ pc})^3}{4.5092 \times 10^{-15} \text{ pc}^3 \mathcal{M}_{\odot}^{-1} \text{ yr}^{-2}} \left(\frac{5.1394}{13.7 \times 10^9 \text{ yr}} \right)^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 = 4.6 \times 10^{12} \mathcal{M}_{\odot}$$

Si se suman los valores estimados para las masas individuales:

$\mathcal{M}_1 \simeq 2 - 4 \times 10^{11} \mathcal{M}_{\odot}$; $\mathcal{M}_2 \simeq 1.8 - 3.7 \times 10^{11} \mathcal{M}_{\odot}$ ($\Rightarrow$ habría más DM todavía).

Comparando con la densidad crítica actual del Universo:

$$\begin{aligned} \rho_c &= \frac{3H_0^2}{8\pi G} = \frac{3 h^2 (10^5 \text{ m s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1})^2}{8\pi 6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}} \frac{3.0857 \times 10^{22} \text{ m Mpc}^{-1}}{1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} = \\ &= 2.8 \times 10^{11} h^2 \mathcal{M}_{\odot} \text{ Mpc}^{-3} < \rho_{GL} \end{aligned}$$

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

Órbita

$$E = 4.25$$

$$a = \frac{r}{1 - \cos E} \simeq 530 \text{ kpc},$$

$$\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 = \frac{a^3}{G} \left(\frac{E - \sin E}{t_0} \right)^2 = \frac{(5.3 \times 10^5 \text{ pc})^3}{4.5092 \times 10^{-15} \text{ pc}^3 \mathcal{M}_{\odot}^{-1} \text{ yr}^{-2}} \left(\frac{5.1394}{13.7 \times 10^9 \text{ yr}} \right)^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 = 4.6 \times 10^{12} \mathcal{M}_{\odot}$$

Si se suman los valores estimados para las masas individuales:

$\mathcal{M}_1 \simeq 2 - 4 \times 10^{11} \mathcal{M}_{\odot}$; $\mathcal{M}_2 \simeq 1.8 - 3.7 \times 10^{11} \mathcal{M}_{\odot}$ ($\Rightarrow$ habría más DM todavía).

Comparando con la densidad crítica actual del Universo:

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = \frac{3 h^2 (10^5 \text{ m s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1})^2}{8\pi 6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}} \frac{3.0857 \times 10^{22} \text{ m Mpc}^{-1}}{1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} =$$

$$= 2.8 \times 10^{11} h^2 \mathcal{M}_{\odot} \text{ Mpc}^{-3} < \rho_{GL}$$

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

Órbita

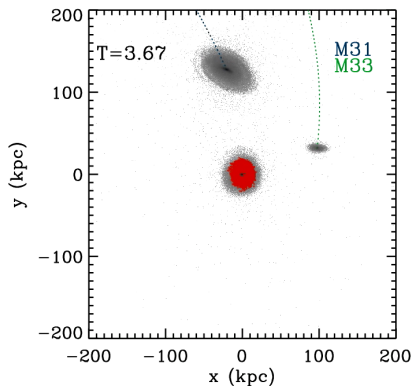
M31 y la MW se encontrarán de nuevo cuando $E = 2\pi \Rightarrow$ aplicando la ec. 2 al instante actual t_0 y al del siguiente pasaje por el periastro, t_1 , y luego haciendo el cociente $t_1/t_0 \Rightarrow$

$$t_1 = t_0 \frac{2\pi}{4.25 - \sin(4.25)} = 1.22 t_0,$$

es decir, dentro de $0.22 \times 13.7 \times 10^9$ años ≈ 3 Gyr.

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

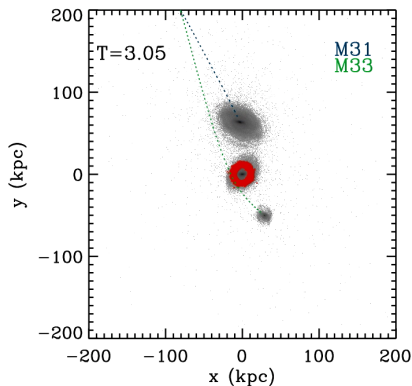
Modelo canónico



(van der Marel et al., 2012, ApJ, 753, 9)

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

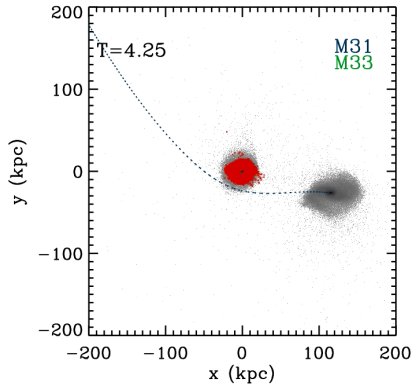
Primero M33



(van der Marel et al., 2012, ApJ, 753, 9)

