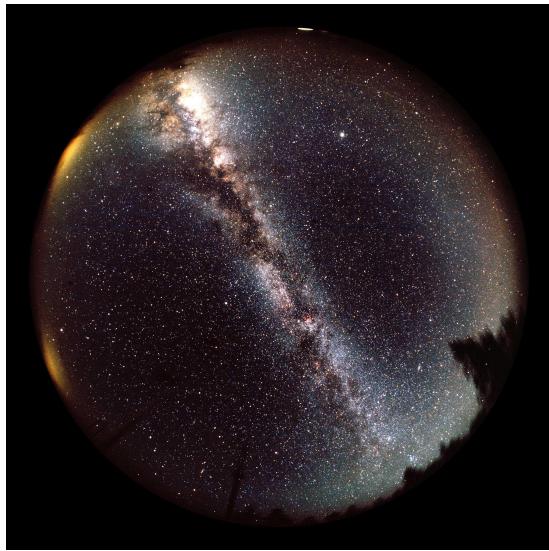


Astronomía Extragaláctica

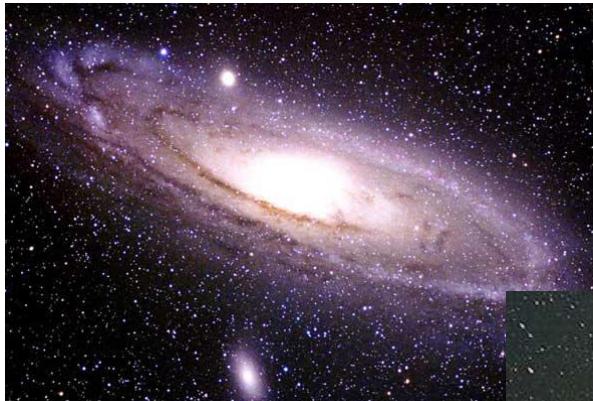
Una breve introducción a las Galaxias

Valeria Coenda

Galaxias Visibles sin Telescopio



Vía Láctea: Banda brillante de luz difusa en el cielo nocturno visible a simple vista.

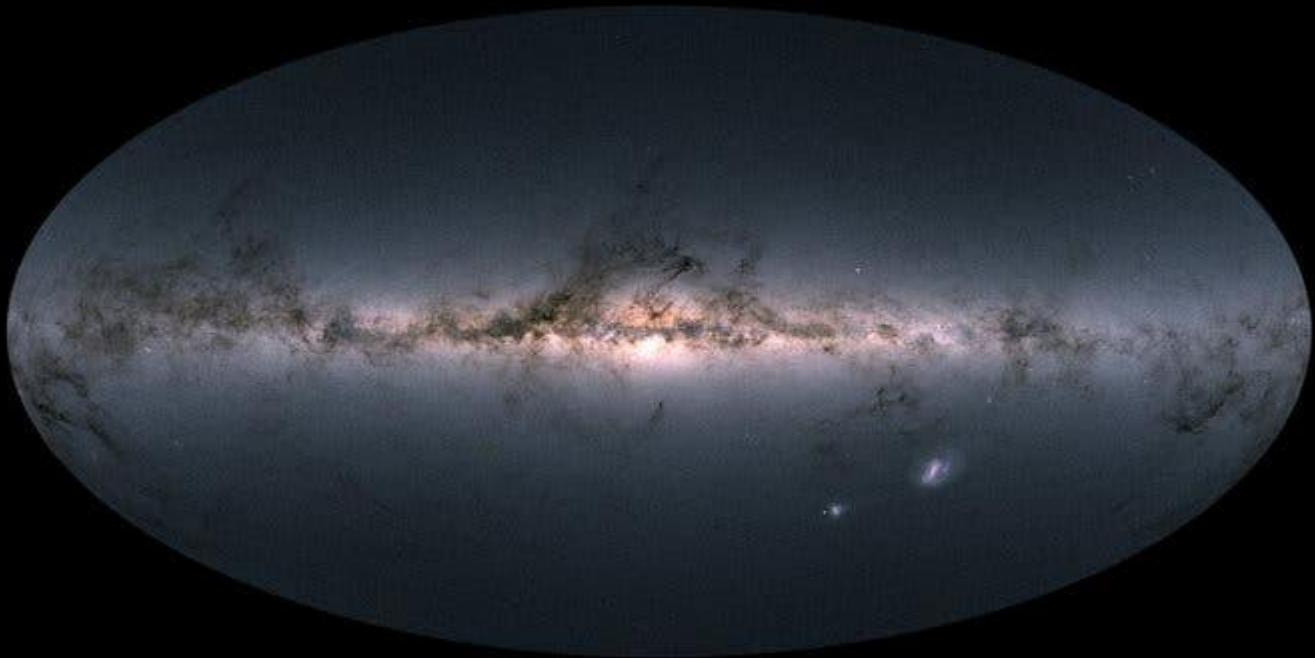


Andrómeda:
nebulosa de tamaño aparente 4 grados

Nube Menor de Magallanes:
tamaño aparente 2 grados.

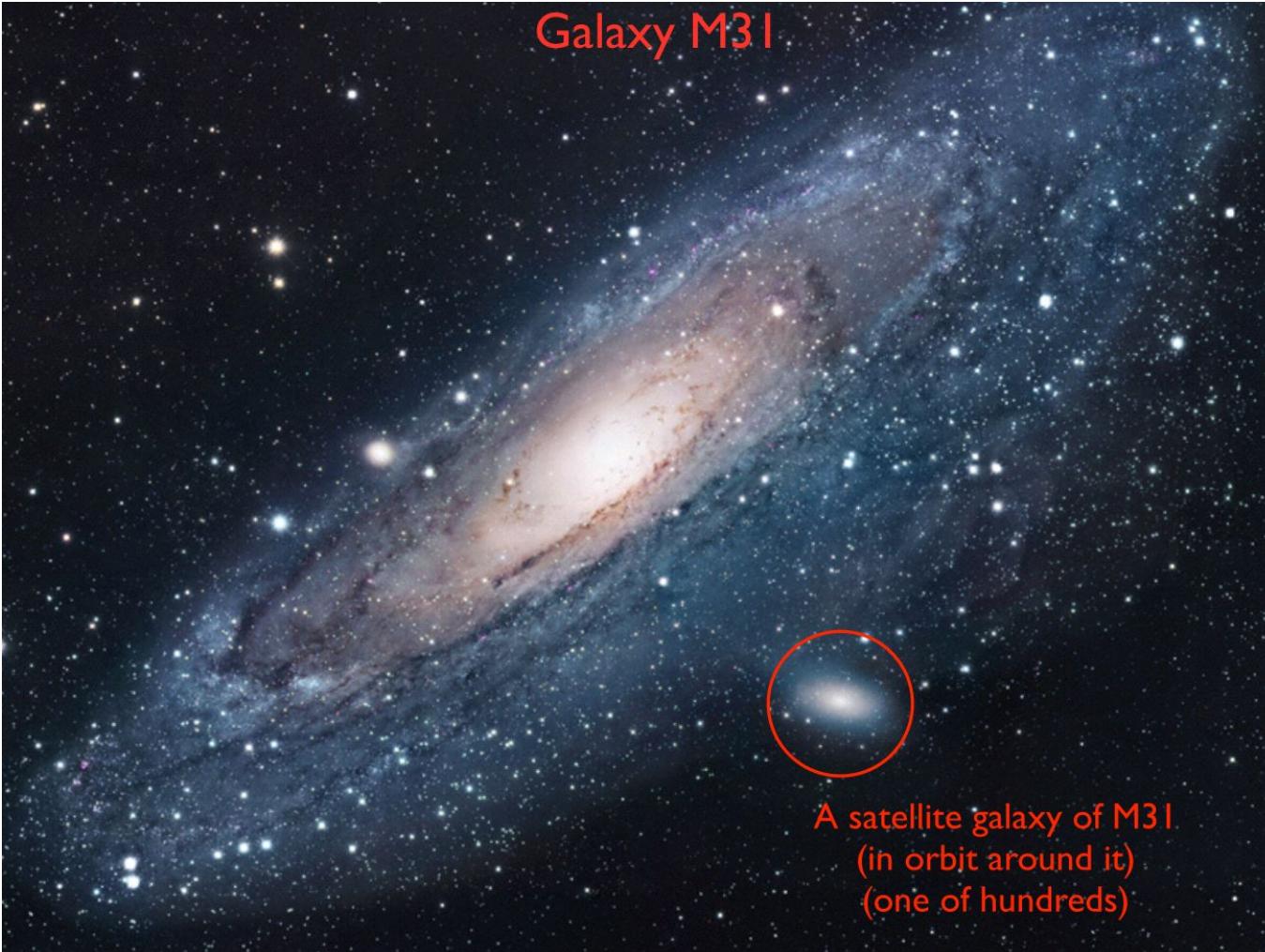


© Anglo-Australian Observatory



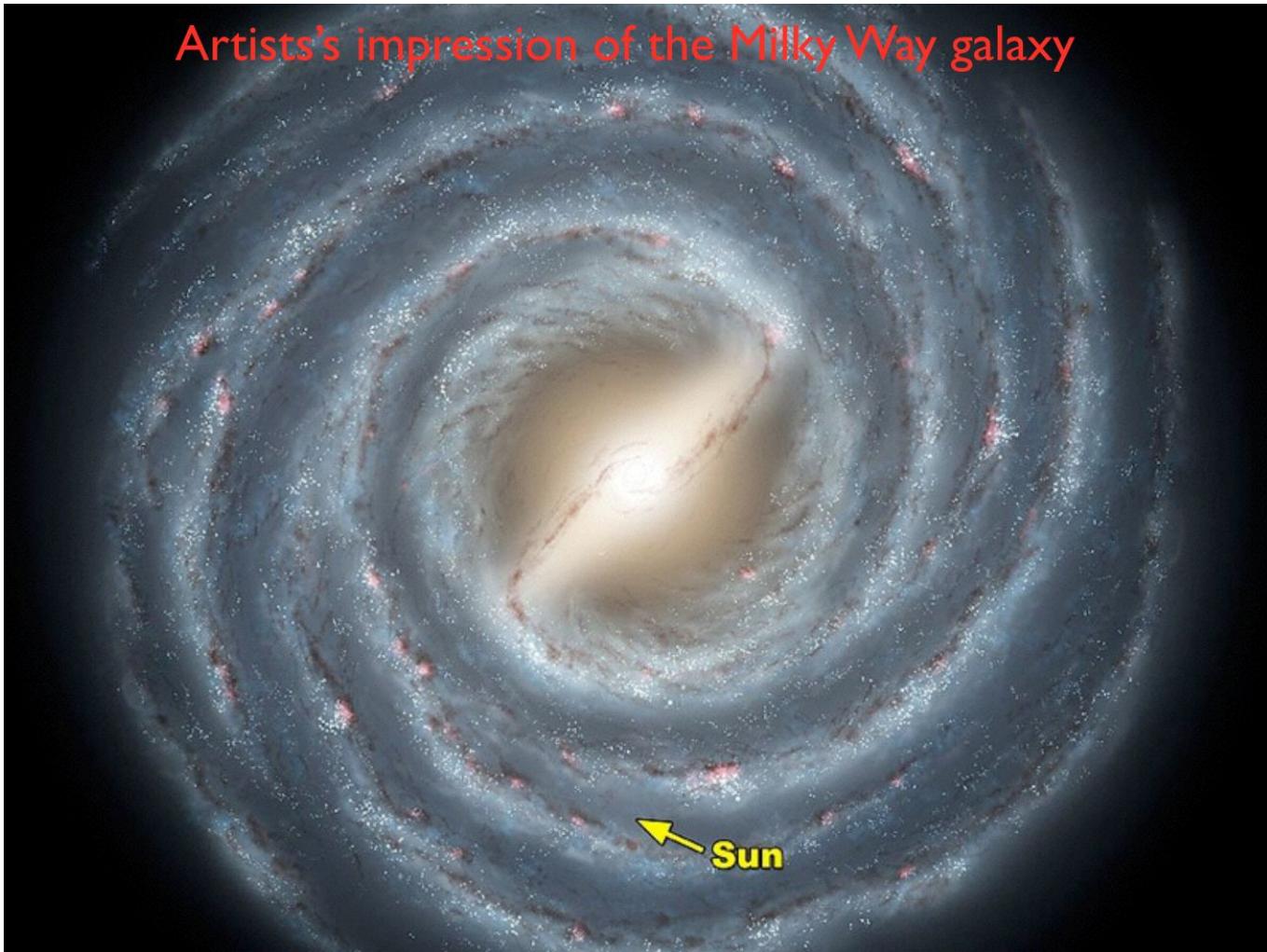
Créditos Gaia- ESA

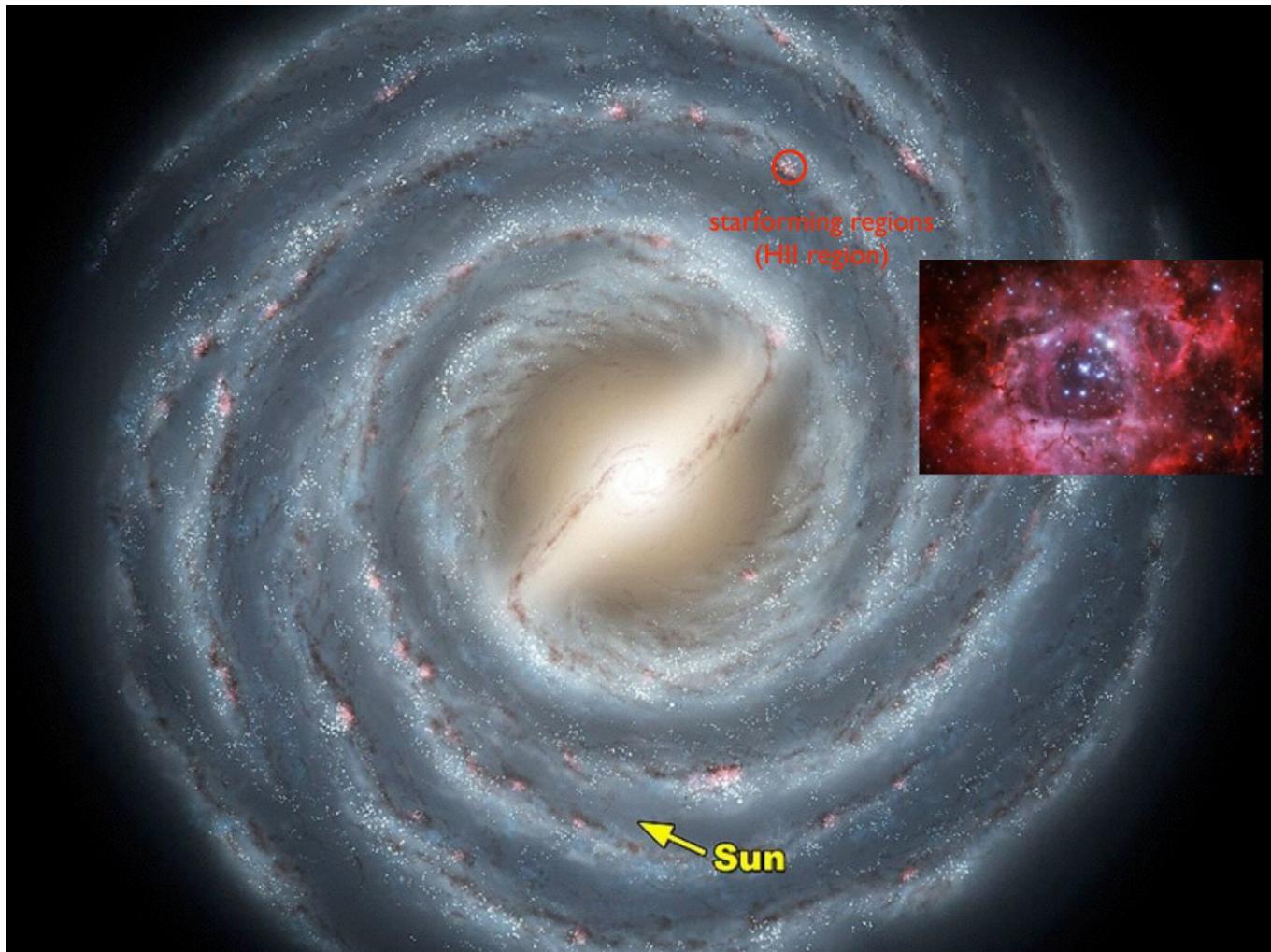
Galaxy M31

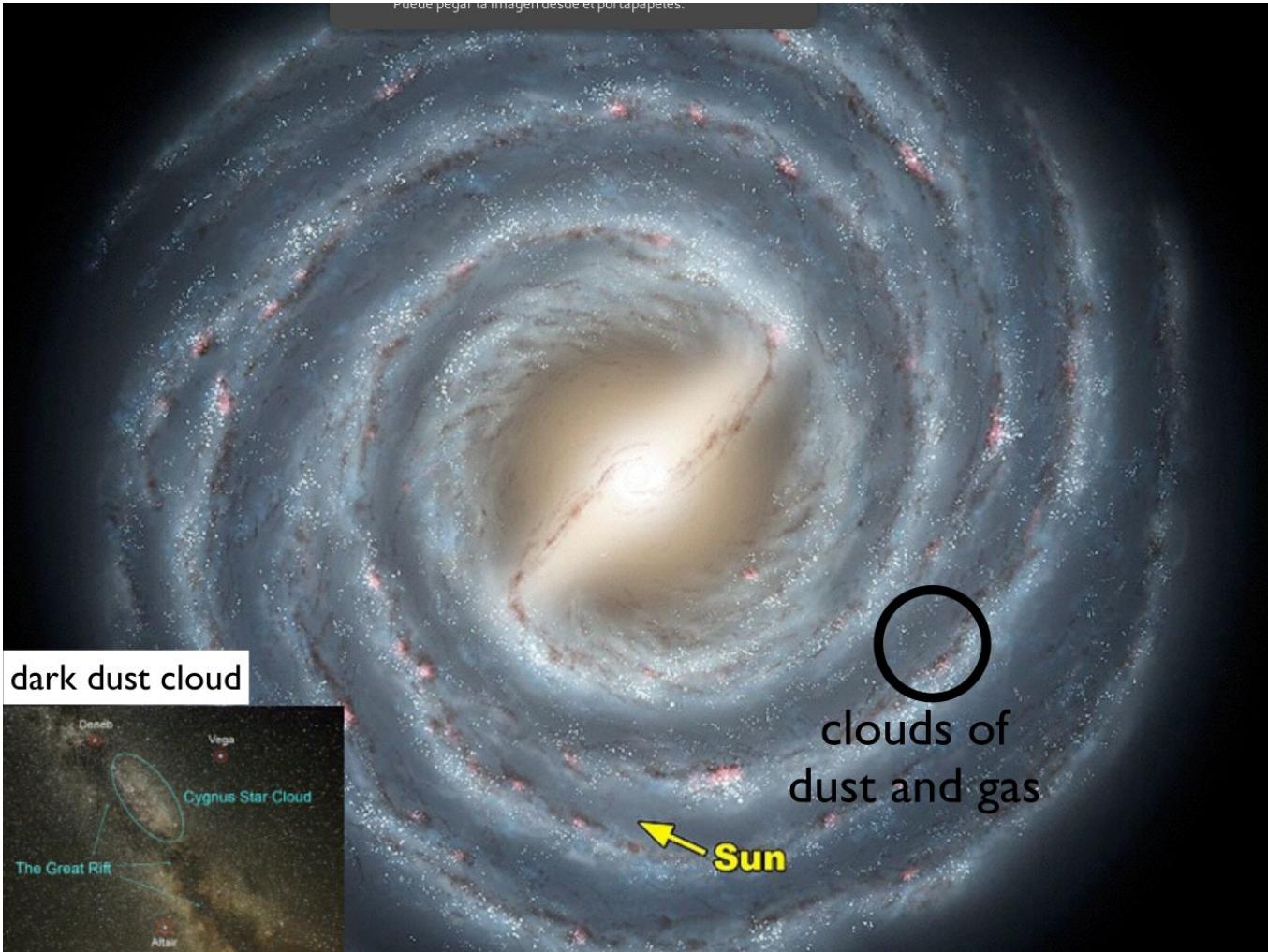


A satellite galaxy of M31
(in orbit around it)
(one of hundreds)

