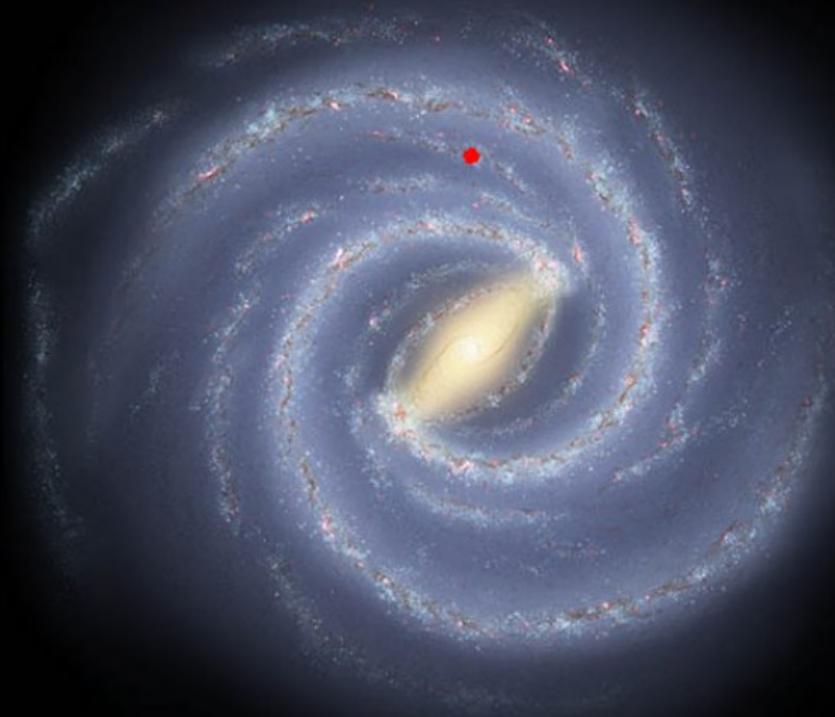


Galaxias

Ernesto Nicola

Palma, 22-11-2024



Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)

- 1 Nuestra galaxia: la Vía Láctea**
 - Estructura general de la galaxia
 - Disco galáctico
 - Bulbo y barra galácticos
 - Halo(s) galáctico(s)
- 2 Otras galaxias**
 - Clasificación
 - Caracterización: Tamaño, Luminosidad y Densidad
 - Evolución
 - Agujeros negros galácticos supermasivos
 - Materia oscura

1 Nuestra galaxia: la Vía Láctea

¿Qué es la Vía Láctea?



Foto de Serge Brunier (ESO)

- La Vía Láctea es una zona del cielo donde hay una luminosidad tenue y difusa, y muy irregular
 - La zona es alargada, cruzando prácticamente todo el cielo
 - La zona de luminosidad se ensancha cerca de las constelaciones de Sagitario y Escorpio.

¿Qué es la Vía Láctea?



Foto de Serge Brunier (ESO)

- Varias culturas antiguas veían la Vía Láctea como una vía o río
- Los antiguos griegos la llamaban "galaxíâs" ("lechoso"); que deriva de "Gala" ("leche")
- Ahora la llamamos la galaxia Vía Láctea (Vía Láctea deriva del latín; "camino de leche")

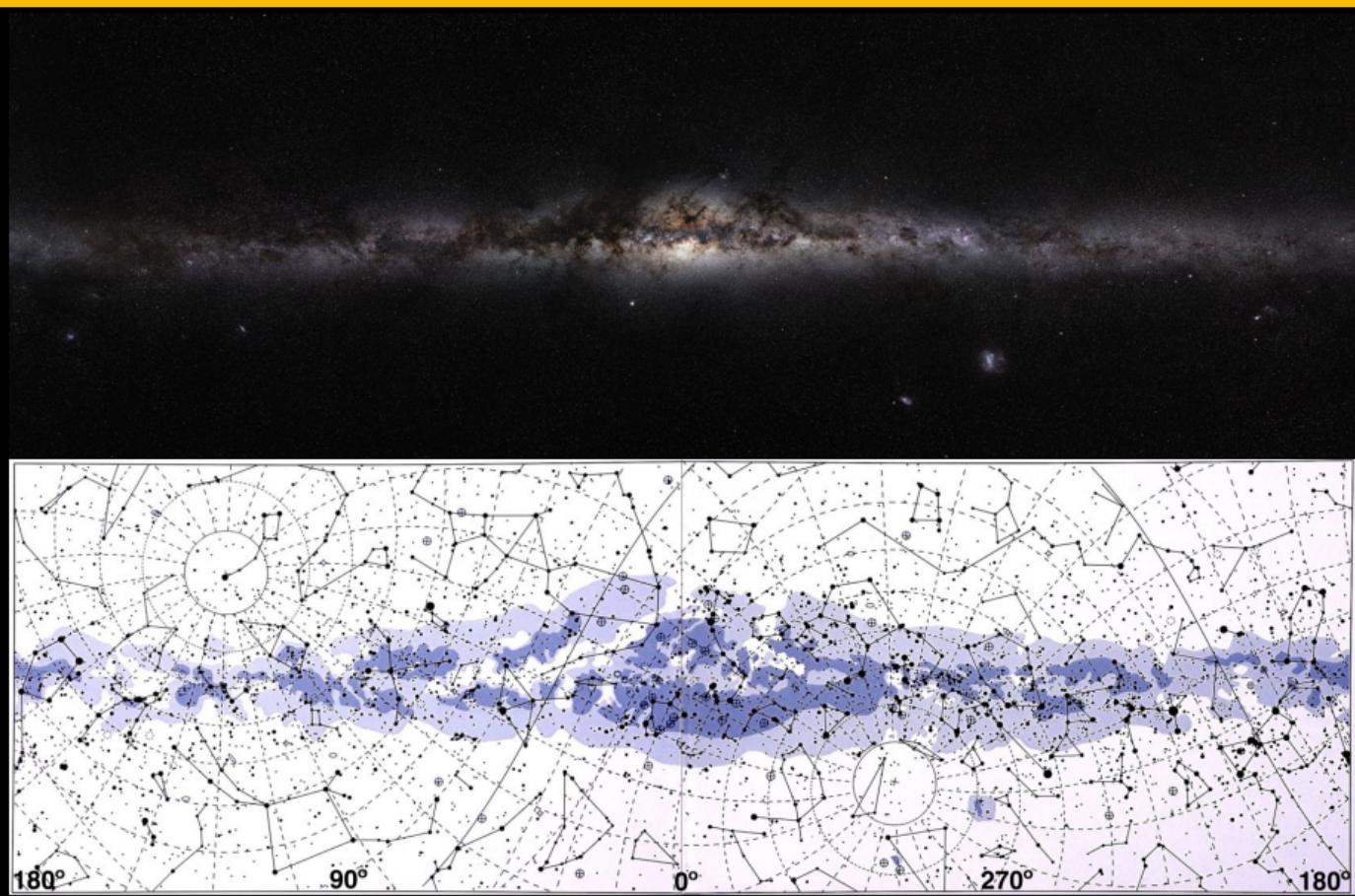
¿Que es la Vía Láctea?



Foto de Serge Brunier (ESO)

- La Vía Láctea es en realidad el aspecto que tienen los miles de millones de estrellas que constituyen el disco de nuestra galaxia, vista desde el Sistema Solar.

Panorama de la Vía Láctea



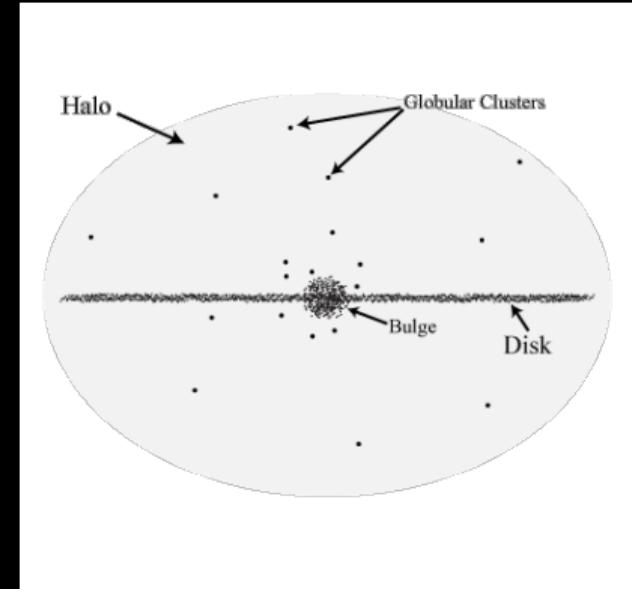
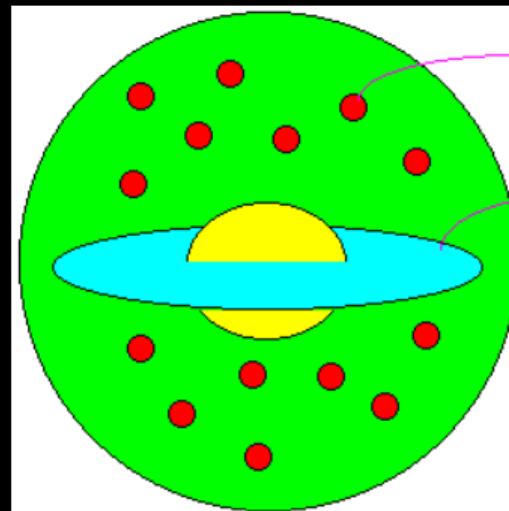
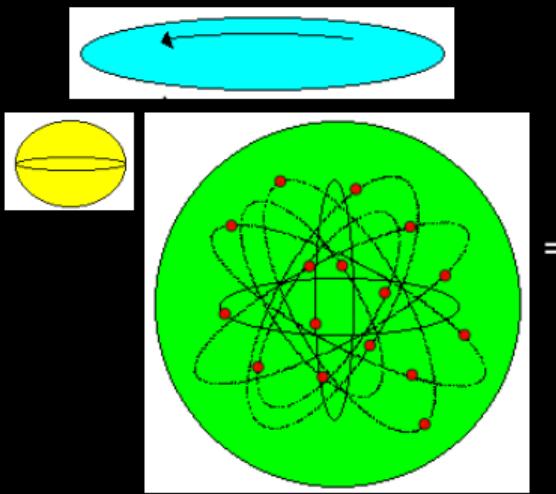
1 Nuestra galaxia: la Vía Láctea

1.1 Estructura general de la galaxia

Estructuras de la Vía Láctea

Tres partes principales:

- 1 Disco:** estrellas jóvenes y de mediana edad + medio interestelar (gas y polvo interestelar)
- 2 Bulbo:** estrellas viejas
- 3 Halo(s):** estrellas viejas en cúmulos globulares (y materia oscura)

