

Grupo Local

Mauro Jélvez

Table 4.1 Galaxies of the Local Group within 1 Mpc of the Sun: the Milky Way and its satellites are listed in **boldface**; M31 and its companions are listed in *italics*

<i>Galaxy</i>	<i>Type</i>	<i>d</i> (kpc)	<i>L_V</i> (10 ⁷ L _⊙)	<i>V_r</i> (⊙) (km s ⁻¹)	<i>l</i> (deg)	<i>b</i> (deg)	<i>M</i> (H) (10 ⁶ M _⊙)
<i>M31</i> (NGC 224)	Sb	770	2700	-300	121	-22	5700
Milky Way	Sbc	8	1500	-10	0	0	4000
<i>M33</i> (NGC 598)	Sc	850	550	-183	134	-31	1500
Large MC	Sbm	50	200	274	280	-33	500
Small MC	Irr	63	55	148	303	-44	400
<i>NGC 205</i>	dE	830	40	-244	121	-21	0.4
<i>M32</i> (NGC 221)	E2	770	40	-205	121	-22	<2.5 ^c
<i>NGC 6822</i>	dIrr	500	10	-56	25	-18	140 ^f
<i>IC 10</i>	dIrr	660	16	-344	119	-3	100
<i>NGC 185</i>	dE	620	13	-202	121	-15	0.1
<i>NGC 147</i>	dE	760	12	-193	120	-14	None
Sagittarius	dSph	30	8	170	6	-14	None
<i>IC 1613</i> (DDO 8)	dIrr	715	6	-233	130	-61	60
<i>WLM</i> (DDO 221)	dIrr	950	5	-120	76	-74	60
<i>Pegasus</i> (DDO 216)	dIrr/dSph	760	1	-182	95	-44	3
Formax	dSph	140	1.5	53	237	-66	<0.7
<i>Sagittarius DIG</i>	dIrr	1050	0.7	-78	21	-16	9
<i>And I</i>	dSph	790	0.5	-380	122	-25	None
<i>Leo I</i> (DDO 74)	dSph	270	0.5	285	226	49	None
<i>And VII/Cas dSph</i>	dSph	760	0.5	-307	110	-10	8
<i>Leo A</i> (DDO 69)	dIrr	800	0.4	20	197	52	
<i>And VI/Peg dSph</i>	dSph	775	0.3	-354	106	-36	
<i>And II</i>	dSph	680	0.2	-188	129	-29	
Sculptor	dSph	88	0.2	107	288	-83	≤0.1 ^c
<i>LGS3</i> (Pisces)	dIrr/dSph	620	0.13	-286	127	-41	0.2
<i>Aquarius</i> (DDO 210)	dIrr/dSph	950	0.1	-137	34	-31	3
<i>And III</i>	dSph	760	0.1	-355	119	-26	None
<i>Phoenix</i>	dIrr/dSph	405	0.09	56	272	-69	~0.2
<i>Cetus</i>	dSph	775	0.09	101	-73		
<i>Leo II</i> (DDO 93)	dSph	205	0.06	76	220	67	None
<i>Tucana</i>	dSph	870	0.06	323	-47		None
<i>Sextans</i>	dSph	85	0.05	225	244	42	None
<i>Draco</i> (DDO 216)	dSph	80	0.05	-293	86	35	None
<i>Carina</i>	dSph	95	0.04	223	260	-22	None
<i>And V</i>	dSph	810	0.04	-403	126	-15	
<i>Ursa Minor</i>	dSph	70	0.03	-247	105	45	None
<i>And IX</i>	dSph	790	0.02	-210	123	-20	
Ursa Major	dSph	~100	0.004	-52	160	54	

Note: *d* is measured from the Sun; *V_r*(⊙) is radial velocity with respect to the Sun; 'no' H_i means < 10⁶ M_⊙.
^c H_i is confused with M31's disk (M32), Galactic emission (NGC 6822), or the Magellanic Stream (Sculptor).
Andromeda IV is an irregular galaxy in the background; Andromeda VIII is probably a stellar concentration in M31's disk.



Fig. 4.1. Galaxies of the Local Group, shown to the same linear scale, and to the same level of surface brightness. The spiral and irregular galaxies stand out clearly, while the dwarf spheroidals are barely visible – B. Binggeli.