Artist's impression of the Milky Way galaxy

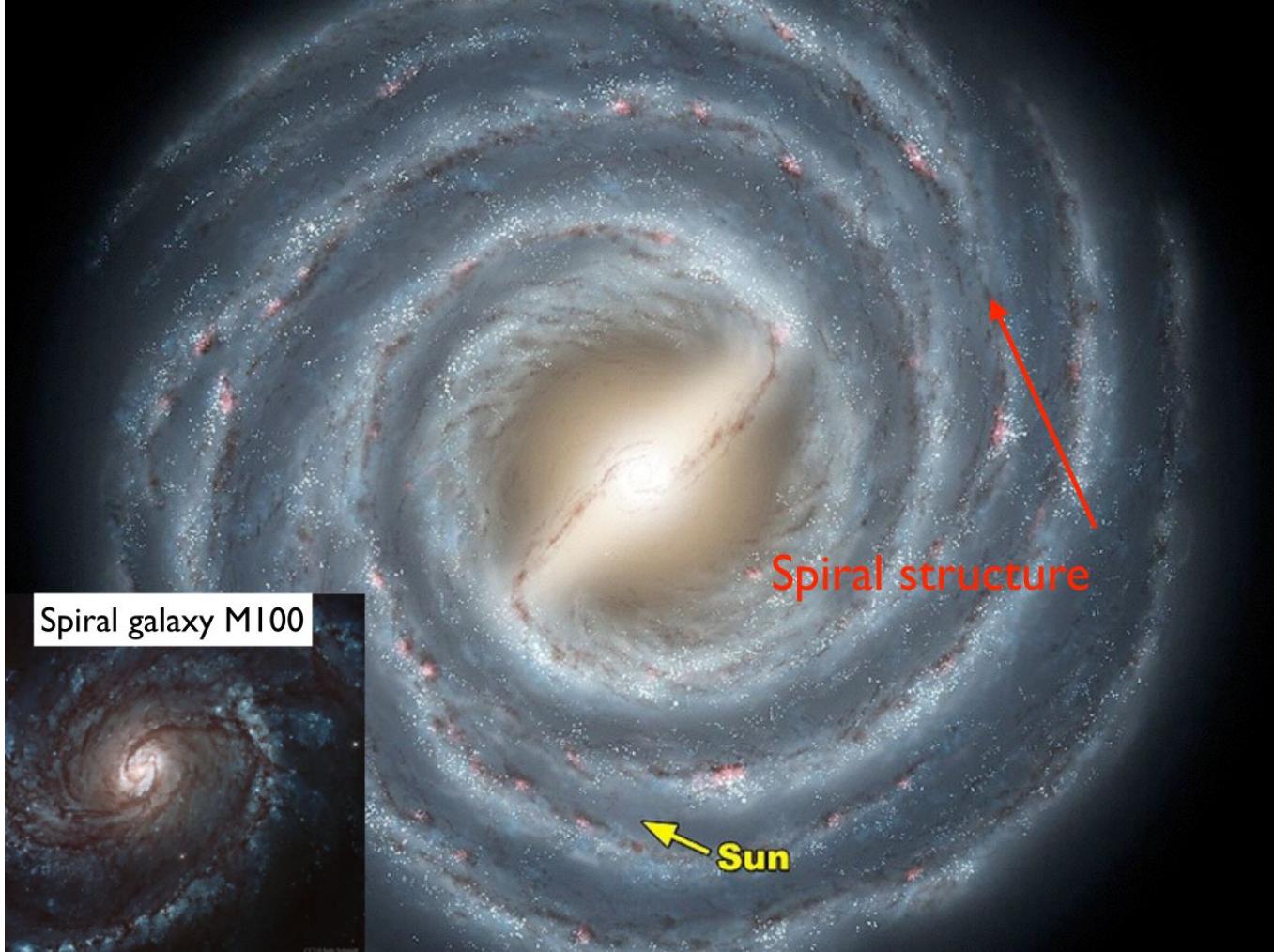


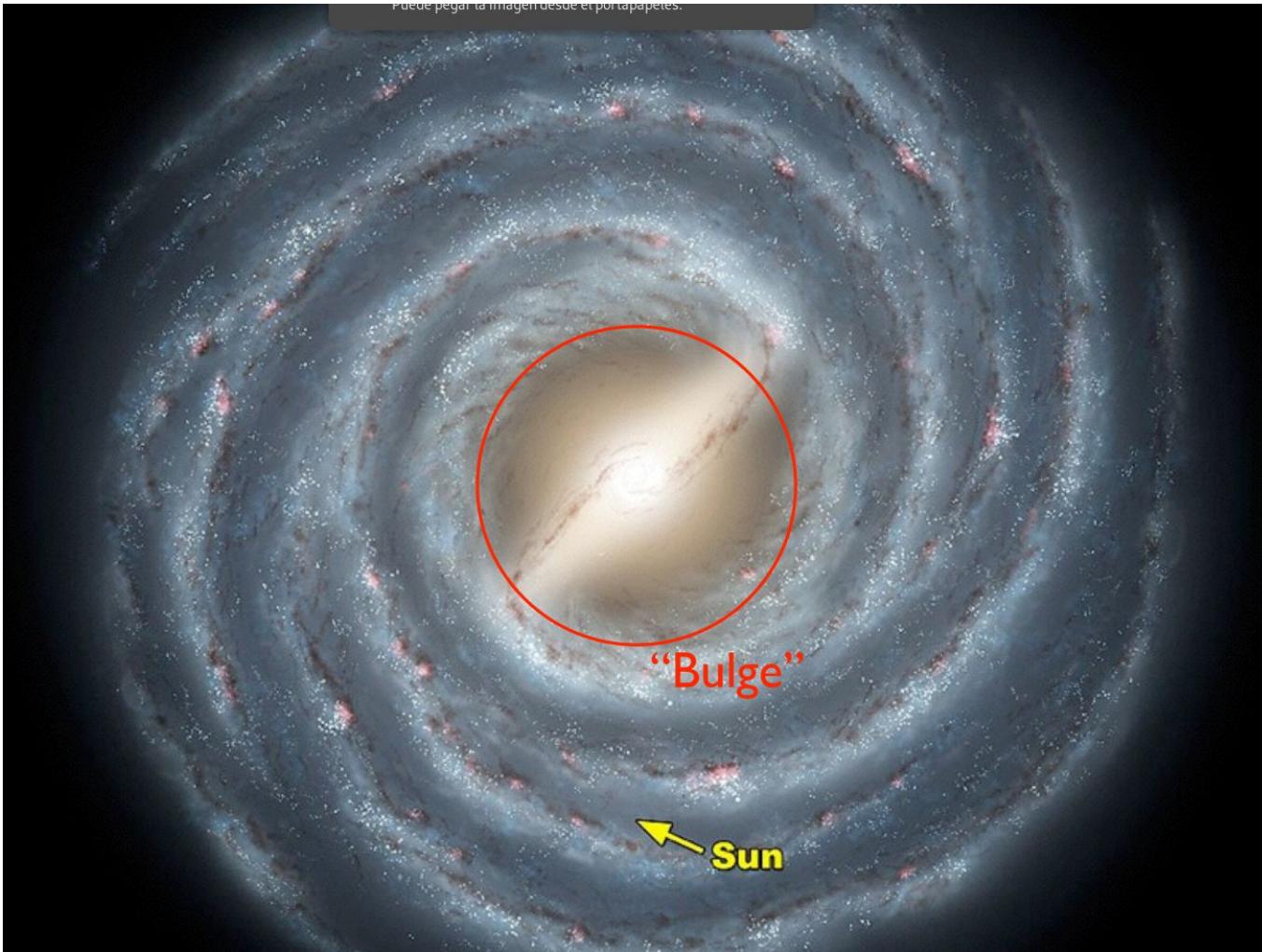


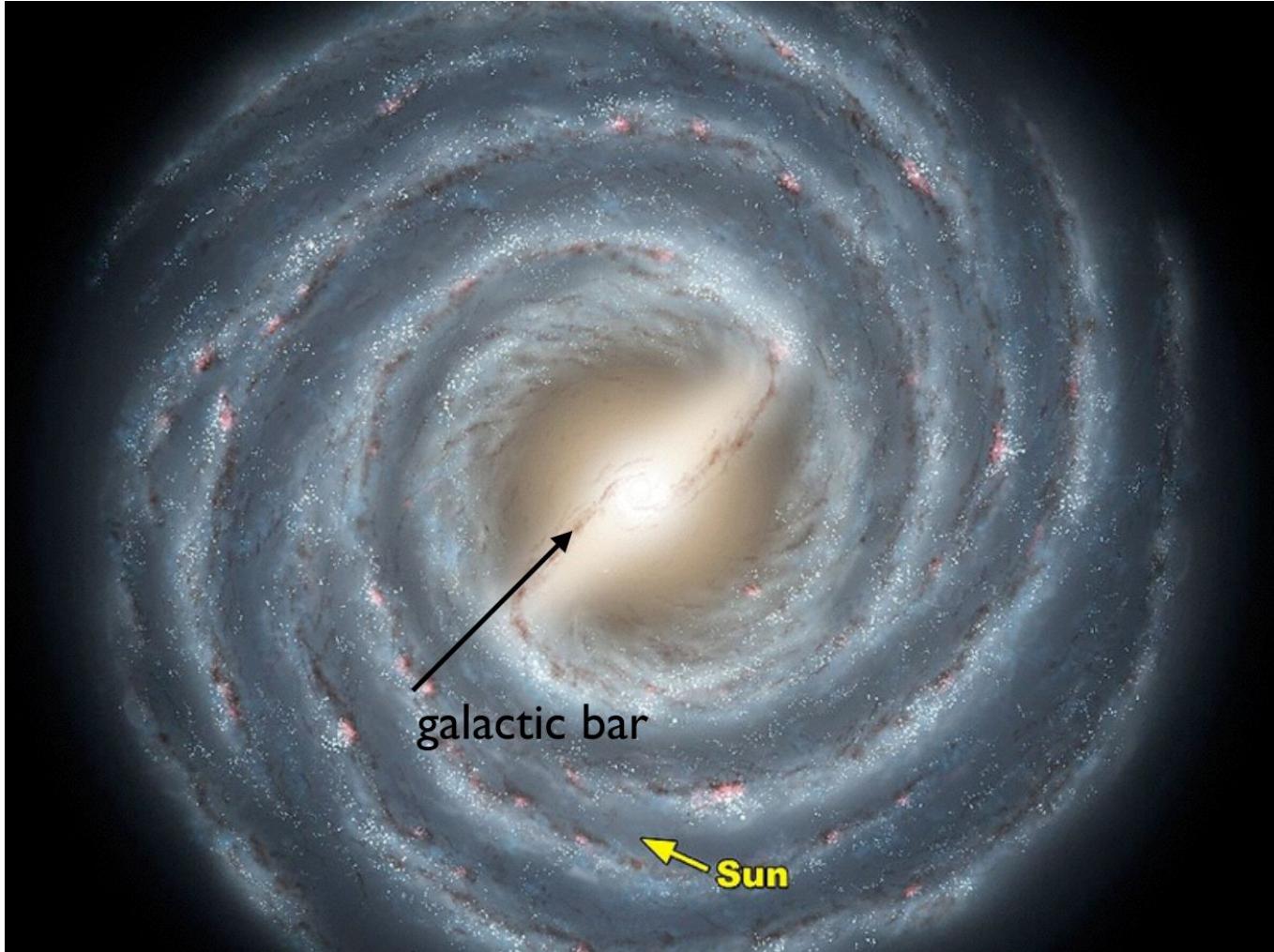




Spiral galaxy M100

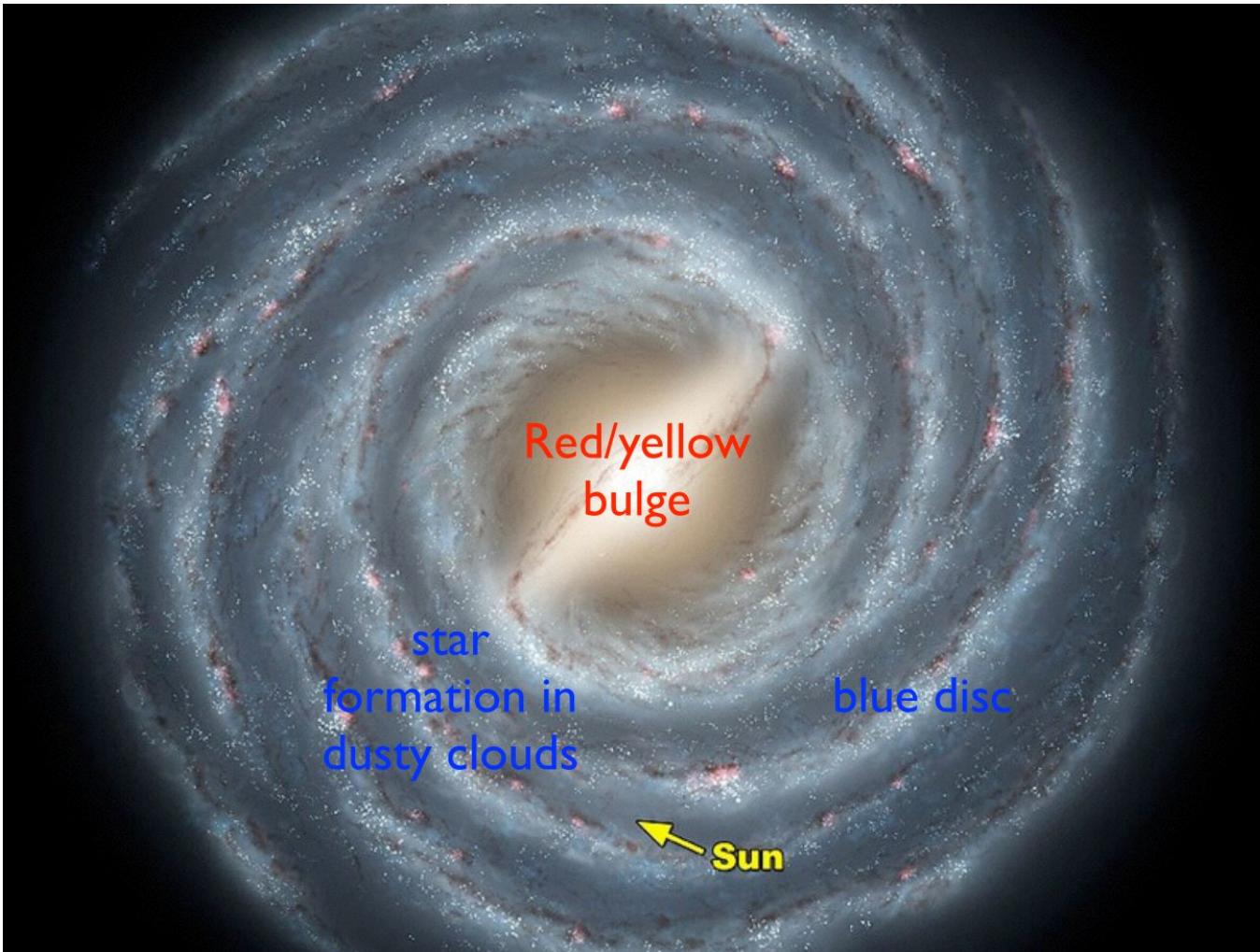






galactic bar

Sun



The Milky Way in numbers

- 200 billion stars
- radius 15 kpc (1 pc = 3.26 light years)
- distance to centre 8 kpc
- stellar mass: $2 \cdot 10^{10}$ solar masses
- oldest star: 10^{10} jaar
- current star formation rate: 2 solar masses / year
- speed: 600 km/s

200 billion galaxies brighter
than Milky Way within visible
horizon

Población de Estrellas

Población I

- Objetos jóvenes, azules y ricos en metales.
- Concentrados principalmente en el plano galáctico (brazos)
- Asociadas a gas y polvo
- Órbitas casi circulares en torno al centro galáctico.
- Vida corta.
- Baja dispersión de velocidades: 15 a 80 km/s
- Estrellas variables Cefeidas, supergigantes, cúmulos galácticos.

Población II

- Estrellas viejas, rojas y pobres en metales.
- Concentradas en el bulbo y en el halo
- Poseen muy poca rotación o ninguna, órbitas excéntricas.
- Las estrellas del halo son más pobres en metales que las del bulbo, pero todas distribuidas en forma esférica.
- Vida larga
- Alta dispersión de velocidades: 135 a 230 km/s
- Estrellas variables RR Lyrae, cúmulos globulares.