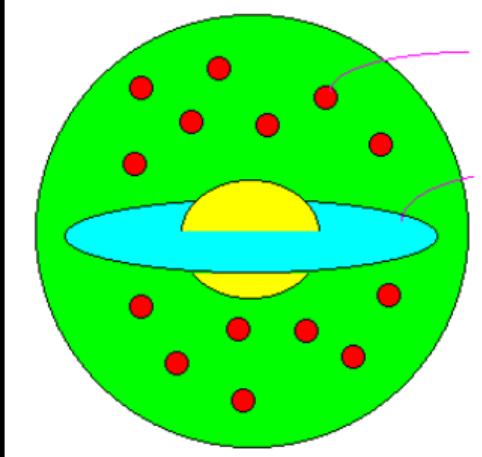


Modelo a escala de la Vía Láctea

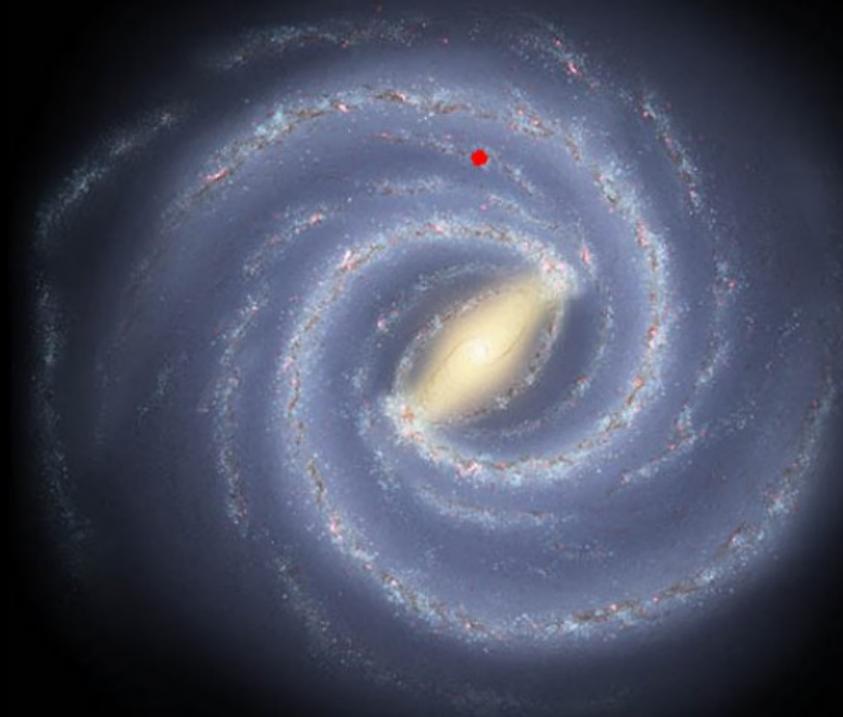


Escala: 1 mm = 1000 ly

- 1 Disco:** 2 CDs (100 mm de diámetro y 2 mm de espesor)
 - Un cubo de 1 mm de lado (contiene casi todas las estrellas visibles a simple vista!)
- 2 Bulbo:** Una pelota de ping-pong (20 mm de diámetro)
- 3 Halo:** Una bola imaginaria "de gelatina" que envuelve los CDs y contiene ~ 150 granos de pimienta.



¿Preguntas?



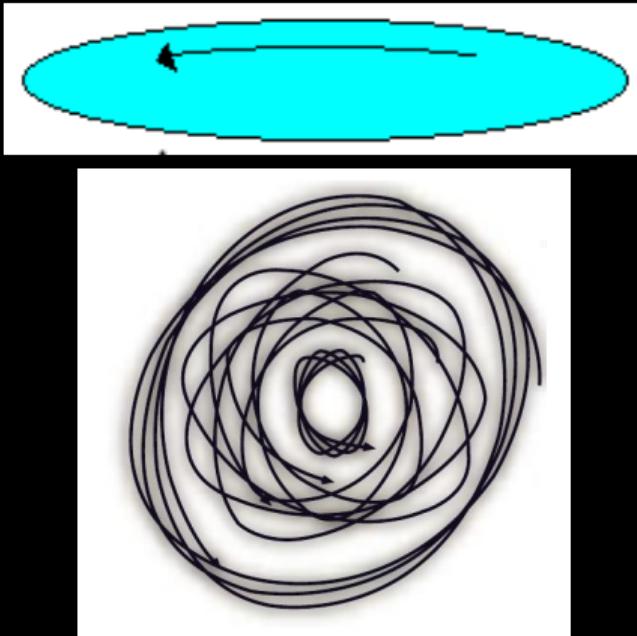
Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)

1 Nuestra galaxia: la Vía Láctea

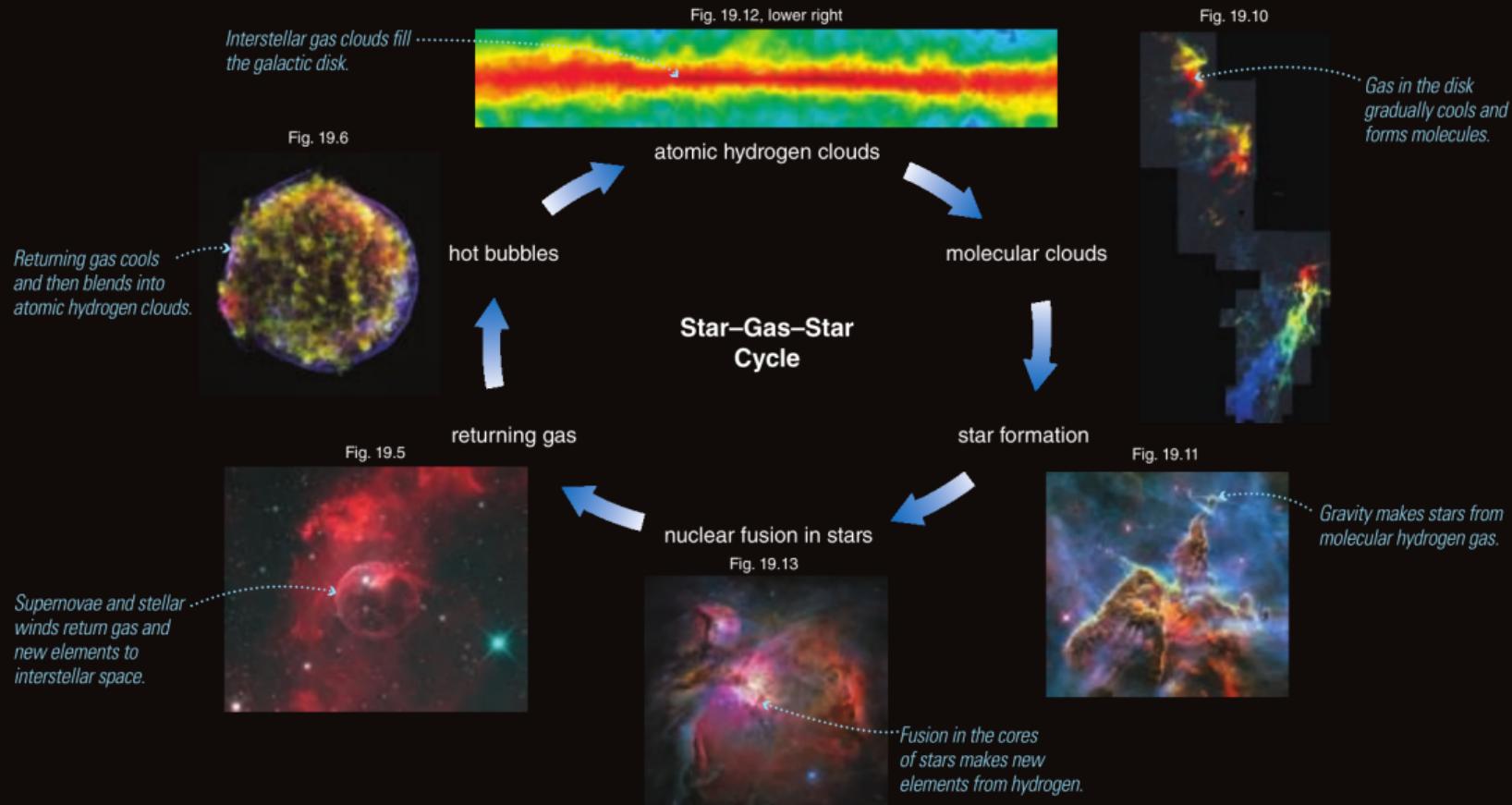
1.2 Disco galáctico

Contenido y Movimiento del Disco Galáctico

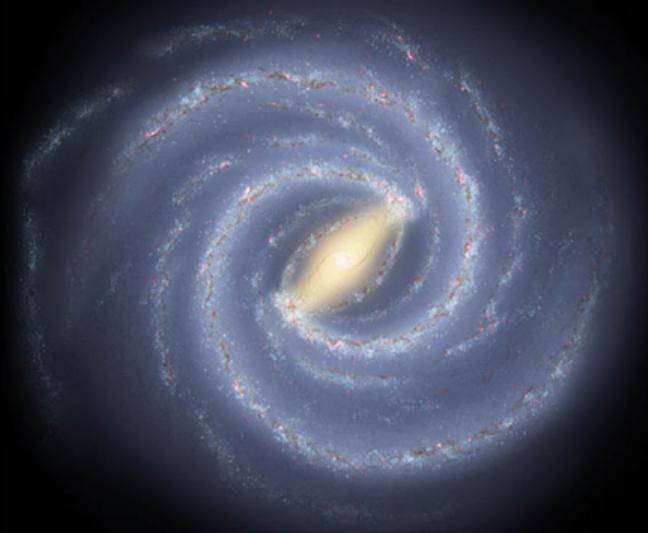
- El disco galáctico contiene:
 - La mayoría de las estrellas jóvenes y de mediana edad
 - Las estrellas jóvenes están dentro de cúmulos estelares
 - Medio interestelar: gas y polvo interestelar
- Continuamente están naciendo nuevas estrellas en el disco galáctico y también están "muriendo" (finalizando su vida) estrellas viejas.
 - ¡En promedio nacen unas 7 estrellas por año!
- Las estrellas en el disco rotan alrededor del centro de la galaxia en un mismo plano y en órbitas elípticas