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

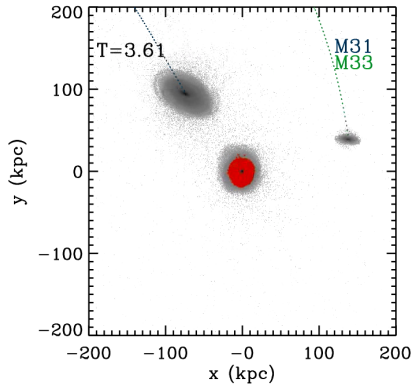
MW retrogrado



(van der Marel et al., 2012, ApJ, 753, 9)

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

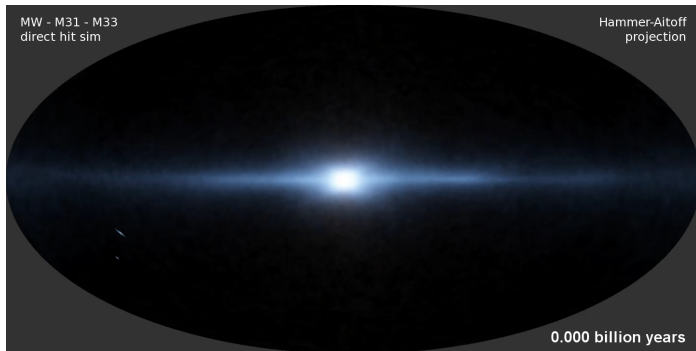
Directo



(van der Marel et al., 2012, ApJ, 753, 9)

Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local

Directo



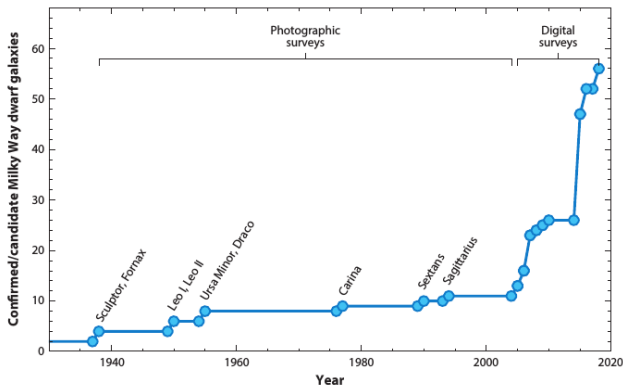
Dinámica y evolución a futuro del Grupo Local



(Levay et al. – STScI)

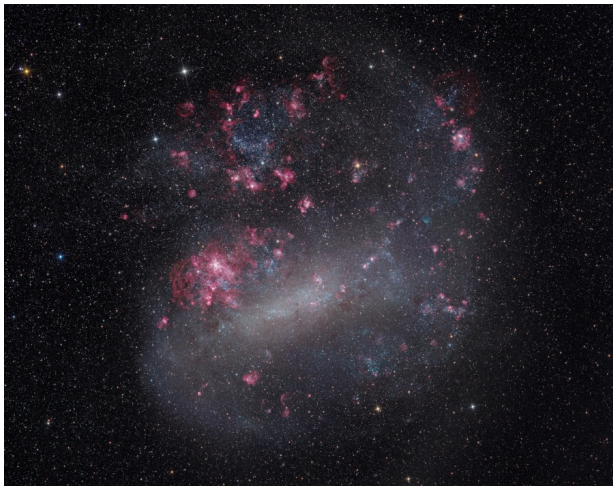
Cap. 8: El Grupo Local de galaxias

- 1 Descripción
- 2 Satélites de la Vía Láctea**



Censo de satélites de la MW en función del tiempo. Se incluyen objetos confirmados y también candidatos. En el período 2005-2010 hubo un fuerte incremento debido a Sloan. Luego, el relevamiento con Pan-STARRS (2015), produjo un nuevo incremento significativo (Simon 2007).

Nube Mayor de Magallanes



Datos básicos

- $m - M = 18.50 \pm 0.05$ ($d = 50.1 \pm 1.2$ kpc)
- $\sim 15^\circ (\cong 13 \text{ kpc}) \times 13^\circ (\cong 13 \text{ kpc})$
- $M_V = -18.5 \Rightarrow \mathcal{L}_{\text{LMC}} \approx 2 \times 10^9 \mathcal{L}_\odot \equiv 10\% \mathcal{L}_{\text{MW}} \rightarrow$
- $v_{\text{rot}}^{\text{max}} \simeq 80 \text{ km s}^{-1}$ (HI)
- prototipo SBm
 - disco plano inclinado $\sim 45^\circ$ respecto de la visual
 - barra importante + brazo espiral incipiente
 - longitud de escala ~ 1.5 kpc

