

# ISLAS EN EL UNIVERSO

Javier Bussons Gordo

2008

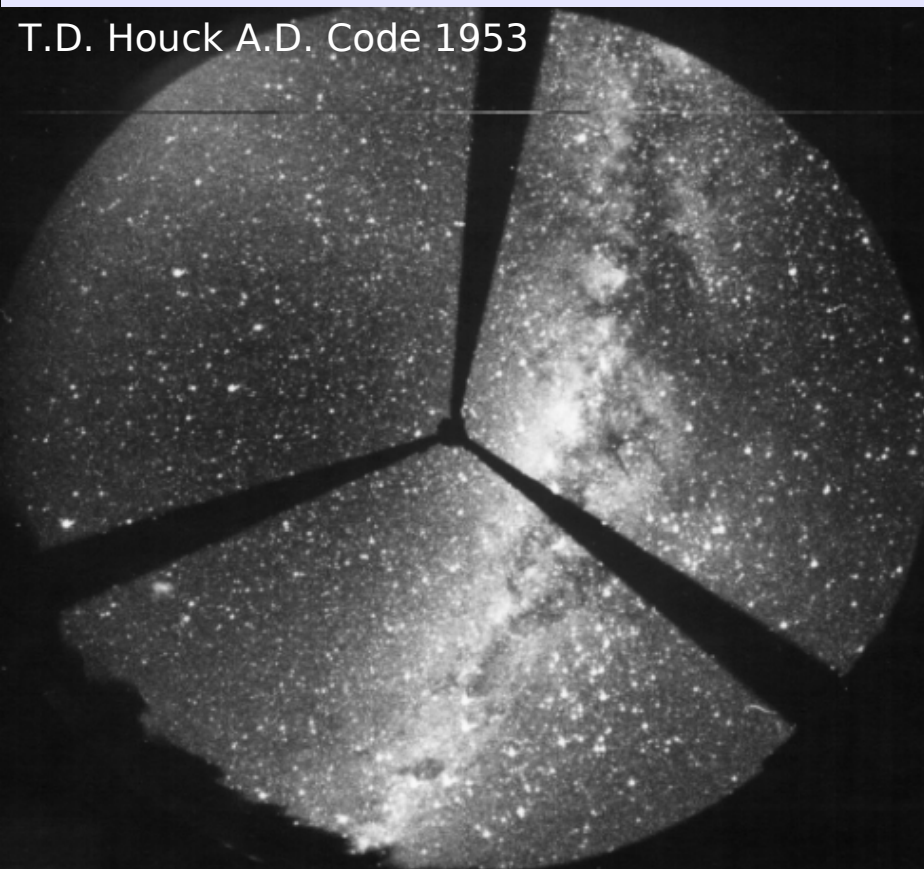
Universidad de Murcia

**galaxia.** (Del griego γαλαξια, lácteo, a través del latín galaxia.) || 1. Astron. Inmenso conjunto de astros, nebulosas, etc., del que forman parte nuestro sistema solar y todas las estrellas visibles, incluidas las que integran la Vía Láctea. || 2. Por ext., cada uno de los sistemas semejantes a la **Galaxia** que se encuentran aislados y esparcidos en el universo.

# INDICE

- Descubrimiento de la Vía Láctea
- La Vía Láctea
- Distancias intra/intergalácticas
- Morfología
- Galaxias activas
- Estructura a gran escala

# Encuesta sobre el camino lechoso



**PREGUNTA:** ¿Qué es la Vía Láctea?

**RESPUESTAS:**

- «una multitud de estrellas» (Demócrito 400aC)
- «... y puede haber otras» (Hiparco, 130aC)
- «miles de estrellas, lo sé porque las he visto con mi telescopio de 2.5cm» (Galileo, 1610)
- «es todo el universo, que está contenido en una concha y Dios esta en el medio» (Wright, 1750)
- «una isla de las muchas que hay en el universo» (Kant, 1755)

«Las estrellas son soles como el nuestro y hay una multitud de soles libremente suspendidos en un espacio sin límite, rodeados de planetas como la Tierra, poblados de seres vivos. El Sol es una estrella más y su única particularidad es que está muy cerca de nosotros. El Sol no tiene una posición central en el infinito sin fronteras»

--El infinito, el universo y los mundos.--  
(Giordano Bruno, circa 1600)

# El mapa del cielo: puntos y nubes

A simple vista se ven miles de estrellas. Con binoculares, unos miles mas. Y con un telescopio, el número aumenta con la abertura.

**PREGUNTA:** ¿Se puede seguir este proceso indefinidamente (cada vez más estrellas) o tiene un límite?

**RESPUESTA:** (esperad un poco, no seáis impacientes)

**PREGUNTA:** ¿Hay el mismo número en cualquier dirección?

**RESPUESTA:** Mirad primero hacia Tauro, Géminis u Orión y luego hacia Pegaso y lo sabréis. Verás puntos (estrellas), grupos (cúmulos) y nubes (nebulosas).

## INVENTARIOS:

Messier 1771 Primer catálogo de nebulosas (45)

1784 Segundo catálogo (103)

M1 (Cangrejo), M31 (Andrómeda), M42 (Orión), M45 (Pléyades) ...

William y John Herschel: algunas nebulosas son cúmulos de estrellas pero otras no (¿qué son, pues?)

1840 General Catalogue (GC, 5000 nebulosas y cáúmulos)

Dreyer 1888 New General Catalogue (NGC, 7800) p.ej. NGC224 es Andrómeda

# Los cúmulos

## ABIERTOS

Pléyades (la leyenda de las siete hermanas: Alción, Celena, Electra, Maya, Merope, Asterope y Taigete, hijas de Atlas, que sujeta los pilares del cielo): ¿son 6, 7, 36 o 120 estrellas? 400al

Híades (las portadoras de lluvia): 27 estrellas a simple vista, 150al

Doble de Perseo: 7100al

Praesepe: 200 estrellas, 500al

Joyero (Sur): 100 estrellas, 7800al

## GLOBULARES (cientos de miles de estrellas):

Hércules (M13): 100 000 estrellas, 25 000al

M4 (Scorpio): 5700al

NGC4314



Copyright Anglo-Australian Observatory/Royal Observatory, Edinburgh.



M80



# Las nebulosas

1850 Lord Rosse (183cm) descubre estructura espiral en algunas nebulosas (M33, M51)

1864 Huggins ve líneas espectrales de H y «nebulium» (gas brillante).

1927 Bowen identifica las líneas: oxígeno y nitrógeno ionizados

## Espectroscopía de nebulosas:

líneas de emisión (gas excitado)

líneas de absorción (como en las estrellas): M31 es, entonces, un grupo de estrellas

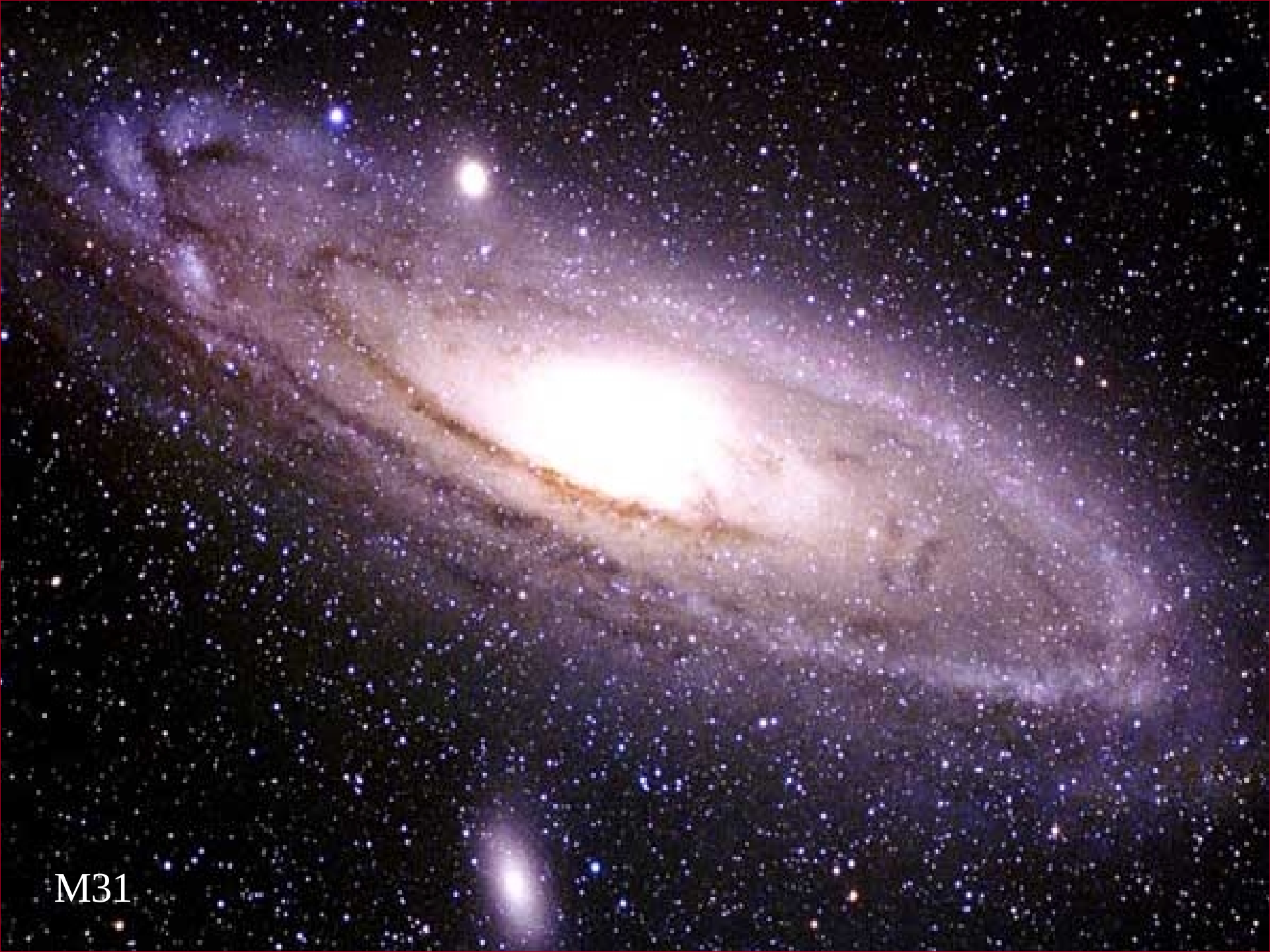
Nubes resplandecientes de gas y polvo con estrellas sumergidas en su interior

**Nebulosas «de emisión»:** estrella caliente UV ioniza H y en la recombinación (e, p) se emite luz rosada. La más brillante: M32 Orión (1300al). Otras: Lagoon, Trífida.