Andromeda

star forming regions



dust

bulge

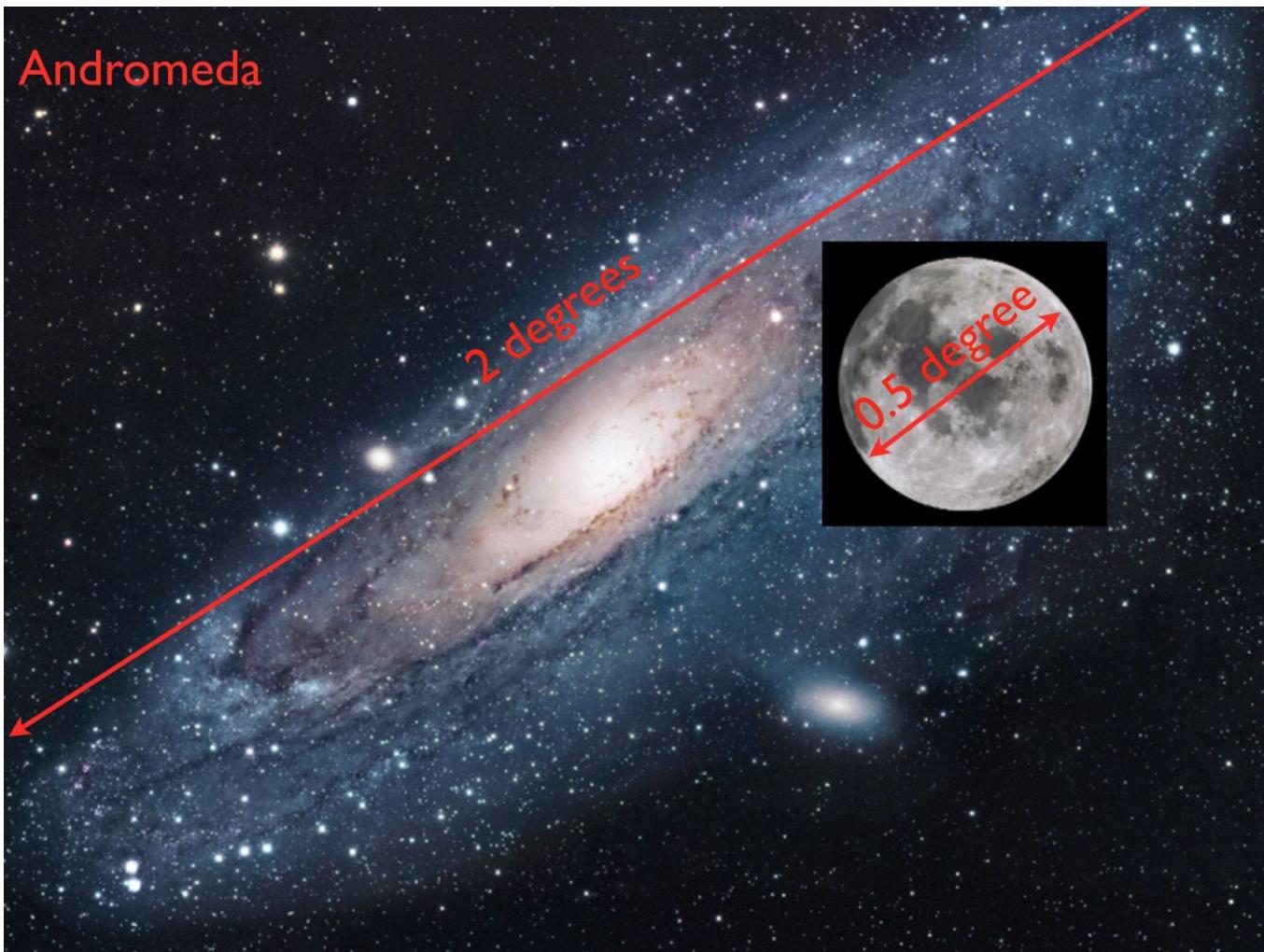
blue disc

satellite

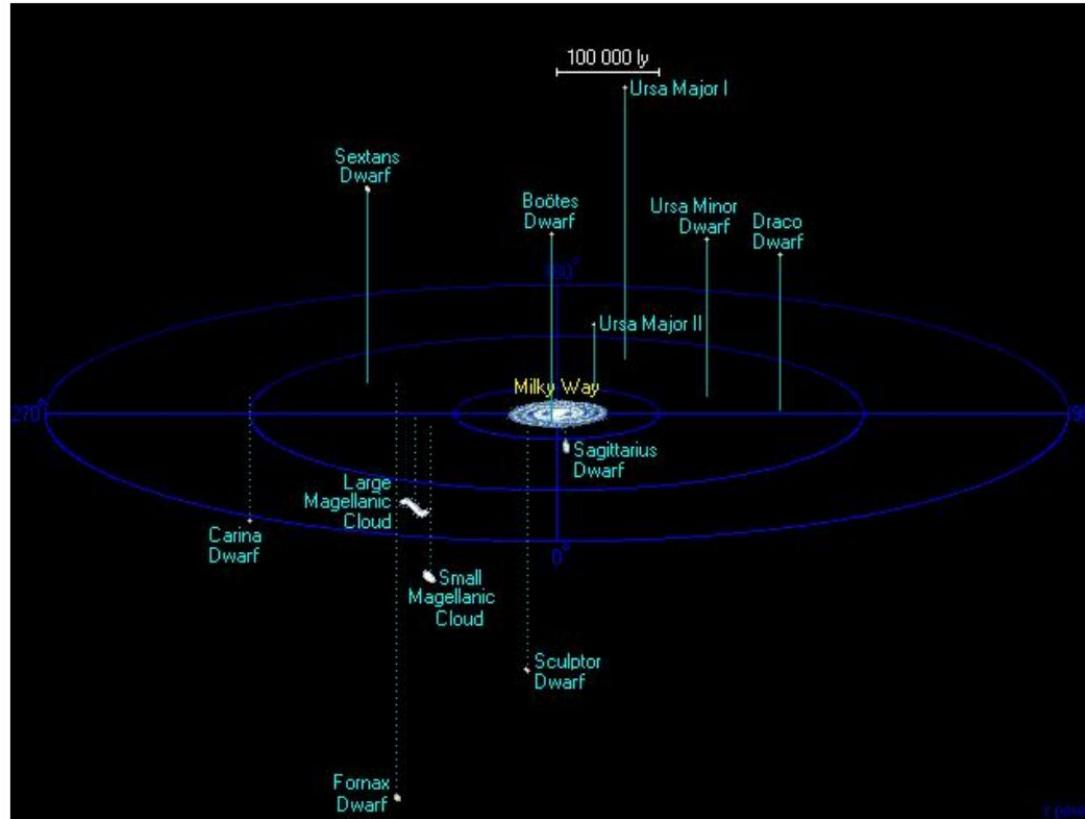


foreground Milky Way star

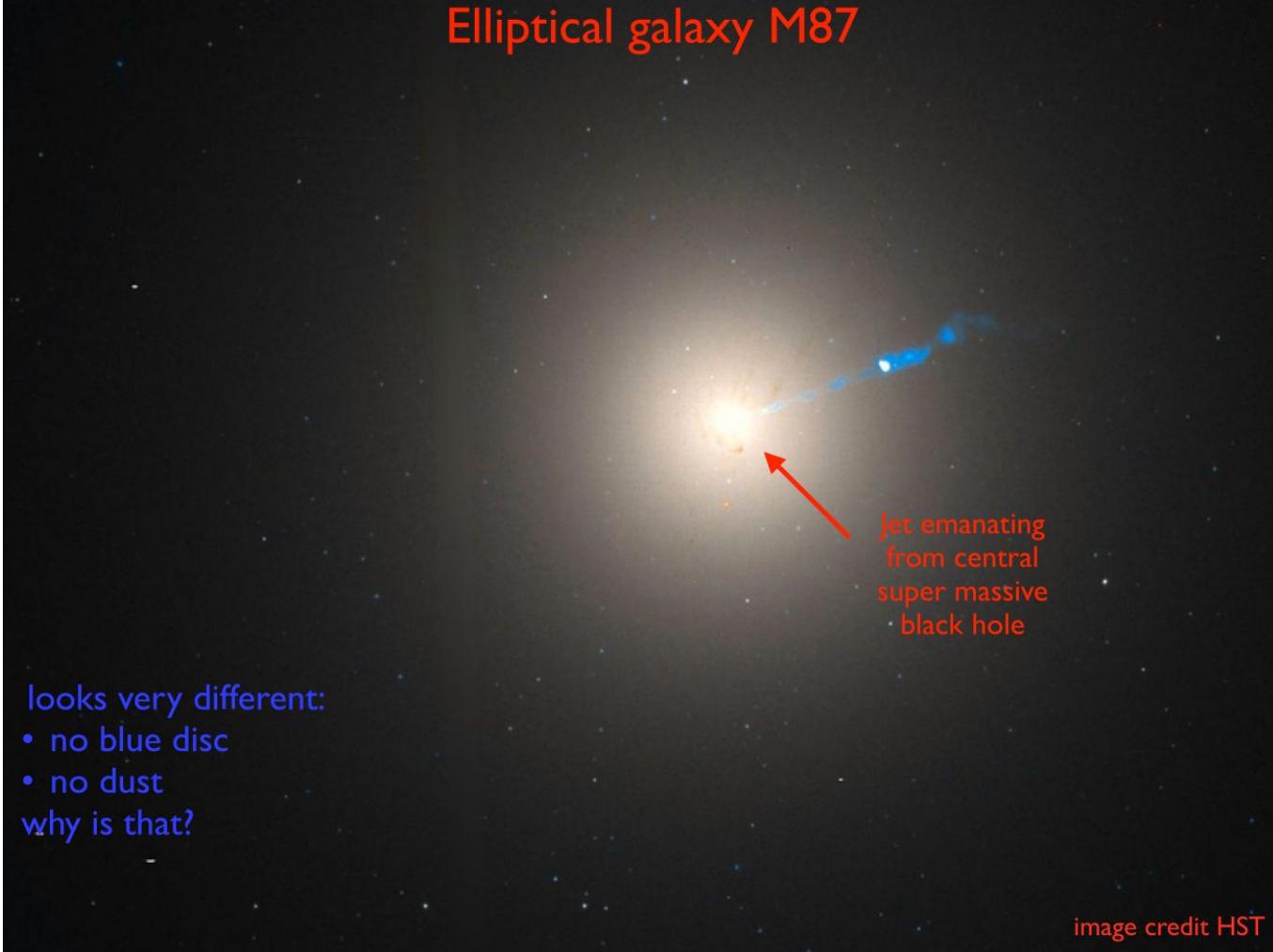
Andromeda



Local Group



Elliptical galaxy M87



Jet emanating
from central
super massive
black hole

looks very different:

- no blue disc
- no dust

why is that?

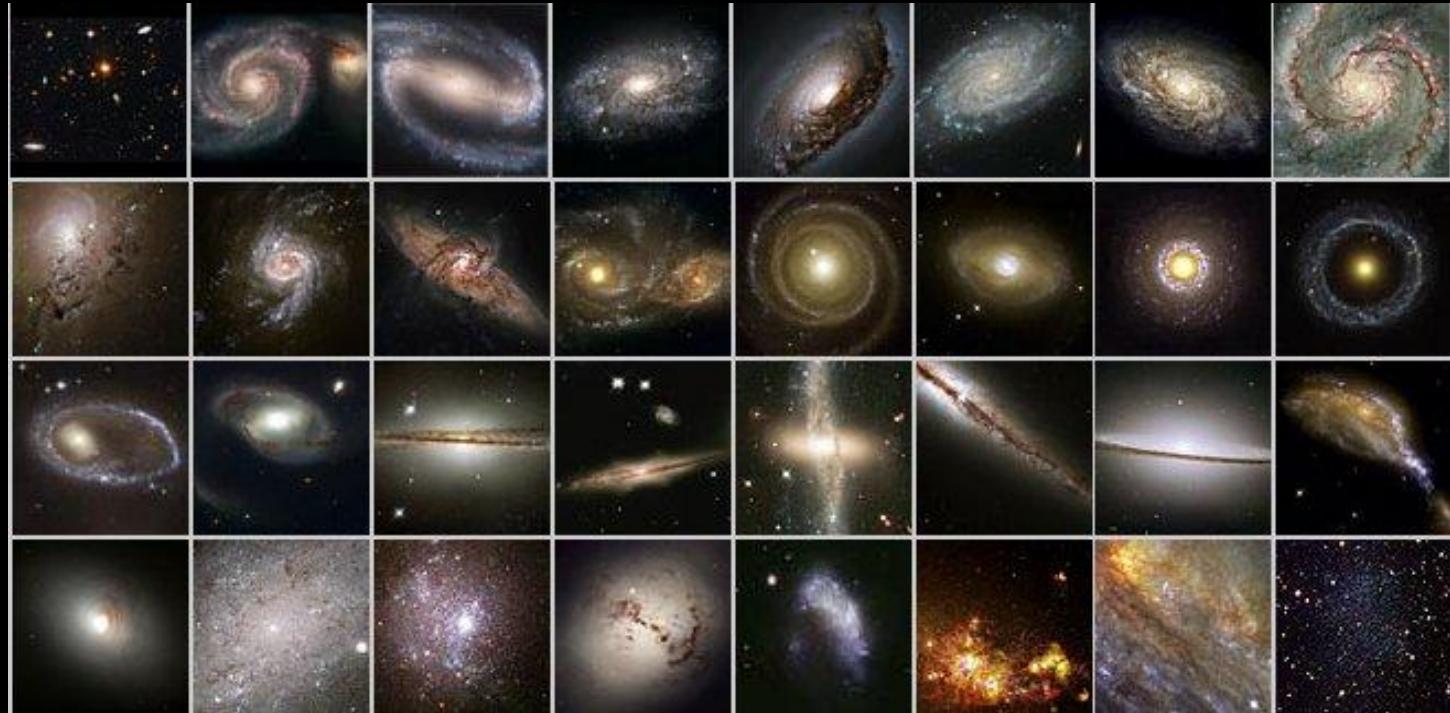
image credit HST

Hubble deep field



image credit HST

Galaxias Visibles con el Telescopio Espacial



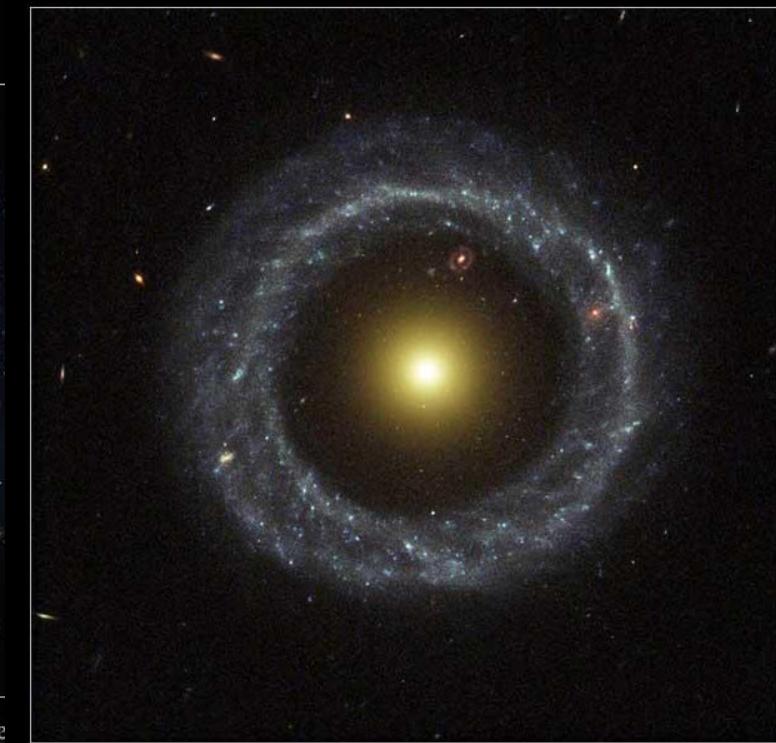
Spiral Galaxy NGC 1300



Barred Spiral Galaxy NGC 1300



Hoag's Object



Hubble
Heritage

Elliptical Galaxy M87



Hubble
Heritage

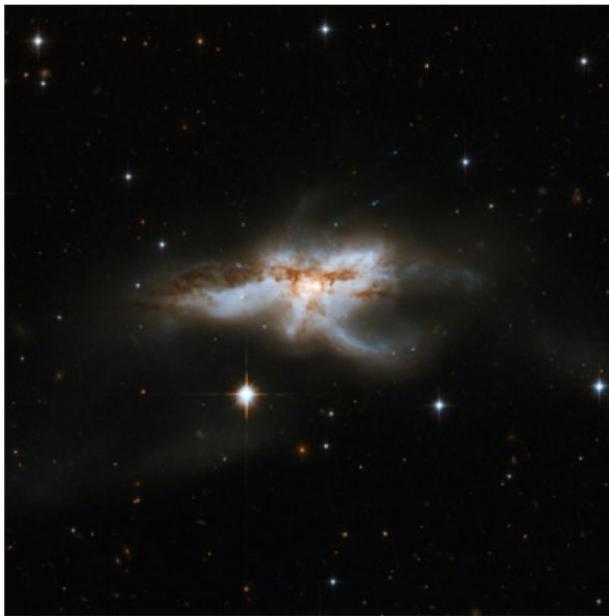
© (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration
Space ACS • STScI-PRC08-07