Reciclado galáctico: ciclo gas->estrellas->gas



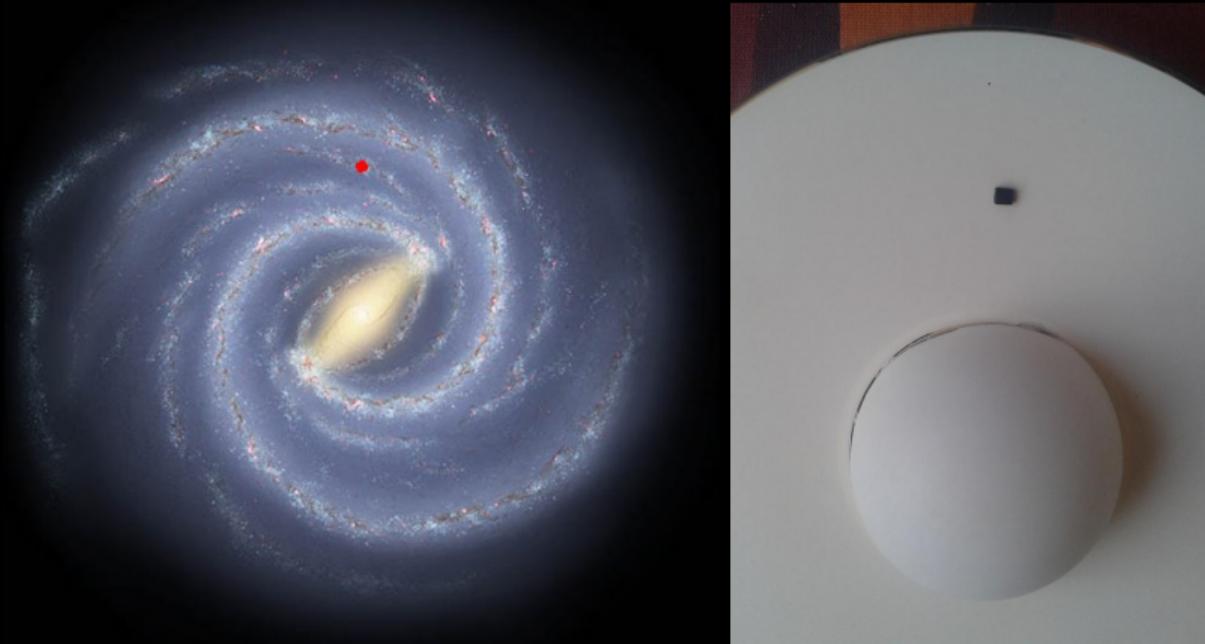
Tamaño de la galaxia



¿Qué tamaño tiene el disco de la Vía Láctea?

- El disco tiene 100.000 años-luz (ly) de diámetro y 2.000 años-luz (ly) de grosor
- En nuestro modelo (Escala: 1.000 ly = 1 mm):
 - Diámetro: 100.000 ly = 100 mm
 - Grosor: 2.000 ly = 2 mm

Nuestro rincón en la galaxia



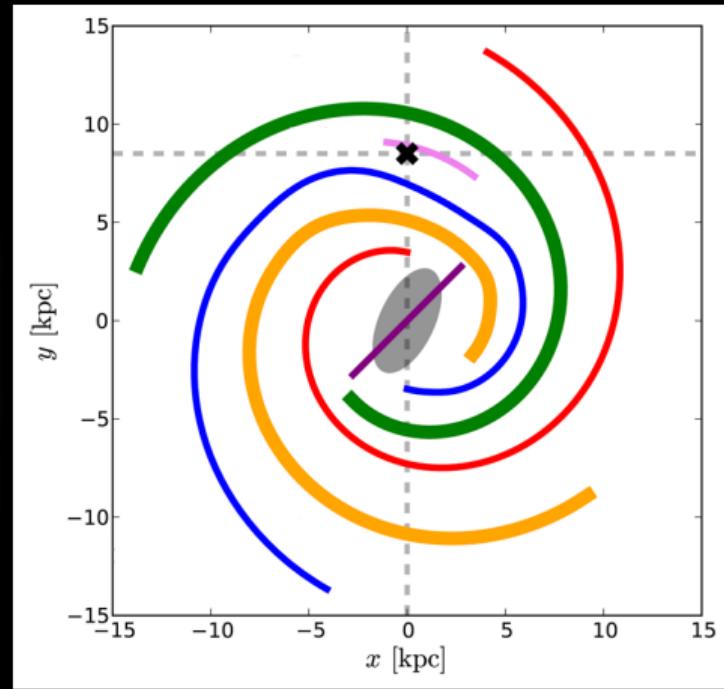
- El Sol está ubicado a ~ 25.000 ly del centro de la galaxia
(en el modelo el sol está a 25 mm del centro del disco)
- El Sol da una vuelta a la galaxia cada ~ 250 millones de años (\equiv "año galáctico").
 - Desde su nacimiento el Sol ha rotado ~ 20 veces

La Vía Láctea es una galaxia con forma de espiral



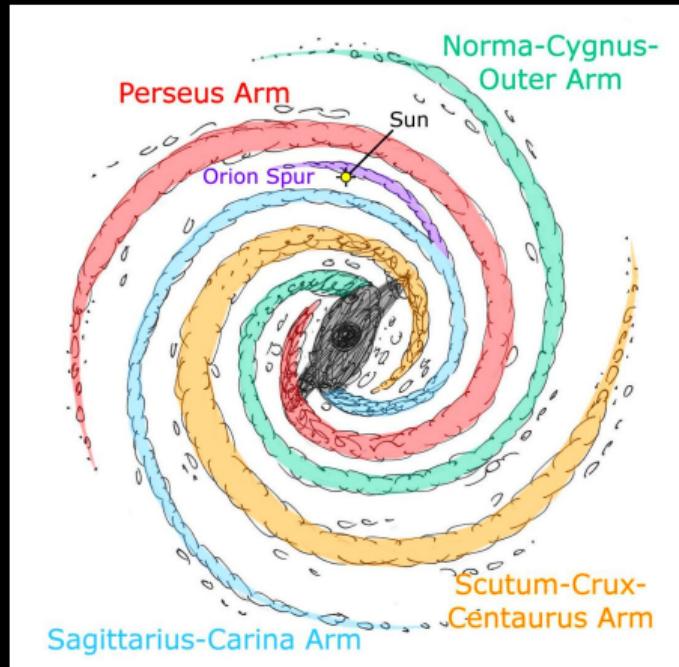
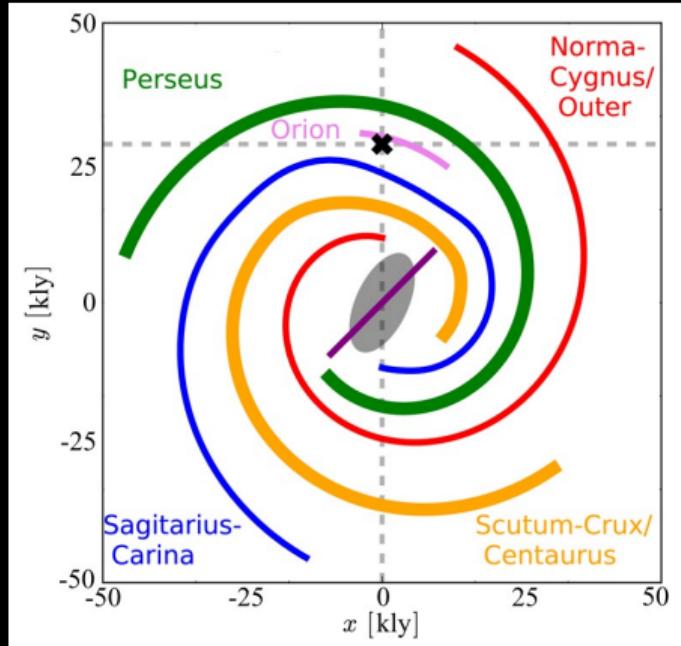
- Las estrellas en el disco están mayormente ubicadas sobre los brazos de una espiral
- Los brazos se juntan cerca del centro de la galaxia

La Vía Láctea posee 4 brazos en la espiral



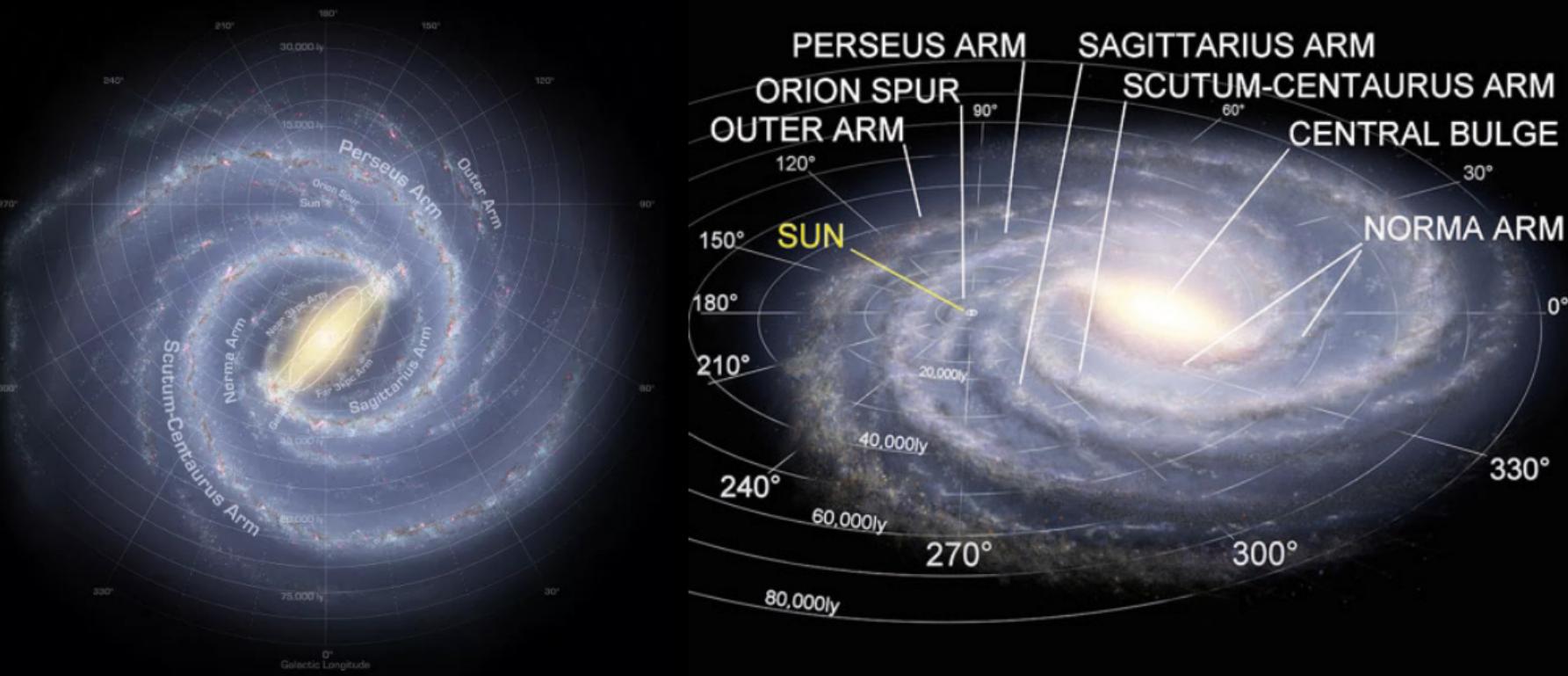
- 2+2 Brazos
 - **2 Brazos Mayores** (verde y naranja)
 - **2 Brazos Menores** (rojo y azul)
- Los brazos se juntan cerca del centro de la galaxia

Nombres de los brazos de la Vía Láctea



- 2 Brazos Mayores: **Brazo de Perseo** y **Brazo de Scutum - Crux - Centauro**
- 2 Brazos Menores: **Brazo de Sagitario - Carina** y **Brazo de Norma - Cisne/Exterior**
- Brazo o Transecto de Orión

El mapa de la Vía Láctea



¿Preguntas?