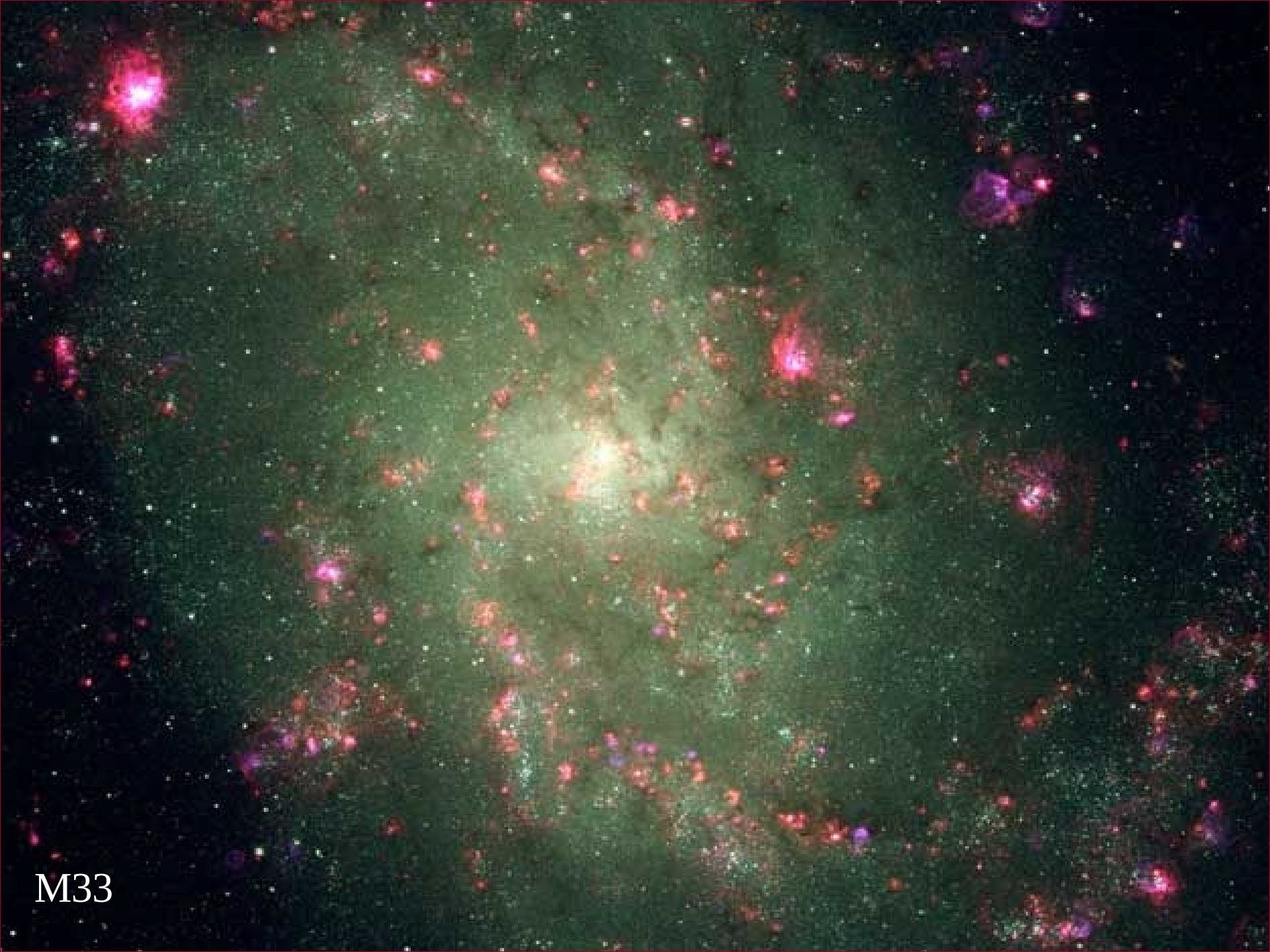
**Nebulosas «de reflexión»:** estrella no tan caliente no llega a poner el gas incandescente; la nebulosa sólo dispersa la luz de la estrella.

**Nebulosas «planetarias»:** región luminosa con forma de disco planetario; esfera de gas expulsado por una enana blanca; colores: diferentes gases iluminados por la estrella





M31



M33





M51

# Contando estrellas en vez de ovejitas

## Técnica de conteo de estrellas en diferentes direcciones suponiendo densidad constante

W. Herschel (1784, 48cm) y J.C. Kapteyn (1922) estudian la estructura de la Vía Láctea

WH promedia 10 conteos por zona. Resultado: caja plana

JCK: galaxia plana de 30000al x 6000al con el Sol en el centro

(la absorción por el polvo en el disco impide llegar al borde real)

## Estudio de la distribución de cúmulos globulares

H. Shapley (1917, 2.54m)

simétrica en latitud pero

asimétrica en longitud (el Sol no está en el centro)

calcula distancia al Cúmulo Hercules  $d = 100\ 000\text{al}$  (¿dentro o fuera de la Galaxia?)

**Modelo:** disco plano (diám 300 000al), centro en Sagitario, cúmulos globulares en halo esférico  
correcto excepto por las dimensiones (diám 100 000al).

# ¿Cómo es nuestra isla?

«Todas las controversias que han atormentado a los filósofos durante tantos siglos se reducen a la nada de una vez por la incuestionable evidencia de nuestra vista. La Vía Láctea no es más que una masa de innumerables estrellas agrupadas en cúmulos» (Galileo)

100 000 000 000 estrellas

Gas interestelar

Granos de polvo (10% de la masa)

Disco fino (100000al x 1000al) con bulbo central (20000al x 3000al)

Halo de cúmulos globulares (50000al de radio)

Distancia Sol-Centro: 32000al

Polvo del disco impide ver bien el Centro en el óptico.

Radiotelescopios: descubrimiento de la estructura espiral de estrellas, polvo y gas.

W. Baade (1940) propuso dos **poblaciones de estrellas**:

I. En los brazos de espiral (disco): jóvenes, glóbulos oscuros donde nacen

II. En regiones centrales y en el halo: viejas

Hipótesis sobre la **formación de la galaxia** (protogalaxia, aplanamiento, etc.)



# ¿Hasta dónde llega nuestra isla?

Queremos conocer la naturaleza de las dichas nebulosas y saber dónde se encuentran con respecto a una Galaxia cuyas dimensiones (hasta ~1935) son controvertidas.

El problema clave es **saber medir distancias** (luego lo veremos).

Dos visiones se enfrentaban:

**Shapley:** pequeñas nebulosas (S, E) en el halo de una Galaxia demasiado grande

**Curtis:** grandes nebulosas (S, E) similares a la nuestra situadas mucho más allá de ésta (cuyo tamaño infraestima)

Todo esto complicado por un cálculo erróneo de movimientos propios (A. Van Maanen) que situaba las nebulosas demasiado cerca.

Observación crucial (**Hubble**, 1924) de cefeidas en M31, M33, NGC6822

Mediante la relación período-luminosidad (Leavitt) deduce sus distancias:

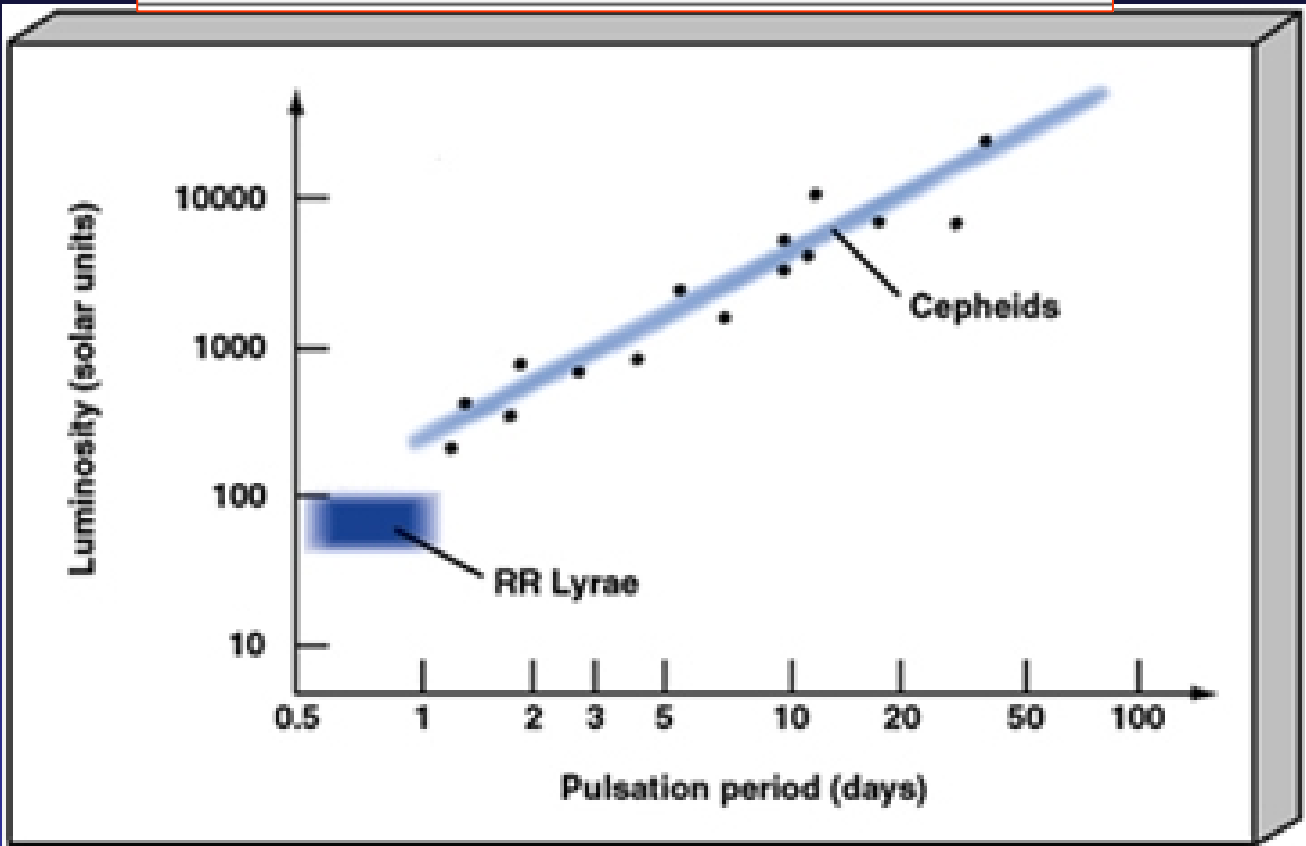
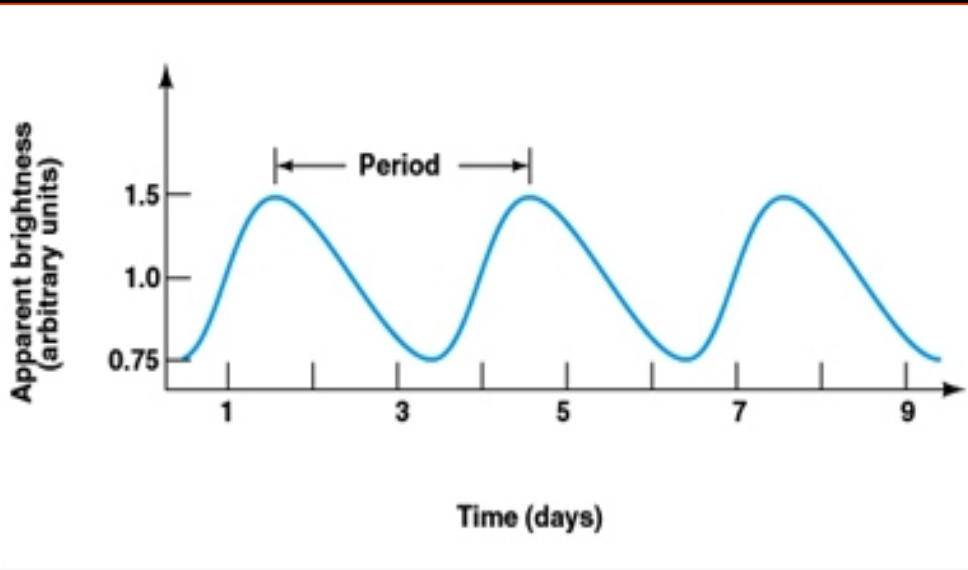
M31  $d = 900\,000\text{al}$  (realmente,  $2\text{Mal}$ ), es decir,

**¡CLARAMENTE FUERA DE NUESTRA GALAXIA!**

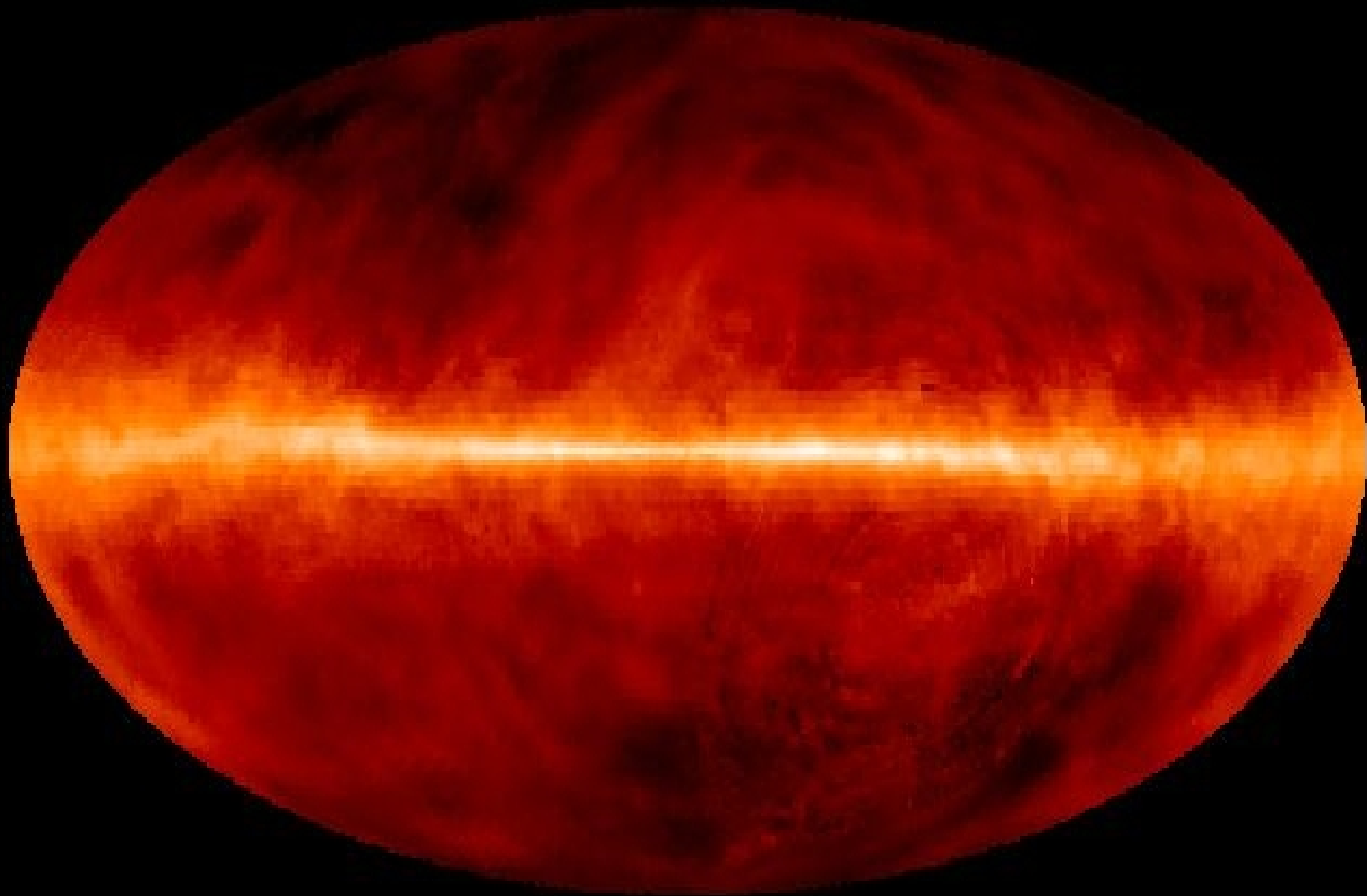
**ALGUNAS NEBULOSAS SON REALMENTE OTRAS GALAXIAS**

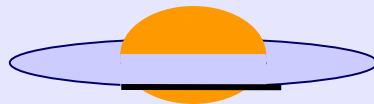
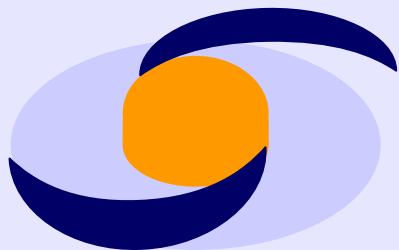
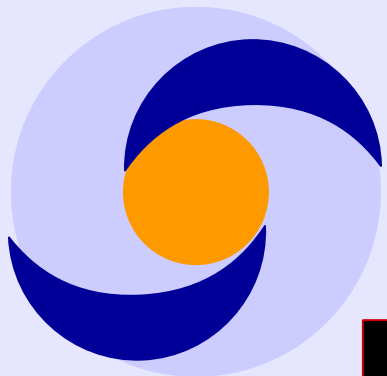
A partir de entonces reservamos el nombre de Nebulosa a las nubes de gas en nuestra Galaxia