Irregular galaxy



NGC 4214

Interacting galaxies



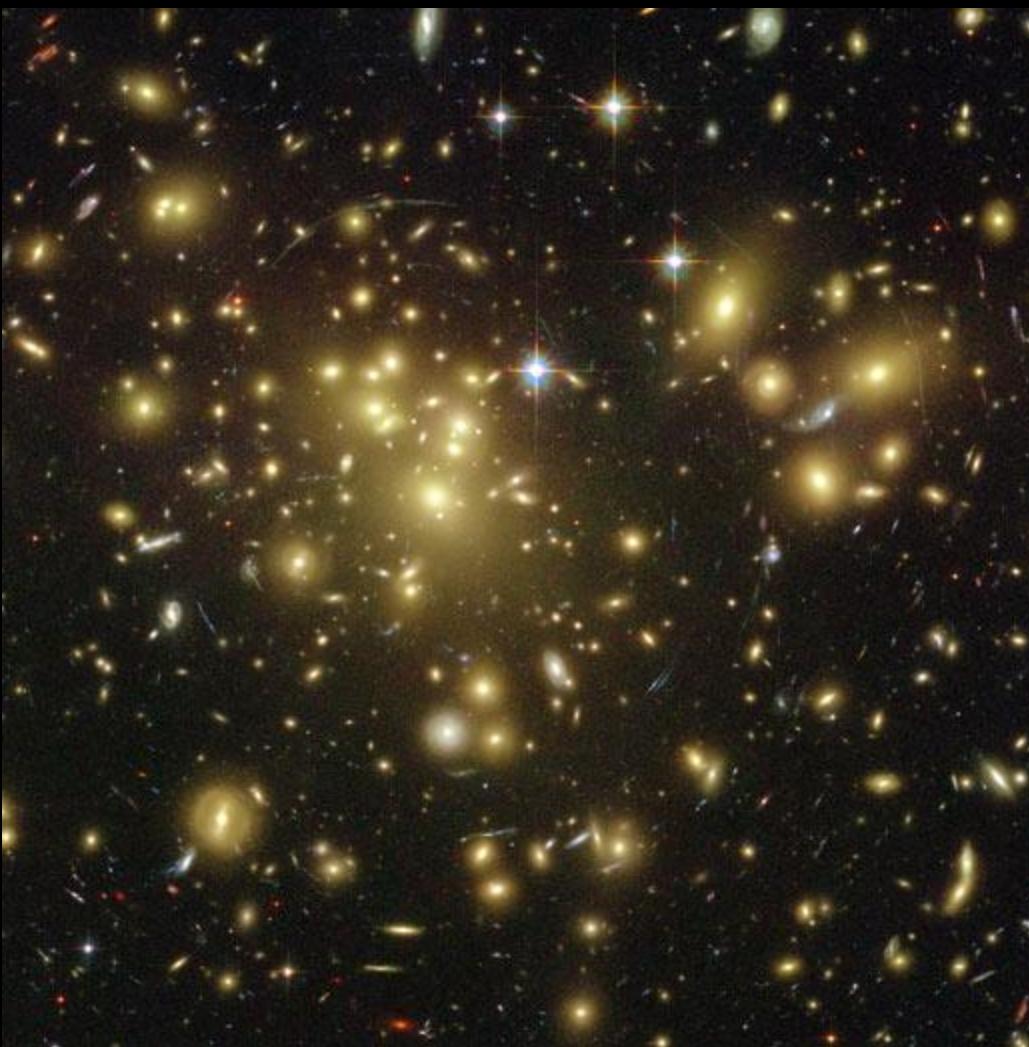
NGC 6240

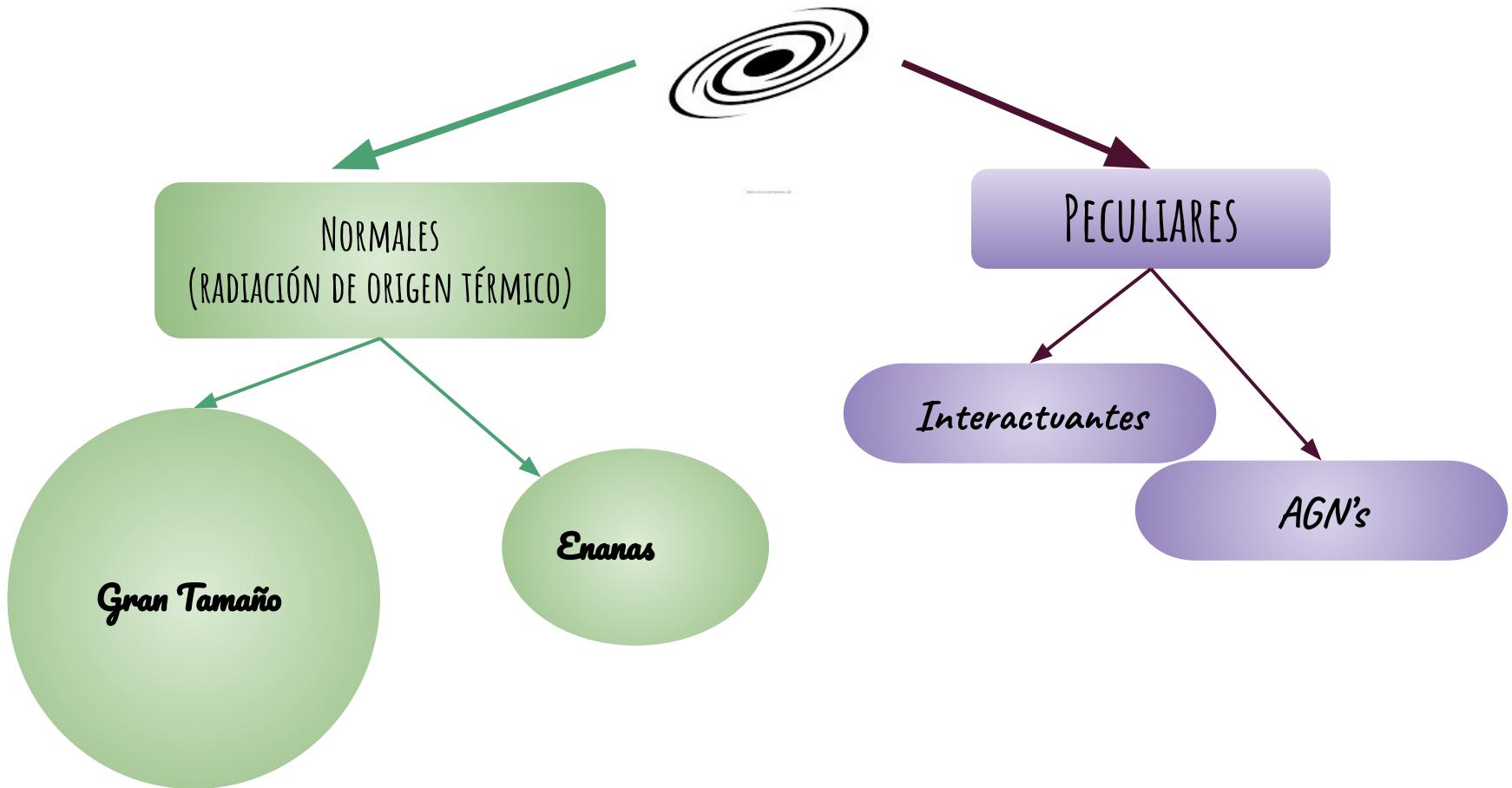


NGC 2207 and IC 2163



NASA/ESA Hubble
Processing: Daniel Nobre
apod.nasa.gov

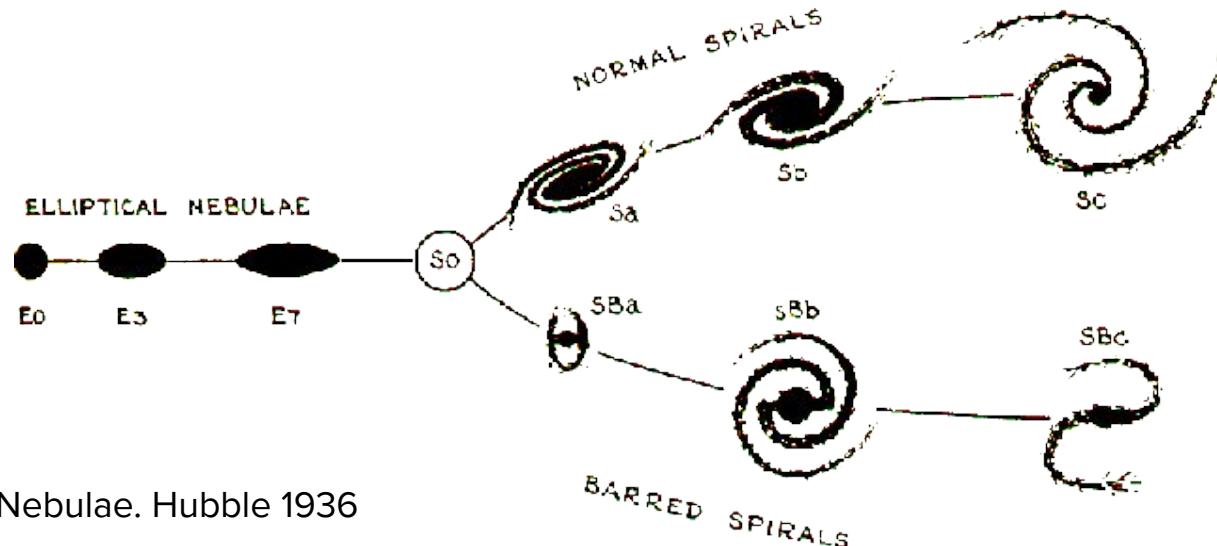




La Clasificación de las Galaxias Normales

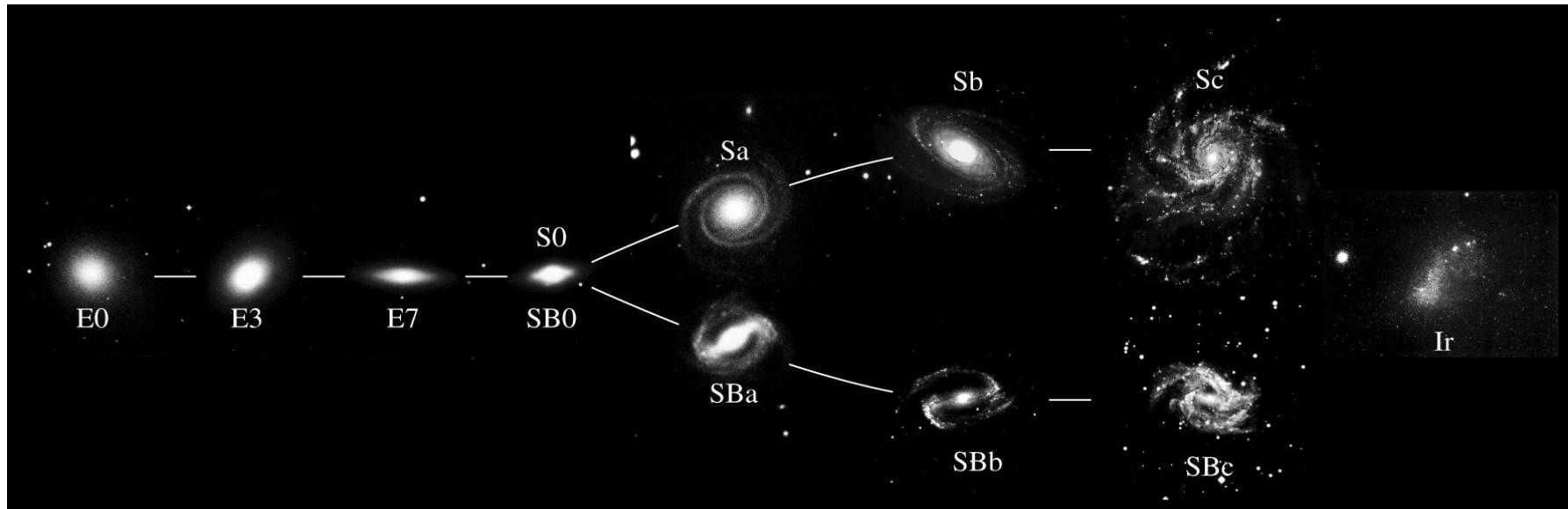
Clasificación Morfológica en el Óptico

En 1926, es decir tan sólo 3 años más tarde de haberse determinado la naturaleza extragaláctica de las nebulosas, Hubble publicó un artículo titulado “Extra-Galactic Nebulae” donde propone clasificarlas en grupos diferentes de acuerdo a su apariencia morfológica: Elípticas (E), Lenticulares (S0) y Espirales (S). Esta clasificación se conoce como **secuencia de Hubble**.

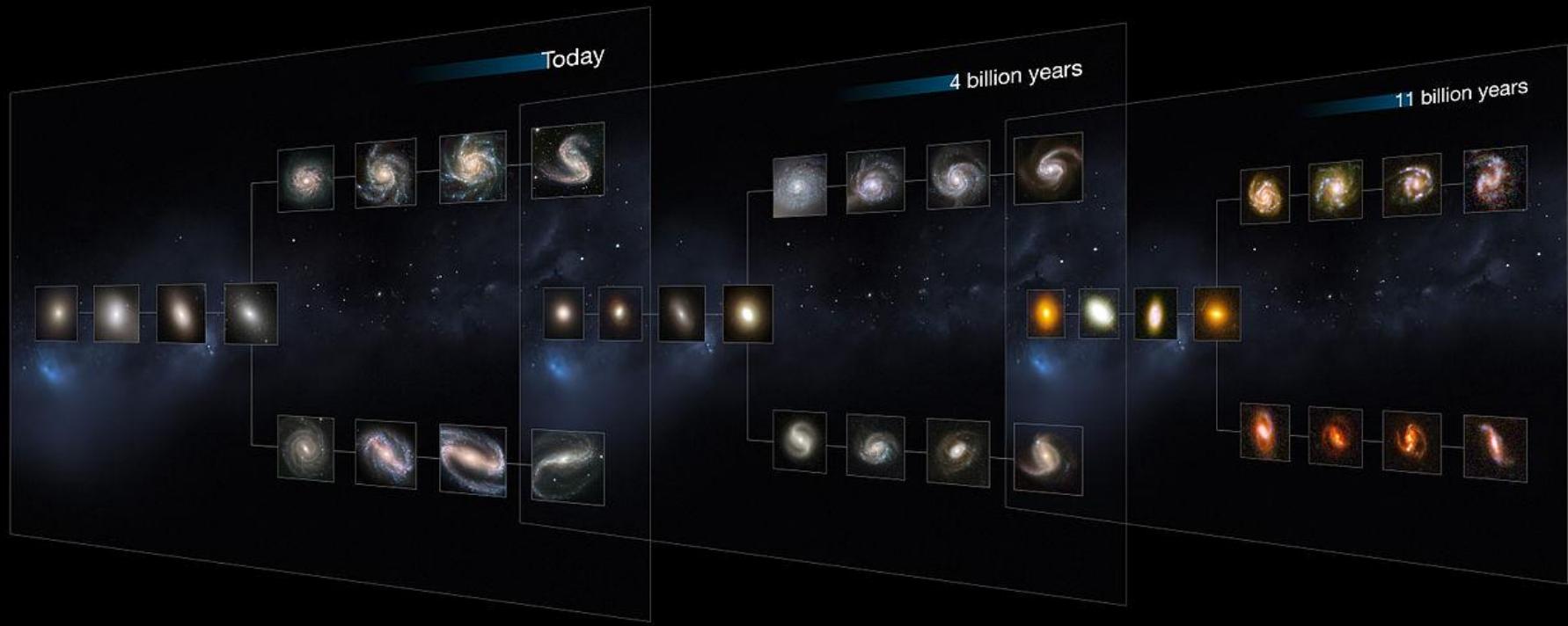


The Realm of the Nebulae. Hubble 1936

Clasificación de Hubble Extendida



Luego se agregaron las *Irregulares* (Irr).



Clasificación Morfológica de Hubble

Las espirales se dividen en espirales normales (S) y en espirales barreadas (SB). La transición entre las Elípticas y las Espirales se realiza a través de un clase de galaxias llamadas Lenticulares que pueden ser tanto S0 ó SB0.

Hubble creyó (incorrectamente) que esta clasificación obedecía a una secuencia evolutiva en la vida de las galaxias y por eso llamó a las de la izquierda del diagrama “tempranas” y a las de la derecha “tardías”.

Para las **elípticas**, definió un parámetro de elipticidad a través de los ejes aparentes mayor y menor, α y β respectivamente, de las imágenes: $\epsilon=1-\beta/\alpha$ asignándole un tipo 10ϵ . Este valor va desde E0 para una distribución perfectamente esférica a E7 para las más aplanadas. No se han detectado elípticas más aplanadas que E7.

Para las **espirales** normales definió subclases: Sa, Sab, Sb, Sbc, Sc y para las espirales barreadas: SBa, SBab, SBb, SBbc, SBc. Las Sa ó Sba son las que tiene los bulbos más prominentes respecto al disco ($L_{bulbo}/L_{disco} \sim 0.3$), brazos espirales mas cerrados y las distribución de estrellas mas suaves en los brazos espirales. Las Sc ó Sbc tienen los bulbos más pequeños relativos al disco ($L_{bulbo}/L_{disco} \sim 0.05$), los brazos más abiertos y fragmentados.

Other elliptical galaxies



E0

E2

E3

E4

E5



E^+0

E^+2

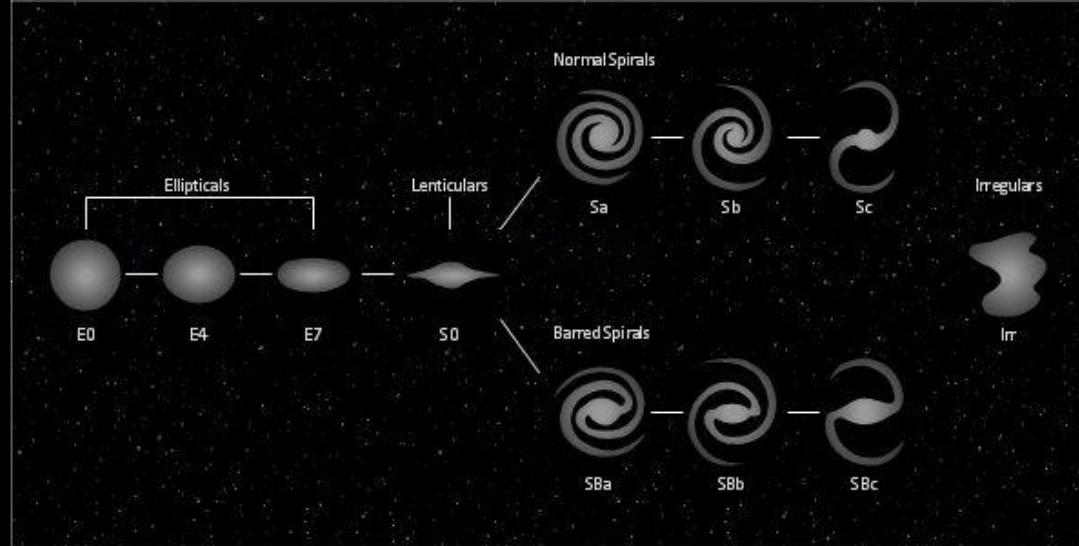
E^+3

E^+4

E^+7

de tipo temprano

de tipo tardío



Momento Angular

Masa
Gas

Galaxy Zoo Project

En otras longitudes
de onda...

Colours



Visual



UV

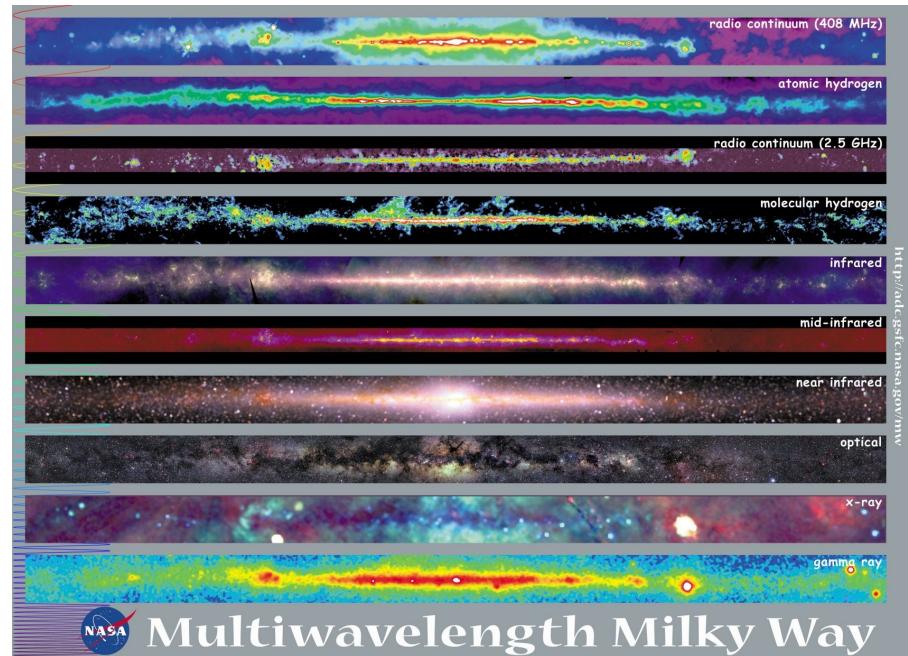


Common silverweed as we see it (top) and
under UV light (below). © Bjørn Rørslett/NN

Meadow cranesbill

La Vía Láctea

En las últimas décadas, la astronomía galáctica se ha beneficiado de una enorme ampliación de la cobertura del espectro electromagnético por instrumentos de alta tecnología, lo cual a permitido realizar el siguiente mapa de la vía láctea según la longitud de onda:

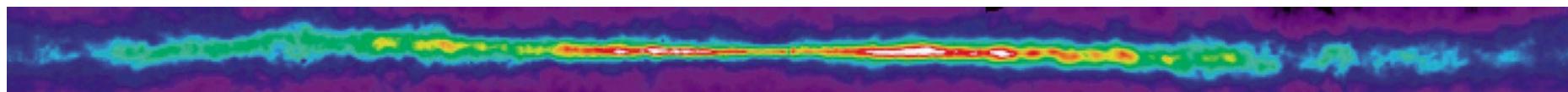


Radio Continuum (408 MHz)



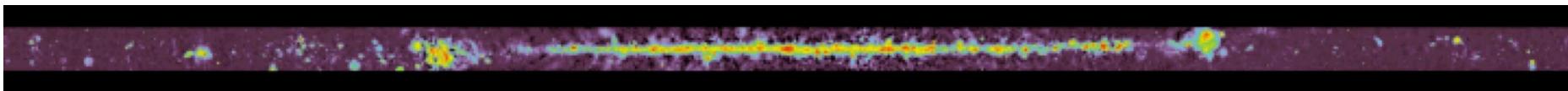
Se detectan partículas cargadas de alta energía en la Vía Láctea. A esta frecuencia, la mayor parte de la emisión proviene de **electrones que se mueven a través del campo magnético interestelar a casi la velocidad de la luz**. Las ondas de choque de las explosiones de supernovas aceleran los electrones a velocidades tan altas, produciendo una radiación especialmente intensa cerca de estas fuentes. La emisión del remanente de supernova Cas A cerca de 110° de longitud es tan intensa que el patrón de difracción de las patas de soporte del receptor de radio en el telescopio es visible en forma de cruz.