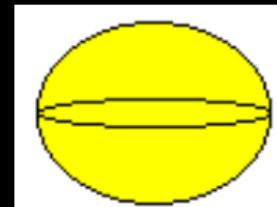
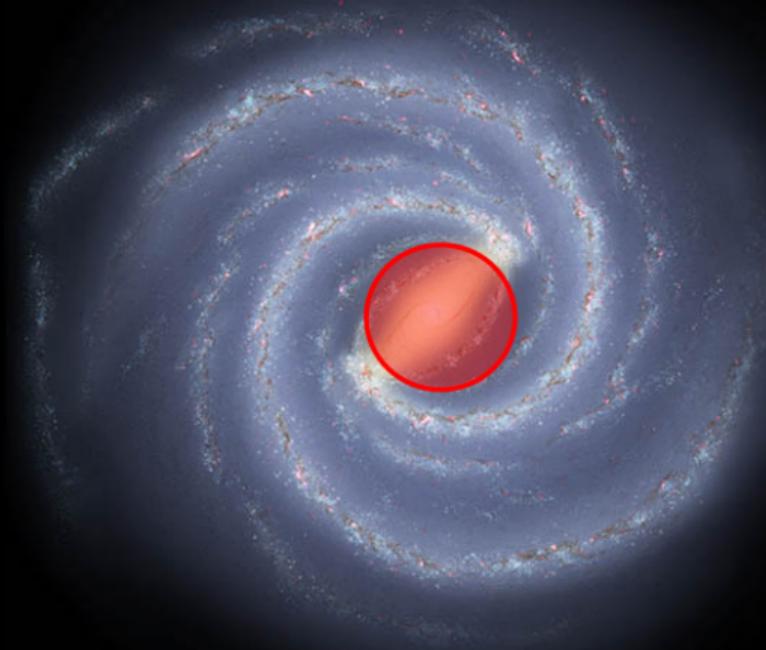


Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)

1 Nuestra galaxia: la Vía Láctea

1.3 Bulbo y barra galácticos

El bulbo galáctico está compuesto de estrellas viejas



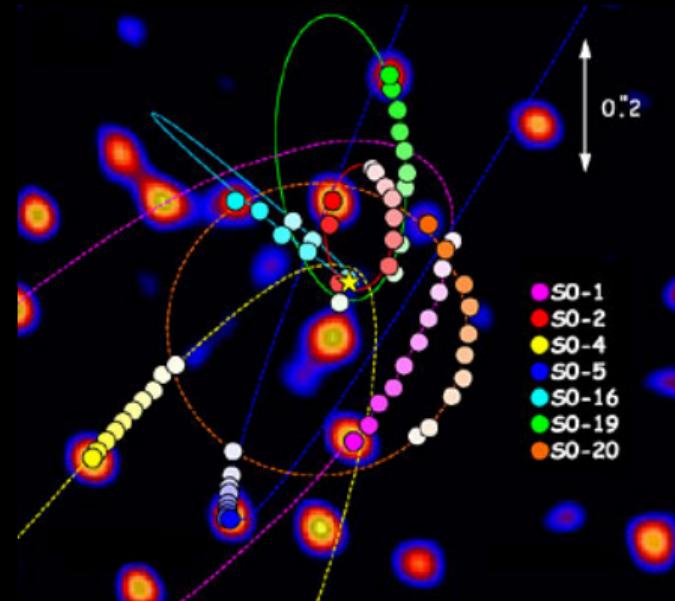
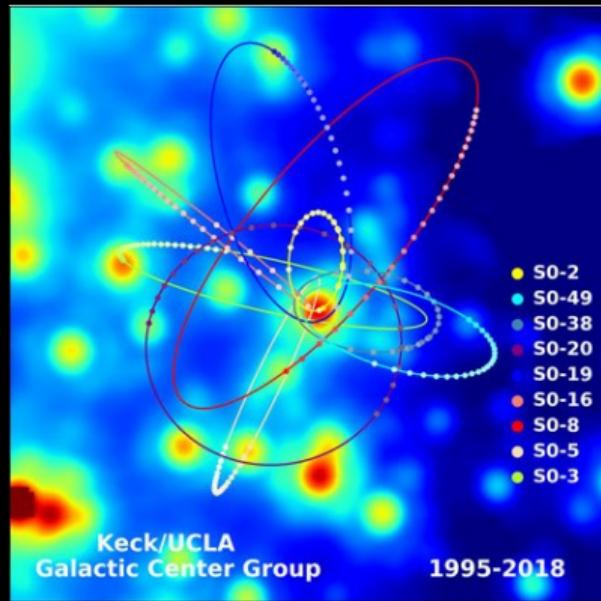
- El Bulbo es una zona elipsoidal en el centro de la galaxia que tiene un diámetro de ~ 15.000 ly (en el modelo son 15 mm)
- El Bulbo está compuesto por estrellas viejas y rojizas y muy poca cantidad de medio interestelar.
- Las estrellas del bulbo orbitan alrededor del centro galáctico (pero sus órbitas no están orientadas en el plano del disco)

El bulbo galáctico y la barra central



- Estudios recientes indican que, además del bulbo, también existe una **barra** en el centro de la galaxia.
- La barra (o las barras ya que algunos estudios indican que hay dos), es una zona cilíndrica con la densidad alta de estrellas.
- Las estrellas de la barra son más jóvenes que las del bulbo.
- La barra rota sobre el centro de la galaxia como si fuese un cuerpo rígido.
- En los extremos de la barra parecen nacer algunos de los brazos de la espiral del disco.

Agujero negro supermasivo en el centro del bulbo galáctico

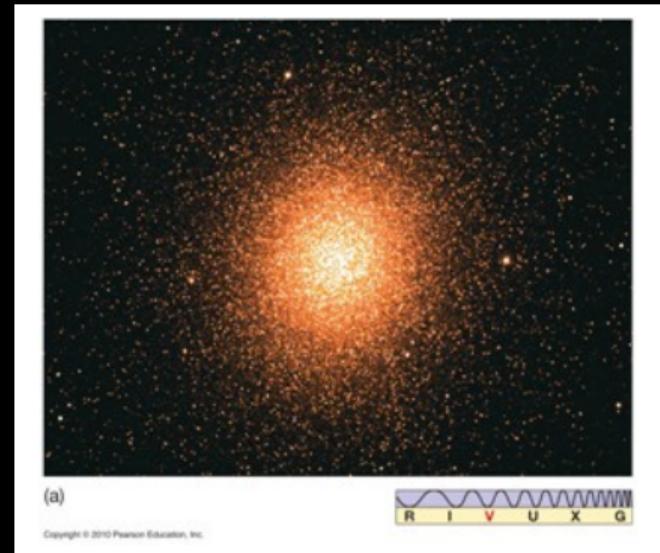
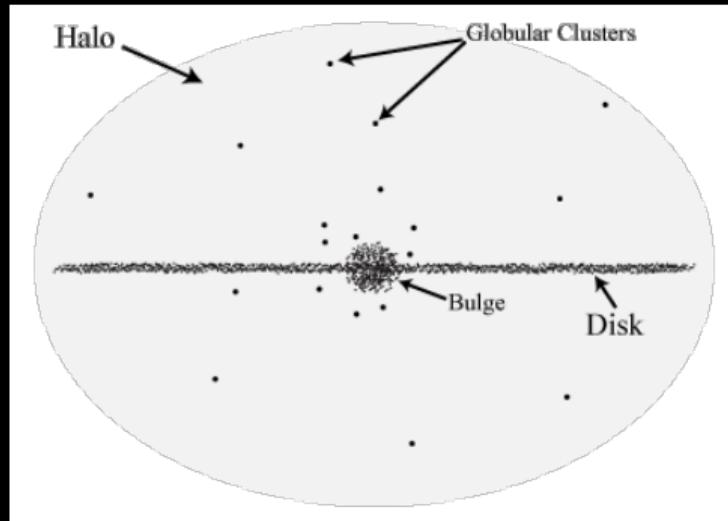


- En el centro del bulbo hay un agujero negro supermasivo.
 - El agujero negro está en la constelación de Sagitario (cerca del "pico de la tetera") y se llama **Sgr A*** ("Sagitario A estrella").
 - La masa del agujero negro es equivalente a $\sim 5.000.000$ masas solares.
 - Sin embargo, la masa del agujero negro supermasivo es una cantidad ínfima de la masa total de la galaxia. ($\sim 0.001 - 0.0001\%$)

1 Nuestra galaxia: la Vía Láctea

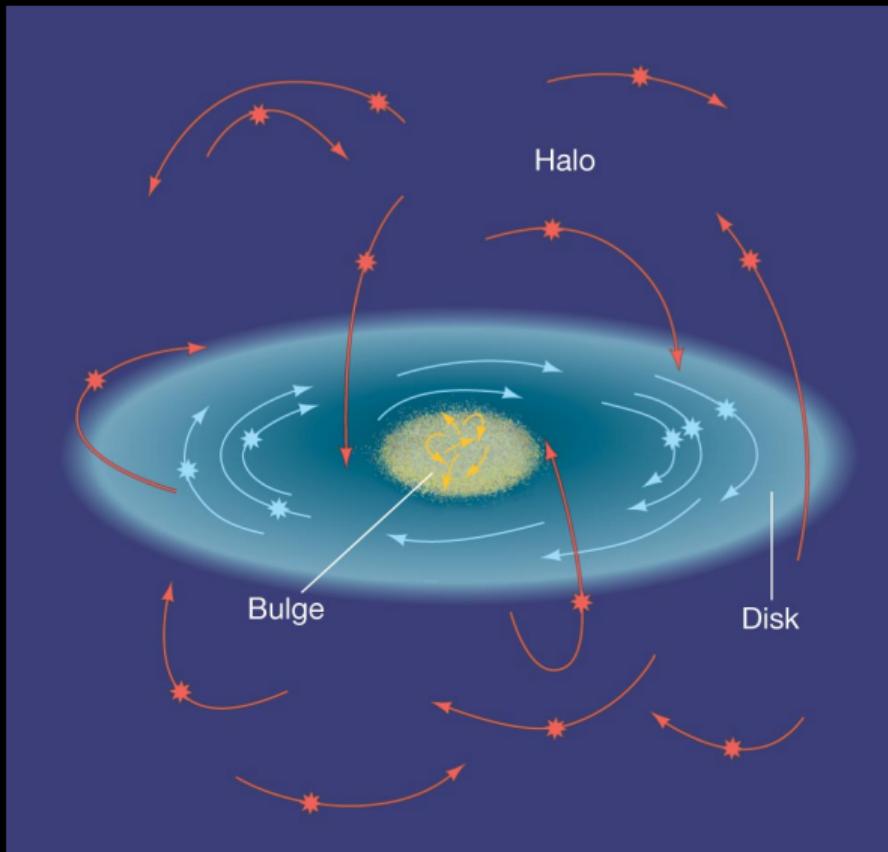
1.4 Halo(s) galáctico(s)