# La Vía Láctea en H 21 cm





# Las otras islas: clasificación

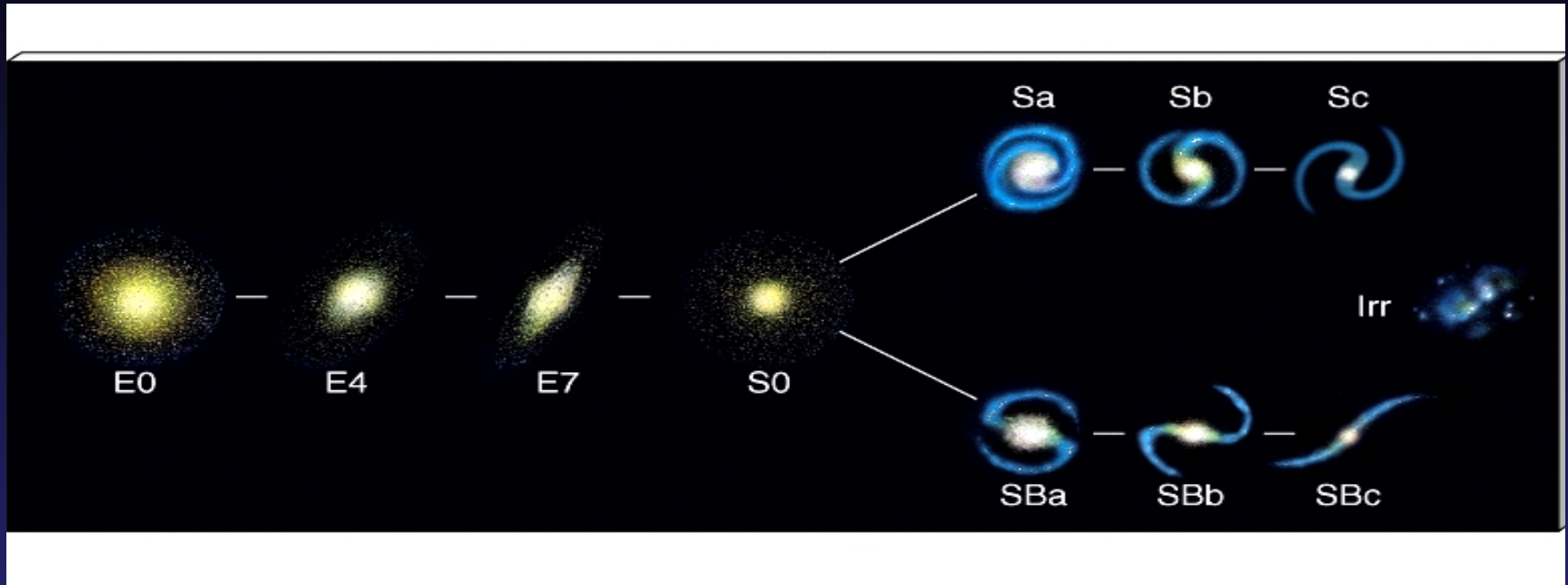
En 1924, Edwin Hubble dividió las galaxias en diferentes clases según su morfología.



- La secuencia morfológica refleja aspectos físicos relativos a la estructura de las galaxias, a su formación y evolución.

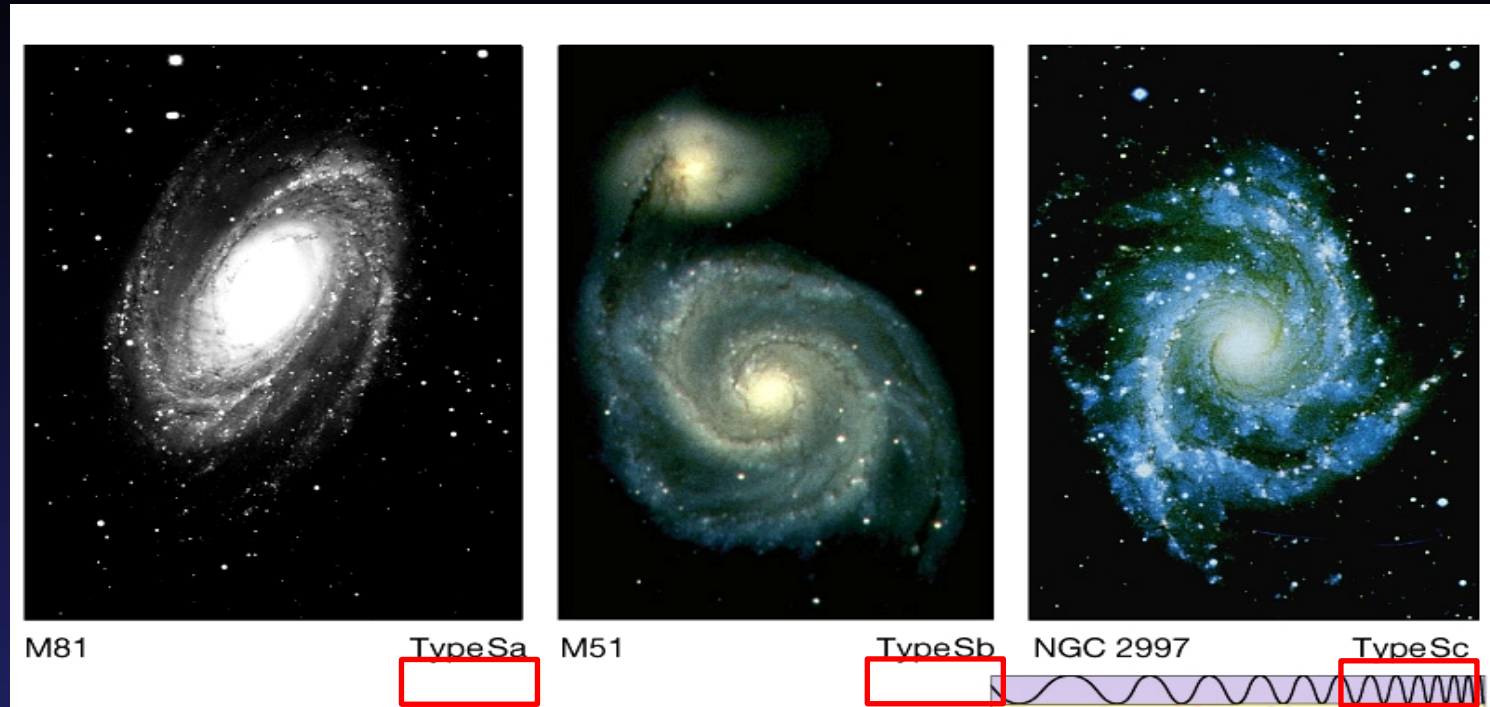


# El diapasón de Hubble (Hubble 1936)



Elípticas (E)  
Lenticulares (S0)  
Espirales (S) y espirales con barra (SB)  
Irregulares

# Galaxias espirales

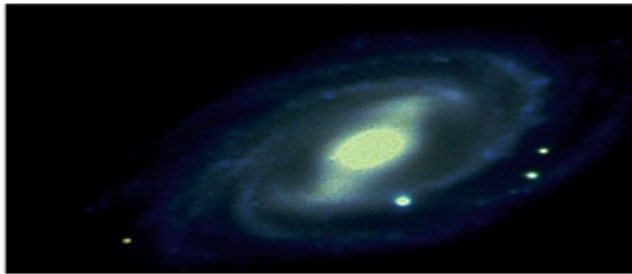


- Disco + brazos espirales + bulbo (normalmente)
- Subtipos a b c definidos según 3 criterios:
  - Cociente de luminosidad bulbo / disco
    - Sa:  $B / D > 1$
    - Sc:  $B / D < 0.2$
  - Naturaleza de los brazos espirales
    - Sa: brazos cerrados
    - Sc: brazos abiertos
  - Resolución de nudos, regiones HII, etc.



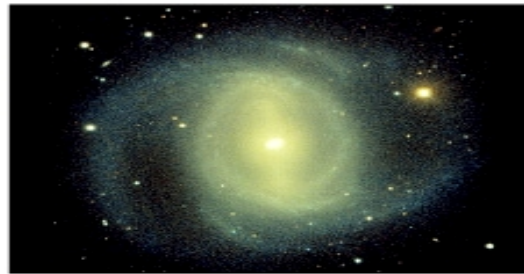
M63

# Galaxias Espirales Barradas



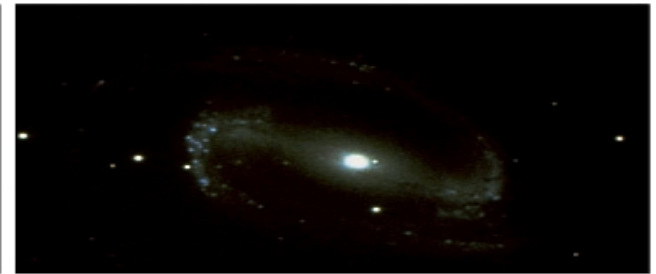
NGC 3992

Type SBa



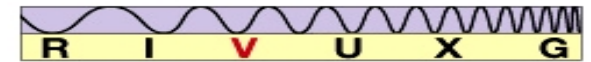
NGC 1433

Type SBb



NGC 1300

Type SBc



- Brillo bastante uniforme centrado en el núcleo
- Subclases a b c como en las espirales