Radio: Hidrógeno Atómico



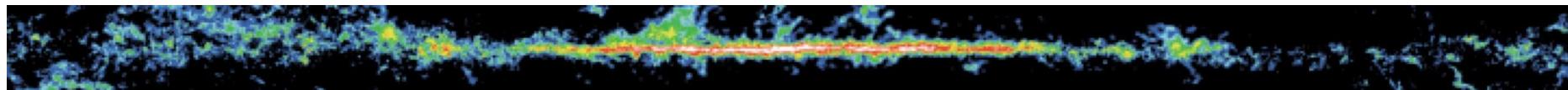
Ondas de radio de 21-cm emitidas por el Hidrógeno atómico muestran donde el gas se ha enfriado y acomodado en un disco. La emisión de 21 cm rastrea el medio interestelar "frío y cálido", que a gran escala se organiza en nubes difusas de gas y polvo que tienen tamaños de hasta cientos de años luz. La mayor parte de la imagen se basa en el Leiden-Dwingeloo Survey of Galactic Neutral Hydrogen utilizando el radiotelescopio Dwingeloo de 25 m.

Radio Continuum (2.4 - 2.7 GHz)



Intensidad de la emisión de radio continuo de gas ionizado caliente y electrones de alta energía en la Vía Láctea, a partir de estudios con los radiotelescopios Bonn de 100 metros y Parkes de 64 metros. A diferencia de la mayoría de las otras vistas de nuestra galaxia presentadas aquí, estos datos se extienden a latitudes de solo 5° desde el plano galáctico. La mayor parte de la emisión brillante que se ve en la imagen proviene de **regiones ionizadas calientes o es producida por electrones energéticos que se mueven en campos magnéticos**. Aquí la resolución es más alta de esta imagen, en relación con la imagen de 408 MHz anterior.

Radio: Hidrógeno Molecular



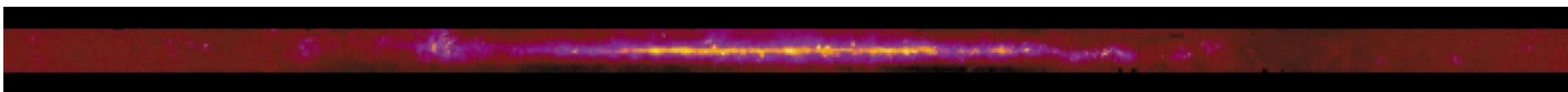
Densidad de columna de hidrógeno molecular de monóxido de carbono (CO), un trazador estándar de las partes frías y densas del medio interestelar. Dicho gas se concentra en los brazos espirales en "nubes moleculares" discretas. La mayoría de las nubes moleculares son lugares de formación estelar. El gas molecular es predominantemente H₂, pero el H₂ es difícil de detectar directamente en condiciones interestelares y el CO, la segunda molécula más abundante, se observa como sustituto.

Infrarrojo (115 GHz)



Intensidad compuesta del infrarrojo medio y lejano observado por el satélite astronómico infrarrojo (IRAS) en bandas de longitud de onda de 12, 60 y 100 micrones. Las imágenes están codificadas en los rangos de color azul, verde y rojo, respectivamente. **La mayor parte de la emisión es térmica, procedente del polvo interestelar calentado por la luz estelar absorbida**, incluidas las regiones de formación de estrellas incrustadas en las nubes interestelares.

Infrarrojo (3.0×10^3 - 25×10^3 GHz)



Emisión de infrarrojo medio observada por el instrumento SPIRIT III en el satélite Midcourse Space Experiment (MSX). Se cree que la mayor parte de la emisión difusa en esta banda de longitud de onda **proviene de moléculas complejas llamadas hidrocarburos aromáticos policíclicos**, que se encuentran comúnmente tanto en el carbón como en las nubes de gas interestelar. Las estrellas gigantes rojas, las nebulosas planetarias y las estrellas masivas tan jóvenes que permanecen profundamente incrustadas en sus nubes de gas molecular parentales producen la multitud de pequeños puntos brillantes que se ven aquí.

Infrarrojo Cercano



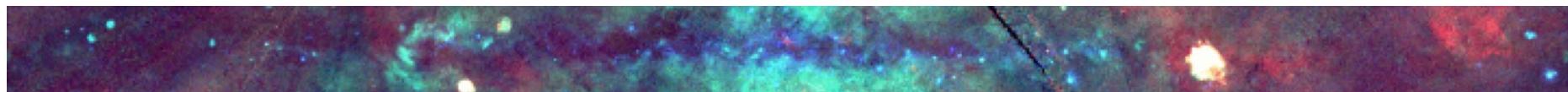
Intensidad compuesta del infrarrojo cercano observada por el instrumento Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE) en el Cosmic Background Explorer (COBE) en las bandas de longitud de onda de 1,25, 2,2 y 3,5 micrones. Las imágenes están codificadas en los rangos de color azul, verde y rojo, respectivamente. **La mayor parte de la emisión en estas longitudes de onda proviene de estrellas K gigantes relativamente frías en el disco y el abultamiento de la Vía Láctea. El polvo interestelar no oscurece fuertemente la emisión en estas longitudes de onda.**

Óptico



Intensidad de la luz visible (0,4 - 0,6 micrones) de un estudio fotográfico. Debido al fuerte efecto de oscurecimiento del polvo interestelar, la luz proviene principalmente de estrellas a unos pocos miles de años luz del Sol, cerca de la escala de la Vía Láctea. Las extensas regiones de color rojo brillante son producidas por gas brillante de baja densidad. Las manchas oscuras se deben a la absorción de nubes de gas y polvo, que son evidentes en los mapas de hidrógeno molecular e infrarrojo como regiones de emisión. El polvo interestelar dispersa la luz azul preferentemente, enrojeciendo la luz de las estrellas en relación con su color verdadero y produciendo un brillo azulado difuso. Esta dispersión, así como la absorción de parte de la luz por el polvo, también deja la luz disminuida en brillo.

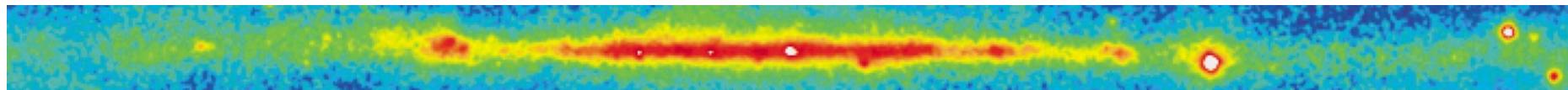
Rayos X



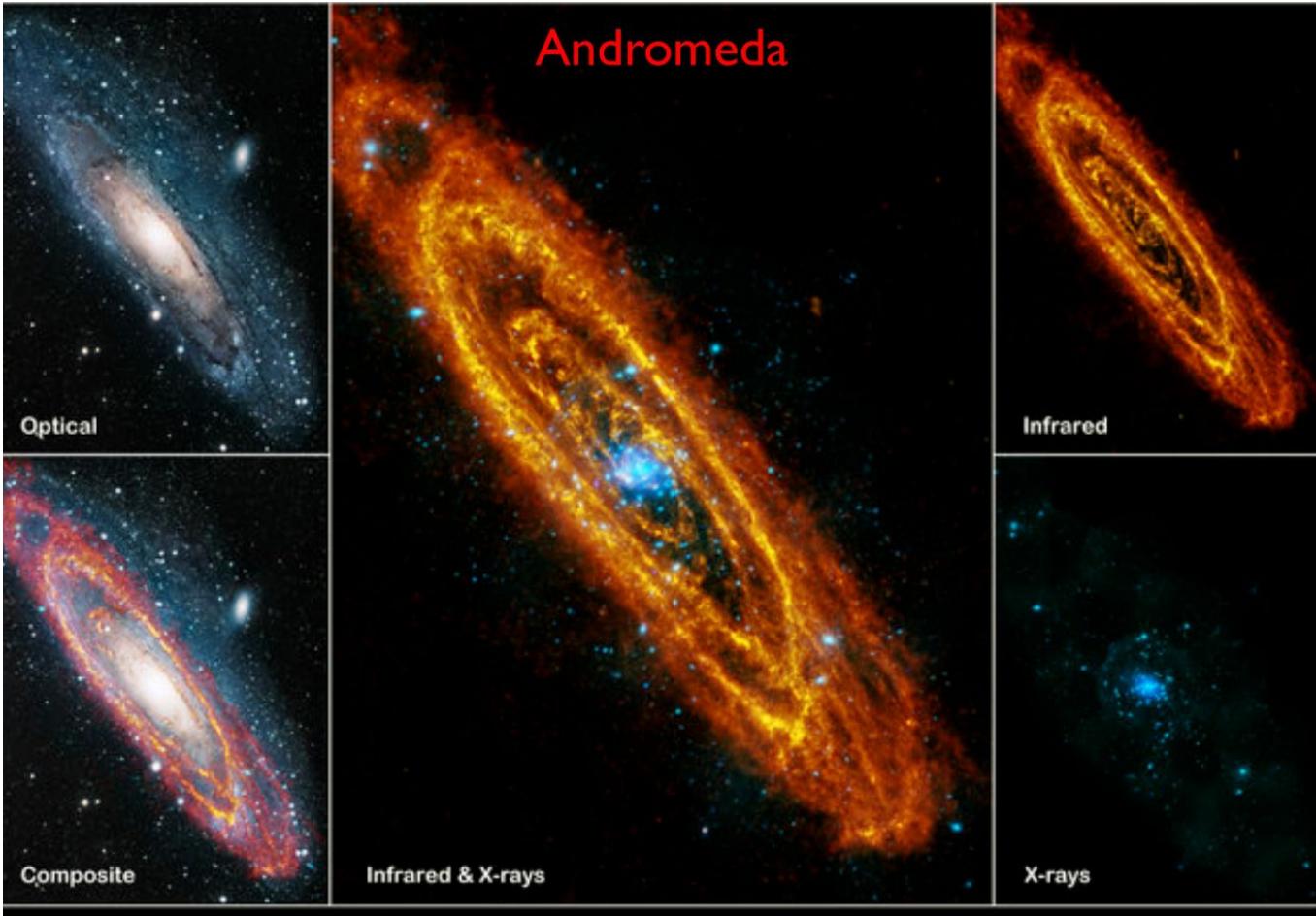
Intensidad de rayos X compuesta observada por el instrumento Contador proporcional sensible a la posición (PSPC) en el satélite Röntgen (ROSAT). Las imágenes en tres bandas anchas de rayos X suaves centradas en 0,25, 0,75 y 1,5 keV están codificadas en los rangos de color rojo, verde y azul, respectivamente. En la Vía Láctea, se detecta una emisión prolongada de rayos X suaves a partir de gas caliente e impactado. Especialmente en las energías más bajas, el medio interestelar absorbe fuertemente los rayos X, y las nubes frías de gas interestelar se ven como sombras contra la emisión de rayos X de fondo. Las variaciones de color indican variaciones de absorción o de las temperaturas de las regiones emisoras.

Rayos Gamma

<https://gleamoscope.icrar.org/gleamoscope/trunk/src/>

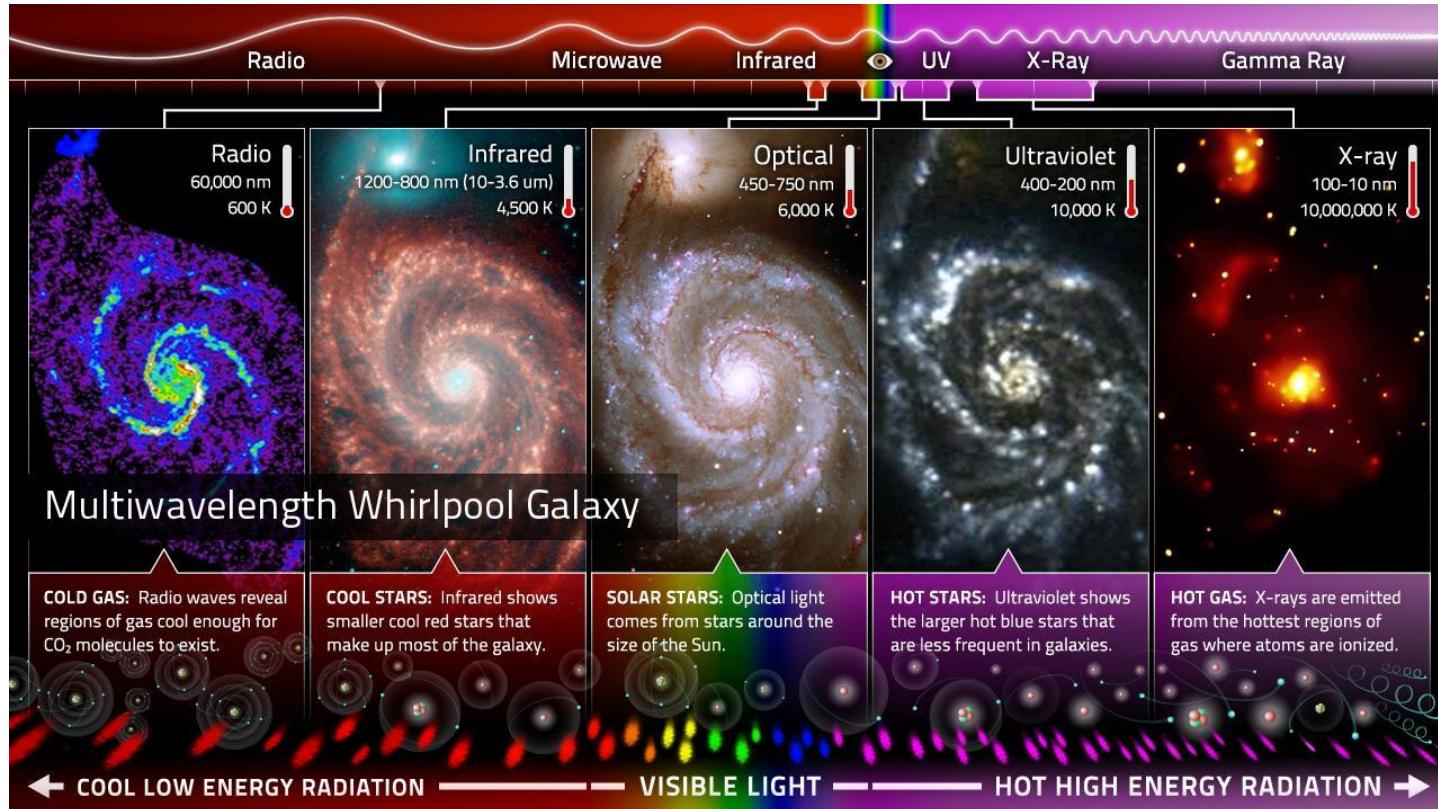


Intensidad de la emisión de rayos gamma de alta energía observada por el instrumento Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope (EGRET) en el Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO). La imagen incluye todos los fotones con energías superiores a 300 MeV. A estas energías extremas, la mayoría de los rayos gamma celestes se originan en colisiones de rayos cósmicos con núcleos de hidrógeno en nubes interestelares. Las fuentes brillantes y compactas cercanas a las longitudes galácticas 185° , 195° y 265° indican fenómenos de alta energía asociados con los púlsares Cangrejo, Geminga y Vela, respectivamente.

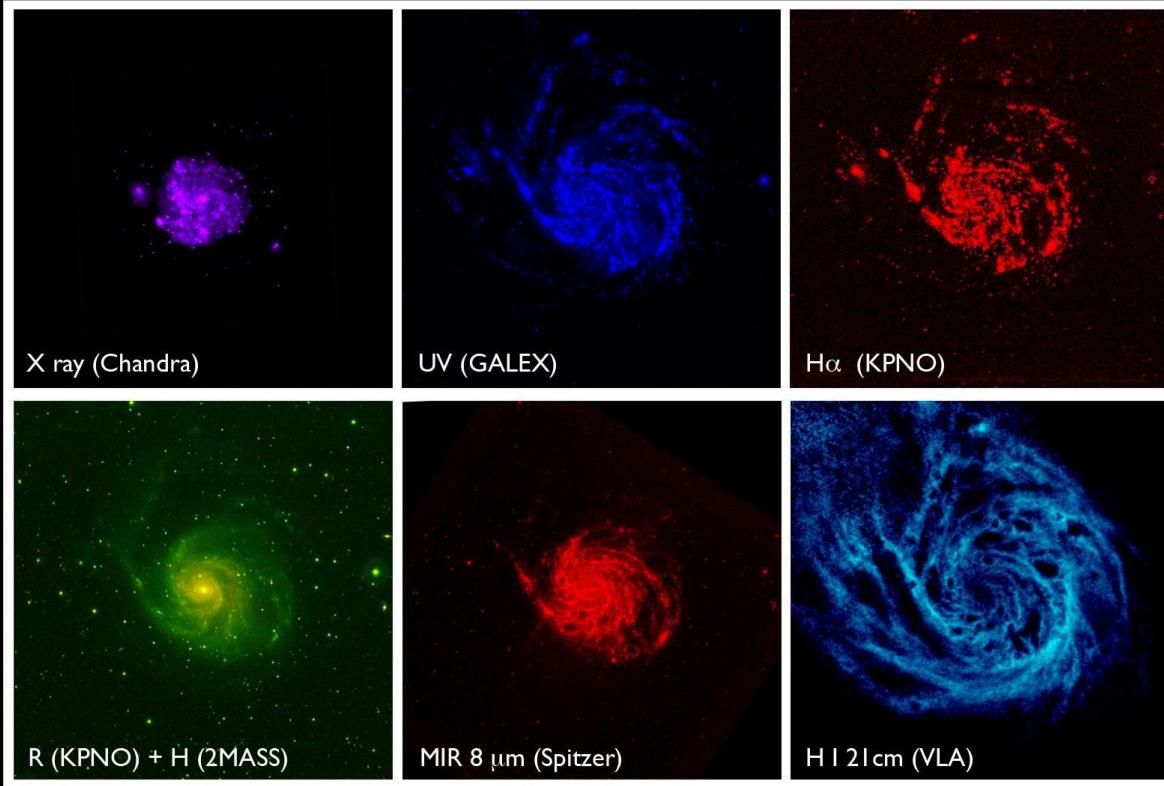


ESA

Otras Galaxias



Multiwavelength data of the Spiral Galaxy M 101



Credit of the images: Chandra **X ray** data: NASA/CXC/JHU/K.Kuntz et al.; **GALEX** data: Gil de Paz et al. 2007, ApJS, 173, 185; **R & H α** data: Hoopes et al. 2001, ApJ, 559, 878; **2MASS** data: Jarrett et al. 2003, AJ, 125, 525; **Spitzer 8 μm** data: Dale et al. 2009, ApJ, 703, 517; **VLA HI 21 cm** : Walter et al. 2008, AJ, 136, 2563, "The H I Nearby Galaxy Survey".