Fig. 2.

Vía Láctea y M31. Esto indica que estas galaxias tienen poca energía cinética para escapar de la atracción gravitatoria del grupo.

En resumen, la fuerte atracción gravitatoria mutua dentro del Grupo Local es lo suficientemente intensa como para contrarrestar la expansión general del Universo, lo que se refleja en el movimiento de acercamiento entre la Vía Láctea y la Galaxia de Andrómeda. Además, la baja energía cinética de las galaxias del Grupo Local sugiere que están firmemente ligadas por la gravitación.

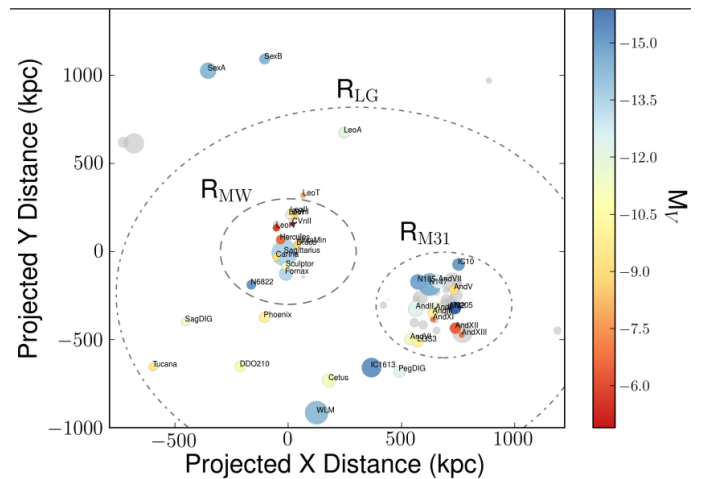


Fig. 3. Mapa de la proyección de distancias de diferentes objetos dentro del Grupo Local de galaxias, incluyendo la Vía Láctea (MW) y la Galaxia de Andrómeda (M31).

Fig. 1.

Atracción gravitatoria en el Grupo Local

En el Grupo Local, la atracción gravitatoria mutua es lo suficientemente fuerte como para superar la expansión general del Universo. Teniendo en cuenta el movimiento del Sol alrededor de la Galaxia, se observa que la Vía Láctea y la Galaxia de Andrómeda se están acercando entre sí en lugar de alejarse, cerrándose a una velocidad de aproximadamente 120 km/s.

Si bien podemos medir los movimientos apropiados solo para las galaxias satélite más cercanas de la Vía Láctea (cuyo movimiento corresponde a una velocidad de 120 km/s a una distancia de 100 kpc), incluso estos casos son difíciles de estudiar. Esto se debe a que debemos utilizar cuásares y galaxias distantes para definir nuestro marco de referencia inercial, ya que carecemos de objetos en reposo.

No obstante, las velocidades radiales se pueden determinar con facilidad. Casi todas las galaxias del Grupo Local tienen velocidades radiales dentro de 60 km/s de la motión común de la

- La Vía Láctea (MW) y la Galaxia de Andrómeda (M31) se encuentran a una distancia proyectada de aproximadamente 700 kpc una de la otra.
- Alrededor de la Vía Láctea y M31 se observan varias galaxias satélite, como Leo A, Leo T, Sculptor, Phoenix, entre otras.
- Existe una región de proyección común (RLG) donde se agrupan muchas de las galaxias del Grupo Local, sugiriendo que comparten un movimiento y entorno gravitacional similar.
- La galaxia enana del Sextante B (SexB) y la galaxia del Grupo Local WLM se ubican más alejadas del centro del grupo.
- Las flechas en el lateral derecho indican la escala de velocidad radial, mostrando que la mayoría de las galaxias del Grupo Local tienen velocidades relativamente bajas, lo que implica que están gravitacionalmente ligadas.