Nube Mayor de Magallanes

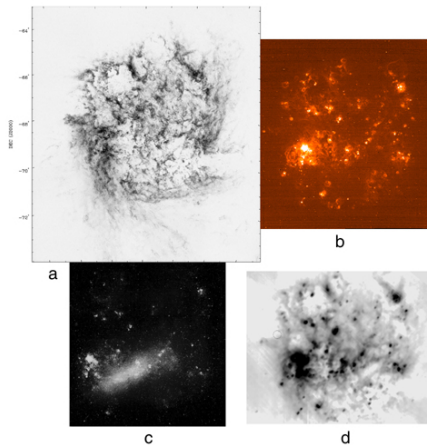


Fig 4.4 (Kim & Staveley-Smith, Henize, IRAS)
'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Nube Mayor de Magallanes

30 Doradus: Tarantula



Imagen obtenida con el VLT Survey Telescope (VST) del Observatorio ESO.

Nube Mayor de Magallanes

30 Doradus: el cúmulo R136

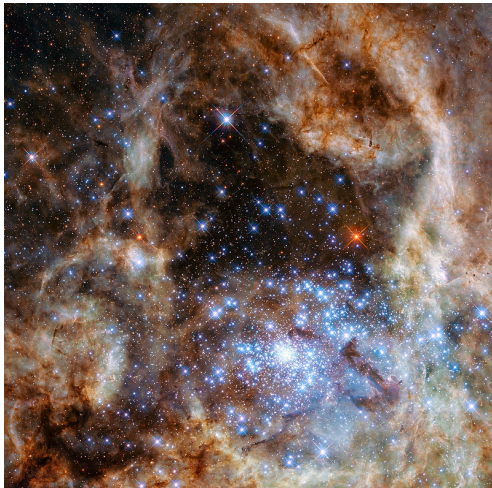
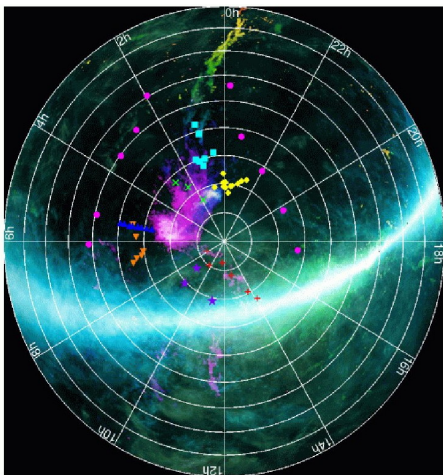
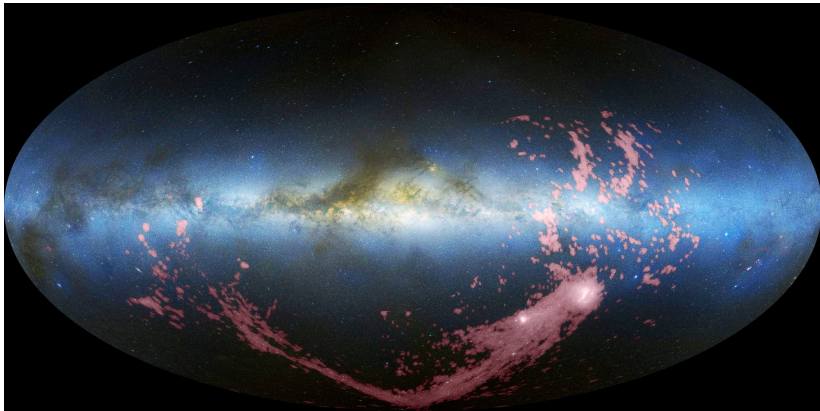


Imagen obtenida con el HST+WFC3.

Corriente Magallánica

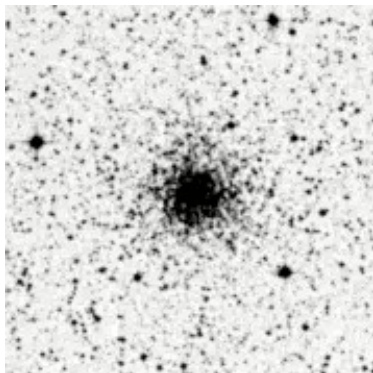
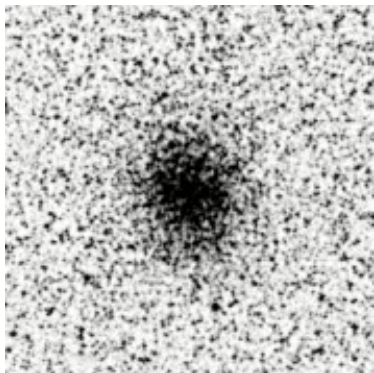