Credit of the composition: **Ángel R. López-Sánchez** (Australian Astronomical Observatory / Macquarie University).

Morfología

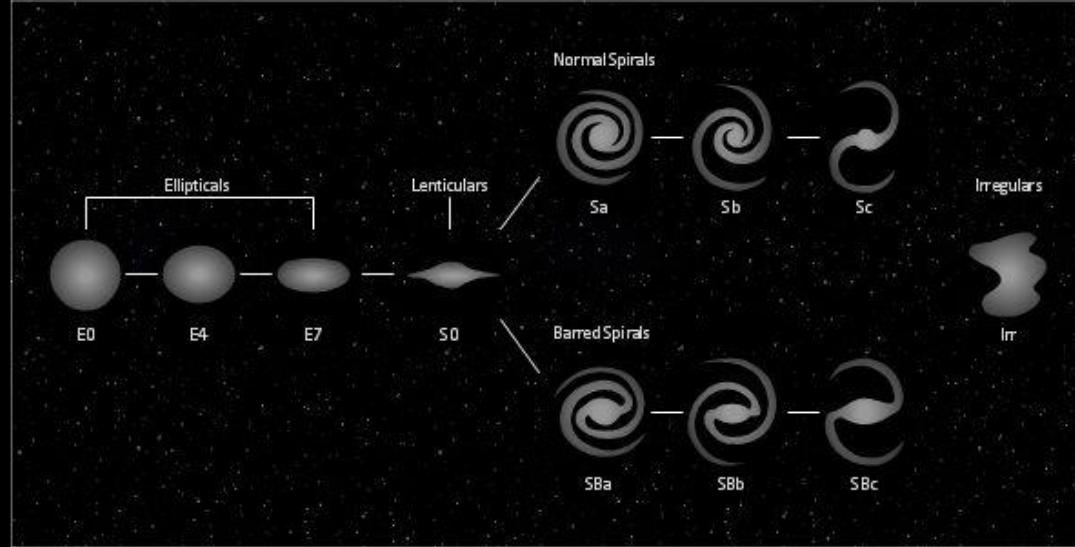
Una visión algo más “moderna” nos muestra a la **secuencia de Hubble** como una secuencia de relación bulbo/disco (B/D) decreciente. Podemos hablar de dos tipos de sistemas estelares con características bien definidas y diferenciadas entre sí:

- esferoides
 - bulbos y galaxias elípticas
 - halos: componente esferoidal extendida y difusa.
- discos
 - brazos espirales, barras, anillos.

esferoides	discos
sostenidos por disp. de velocidades (cinemáticamente “calientes”)	sostenidos por rotación (cinemáticamente “fríos”)
colores rojos	colores azules
pob. estelares viejas	pob. estelares compuestas (viejas + jóvenes)
SFR fuertemente decreciente (SFR actual baja)	SFR suavemente decreciente o constante (SFR actual alta)
<i>abundancias altas</i>	abundancias bajas
poco gas y polvo	cantidad significativa de gas y polvo
<i>estructura compacta</i>	estructura extendida
elípticas	→ lenticulares → espirales → irregulares

de tipo temprano

de tipo tardío



Momento Angular

Masa
Gas

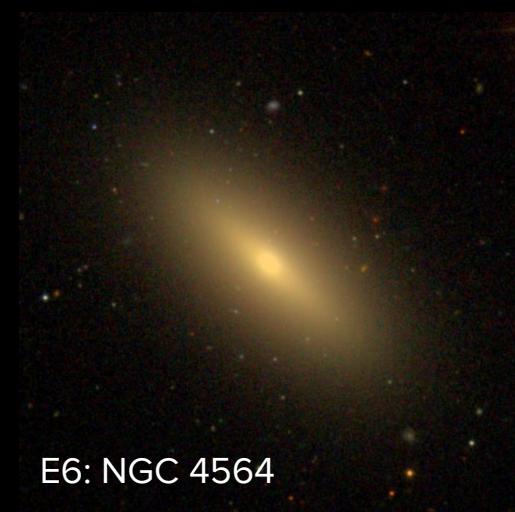
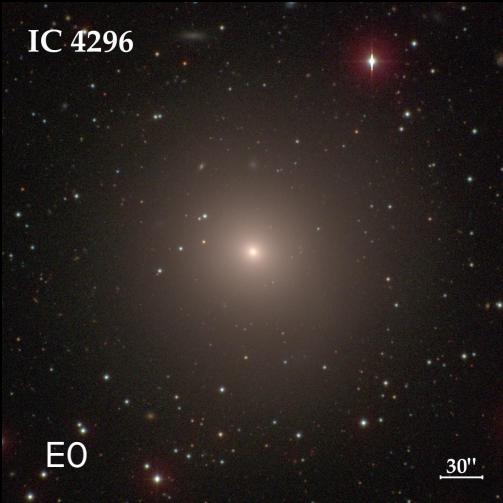
Bulbo/Disco

Galaxias Elípticas

Las propiedades físicas pueden variar enormemente:

- Magnitudes absolutas en la banda-B pueden ir desde muy débiles ($M_B = -8$) hasta las muy brillantes ($M_B = -23$).
- Masa total=Masa Luminosa + Materia Oscura $M=10^7 M_{sol}$ hasta $M=10^{13} M_{sol}$
- Tamaño desde algunas décimas de kpc para las enanas hasta cientos de kpc para las gigantes.
- Habitán regiones de alta densidad de galaxias como grupos y cúmulos de galaxias.
- No hay evidencia de gas y polvo.
- Estrellas viejas, rojas y pobres en metales.

IC 4296



The 3D shape of ellipticals is thought to be triaxial - a squashed rugby ball



$$\text{Elipticidad: } \epsilon = 1 - \frac{b}{a}.$$

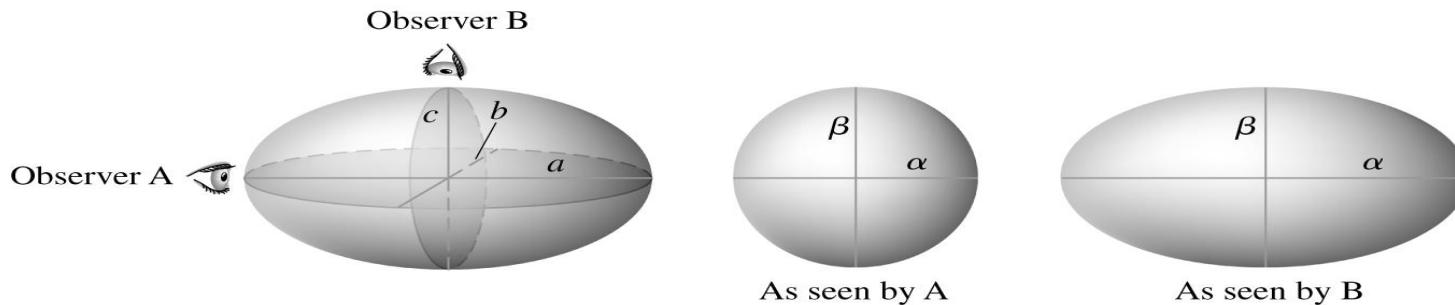
La secuencia de Hubble clasifica las elípticas según En, con $n = 10\epsilon$ (entero).

Esferoides

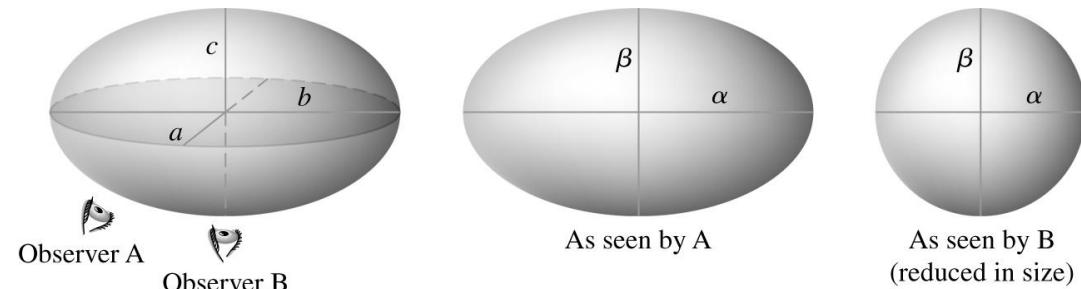
El tipo de Hubble de las galaxias E depende de la proyección.

Es importante tener en cuenta que esta clasificación morfológica está basada en valores obtenidos sobre la distribución proyectada y no en la tridimensional de la luz.

- Esferoide **Oblado** ($a=b>>c$)



- Esferoide **Prolado** ($a>>b=c$)



Galaxias Lenticulares

Presentan un disco prominente y un bulbo, pero no tienen brazos espirales.

Estrellas viejas, pobres en metales y rojas.

Poco gas y polvo.

Se encuentran en regiones de alta densidad, por ejemplo en los cúmulos, pero no en la zona central.

Tienen poca rotación.

Se distinguen de las elípticas por sus isofotas.

También se observan lenticulares barreadas.

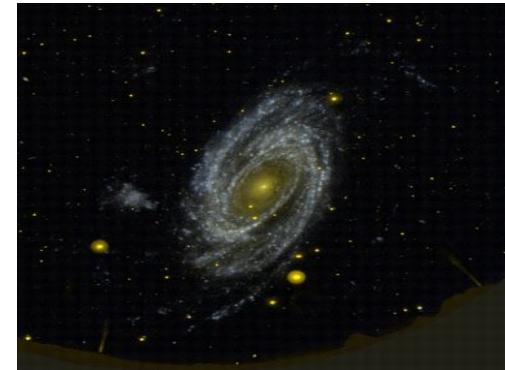
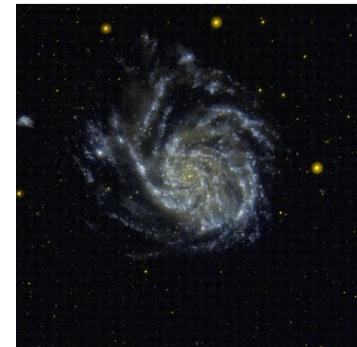
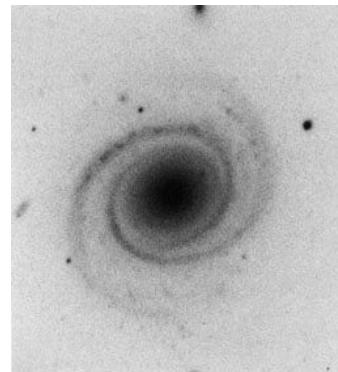
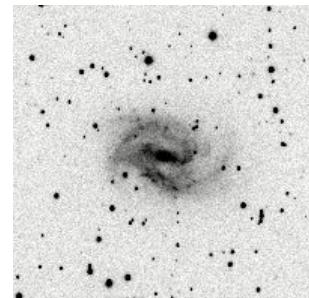
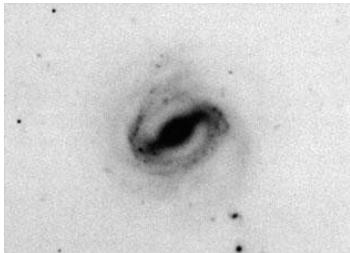


Galaxias Espirales

Las propiedades físicas tienen mucho menor variación que en las elípticas.

- 1) Magnitudes absolutas $-16 < M_B < -23$
- 2) Masas totales $10^9 M_{\text{sol}} < M < 10^{12} M_{\text{sol}}$
- 3) Diámetros $5 \text{kpc} < D < 100 \text{kpc}$

Viven por lo general ‘aisladas’:



Sombrero Galaxy • M104



Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope ACS • STScI-PRC03-28

Sa o Sb: galaxia M104 vista de canto



Sa: NGC 7096



Sb:M81



Sc: M101



Sb: M88



SBb: NGC 1300



SBc: NGC 2525

SBa: NGC 175

Galaxias Irregulares

Se las clasifica en Irrl si hay algún indicio de una estructura organizada y Irrll a las más desorganizadas.

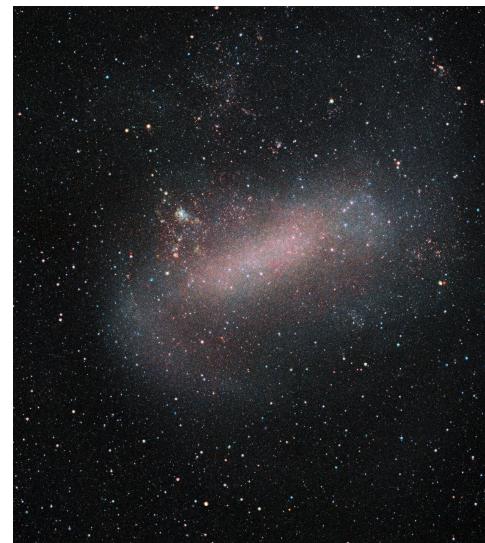
- 1) Magnitudes absolutas $-13 < M_B < -20$
- 2) Masas totales $10^8 M_{\text{sol}} < M < 10^{10} M_{\text{sol}}$
- 3) Diámetros $1 \text{kpc} < D < 10 \text{kpc}$



SMC



M82



LMC

Propiedades Generales de las Galaxias

table 26-1

Some Properties of Galaxies

	Spiral (S) and barred spiral (SB) galaxies	Elliptical galaxies (E)	Irregular galaxies (Irr)
Mass (M_{\odot})	10^9 to 4×10^{11}	10^5 to 10^{13}	10^8 to 3×10^{10}
Luminosity (L_{\odot})	10^8 to 2×10^{10}	3×10^5 to 10^{11}	10^7 to 10^9
Diameter (kpc)	5 to 250	1 to 200	1 to 10
Stellar populations	Spiral arms: young Population I Nucleus and throughout disk: Population II and old Population I	Population II and old Population I	mostly Population I
Percentage of observed galaxies	77%	20%*	3%

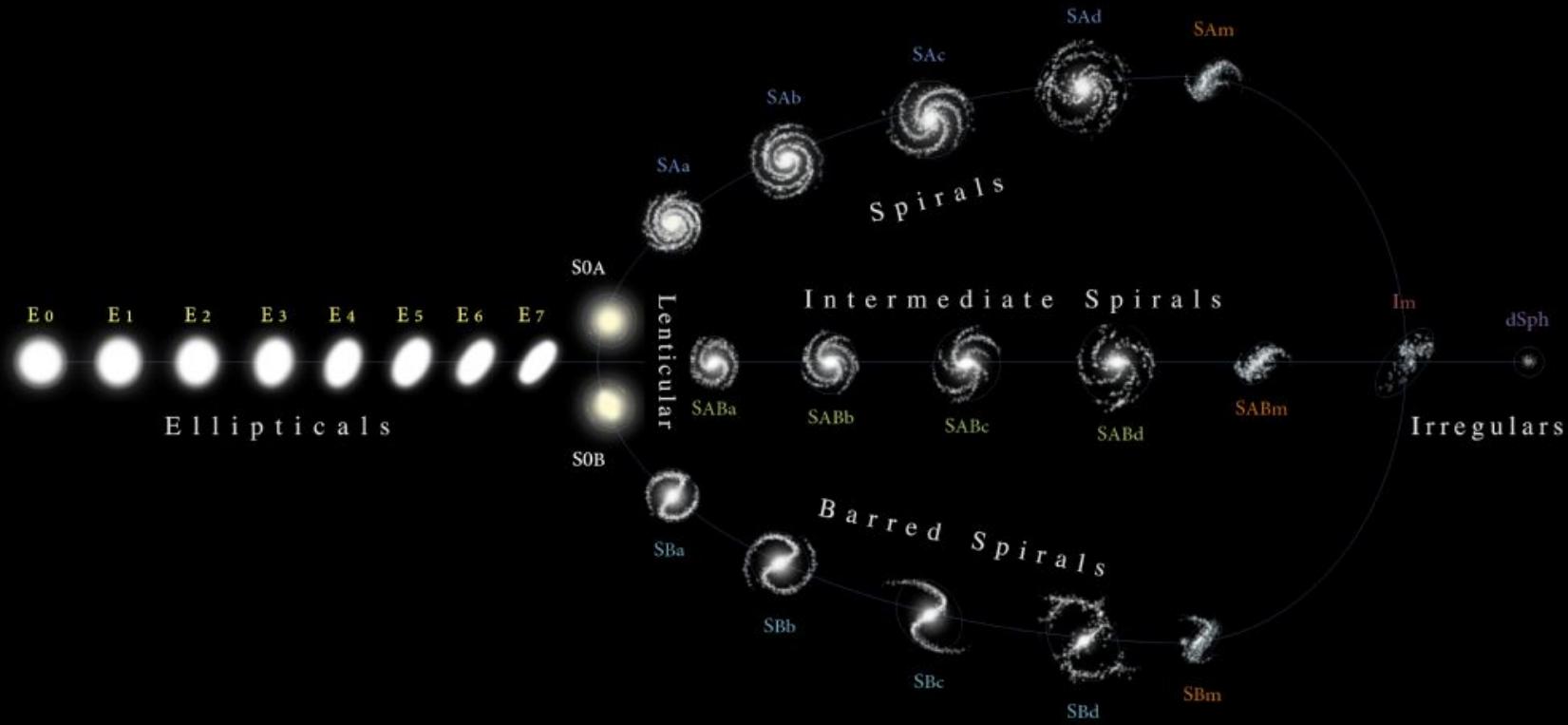
*This percentage does not include dwarf elliptical galaxies that are as yet too dim and distant to detect. Hence, the actual percentage of galaxies that are ellipticals may be higher than shown here.