El halo estelar contiene más de 150 cúmulos globulares



- El halo estelar está compuesto por estrellas viejas y rojizas
- Prácticamente la totalidad de estas estrellas está contenida en alguno de los más de 150 cúmulos globulares que posee nuestra galaxia
- Fuera de los cúmulos globulares la densidad de estrellas es muy baja
- Los cúmulos globulares contienen entre (entre 20,000 y 1 millón de estrellas) y orbitan el centro de la galaxia

Movimiento de las estrellas en el disco y los cúmulos globulares



- Las órbitas de las estrellas en el disco son todas en la misma dirección y en el plano del disco galáctico
- Las órbitas de las estrellas en el halo y bulbo no tienen simetría cilíndrica.

¿Preguntas?



Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)

2 Otras galaxias

2 Otras galaxias

2.1 Clasificación

Clasificación de Galaxias



Barred Spiral



Irregular



Spiral



Peculiar

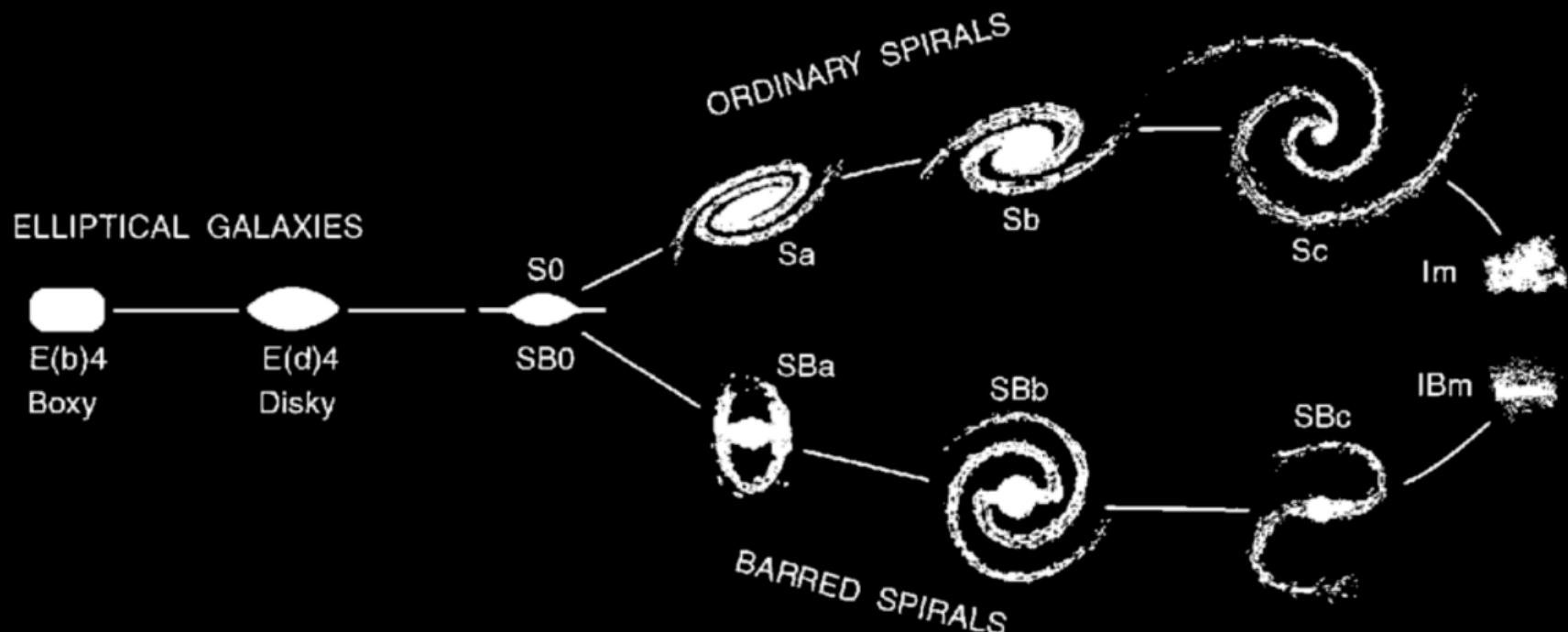


Elliptical



Lenticular

Secuencia de Hubble (El "Diapasón de Hubble")



Secuencia de Hubble (El "Diapasón de Hubble")

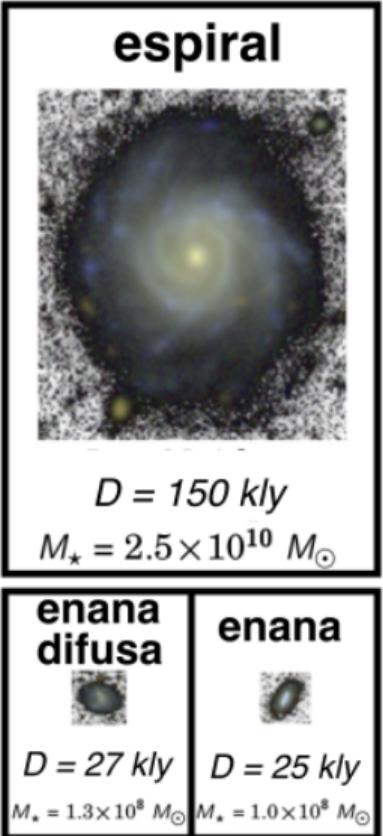
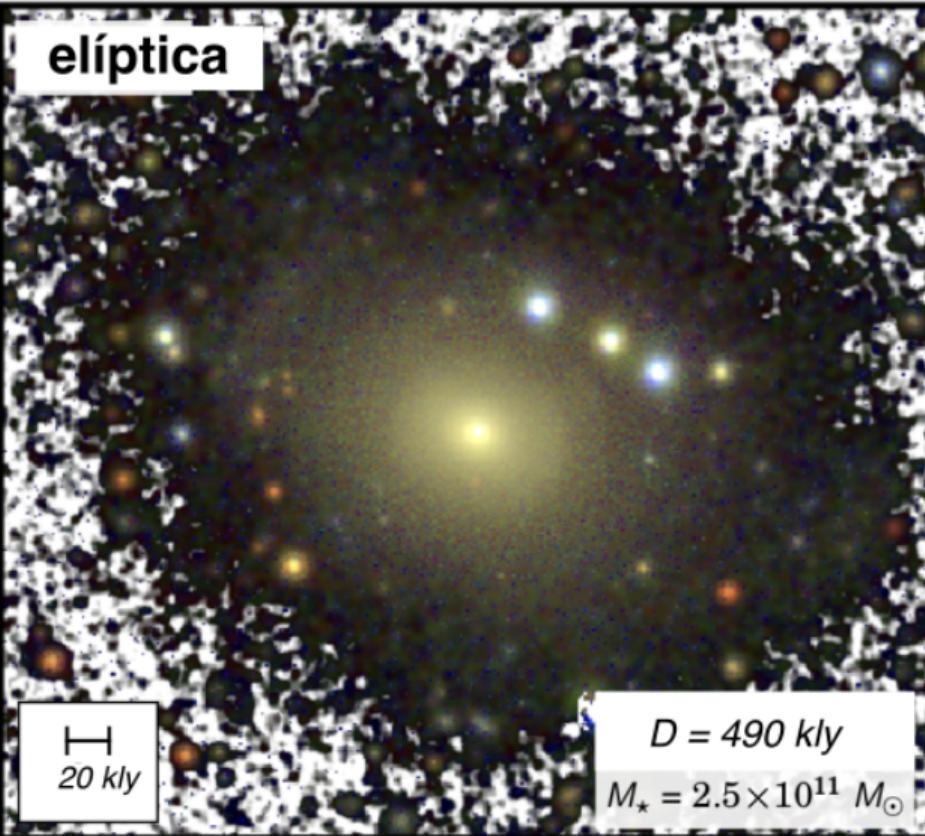
Hubble's Galaxy Classification Scheme



2 Otras galaxias

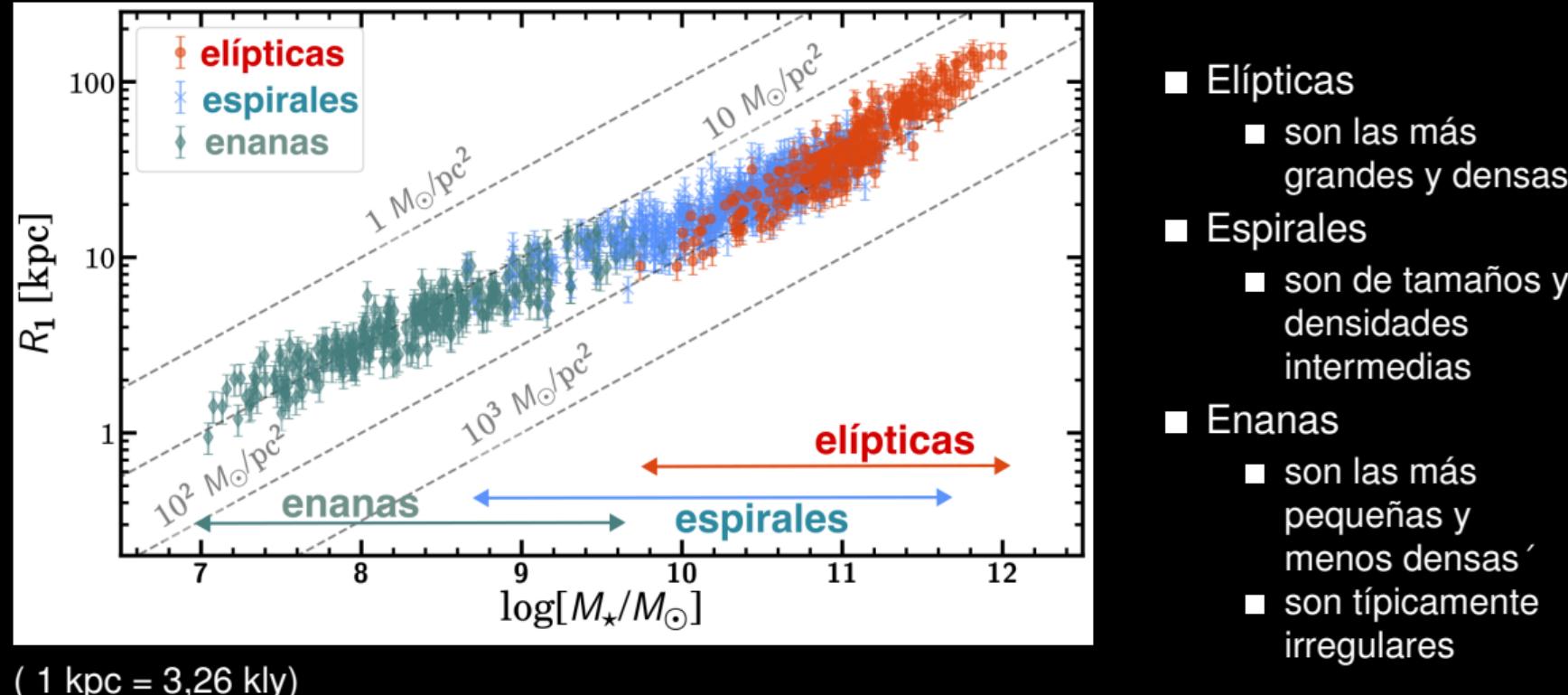
2.2 Caracterización: Tamaño, Luminosidad y Densidad