Corriente Magallánica



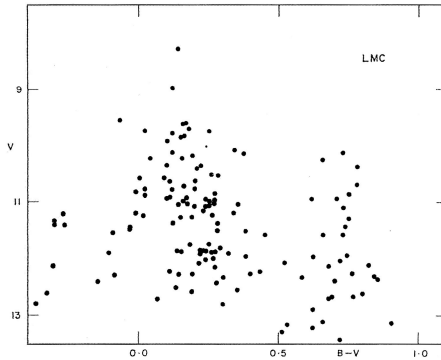
Nube Mayor de Magallanes

Cúmulos estelares: NGC 2121 y NGC 2155



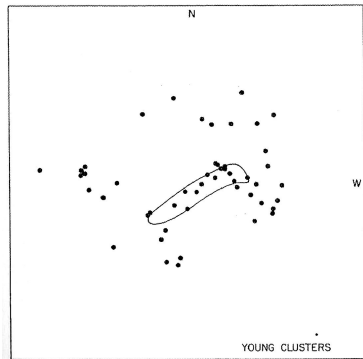
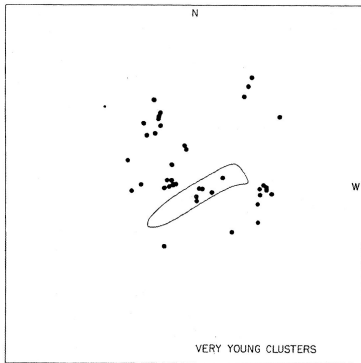
Nube Mayor de Magallanes

Diagrama color-magnitud para cúmulos estelares



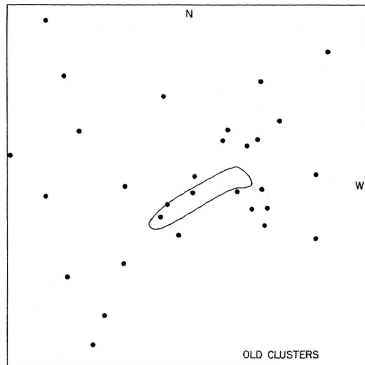
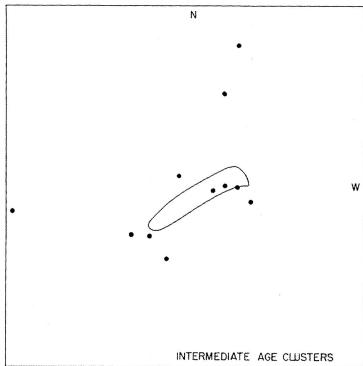
Nube Mayor de Magallanes

Distribución espacial de cúmulos estelares



Nube Mayor de Magallanes

Distribución espacial de cúmulos estelares



Nube Menor de Magallanes



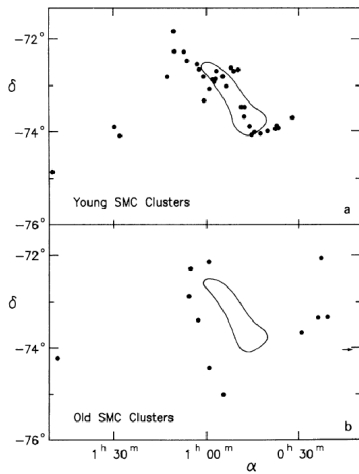
La fig. muestra la SMC. Además, en el centro a la izq. aparece NGC 104 (47 Tuc) y abajo a la derecha NGC 362. Ambos objetos, pertenecientes a la VL. NGC 121 es el pequeño objeto inmediatamente debajo de 47 Tuc.

Datos básicos

- $m - M = 18.85 \pm 0.10$ ($d = 59$ kpc)
- $7^\circ (\cong 7 \text{ kpc}) \times 4^\circ (\cong 4 \text{ kpc})$
- $M_V = -17.07 \Rightarrow \Rightarrow \mathcal{L}_{\text{SMC}} \sim 0.2 \mathcal{L}_{\text{LMC}}$
- estructura de “cigarro” alargada (~ 15 kpc) en la dirección de la visual
- no presenta rotación

Nube Menor de Magallanes

Distribución espacial de cúmulos estelares



CMD de la galaxia dSph de Carina

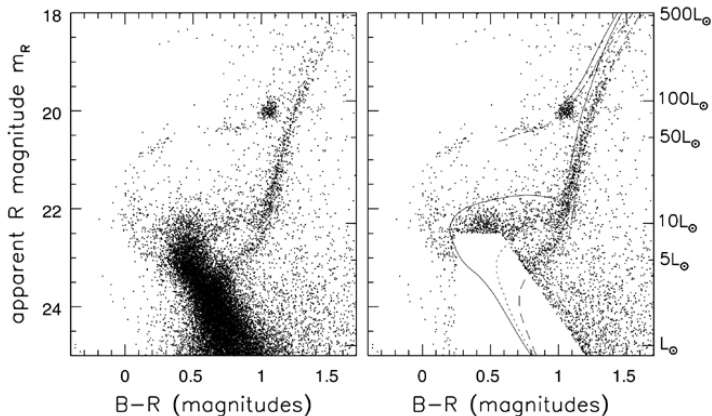


Fig 4.9 (Smecker-Hane, Cole) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Las dSph son objetos de baja luminosidad, de baja metalicidad, y con muy poco gas frío.