Sistema de Vaucouleurs

El sistema de Vaucouleurs para clasificar galaxias es una extensión muy utilizada de la secuencia de Hubble, descrita por primera vez por Gérard de Vaucouleurs en 1959. Incluye:

1. **Barra:** De Vaucouleurs introdujo la notación SA para denotar galaxias espirales sin barras, complementando el uso del SB del Hubble para espirales en barras. Las galaxias lenticulares también están clasificadas como sin barras (SA0) o con barras (SB0), con la notación S0 reservada para aquellas galaxias para las que es imposible decir si una barra está presente o no.
2. **Anillos:** Las galaxias se dividen en aquellas que poseen estructuras anulares (denominadas '(r)') y aquellas que no poseen anillos (denominadas '(s)').
3. **Brazos en espiral:** El esquema de Vaucouleurs extiende los brazos del diapasón del Hubble para incluir varias clases adicionales de espirales:
 - a. Sd (SBd) - brazos difusos, rotos, formados por racimos estelares individuales y nebulosas; protuberancia central muy débil.
 - b. Sm (SBm) - de aspecto irregular; no tiene ningún componente de protuberancia
 - c. Im - galaxia altamente irregular.

HUBBLE-DE VAUCOULEURS DIAGRAM



De Vaucouleurs también asignó valores numéricos a cada clase de galaxia en su esquema. Los valores de la etapa numérica de Hubble T van de -6 a +10, con números negativos correspondientes a galaxias de tipo temprano (elípticas y lenticulares) y números positivos a tipos tardíos (espirales e irregulares).

Etapa de Hubble: "T".	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
de Vaucouleurs class ¹⁵	cE	E	E ⁺	S0 ⁻	S0 ⁰	S0 ⁺	S0/a	Sa	Sab	Sb	Sbc	Sc	Scd	Sd	Sdm	Sm	Im	
clase aproximada de Hubble ¹⁷	E			S0			S0/a	Sa	Sa-b	Sb	Sb-c	Sc			Sc-Irr	Irr I		

Una visión algo más “moderna” nos muestra a la secuencia de Hubble como una secuencia de relación bulbo/disco (B/D) decreciente.

Fotometría Superficial

Las galaxias son objetos tridimensionales, pero las observamos proyectadas contra el “plano del cielo”. La imagen de una galaxia nos muestra entonces su distribución de brillo superficial (bidimensional). La simetría que presentan muchas galaxias nos permite caracterizar esta distribución bidimensional con una función unidimensional, ya sea a través de un corte a lo largo de uno de los ejes principales, o tomando promedios sobre anillos circulares o elípticos. **Esta función unidimensional es el perfil de brillo superficial o luminosidad de la galaxia.**

Llamamos brillo superficial al flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en la imagen. Lo solemos medir en unidades de mag/arcsec⁻² y se lo denota con μ .

- **Isofota:** Curva cerrada simple sobre la imagen proyectada de una galaxia, de intensidad (o brillo superficial) constante.

Estructura Galáctica: Perfil de Luminosidad

La distribución del brillo de la superficie en las galaxias elípticas depende esencialmente sólo de la distancia desde el centro y la orientación de los ejes mayor y menor.

Para las galaxias elípticas y para los bulbos de las espirales, el brillo superficial sigue una distribución $r^{1/4}$ tipo de **de Vaucouleurs** similar al del bulbo de la Vía Láctea:

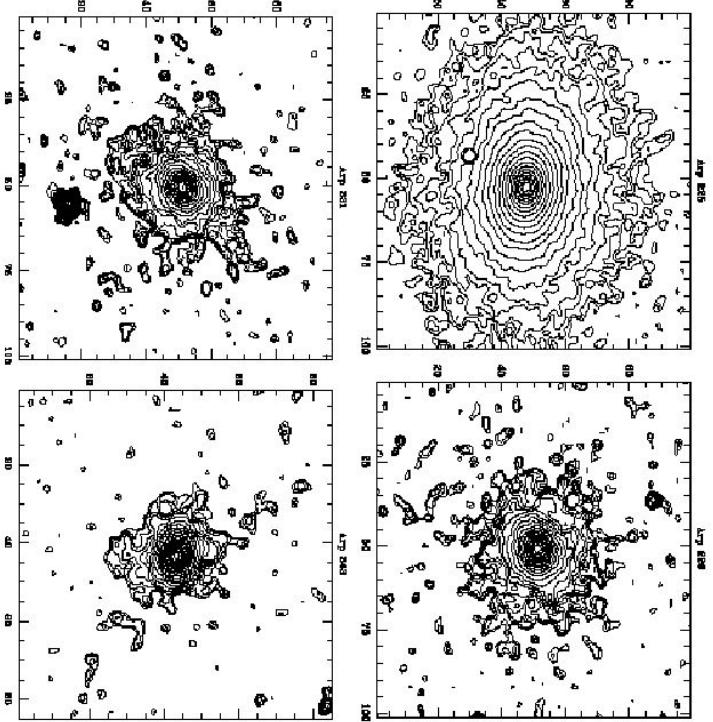
$$(1) \quad \mu(r) = \mu_e + 8.3268 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right].$$

donde se lo ha expresado en expresado en mag/arcsec² en vez de L_{sol}/pc²

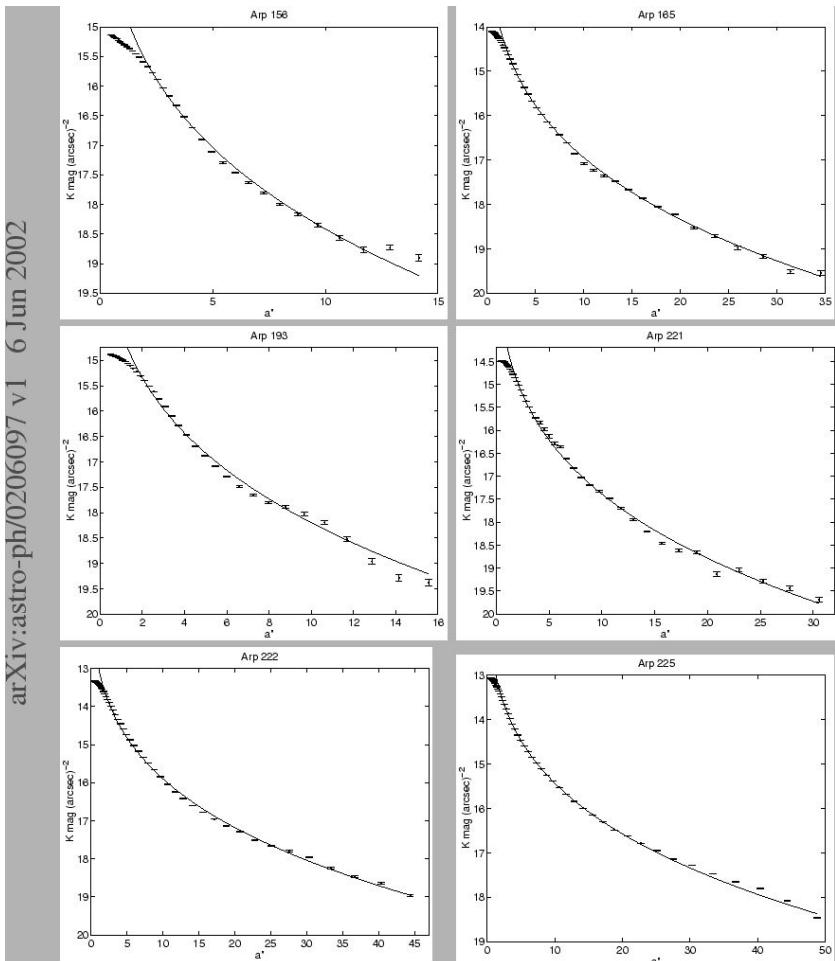
r_e es el radio que encierra el 50% de la luz y μ_e es el brillo efectivo en r_e .

Los parámetros r_e e μ_e se determinan ajustando (1) a los perfiles de brillo observados. Los valores típicos para las galaxias elípticas, espirales normales y S0 están en los rangos $r_e = 1\text{--}10$ kpc e le corresponde a 20–23 magnitudes por segundo de arco cuadrado.

Isofotas para elípticas gigantes.



Fuente: astro-ph/0206097,
banda K, para galaxias elípticas



Ley empírica.

Un disco estelar masivo y brillante es característico de las galaxias S0 y espirales, que por lo tanto se denominan galaxias disco.

Las galaxias disco, tiene una luminosidad por unidad de área que decae exponencialmente (al igual que se vió para el disco de la Vía Láctea) que en mag/arcsec² en vez de L_{sol}/pc² tiene la forma:

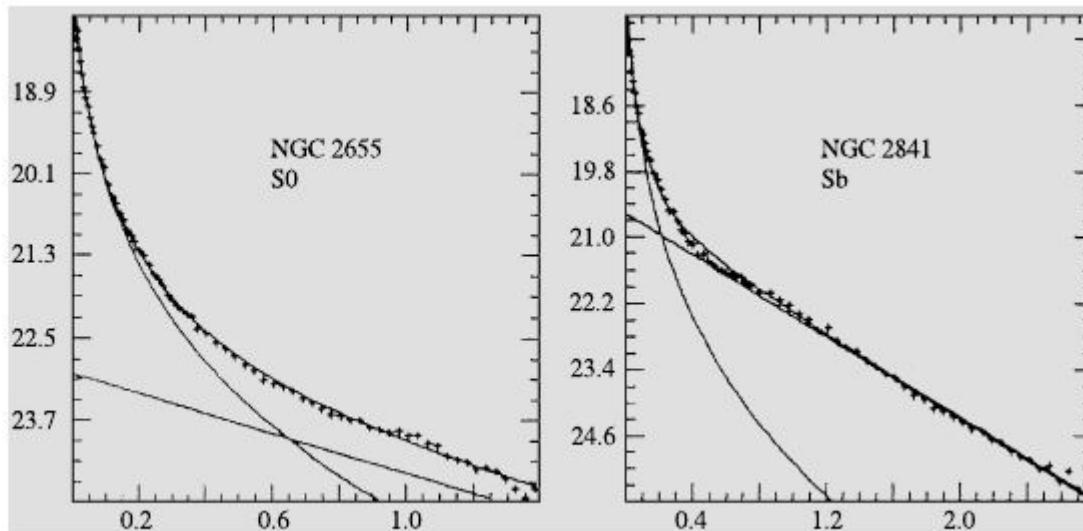
$$\mu(r) = \mu_0 + 1.09 \left(\frac{r}{h_r} \right),$$

h_r recibe el nombre de longitud de escala y μ_0 es el brillo superficial central. Se le suele llamar **ley exponencial**.

El brillo superficial central μ_0 va típicamente a 21–22 mag/arcsec², y la longitud de escala radial h_r = 1–5 kpc.

En las galaxias Sc, el brillo total del bulbo es generalmente ligeramente más pequeño que la del disco, mientras que en los tipos de Hubble anteriores el bulbo tiene un brillo total mayor. El grosor del disco, medido en las galaxias que se ven de canto, normalmente puede ser de aproximadamente 1,2 kpc. A veces, el disco tiene un borde exterior afilado alrededor de 4h_r

Fig. 19.15 The distribution of surface brightness in types S0 and Sb. *Ordinate:* mag/sq.arc sec; *abscissa:* radius [arc sec]. The observed surface brightness has been decomposed into a sum of bulge and disc contributions. Note the larger disc component in type Sb. (Boroson, T. (1981): *Astrophys. J. Suppl.* **46**, 177)



Perfil de Sérsic

José Luis Sérsic (astrónomo argentino, 1933-1993) generalizó estas dos ecuaciones en una sola que se conoce como Ley o Perfil de Sérsic:

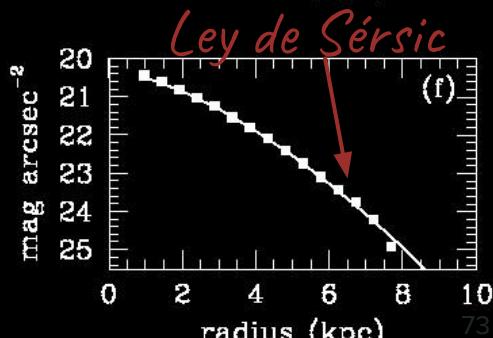
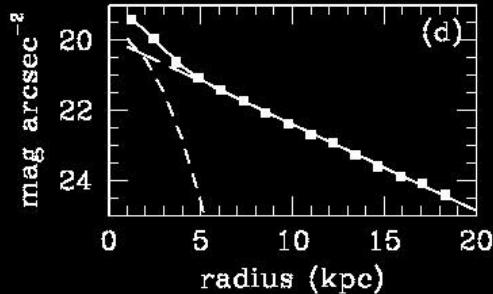
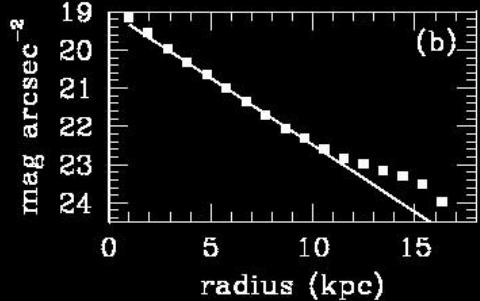
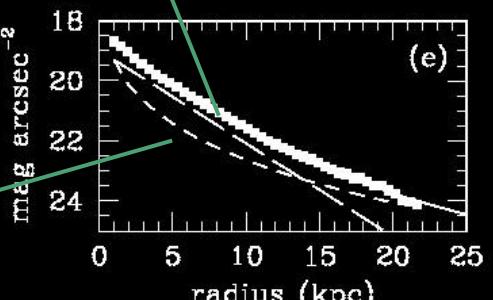
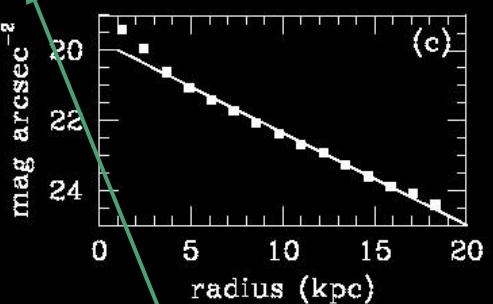
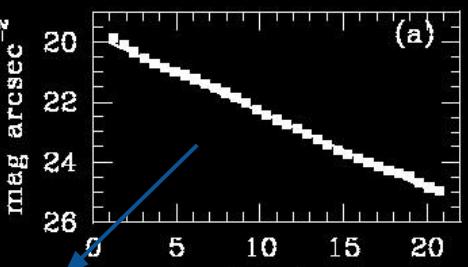
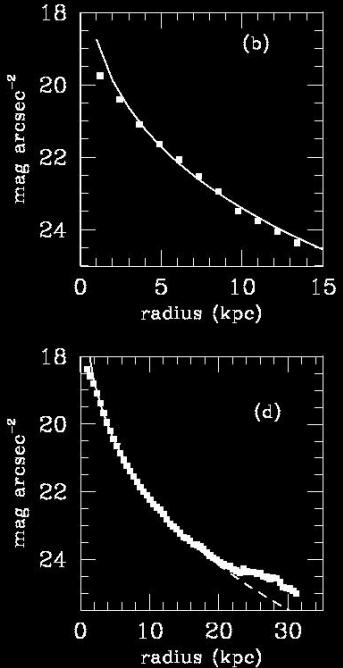
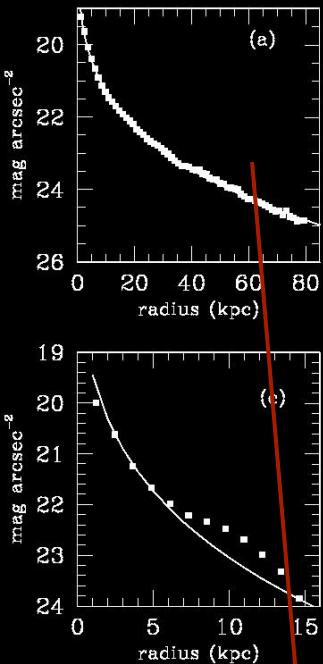
$$\mu(r) = \mu_e + 8.3268 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right],$$

donde n es un parámetro que vale n=4 para las elípticas y n=1 para las espirales.



Ejemplos:

Coenda+05



de Vaucouleurs

Clasificación cuantitativa - Propiedades globales

Hay distintos observables que correlacionan con el tipo morfológico y permiten realizar una clasificación cuantitativa, o bien directamente cuantificar propiedades globales de las galaxias (masa estelar, edad promedio, tasa de formación estelar, dinámica, distribución de poblaciones, etc.), sin pasar por una clasificación.

Algunos de estos observables son:

- índices de color,
- relación bulbo/disco (B/D),
- índice de Sérsic
- $D(4000)$,
- dispersión de velocidades,
- $\mathcal{M}_{\text{HI}}/\mathcal{L}_B$,
- etc.

Relación Bulbo/Disco

La luminosidad de cada componente puede calcularse a través de integrar el perfil de luminosidad en una área circular de radio r :

$$L = \int_0^{\infty} I(r) 2\pi r dr$$

$$L_{\text{bulbo}} = 7.21\pi I_e r_e^2$$

$$L_{\text{disco}} = 2\pi I_0 r_0^2$$

El cociente entre la luminosidad del bulbo y del disco se denomina relación bulge-to-disk, la cual viene dada por

$$B/D = 3.61 \left(\frac{r_e}{r_0} \right)^2 \frac{I_e}{I_0}$$

Estudios realizados principalmente en galaxias de campo, encuentran que esta relación correlaciona con el tipo morfológico de Hubble.

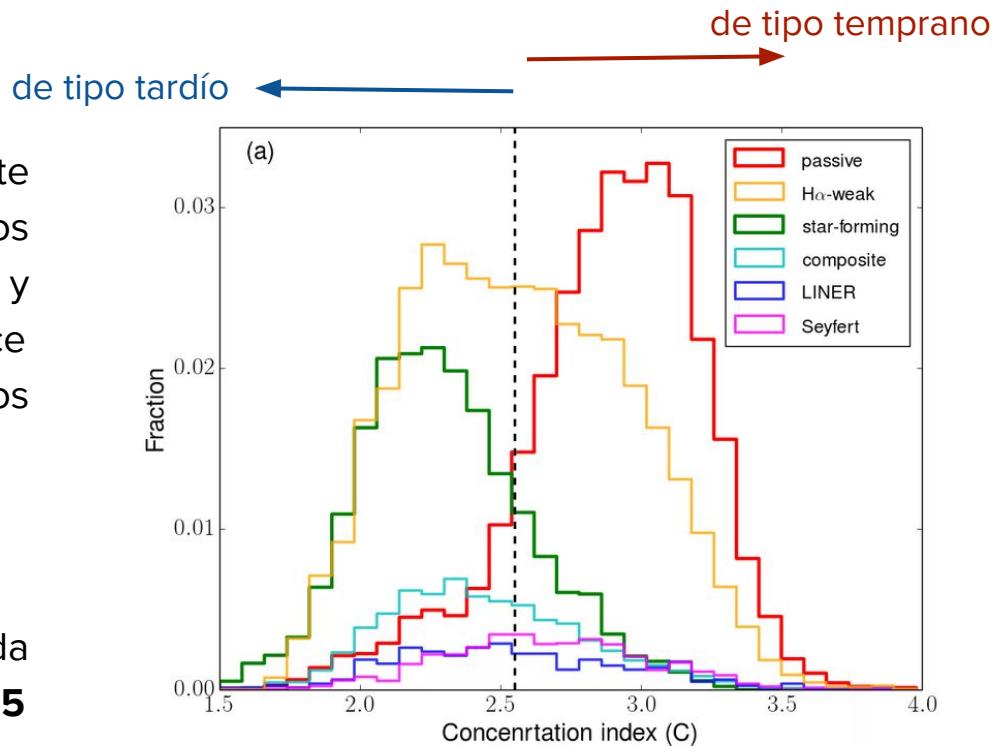
Índice de Concentración

Figura de Wang+17.