NGC1365

# Galaxias Elípticas

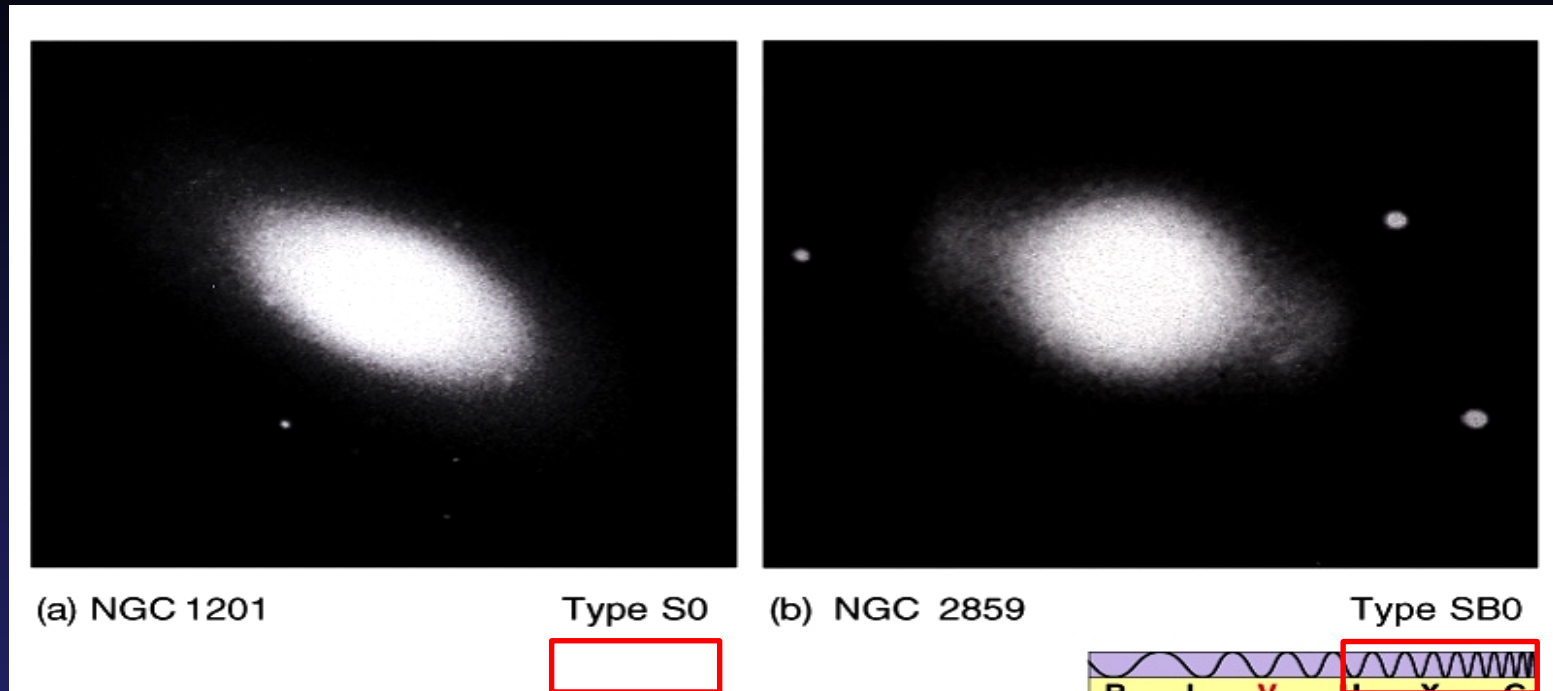


- Estructura uniforme y simétrica, contorno elíptico
- Subtipos E0 – E7 definidos según el achatamiento

- $E_x$  con  $x = 10 (a-b) / a$   
a, b son los ejes mayor y menor proyectados  
(no dice nada de la forma en 3-D)



# Galaxias Lenticulares (S0)



- Concentración de brillo en el centro (bulbo similar al de las E) rodeada de una región en la que el brillo desciende lentamente
- Sin estructura de brazos espirales
- Al principio se pensó que eran la transición entre Sa y E pero las S0 son típicamente entre 1-2 mags más débiles que las Sa, E (van den Bergh 1998)

# Galaxias Irregulares



- Sin simetría morfológica
- Con muchas estrellas jóvenes, azules y material interestelar
- Más pequeñas que la mayoría de las espirales y elípticas
- Subtipos:
  - Irr I: formas espirales bien resueltas y deformadas
  - Irr II: uniformes pero caóticas (M82) con filamentos de gas

## Tendencias en la secuencia de Hubble E ---- Sc:

- Cociente Bulbo/Disco decreciente
- Edad estelar decreciente
- Mayor contenido relativo de gas
- Mayor formación estelar

## Limitaciones de la clasificación de Hubble:

- Sólo incluye galaxias masivas (faltan las galaxias enanas – esferoidales, irregulares y compactas azules)
- Clasificación deficiente de las espirales con tres criterios que no están perfectamente interrelacionados.
- Existe un continuo gradual de barras.

# Clasificación de de Vaucouleurs

(de Vaucouleurs 1958, Handbuch der Phys. 53, 275)

(de Vaucouleurs 1964, Reference Catalog of Bright Galaxies)

Añade indicadores opcionales:

·Tipos mixtos: E/S0, Sab, Sbc

·Barras: SA (sin barra), SB (con barra), SAB (entre medias)

·Anillos internos: S(s) (brazos fuera del anillo), S(r) (brazos en el anillo), S(rs)

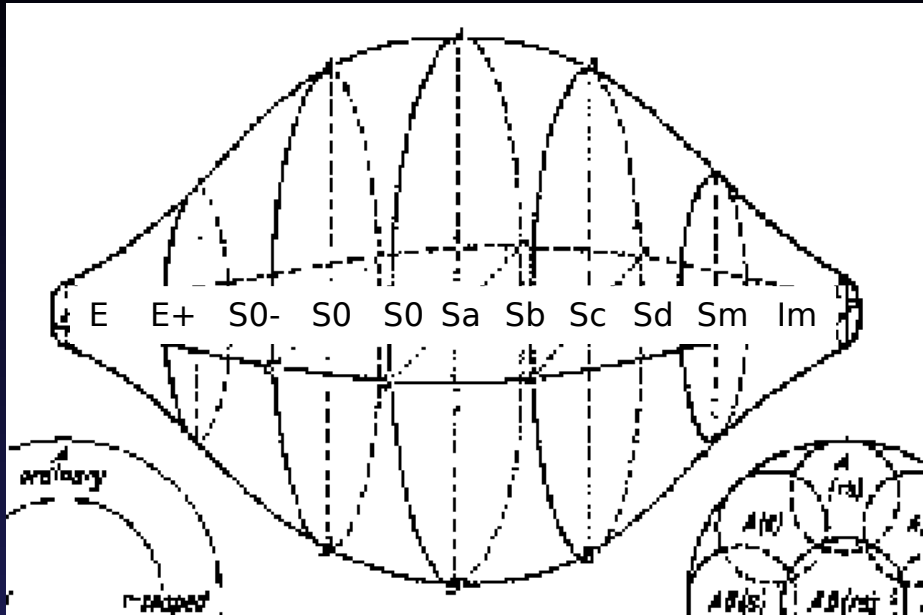
·Anillos exteriores: (R) S

·Más tipos de espirales e Irr: Sm (entre espiral e Irr), Im  
(magallánica), Sd (Sc extrema), Sdm (entre Sd e Im)

·Escala t (añadida en ediciones posteriores del catálogo)  
(de Vaucouleurs<sup>2</sup>, Corwin 1976)

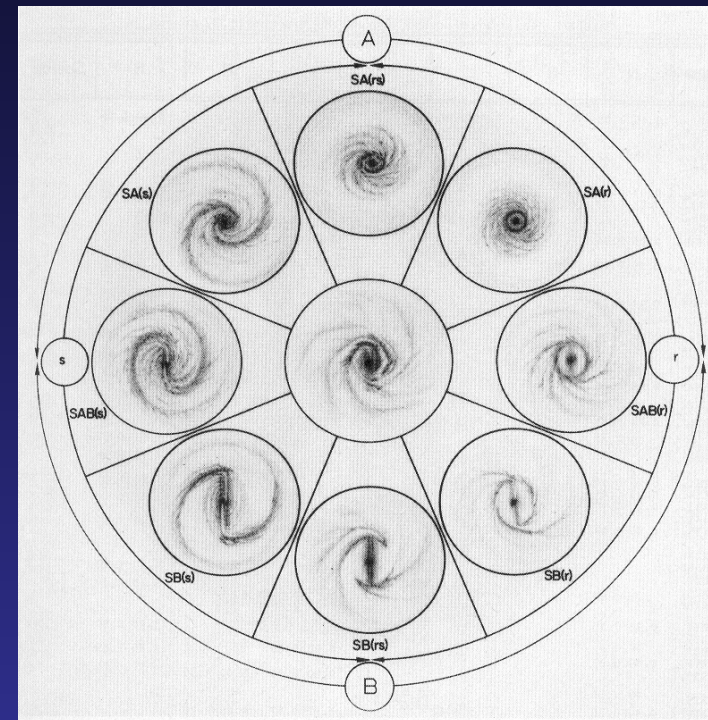
E0 → S0 → Sa → Sb → Sc → Im  
-5    -1    1    3    5    10    (t)

# Diagrama de la clasificación revisada



Sección transversal

Sin barra



Forma anular

## Limitaciones:

- E --- Im no es una secuencia lineal de un sólo parámetro
- Anillos y barras no son independientes
- No incluye la masa.

Forma espiral

Con barra

# Clasificación según la Luminosidad “sistema DDO”

van den Bergh (1960) -

En espirales e irregulares, algunas propiedades están más relacionadas con la masa que con el tipo morfológico. En las espirales, el parámetro clave es el desarrollo de los brazos (longitud, continuidad y anchura relativa al tamaño)

Sc I – brazos largos, bien desarrollados

Sc III – brazos cortos y romos

Sc IV - espiral enana (débil estructura espiral)

## DDO revisado - van den Bergh (1976):

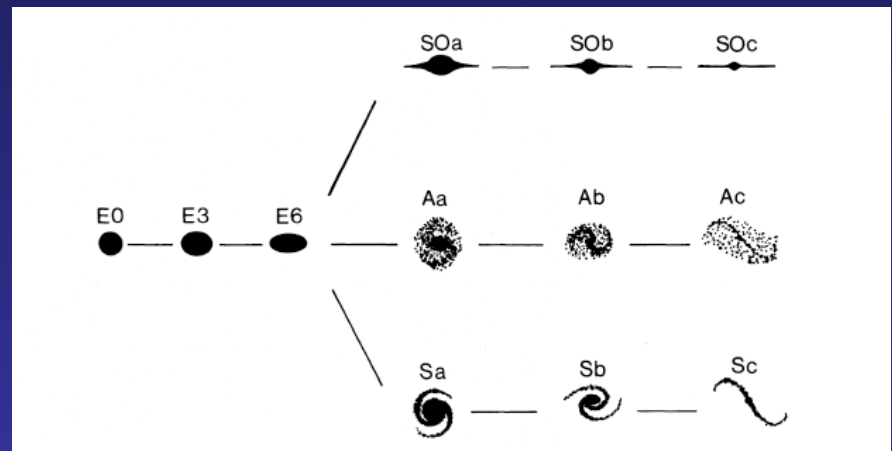
Puso las galaxias con disco en 3 clases de luminosidad:  
Ricas en gas, anémicas y lenticulares

Las anémicas tienen brazos difusos y escasa formación estelar

• Parámetros que cambian sistemáticamente de las Lenticulares a las ricas en gas:

- Fracción de gas
- Edad media estelar
- Formación estelar reciente

van den Bergh especula que todas las galaxias con disco nacen como espirales y se van haciendo anémicas primero y luego lenticulares





## Sistema Yerkes (Morgan 1958)

Fuerte correlación entre la concentración de luz en el núcleo (cómo de grande es el bulbo) y su espectro integrado. Parámetro único: espectro integrado.