Entonces, según el modelo de caja cerrada:

$$Z(t) = -p \ln \left[\frac{\mathcal{M}_g(t)}{\mathcal{M}_g(0)} \right]$$

estas galaxias deberían ser más metálicas!

Las dSph han eyectado al medio intergaláctico gran parte de su gas interestelar enriquecido.

Las dSph son objetos de baja luminosidad, de baja metalicidad, y con muy poco gas frío.

Entonces, según el modelo de caja cerrada:

$$Z(t) = -p \ln \left[\frac{\mathcal{M}_g(t)}{\mathcal{M}_g(0)} \right]$$

estas galaxias deberían ser más metálicas!

Las dSph han eyectado al medio intergaláctico gran parte de su gas interestelar enriquecido.

Las dSph son objetos de baja luminosidad, de baja metalicidad, y con muy poco gas frío.

Entonces, según el modelo de caja cerrada:

$$Z(t) = -p \ln \left[\frac{\mathcal{M}_g(t)}{\mathcal{M}_g(0)} \right]$$

estas galaxias deberían ser más metálicas!

Las dSph han eyectado al medio intergaláctico gran parte de su gas interestelar enriquecido.

$$2\mathcal{T} + \Omega = 0$$

Considerando que $T = \frac{1}{2}\sigma^2 M$ y $\sigma^2 = 3\sigma_r^2$ (σ_r : dispersión de velocidades observada):

$$2\frac{3}{2}\sigma_r^2 \mathcal{M} - \frac{G\mathcal{M}^2}{r_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{M} = \frac{3\sigma_r^2 r_c}{G}$$

P. ej., para Carina: $\sigma_r = 7 \text{ km s}^{-1}$, $r_c = 180 \text{ pc}$ $\Rightarrow$

$$\mathcal{M} = \frac{3(7 \times 10^3 \text{ m s}^{-1})^2 5.55 \times 10^{18} \text{ m}}{6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} 1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot}.$$

Considerando para Carina $\mathcal{L}_V = 2 \times 10^5 \mathcal{L}_{\odot}$ $\Rightarrow$ $\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}} \approx 30$.

Las dSph serían objetos muy dominados por DM!

$$2\mathcal{T} + \Omega = 0$$

Considerando que $T = \frac{1}{2}\sigma^2 M$ y $\sigma^2 = 3\sigma_r^2$ (σ_r : dispersión de velocidades observada):

$$2\frac{3}{2}\sigma_r^2 \mathcal{M} - \frac{G\mathcal{M}^2}{r_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{M} = \frac{3\sigma_r^2 r_c}{G}$$

P. ej., para Carina: $\sigma_r = 7 \text{ km s}^{-1}$, $r_c = 180 \text{ pc}$ $\Rightarrow$

$$\mathcal{M} = \frac{3(7 \times 10^3 \text{ m s}^{-1})^2 5.55 \times 10^{18} \text{ m}}{6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} 1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot}.$$

Considerando para Carina $\mathcal{L}_V = 2 \times 10^5 \mathcal{L}_{\odot}$ $\Rightarrow$ $\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}} \approx 30$.

Las dSph serían objetos muy dominados por DM!

$$2\mathcal{T} + \Omega = 0$$

Considerando que $T = \frac{1}{2}\sigma^2 M$ y $\sigma^2 = 3\sigma_r^2$ (σ_r : dispersión de velocidades observada):

$$2\frac{3}{2}\sigma_r^2 \mathcal{M} - \frac{G\mathcal{M}^2}{r_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{M} = \frac{3\sigma_r^2 r_c}{G}$$

P. ej., para Carina: $\sigma_r = 7 \text{ km s}^{-1}$, $r_c = 180 \text{ pc}$ $\Rightarrow$

$$\mathcal{M} = \frac{3(7 \times 10^3 \text{ m s}^{-1})^2 5.55 \times 10^{18} \text{ m}}{6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} 1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot}.$$

Considerando para Carina $\mathcal{L}_V = 2 \times 10^5 \mathcal{L}_{\odot}$ $\Rightarrow$ $\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}} \approx 30$.