Hay diferentes definiciones, pero básicamente mide la razón entre los flujos dentro de dos aberturas circulares o elípticas, una interna y otra externa. En particular, definimos el índice de concentración como el cociente de los radios

$$C = \frac{R_{90}}{R_{50}}$$

y depende de la longitud de onda. En la banda r de SDSS, **se suele usar el valor de C=2.5 para separar a las galaxias de tipo temprano de las de tipo tardío.**



Colores de las Galaxias

Holmberg (1958) y posteriormente Roberts & Haynes (1994) estudiaron la dependencia del color de las galaxias con la morfología. Ellos encuentran que las galaxias de tipo esferoidal son generalmente rojas, mientras que las galaxias tipo disco e irregulares, muestran colores azules.

Los colores de las galaxias proporcionan información sobre sus historias de formación estelar, reflejando la población estelar dominante. En particular, el color $B - V$ mide la actividad de formación estelar actual y pasada de una galaxia (Roberts & Haynes 1994). Las poblaciones estelares jóvenes, tienen emisión en el ultravioleta y colores ópticos muy azules. A medida que la población estelar envejece, sus colores ópticos se enrojecen.

Colores de las Galaxias: Bimodalidad

Baldry+04

Cuando todos los colores son considerados juntos, la distribución de los colores de las galaxias puede ser aproximada por la suma de dos gaussianas normales, es decir, una función bimodal (Strateva et al. 2001, Blanton et al. 2003, Kauffmann et al. 2003). El valor medio y la varianza de estas dos distribuciones es una función fuerte de la luminosidad, o masa estelar.

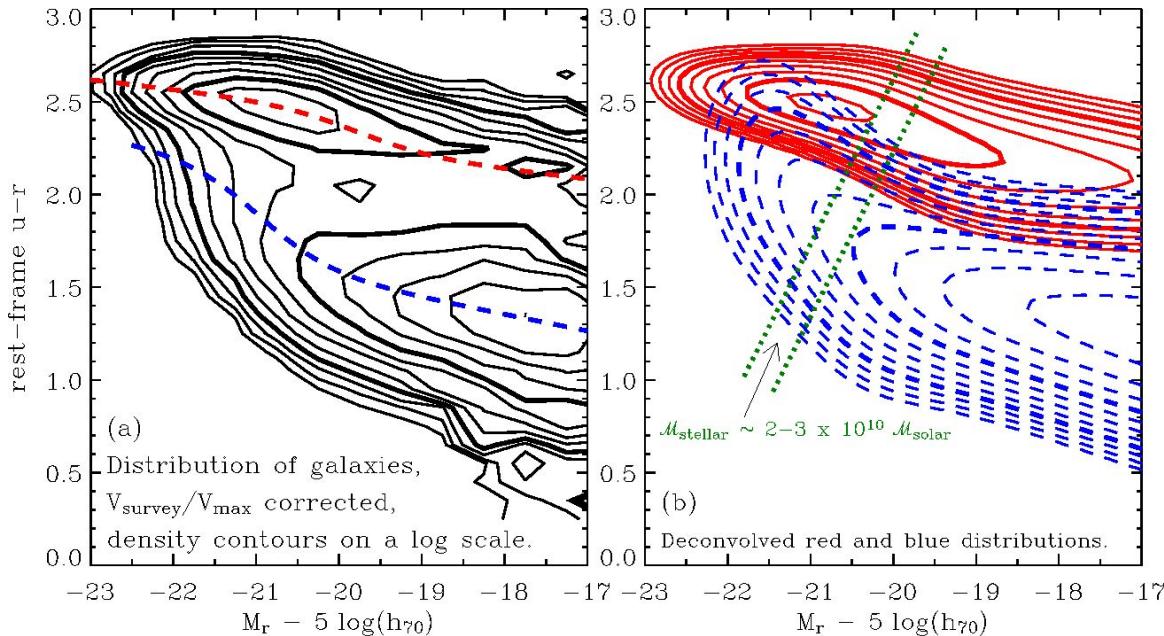
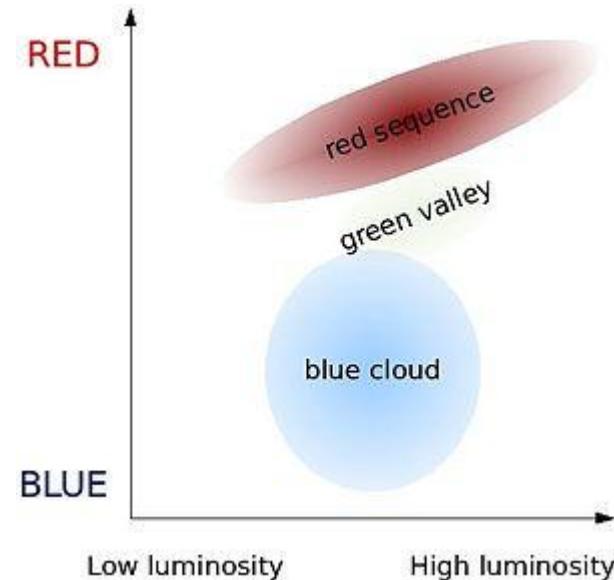
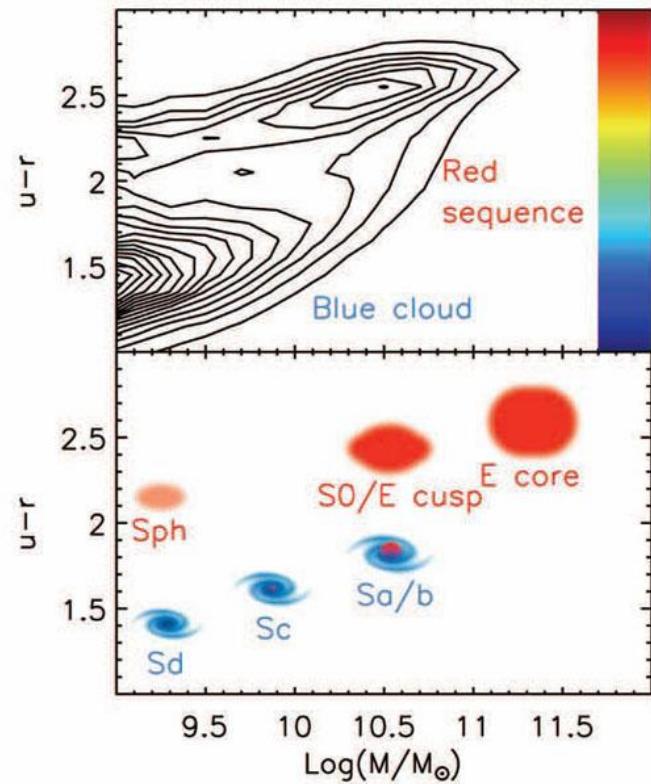
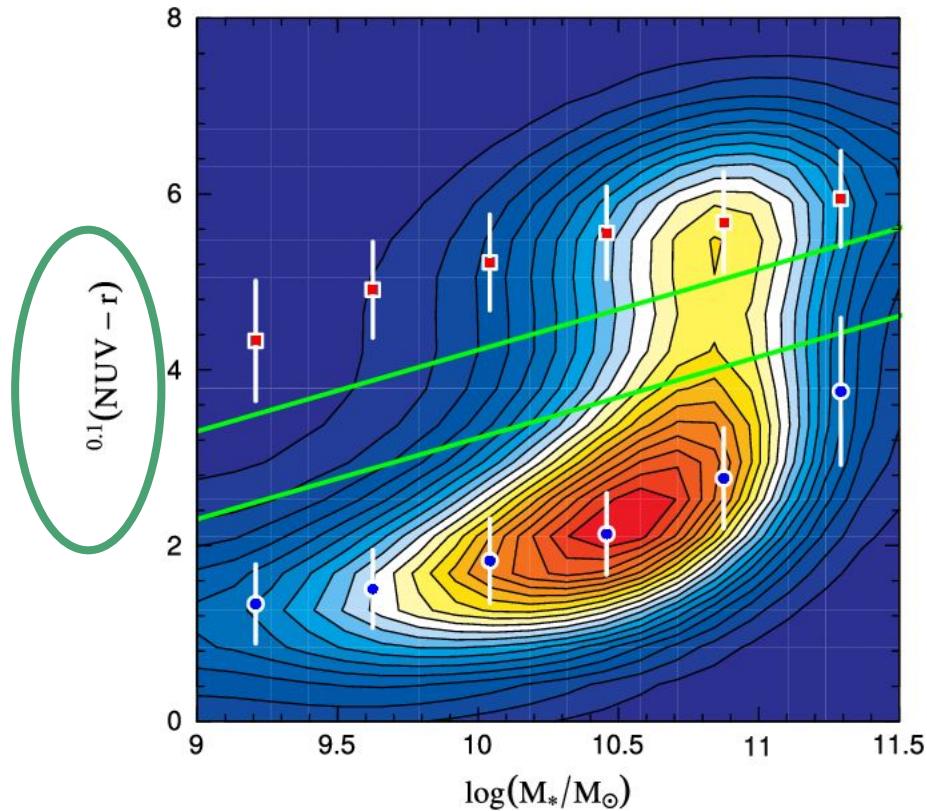
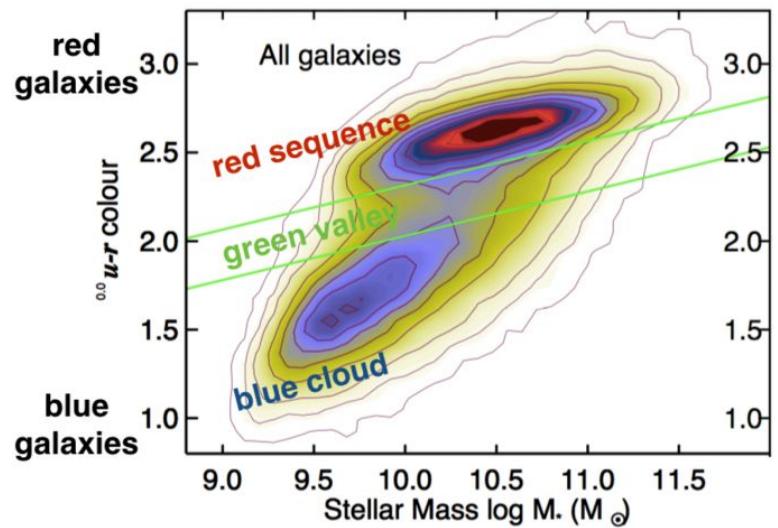


Diagrama Color-Magnitud



Las Galaxias Verdes

Coenda+18

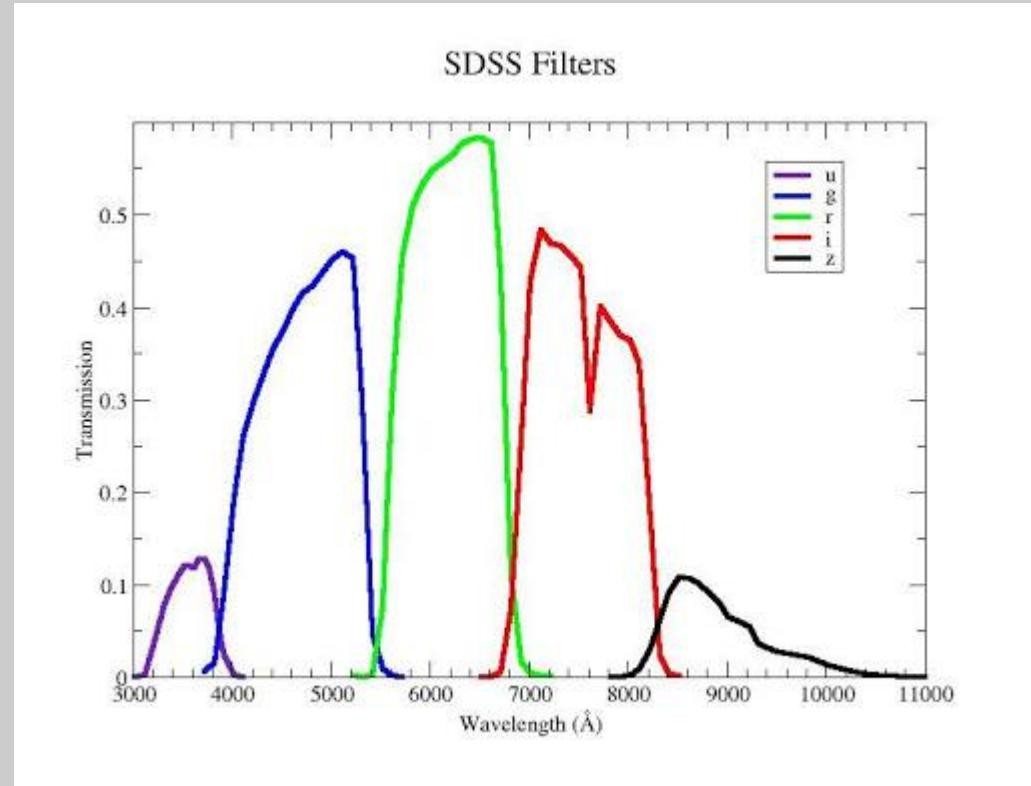


SDSS: Sloan Digital Sky Survey

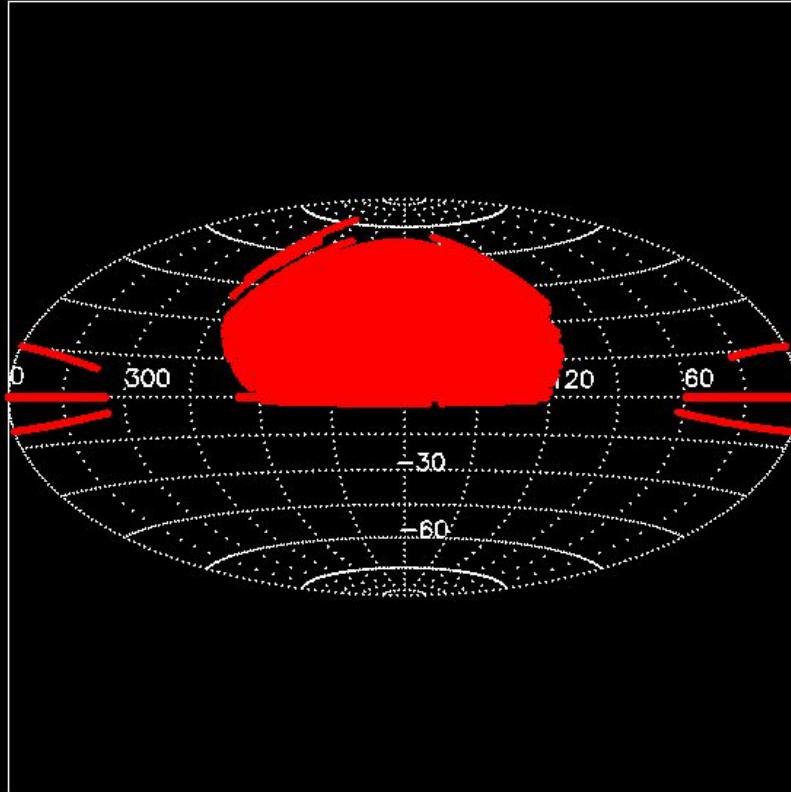
<https://www.sdss.org/>



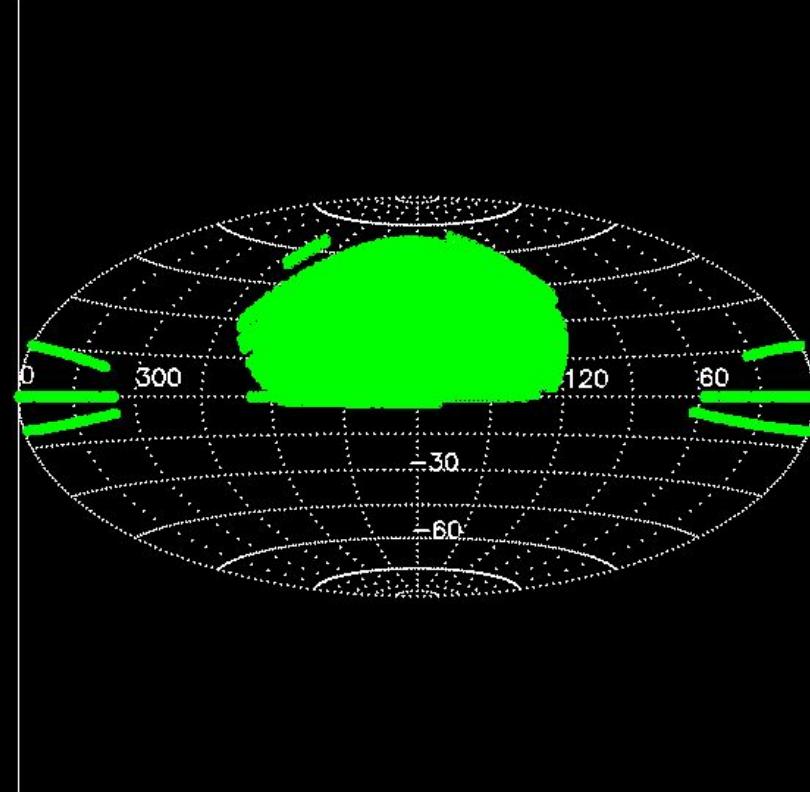
El **Sloan Digital Sky Survey** o **SDSS** es un proyecto de investigación del espacio mediante imágenes en el espectro visible y de corrimiento al rojo, realizada en un telescopio específico de ángulo amplio y de 2,5 metros situado en el observatorio Apache Point de Nuevo México y comenzada en 2000.



DR7



Fotométrico



Espectroscópico

Links Útiles

- SDSS: <https://www.sdss.org/>
- SDSS Skyserver: <http://skyserver.sdss.org/dr17/>
- Casjobs: <http://casjobs.sdss.org/CasJobs/>
- SDSS III: <http://www.sdss3.org/>
- NYU Catalogue: <http://sdss.physics.nyu.edu/vagc/>