Satélites de la Vía Láctea

Nube de Magallanes

La Gran Nube de Magallanes (LMC) abarca $15^\circ \times 13^\circ$ en el cielo, por lo que su dimensión más larga es de alrededor de 14 kpc; la Pequeña Nube de Magallanes (SMC) cubre $7^\circ \times 4^\circ$, extendiéndose aproximadamente 8 kpc. La LMC tiene alrededor del 10% de la luminosidad de la Vía Láctea, $L \approx 2 \times 10^{10} L_\odot$, y es el cuarto miembro más luminoso del Grupo Local; la SMC es alrededor de diez veces más débil, ver Tabla 4.1. La LMC, el prototipo de la clase Sm de 'espirales magallánicas', es básicamente un disco plano, inclinado alrededor de 45° con respecto al plano del cielo; la velocidad de rotación medida a partir del gas HI alcanza los 80 km s^{-1} . Tiene una barra fuerte, con solo un brazo espiral corto (Figura 4.4). El gas del disco no rota simétricamente alrededor de la barra; en cambio, las órbitas están centradas alrededor de 0.9 kpc o 1° al noroeste de la región más brillante. La SMC es muy diferente; es una estructura alargada de "cigarro" vista aproximadamente de canto, con una profundidad de alrededor de 15 kpc a lo largo de la línea de visión. Sus estrellas no muestran ningún movimiento organizado.

La Gran Nube de Magallanes (LMC)

- Tamaño aparente: $15^\circ \times 13^\circ$, equivalente a una dimensión máxima de ~ 14 kpc.
- Luminosidad: $\sim 10\%$ de la Vía Láctea, $L \approx 2 \times 10^{10} L_\odot$.
- Cuarto miembro más luminoso del Grupo Local.
- Clasificación: prototipo de las galaxias Sm ('espirales magallánicas').
- Estructura:
 - Disco plano inclinado 45° respecto al plano del cielo.
 - Barra prominente con un brazo espiral corto.
 - Velocidad de rotación del gas HI: 80 km s^{-1} .
- Anomalías: el gas del disco no rota simétricamente, con centros de órbitas desplazados ~ 0.9 kpc (1° al noroeste de la región más brillante).

La Pequeña Nube de Magallanes (SMC)

- Tamaño aparente: $7^\circ \times 4^\circ$, equivalente a ~ 8 kpc.
- Luminosidad: ~ 10 veces más débil que la LMC (ver Tabla 4.1).
- Estructura:
 - Forma alargada de "cigarro", vista de canto.

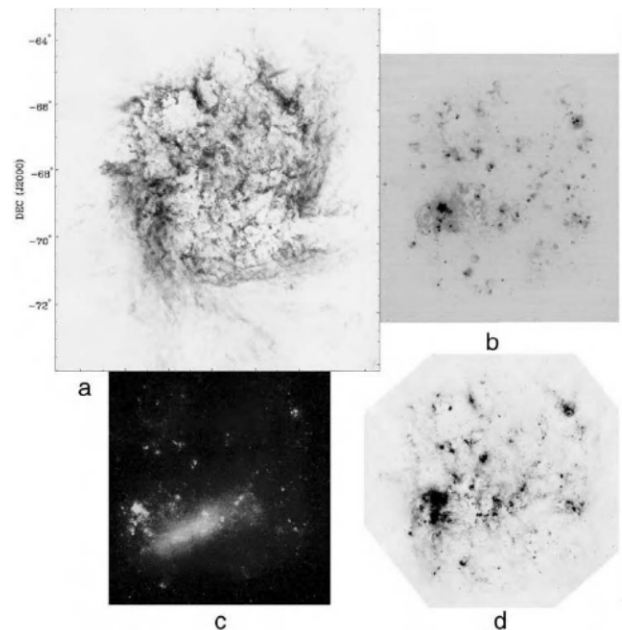


Fig. 4. La Gran Nube de Magallanes: (a) el disco extendido y bastante simétrico de gas de hidrógeno atómico (HI); (b) en $H\alpha$ vemos gas caliente alrededor de jóvenes estrellas masivas, con 30 Doradus como la región brillante más prominente; (c) una imagen óptica muestra la densa barra estelar y cúmulos de estrellas jóvenes, con 30 Doradus cerca del extremo de la barra, arriba y a la izquierda; y (d) la luz infrarroja a $24 \mu\text{m}$ muestra el polvo calentado por estrellas jóvenes. El mapa de HI tiene 10° de ancho, o ≈ 8.5 kpc; los demás tienen 7° de ancho.

- Profundidad a lo largo de la línea de visión: ~ 15 kpc.
- Estrellas: no muestran movimiento organizado.