Las dSph serían objetos muy dominados por DM!

$$2\mathcal{T} + \Omega = 0$$

Considerando que $T = \frac{1}{2}\sigma^2 M$ y $\sigma^2 = 3\sigma_r^2$ (σ_r : dispersión de velocidades observada):

$$2\frac{3}{2}\sigma_r^2 \mathcal{M} - \frac{G\mathcal{M}^2}{r_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{M} = \frac{3\sigma_r^2 r_c}{G}$$

P. ej., para Carina: $\sigma_r = 7 \text{ km s}^{-1}$, $r_c = 180 \text{ pc}$ $\Rightarrow$

$$\mathcal{M} = \frac{3(7 \times 10^3 \text{ m s}^{-1})^2 5.55 \times 10^{18} \text{ m}}{6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} 1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot}.$$

Considerando para Carina $\mathcal{L}_V = 2 \times 10^5 \mathcal{L}_{\odot}$ $\Rightarrow$ $\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}} \approx 30$.

Las dSph serían objetos muy dominados por DM!

$$2\mathcal{T} + \Omega = 0$$

Considerando que $T = \frac{1}{2}\sigma^2 M$ y $\sigma^2 = 3\sigma_r^2$ (σ_r : dispersión de velocidades observada):

$$2\frac{3}{2}\sigma_r^2 \mathcal{M} - \frac{G\mathcal{M}^2}{r_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{M} = \frac{3\sigma_r^2 r_c}{G}$$

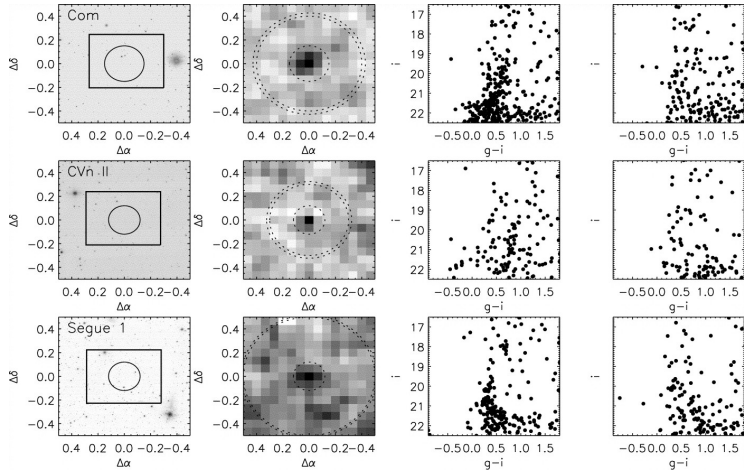
P. ej., para Carina: $\sigma_r = 7 \text{ km s}^{-1}$, $r_c = 180 \text{ pc}$ $\Rightarrow$

$$\mathcal{M} = \frac{3(7 \times 10^3 \text{ m s}^{-1})^2 5.55 \times 10^{18} \text{ m}}{6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} 1.99 \times 10^{30} \text{ kg } \mathcal{M}_{\odot}^{-1}} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot}.$$

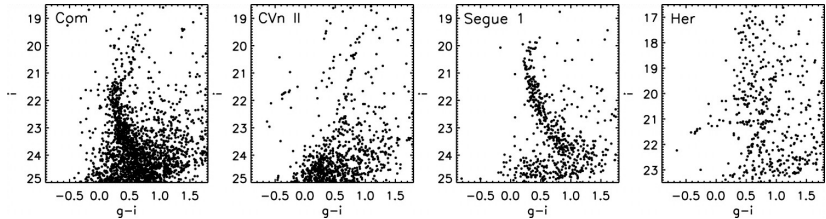
Considerando para Carina $\mathcal{L}_V = 2 \times 10^5 \mathcal{L}_{\odot}$ $\Rightarrow$ $\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}} \approx 30$.

Las dSph serían objetos muy dominados por DM!