Tamaño Típico de las Galaxias

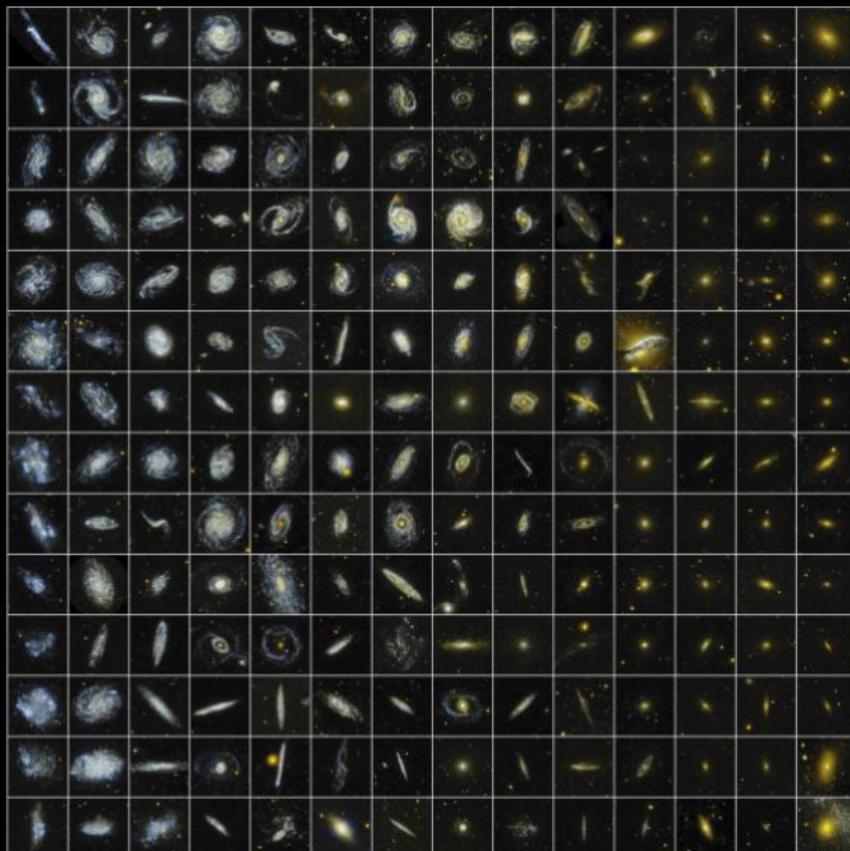


Tamaño y Densidad de las Galaxias

- Diagrama de Masa Galáctica (horizontal) vs. Radio de la Galaxia (vertical)
- Luminosidad de la Vía Láctea: $\sim 10^{10} M_{sol}$ (o $10.000.000.000 M_{sol}$)



Diferencias entre galaxias espirales y elípticas



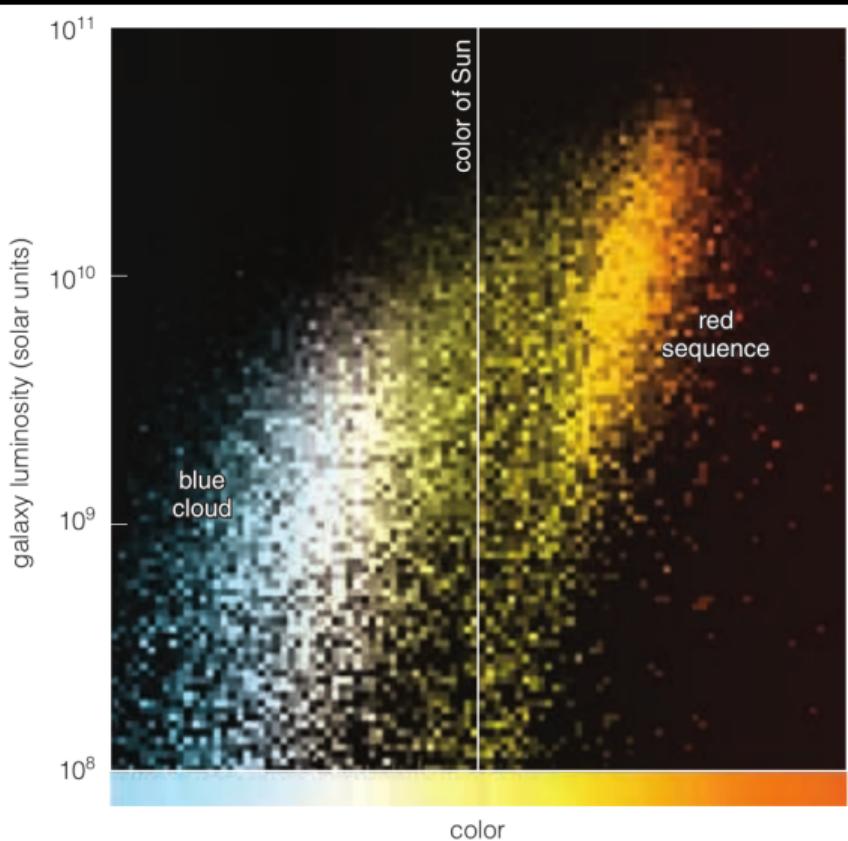
■ Galaxias Espiral:

- tienen más gas,
- tienen más estrellas jóvenes,
- son más azules.

■ Galaxias Elípticas:

- tienen menos gas (o nada de gas) disponible,
- están compuestas de estrellas viejas.
- son más rojizas

Diagrama de Color-Luminosidad de las Galaxias



- Diagrama de Color-Luminosidad
 - Color de la Galaxia (horizontal)
 - Luminosidad de la Galaxia (vertical)
(luminosidad de la Vía Láctea
 $\sim 10^{10} M_{sol}$ o $10.000.000.000 M_{sol}$)
- Hay dos zonas
 - Zona roja: típicamente galaxias elípticas
 - Zona azul: típicamente galaxias espirales y enanas irregulares (entre blanco y azulado)
 - "Valle Verde": zona intermedia con relativamente pocas galaxias (incluye a la Vía Láctea)

¿Preguntas?

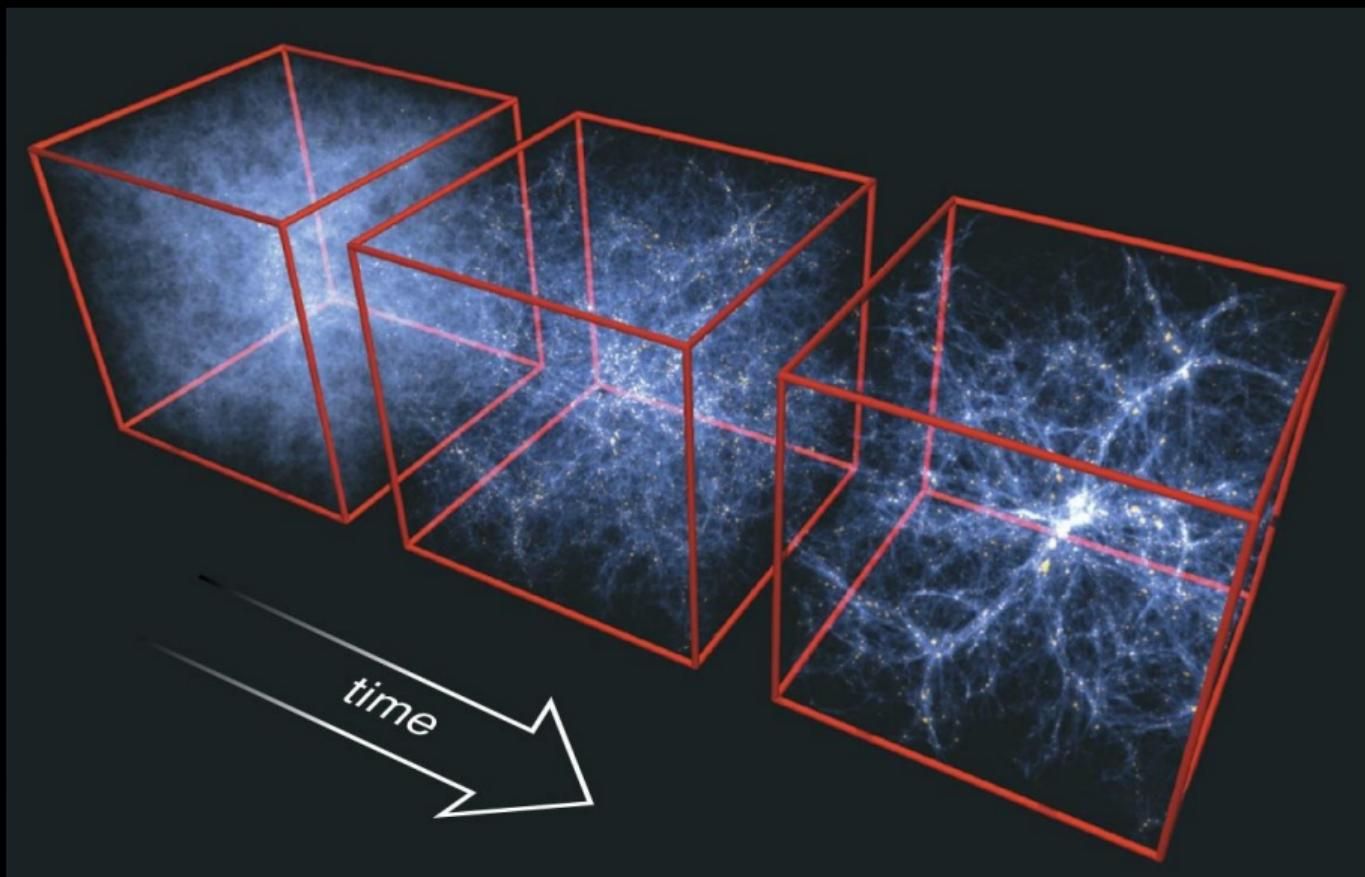


Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)