Algunos astrónomos clasificarían las dos nubes magallánicas como galaxias irregulares. Tienen formación de estrellas jóvenes, y tiene menos polvo para bloquear esta luz. Estas nubes son azules en la luz visible y muy brillantes en el ultravioleta. Las regiones de formación estelar se encuentran en las dos nubes, y son ricas en un *punte* de gas, el cual contiene cúmulos de estrellas jóvenes, el cual conecta las dos nubes.

Mientras una serie de grandes nubes de gas se desplazan más allá de la SMC, esta Corriente de Magallanes recorre un tercio del cielo, aproximadamente en un Gran Círculo a través de $l = 90$ y $l = 270$. Contiene $2 \times 10^8 M_\odot$ adicionales de gas HI.

Cúmulos globulares en la LMC

La LMC tiene algunos cúmulos globulares similares a los de la Vía Láctea, aunque menos densos. Son antiguos (≥ 10 Gyr) y pobres en metales pesados, a diferencia de la Vía Láctea, las estrellas y cúmulos antiguos pobres en metales no forman un halo pobre en metales, sino que se encuentran en un disco engrosado. Los objetos pobres en metales muestran una fuerte deriva asimétrica.

- **Escasa formación estelar en un rango específico de edades:** Se observa que la LMC tiene muy pocos cúmulos estelares con edades comprendidas entre 4 y 10 mil millones de años. Esto sugiere que durante ese período, la galaxia experimentó una tasa de formación estelar muy baja.
- **Abundancia de cúmulos jóvenes:** En contraste, la LMC alberga numerosos cúmulos estelares y asociaciones jóvenes.

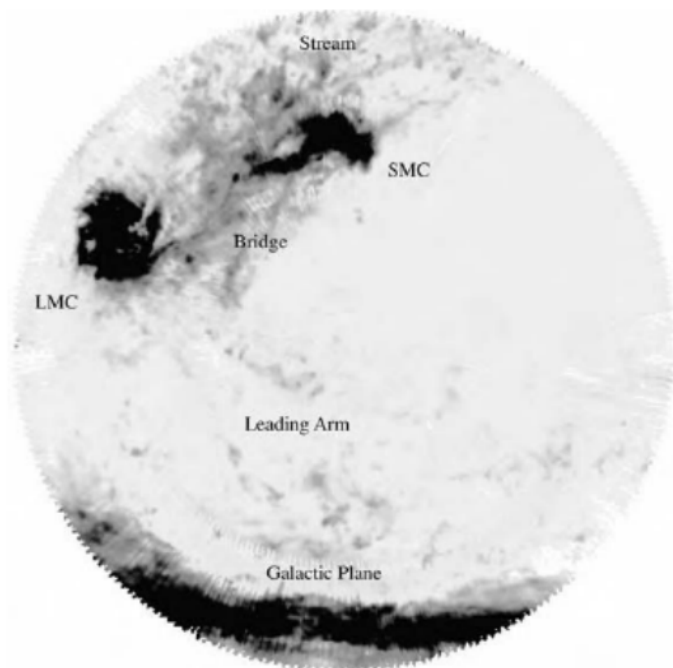


Fig. 5.



Fig. 6.

Algunos de estos cúmulos se formaron hace aproximadamente 50 millones de años, coincidiendo con el último acercamiento cercano entre la LMC y la Pequeña Nube de Magallanes (SMC).

- **Cúmulos jóvenes masivos:** Estos cúmulos jóvenes son mucho más poblados que los cúmulos abiertos típicos de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Se especula que podrían representar una etapa temprana en la evolución de los cúmulos globulares de la LMC.
- **El cúmulo R136: un gigante luminoso:** El cúmulo R136, ubicado en la nebulosa 30 Doradus, destaca como el más luminoso de la LMC. Con una edad de aproximadamente 3.5 millones de años, este cúmulo es extremadamente joven y su luminosidad en luz azul es aproximadamente 10 millones de veces la del Sol.
- **Alta metalicidad en estrellas y gas jóvenes:** Las estrellas y el gas interestelar más jóvenes de la LMC presentan una mayor abundancia de elementos pesados en comparación con el Sol, con una proporción que va desde un tercio hasta la mitad de la solar.

Cúmulos globulares en la SMC

Cubren el mismo rango de edad encontrados en la LMC, pero no hay un intervalo de tiempo durante el cual se formaron algunos cúmulos. La mayor parte de sus estrellas pueden tener edades

intermedias, entre unos pocos gigaaños y unos 12 mil millones de años. Los cúmulos de gas y de estrellas más jóvenes son más pobres en metales que los de la LMC.