Enanas ultra débiles

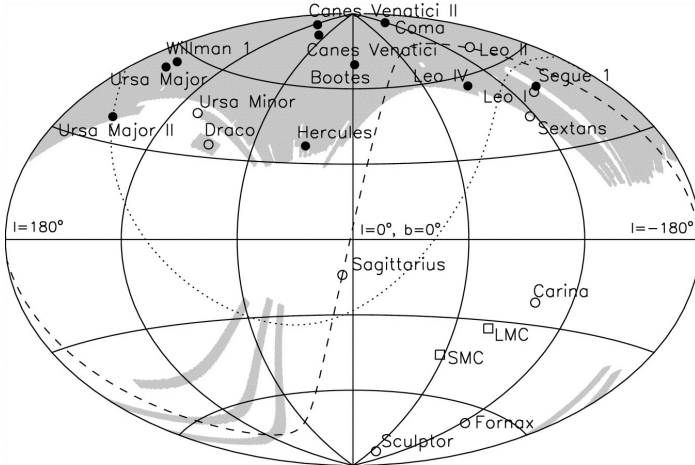


Enanas ultra débiles

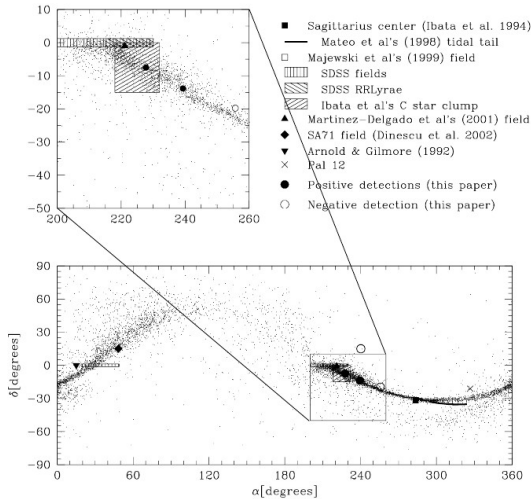


Enanas ultra débiles

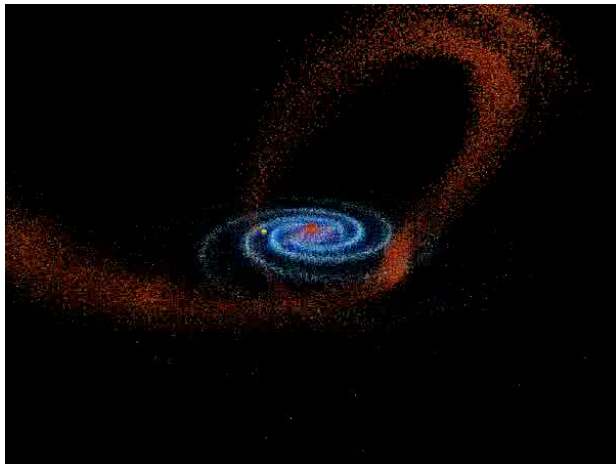
Distribución espacial (2007)



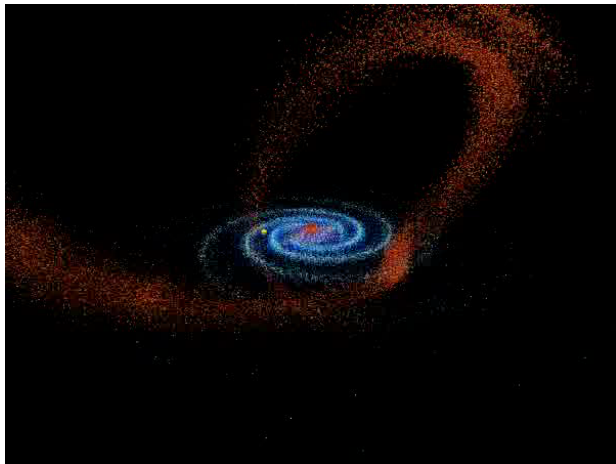
La corriente tidal de Sagitario



La corriente tidal de Sagitario

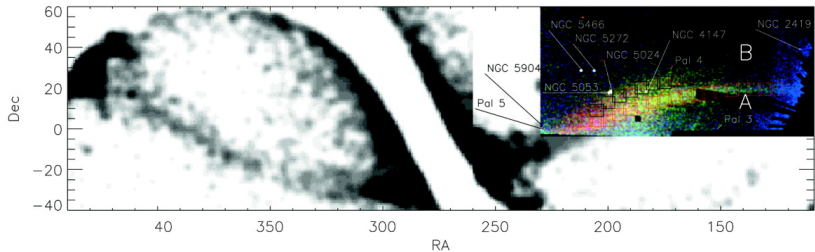


La corriente tidal de Sagitario



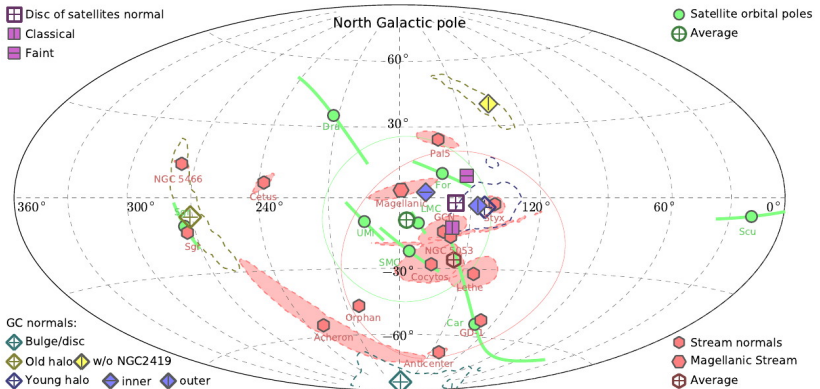
La corriente tidal de Sagitario

gig M (2MASS) + estrellas SDSS (Belokurov et al., 2008)