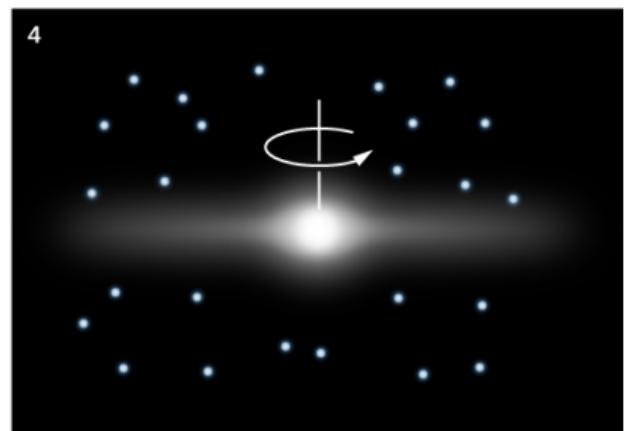
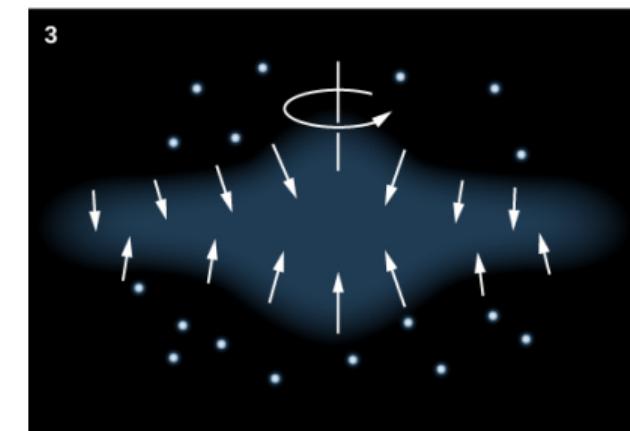
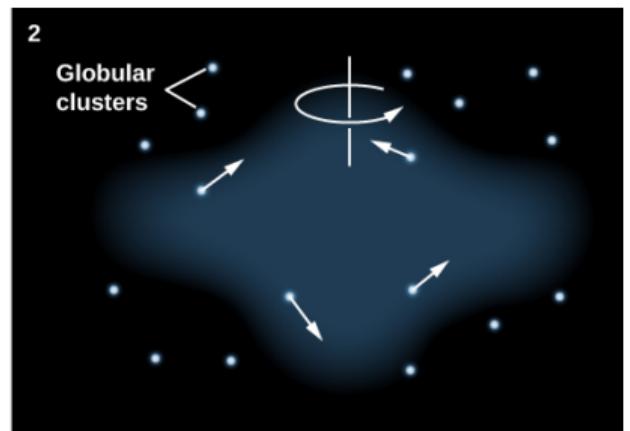
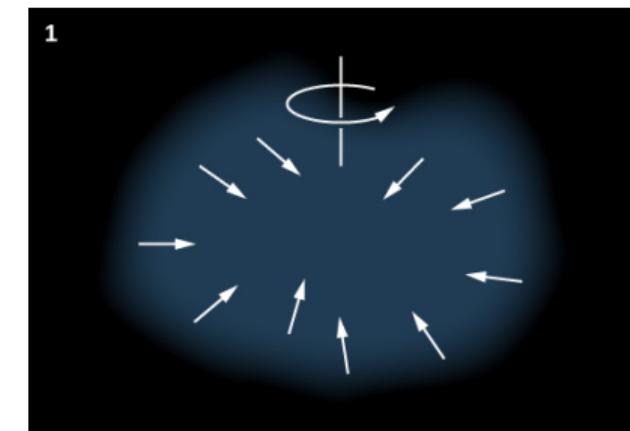
2 Otras galaxias

2.3 Evolución

Formación de las galaxias

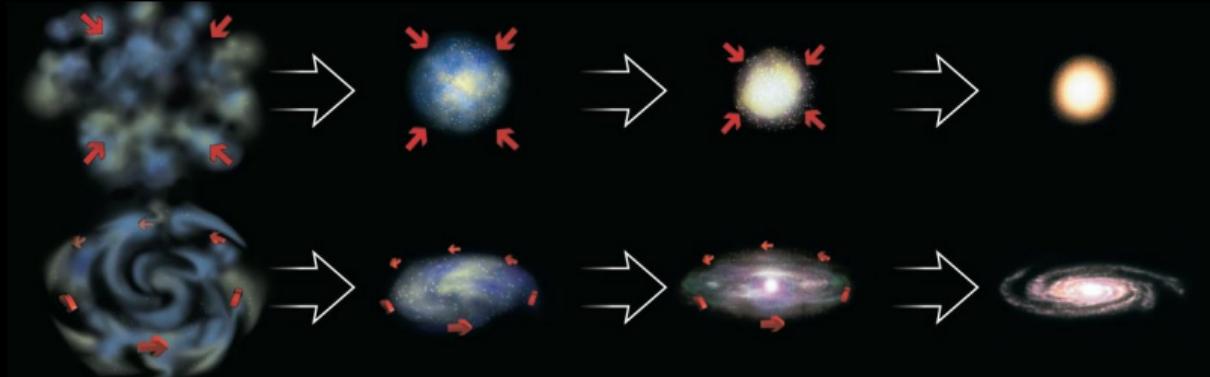


Formación de una galaxia como la Vía Láctea



Formación de las galaxias: galaxia con disco vs. elíptica

- Efecto de la rotación (conservación del momento angular):



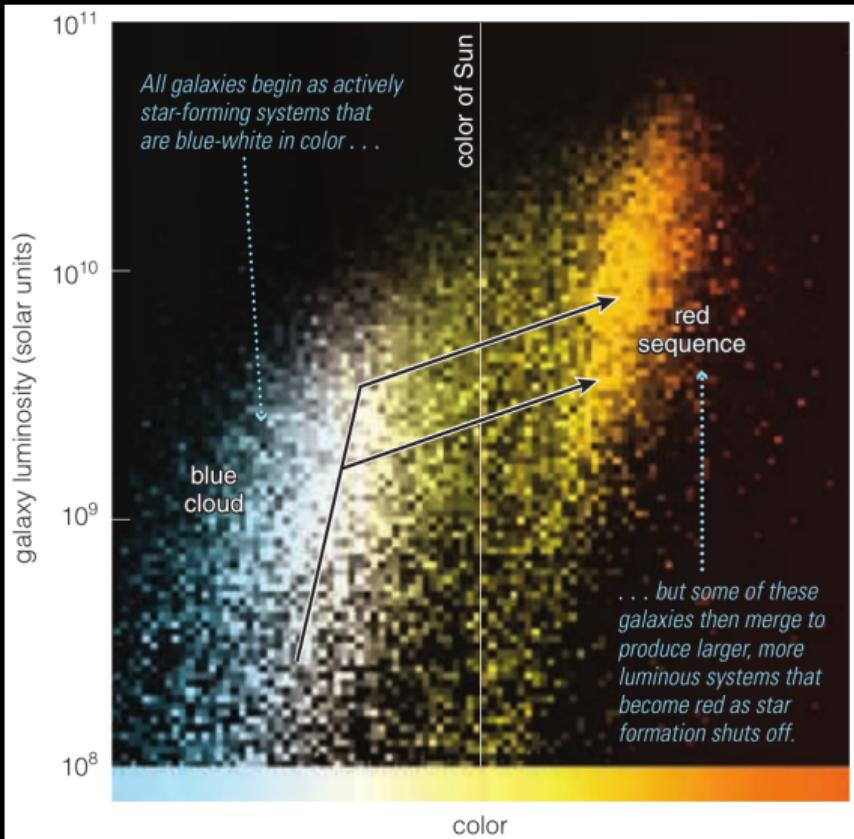
Pearson 2014

- Efecto de la densidad inicial:



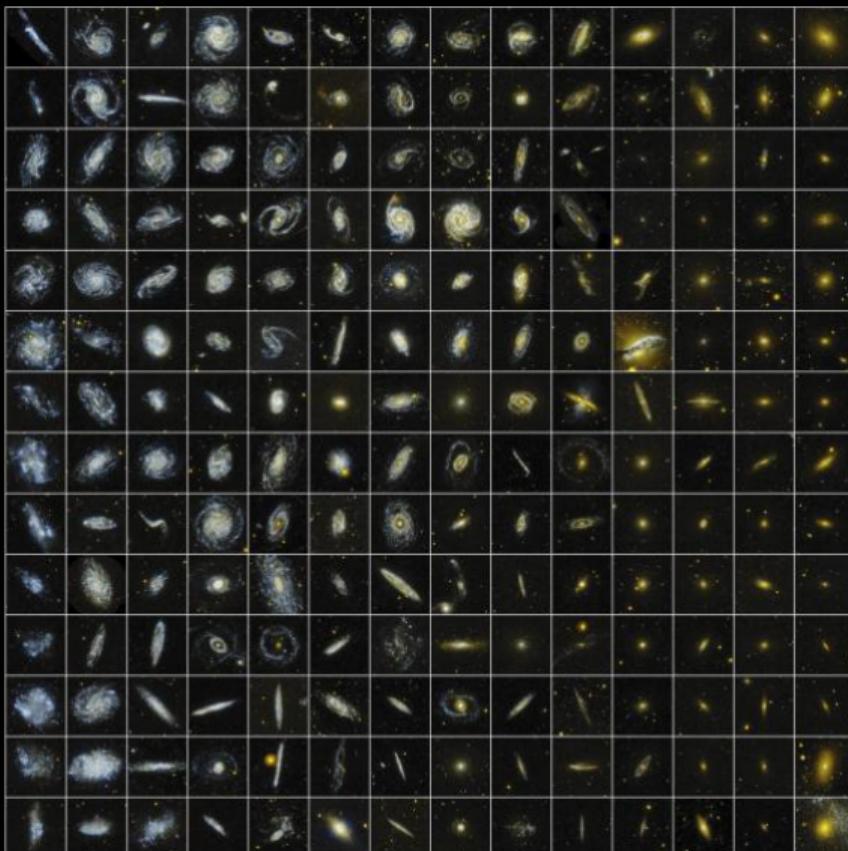
Pearson 2014

Evolución de los distintos tipos de galaxias



- Todas las galaxias empiezan su vida formando muchas estrellas y por lo tanto son azules/blancas en color
- A medida que pasa el tiempo, se producen fusiones entre galaxias y dejan de producir nuevas estrellas, tornándose rojas
- La Vía Láctea se encuentra en el medio de este proceso de migración de la zona azul a la roja.