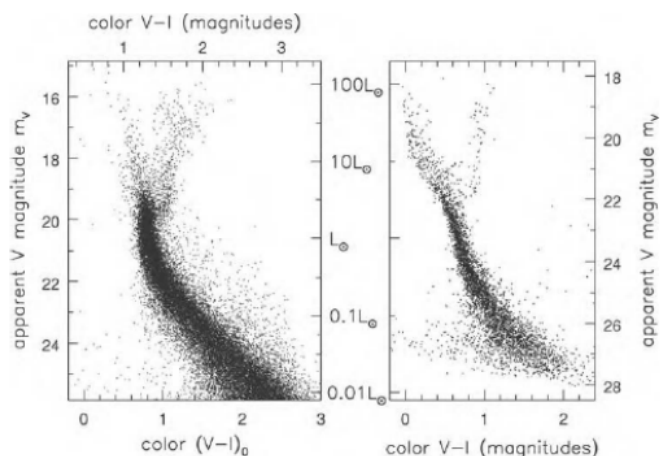


Fig. 7. A la izquierda, un diagrama color-magnitud para las estrellas en el bulbo de la Vía Láctea; la escala inferior muestra el color corregido por los efectos de enrojecimiento del polvo. La amplia secuencia principal indica un rango de edades estelares, pero no se observa una rama horizontal (cf. Figura 2.14). A la derecha, estrellas en una pequeña región del disco de la Gran Nube de Magallanes. Nótese las luminosas estrellas azules; la secuencia principal es más azul que la del bulbo debido a que las estrellas son más pobres en metales.

Estrellas variables como "candelas estándar"

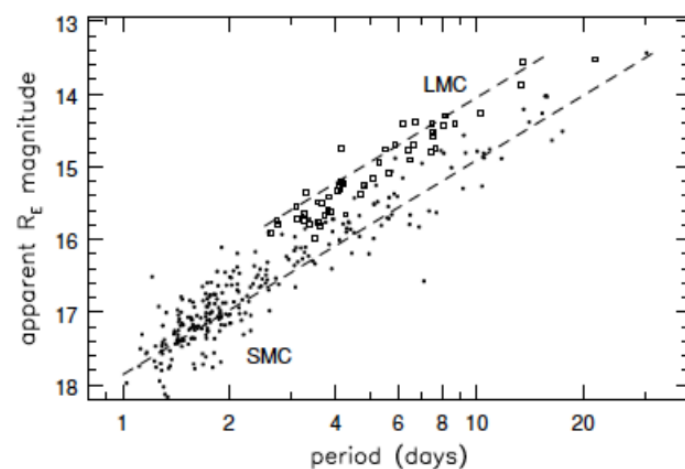


Fig. 8. Magnitud aparente y período en días, para cefeidas en la LMC (cuadrados) y en la SMC (Puntos rellenos); las líneas discontinuas representan el promedio de la relación período luminosidad.

Galaxias esferoidales enanas

Nota: La dispersión de velocidades, σ , es máxima en el centro; en el radio del núcleo, r_c , la luminosidad superficial se reduce a la mitad de su valor central, disminuyendo hasta casi cero en el radio de truncamiento, r_t . La variable t_f representa el tiempo transcurrido desde la última formación estelar significativa.

La metalicidad, expresada como Z/Z_\odot , indica la abundancia de elementos más pesados en comparación con el Sol.

Table 4.2 Dwarf galaxies, compared with the nuclear star cluster of M33, and three Milky Way globular clusters

System	L_V ($10^3 L_\odot$)	σ_r (km s^{-1})	r_c (pc)	r_t (pc)	t_{dt} (Gyr)	M/L_V (M_\odot/L_\odot)	$\log_{10}(Z/Z_\odot)$ range
NGC 147 dE	12	20–30	260	1000	3–5	7 ± 3	–1.5 to –0.7
NGC 185 dE	13	20	170	2000	<0.5	5 ± 2	–1.2 to –0.8
Pegasus dIrr	1	9(HI)		500(HI)	<0.1	2–4	–2.3 to –1.7
Fornax dSph	1.5	13	400	5000	<2	~ 15	–2 to –0.4
M33 nucleus	0.25	24	<0.4		<1	~ 1	–1.9 to –0.7
Sculptor dSph	0.2	9	200	2000	>10	~ 10	–2.6 to –0.8
ω Cen gc	0.1	20	4	70	>10	2.5	–1.6 to –1.2
M15 gc	0.04	12	<0.01	85	>10	2	–2.15
Carina dSph	0.04	7	200	900	2–10	~ 40	–2.7 to –0.3
M92 gc	0.02	5	0.5	50	>10	1.5	–2.15