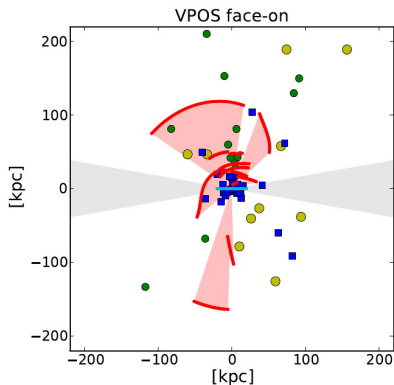
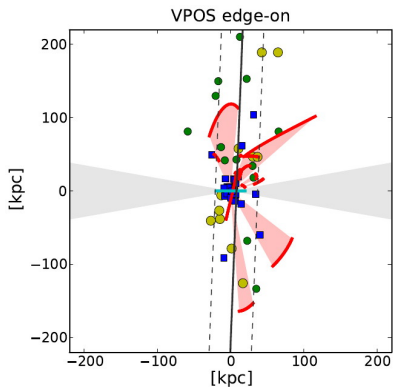
VPOS: ¿una vasta estructura polar en la MW?

Pawlowski et al. 2012



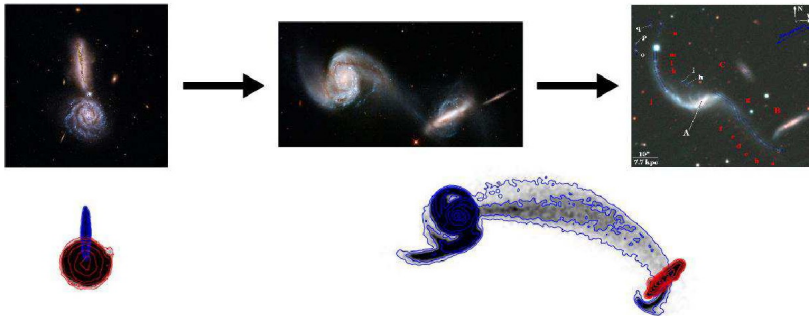
VPOS: ¿una vasta estructura polar en la MW?

Pawlowski et al. 2012



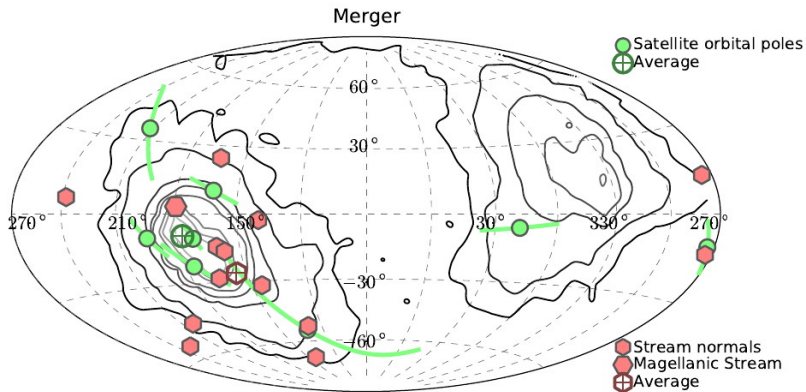
VPOS: ¿una vasta estructura polar en la MW?

Pawlowski et al. 2012



VPOS: ¿una vasta estructura polar en la MW?

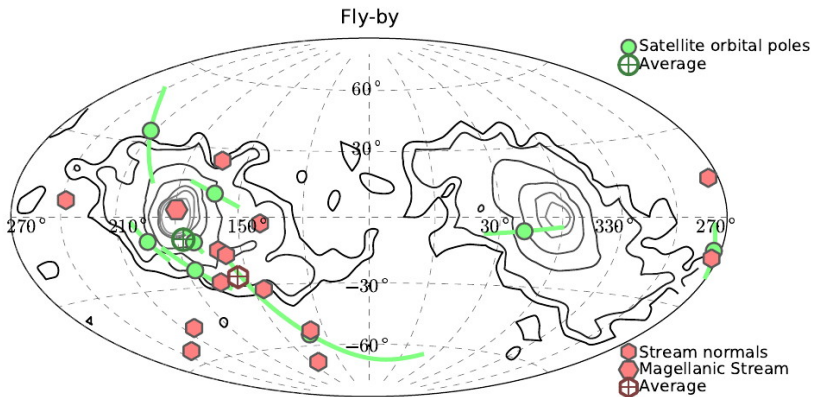
Pawlowski et al. 2012



Los contornos muestran la distribución esperada según el modelo en cuestión.

VPOS: ¿una vasta estructura polar en la MW?

Pawlowski et al. 2012



Los contornos muestran la distribución esperada según el modelo en cuestión.

- *Galaxies in the Universe: An Introduction*,
Linda S. Sparke & John S. Gallagher III (Cambridge
University Press, 2nd. Edition, 2000).
- *The galaxies of the Local Group*,
Sydney van den Bergh (Cambridge University Press,
2000).