- E, S0      espectro tipo K
- S          dominan las estrellas F-K
- Irr        dominan las estrellas A

Nomenclatura:

g

S

2

Tipo espectral dominante

Tipo de Hubble

Achatamiento

Kennicutt (1992)

El tipo de Hubble  
crece de arriba  
abajo.

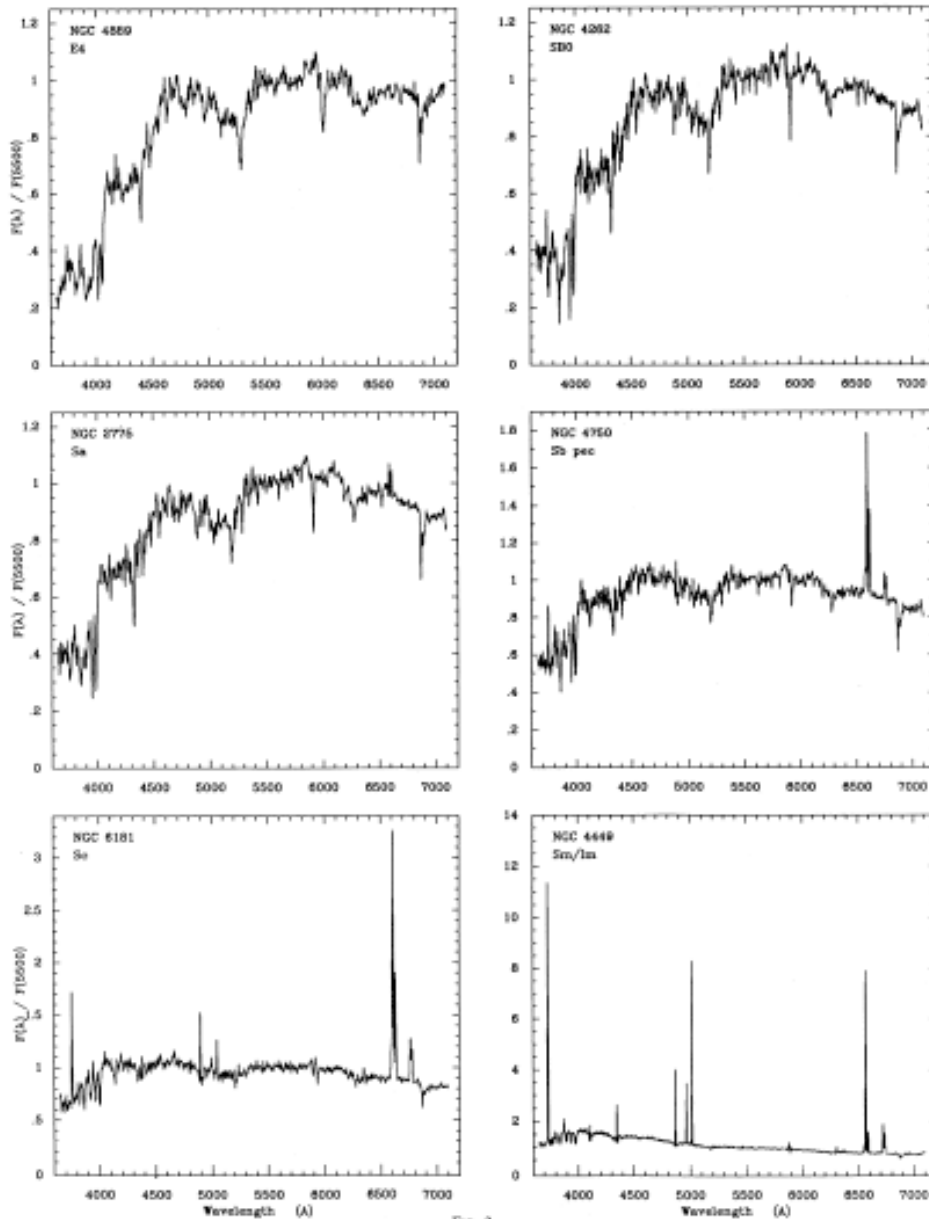
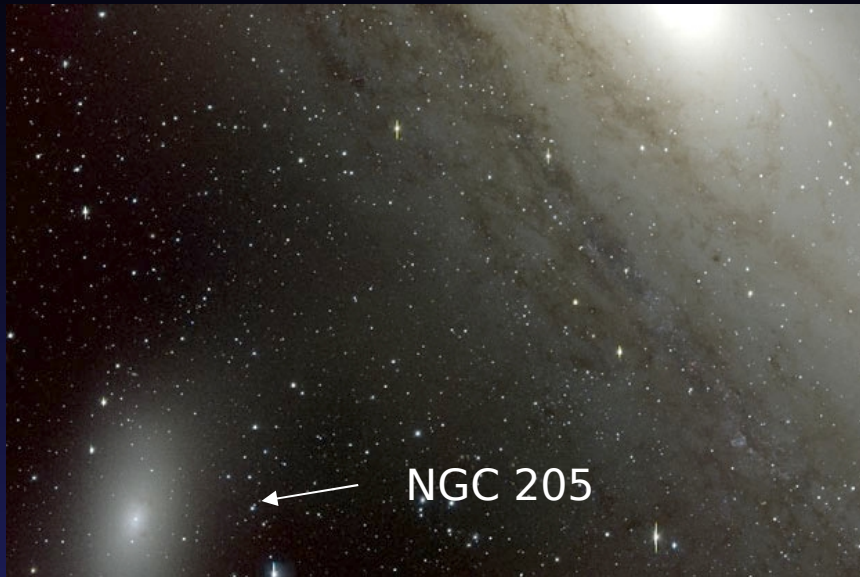


FIG. 2a

FIG. 2.—(a) The spectral Hubble sequence. Galaxies are shown in order of increasing Hubble type from top to bottom. See Table 3 for data on the galaxies. (b) Same spectra as in (a), but expanded in the blue to show the properties of the absorption-line spectra.

## GALAXIAS QUE NOS FALTABAN



*Enanas Elípticas* - dE -  
mucho menos  
luminosas que las  
elípticas normales.

1 kpc de diámetro y  
1 millón de estrellas en  
vez de  $\sim$ Mpc y  $10^{12}$   
estrellas.

*Enanas Esferoidales* - dSph –  
su densidad estelares tan baja  
que aun con los mejores  
telescopios se ven como  
agrupaciones de estrellas  
débiles. Sculptor (Shapley  
1938) fue la primera que se  
descubrió. dSphs son la  
contrapartida de baja  
luminosidad de las dEs.



# ¿Y de qué están hechas las galaxias?

**De estrellas, gas ionizado y neutro (30% masa), polvo ...** y partículas de radiación cósmica

Diferentes **proporciones relativas de tipos de estrellas**, nebulosas brillantes (HII), gas frío (HI)

**Secuencia morfológica** => proporción de estrellas jóvenes (azules) y de gas

**Distribución de estrellas calientes** se ve bien en espirales gracias a las regiones HII (trazador)

**Distribución de gas frío** necesita de observaciones radio (línea 21cm HI, 18cm OH, 2.6mm CO) sigue también los brazos espirales ópticos

Galaxias normales (las raras vienen luego) **emiten principalmente en el visible**  $P_v/P_r \sim 10^6$  pero las diferentes componentes se estudian en todo el espectro (radio, IR, óptico, UV, X, gamma)

**Desplazamiento de líneas en el espectro:** permite detectar movimientos del conjunto de un componente respecto al conjunto

## Rotación

Importante en galaxias espirales ( $\sim 100$  km/s, ver curva de rotación)

Menor en irregulares y en elípticas ( $\sim 10$  km/s), movimientos aleatorios

# Vida y obra de una galaxia vulgar

«Cocinando me doy una maña ... trabajando en el fogón»: preparando estrellas a base de gas

**Formación de una galaxia:** contracción de inmensa nube de gas en rotación a medida que pierde energía por colisiones entre sus pequeñas sub-nubes

Aplanamiento de la nube protogaláctica

Formación de estrellas:

Desaparición progresiva de gas

Enriquecimiento del medio interestelar en elementos pesados

**PREGUNTA:** ¿Se corresponde el diapasón de Hubble con la siguiente secuencia evolutiva?

Irr (con gas, estrellas jóvenes), S, L, E (sin gas, estrellas viejas)

**RESPUESTA:** NO, porque hay estrellas viejas en Irr y, además, en promedio,  $m(E) \gg m(Irr)$

**TEORIA ACTUAL:**

Todas las galaxias se han formado hacia la misma época (15 G años)

El tipo depende de las condiciones iniciales.