Fig. 9. Galaxias enanas, comparadas con el cúmulo estelar nuclear de M33, y 3 cúmulos globulares de la Vía Láctea

La notación HI se refiere a una medición proveniente del gas de hidrógeno atómico. Los cúmulos globulares se abrevian como gc.

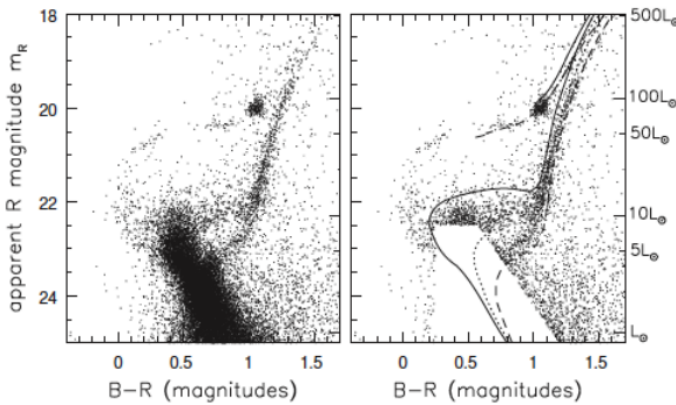


Fig. 10. A la izquierda, un diagrama color-magnitud para la galaxia enana esferoidal de Carina. A la derecha, isocronas superpuestas muestran el lugar de las estrellas pobres en metales ($Z = Z_\odot/50$) a edades de 3 Gyr (línea sólida), 7 Gyr (punteada) y 15 Gyr (rayada). Observamos jóvenes estrellas de la rama horizontal roja en B-R, $m_R = (1, 20)$, y estrellas viejas en la rama horizontal. El módulo de distancia de Carina se toma como $(m - M)_0 = 20.03$; se asume que el enrojecimiento por polvo atenúa las estrellas en 0.108 magnitudes en B y 0.067 magnitudes en R-T

Galaxias espirales del Grupo Local

Contiene 3; La Vía Láctea, M31 (Andromeda) y M33 a una distancia de 770 kpc.

M31 (Andromeda)

Se muestra en la figura 11, siendo ésta más grande en todo aspecto que la Vía Láctea, siendo casi un 50% más luminosa.

- Disk scale length h_R es cerca de 6-7 kpc, el doble que la Vía Láctea
- Rota más rápido que nuestra galaxia cerca de los 260 kms/s.
- Contiene cerca de unos 300 cúmulos globulares conocidos, casi el doble que la Vía Láctea
- M31 tiene sus propias galaxias satélite, incluyendo la galaxia elíptica M32, tres enanas elípticas, y muchas enanas esferoidales.

El diagrama presentado es un árbol de decisión que categoriza estrellas con base en sus propiedades evolutivas y espectrales,

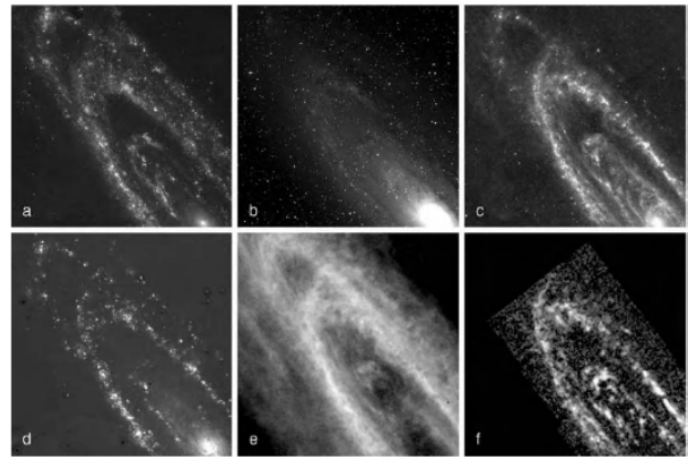


Fig. 11. La galaxia de Andr6meda, M31: (a) en luz ultravioleta; (b) imagen en banda B muestra el prominente bulbo; (c) luz infrarroja de polvo caliente a $24 \mu\text{m}$; (d) imagen $H\alpha$ muestra el 'anillo de fuego' y regiones HII en los brazos espirales; (e) gas HI; y (f) emisi6n de CO trazando gas molecular denso - K. Gordon. (a) Galex FUV, D. Thilker et al. 2005 ApJ 619, L67; (b) y (d) D. Thilker y R. Walterbos; (c) Spitzer, Ks. Gordon et al. 2005 ApJ 638, L87; (e) R. Braun et al.

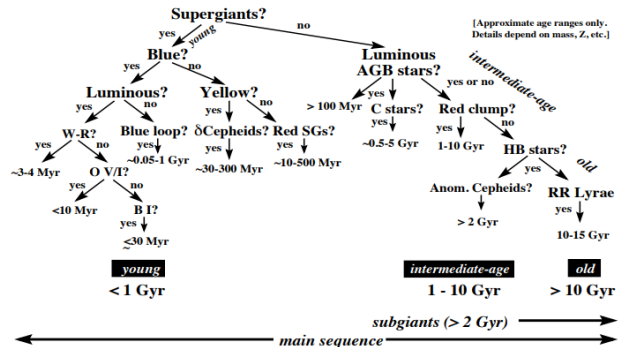


Figure 2: Stars as age indicators for dwarf galaxy studies. Note how the resolution decreases with increasing age.

Fig. 12.

para utilizarlas como indicadores de edad en estudios de galaxias enanas. A continuaci6n, se describen los principales nodos y caminos del 6rbol:

Ejes y Contexto General

- **Rango de edades:**
 - **J6venes:** Edad < 1 Gyr.
 - **Intermedias:** Edad entre 1 Gyr y 10 Gyr.
 - **Viejas:** Edad > 10 Gyr.
- **Resoluci6n:** La precisi6n para determinar la edad disminuye con el aumento de esta, ya que las propiedades observables se superponen en estrellas m6s viejas.

Estructura del 6rbol de Decisi6n

1. ¿Supergigantes?

- **Sí:** La estrella es joven (< 1 Gyr).
- **Azules:** Muy j6venes (~ 3 – 4 Myr).

- Si son estrellas **Wolf-Rayet (WR)**: Edad $\sim 3 - 4$ Myr.
- Si no son WR:
 - Tipo espectral **O V/I**: Edad < 10 Myr.
 - Tipo espectral **B I**: Edad < 30 Myr.
- **Amarillas**: Estrellas en la fase *blue loop*, con edades $\sim 30 - 300$ Myr.
- **No**: Se pasa al siguiente nodo.
- 2. ¿**Estrellas luminosas AGB**?
 - **Sí**: Estrellas de edad intermedia ($\sim 0.5 - 5$ Gyr).
 - Incluyen *C stars* (Carbon stars), dominadas por moléculas de carbono en sus espectros.
 - **No**: Se evalúa si son parte del *red clump*.
- 3. ¿**Están en el red clump**?
 - **Sí**: Estrellas de edad intermedia o vieja ($1 - 10$ Gyr).
 - **No**: Se evalúa si son estrellas de la **rama horizontal (HB)**.
- 4. ¿**Estrellas de la Rama Horizontal (HB)**?
 - **Sí**: Estrellas viejas (> 10 Gyr).
 - **RR Lyrae**: Variables pulsantes con edades típicas de $10 - 15$ Gyr.
 - **Cepheids anómalas**: Con edades $\gtrsim 2$ Gyr.

Conclusiones

- Las estrellas se clasifican en jóvenes, intermedias o viejas según su posición en el diagrama.
- Las estrellas jóvenes tienen características espectrales bien definidas (p. ej., supergigantes azules o WR), lo que permite estimar su edad con mayor precisión.
- Las estrellas viejas (p. ej., RR Lyrae) se utilizan para determinar propiedades de las poblaciones estelares de galaxias enanas, aunque la resolución disminuye significativamente con la edad.