Explosiones nucleares gigantescas en el centro expulsan el gas y el polvo => elípticas

En otros casos, el gas y el polvo quedan atrapados => espirales

Halo (cúmulos globulares, estrellas viejas) se corresponde al volumen de la protogalaxia antes del aplanamiento. Las estrellas jóvenes se han formado después del aplanamiento (disco).

Las galaxias elípticas han transformado todo su gas en estrellas antes del aplanamiento.

# Volvamos a la pregunta del principio

## PREGUNTA:

¿Son todas las nebulosas cúmulos de estrellas que tarde o temprano podremos resolver si tenemos un telescopio suficientemente potente?

El tercer conde de Rosse (Parsonstown, Irlanda) pensaba que sí.

Se empeñó en construir un telescopio gigante (1.8m, 1845).

Vio las primeras espirales pero no pudo resolver todas las nebulosas en estrellas.

Debate abierto hasta los espectros de Huggins (1864):

líneas brillantes sobre fondo oscuro => nubes de gas resplandeciente

RESPUESTA: NO

# s raras (Galaxias activas)

## Seyfert

En 1943 descubre galaxias con núcleo pequeño pero muy brillante  
Emiten en longitudes de onda atípicas (UV, X, gamma)  
1% de todas las espirales

## Radiogalaxias

Vulgares en el óptico (insignificantes) pero intensa emisión radioeléctrica  
Muy activas, con dos lóbulos simétricos respecto de la galaxia óptica

## Cuasares (radiofuentes casi estelares)

Comparación de catálogos de radiofuentes (Cambridge, 3C) con atlas fotográficos  
Identificación de 3C48 con estrella azul débil (no con nebulosa) en 1960

Posición precisa de 3C273 (ocultación por la luna)

=> radiofuente óptica con espectro extraño

Explicación: desplazamiento al rojo enorme, del UV (invisible) al óptico

¿Qué son 3C48 y 3C273 ? Estrellas, no (radiofuentes, líneas de emisión brillantes)

Distancias de hasta 16 G años: no vale triangulación, hay que utilizar  $v = H d$

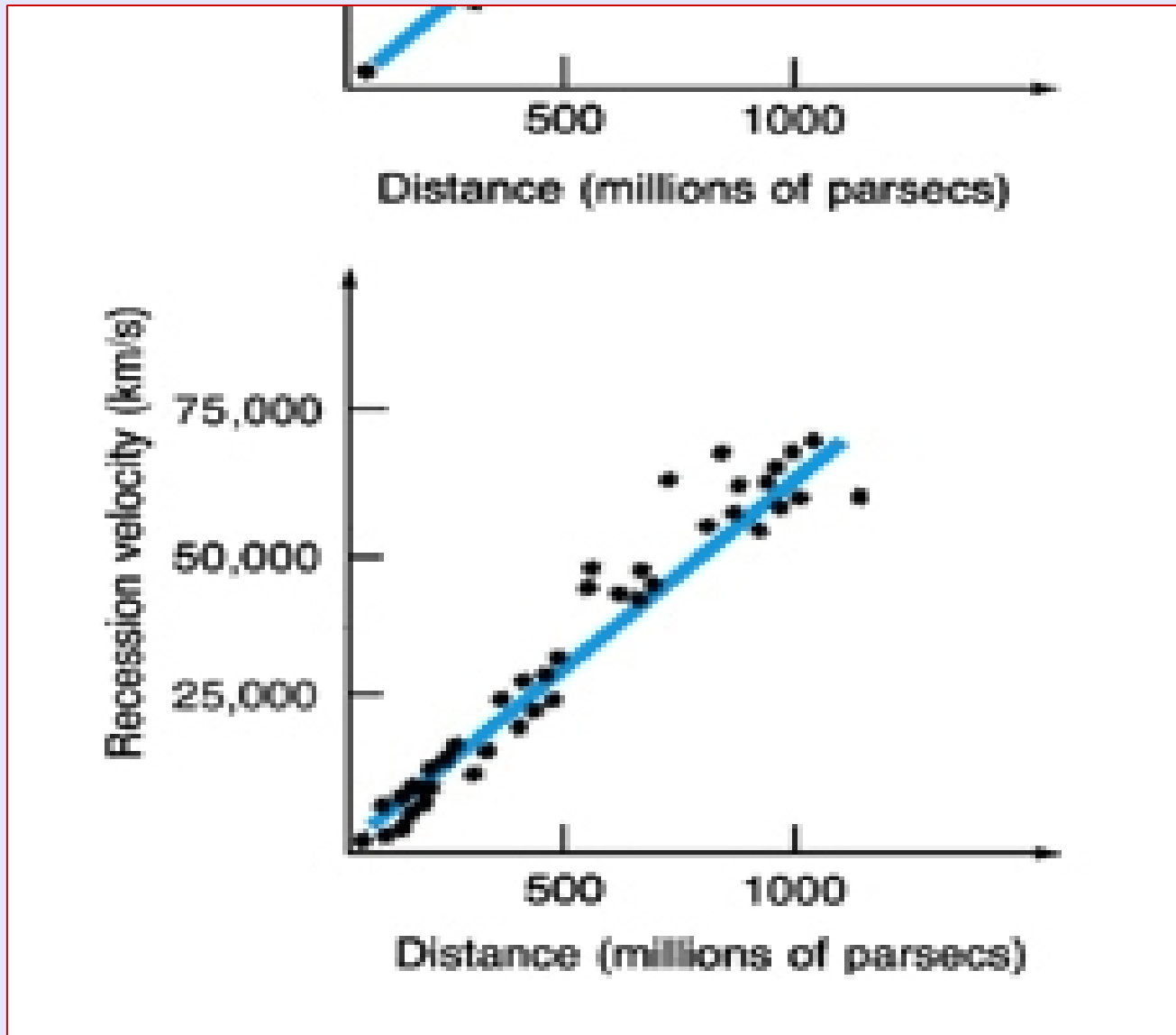
=> Energía enorme (10000 veces M31) y conocimiento del universo joven

Tamaño minúsculo (estimado mediante variabilidad)

## Galaxias con núcleos activos de tipo blazar

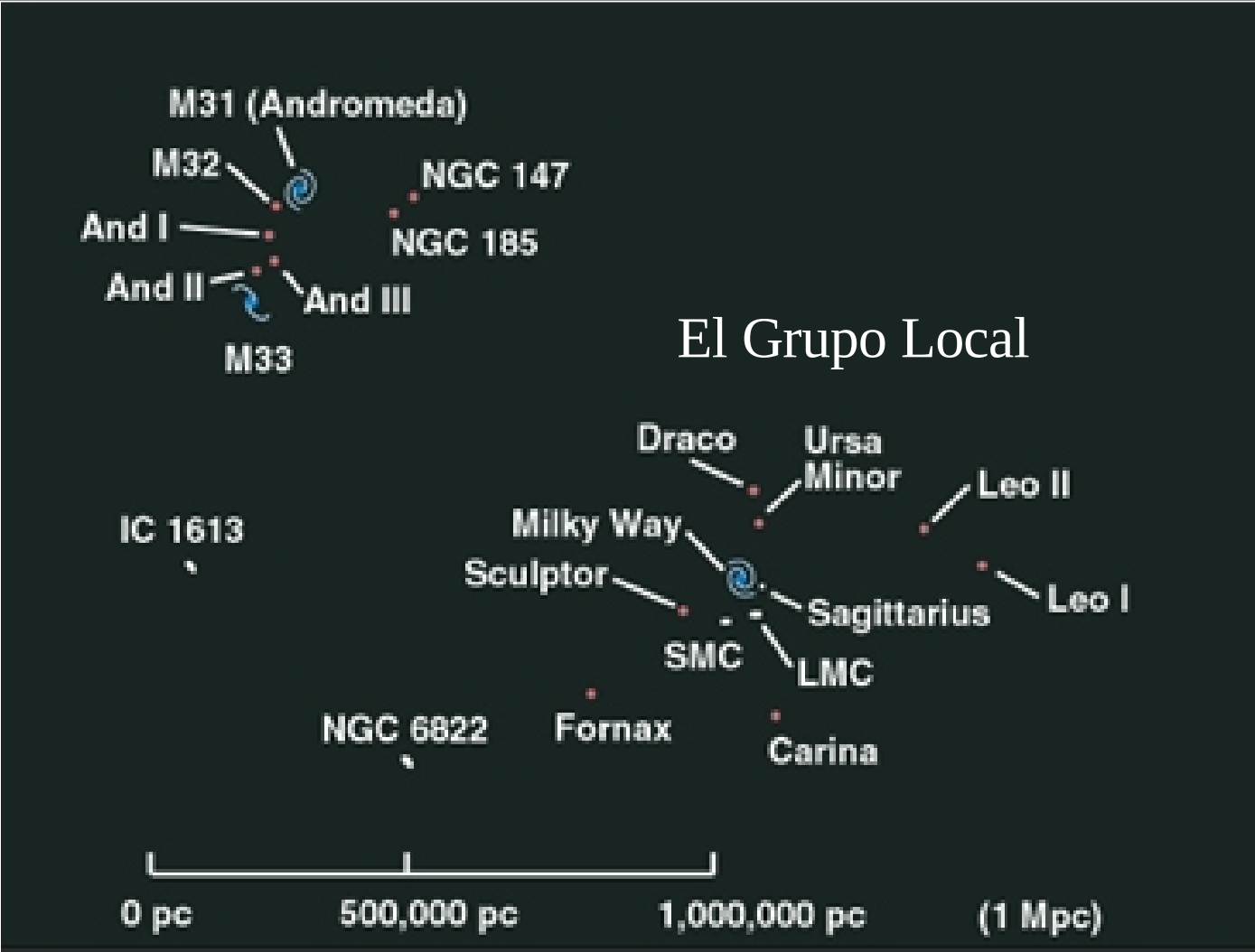


# Ley de Hubble

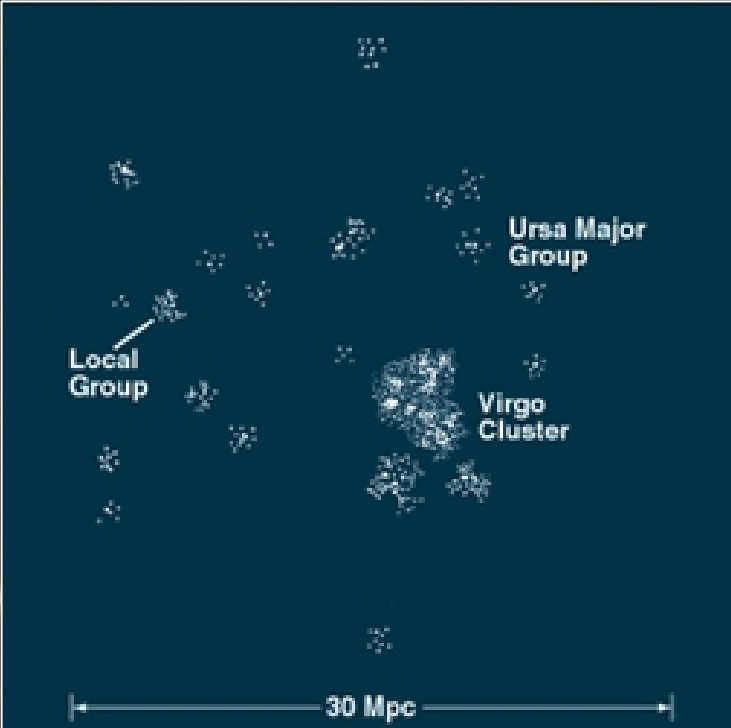
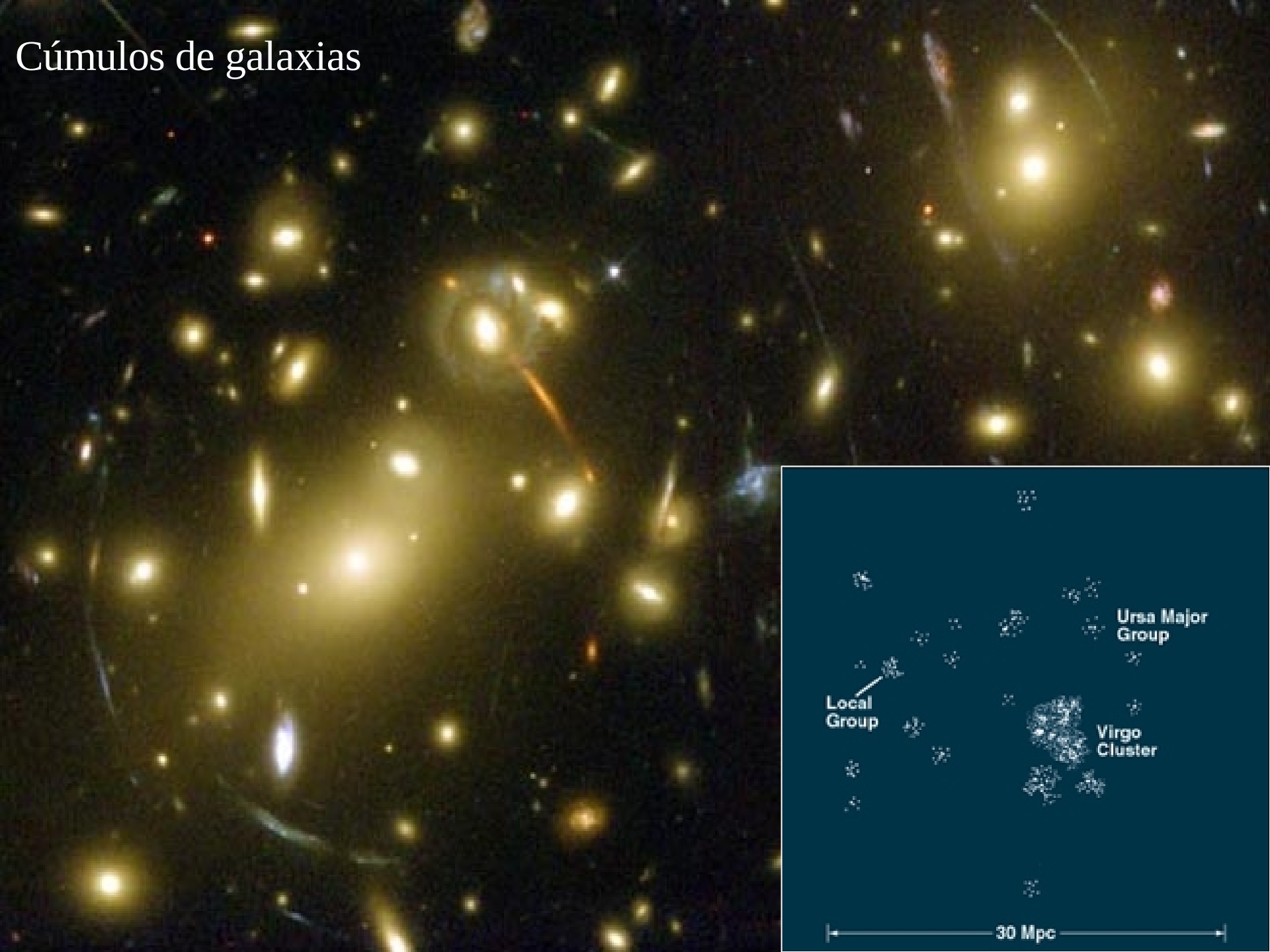


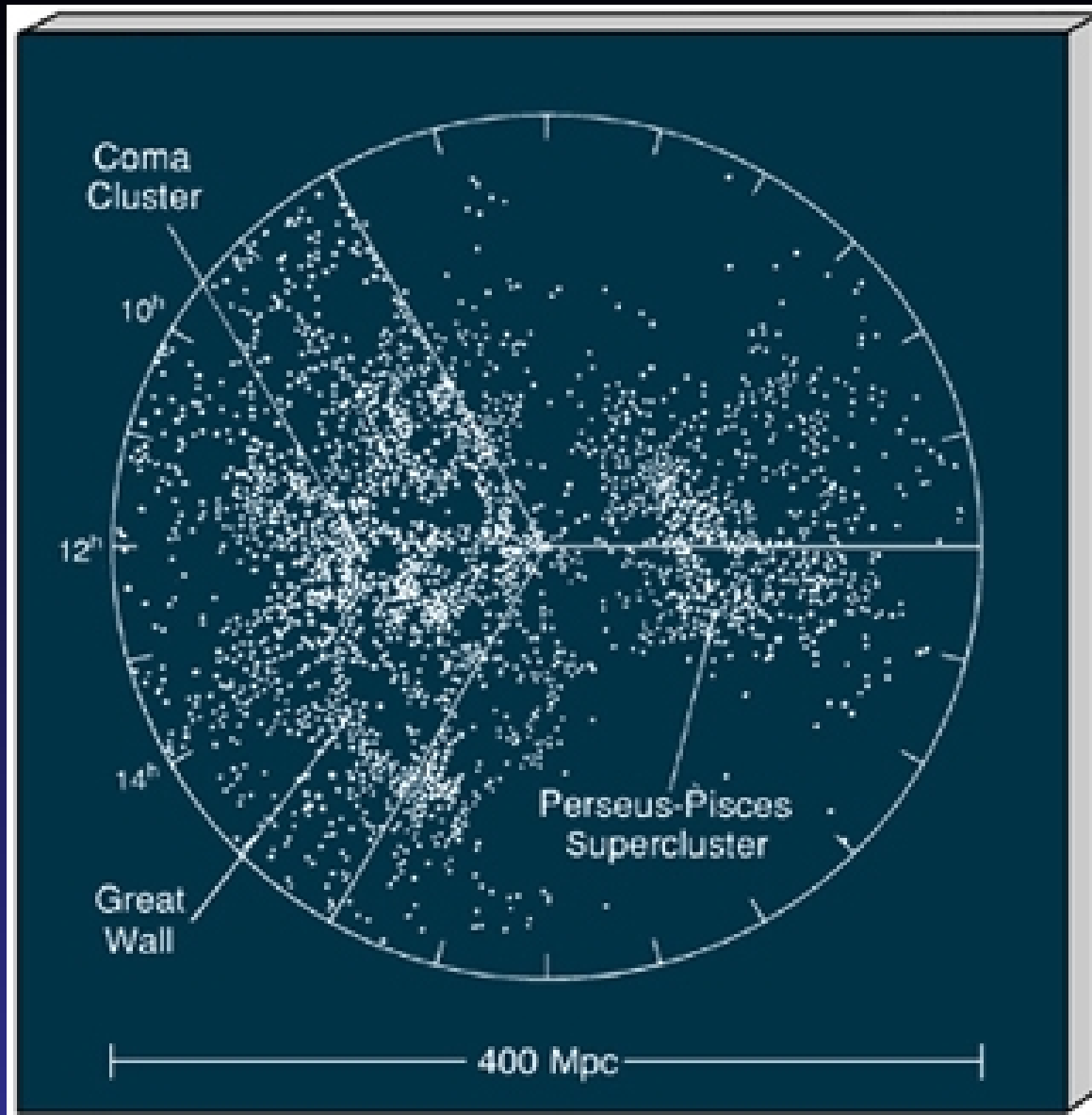
# Grupos de galaxias





# Cúmulos de galaxias





# 2dF Galaxy Redshift Survey