Diferencias entre galaxias espirales y elípticas



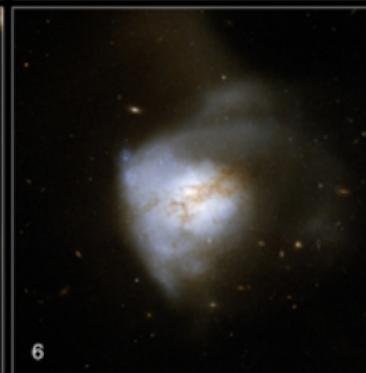
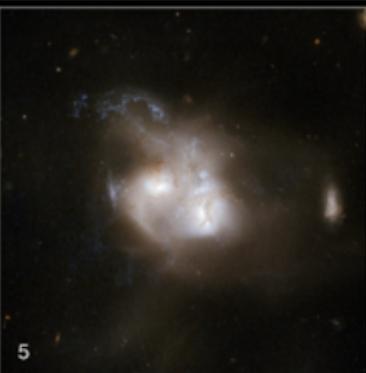
■ Galaxias Espiral:

- tienen más gas,
- tienen más estrellas jóvenes,
- son más azules.

■ Galaxias Elípticas:

- tienen menos gas (o nada de gas) disponible,
- están compuestas de estrellas viejas.
- son más rojizas

Fusión entre galaxias: evolución



- Possible evolución de la fusión de dos galaxias espirales de tamaño similar
- Ejemplo:
Vía Láctea y galaxia de Andrómeda
(= "Lactómeda")

Fusión entre galaxias: Ejemplo de Messier 51



¿Preguntas?

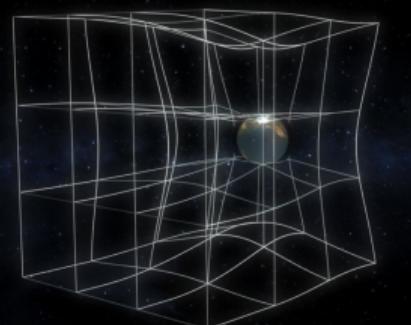
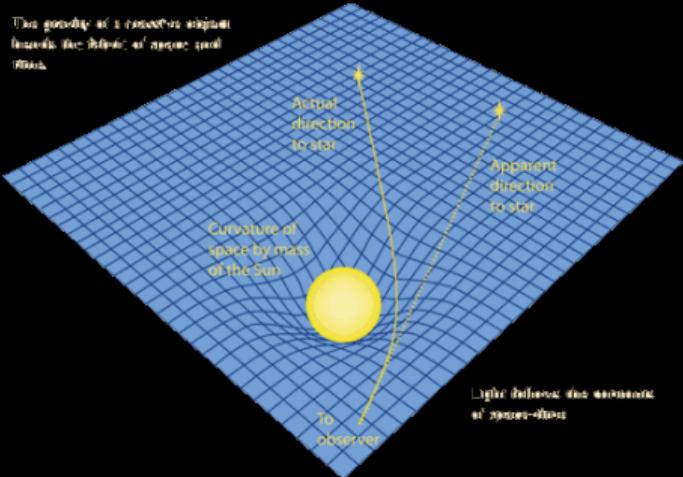


Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)

2 Otras galaxias

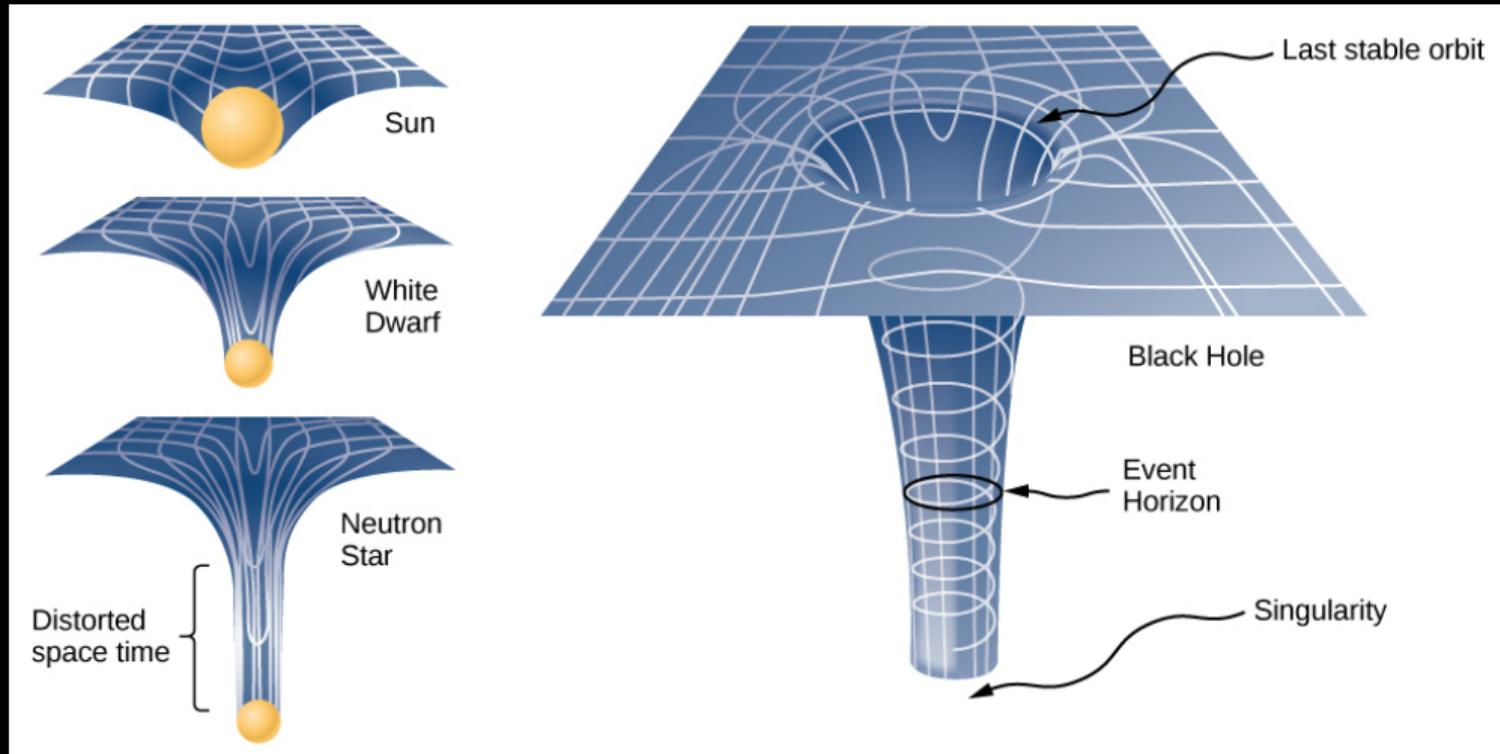
2.4 Agujeros negros galácticos supermasivos

Teoría General de la Relatividad de Einstein



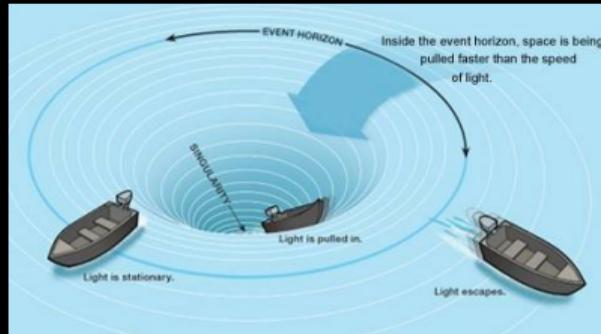
- La teoría de la relatividad general es una teoría sobre la fuerza de la gravedad.
- La teoría de la relatividad general fue desarrollada por Albert Einstein en 1916.
- Al teoría de la relatividad general se puede resumir como (John Wheeler):
 - **La masa de materia hace que el espacio-tiempo se curve**
 - **Al mismo tiempo, la curvatura del espacio-tiempo hace mover la materia**
- La curvatura del espacio-tiempo provoca la fuerza de la gravedad

Agujeros Negros



- Un agujero negro es una región del espacio-tiempo donde la gravedad es tan fuerte que ni siquiera la luz (radiación electromagnética) puede escapar.

Anatomía de un agujero negro

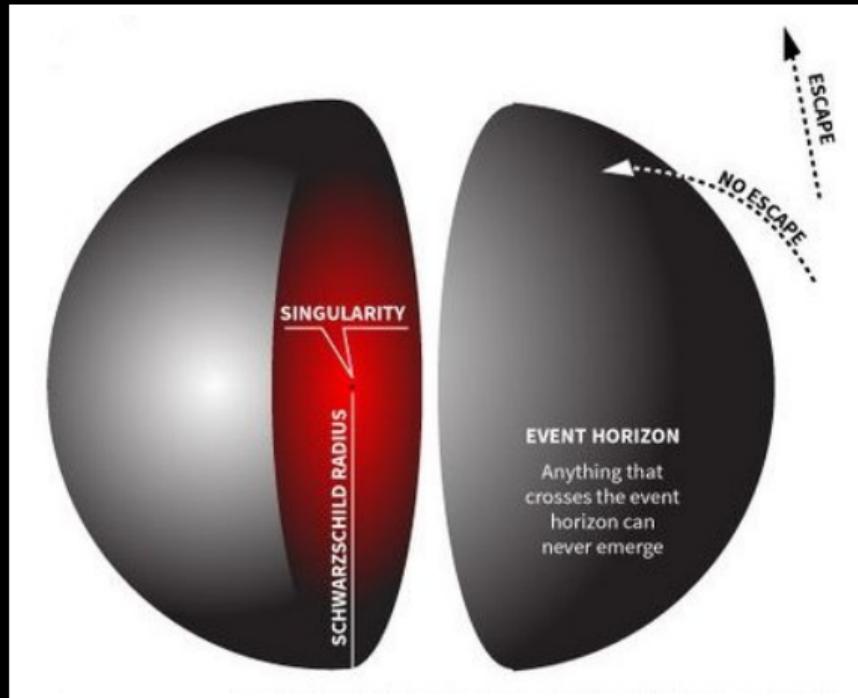


■ Horizonte de sucesos

- Es la frontera de la zona de un agujero negro donde la luz no puede escapar.
- En un agujero negro simple, el horizonte de sucesos es una esfera de radio = al radio de Schwarzschild

■ Singularidad espacio-temporal

- Parte central del agujero negro donde la curvatura del espacio-tiempo es infinita (y por lo tanto la densidad también es infinita).



Agujero negro galáctico

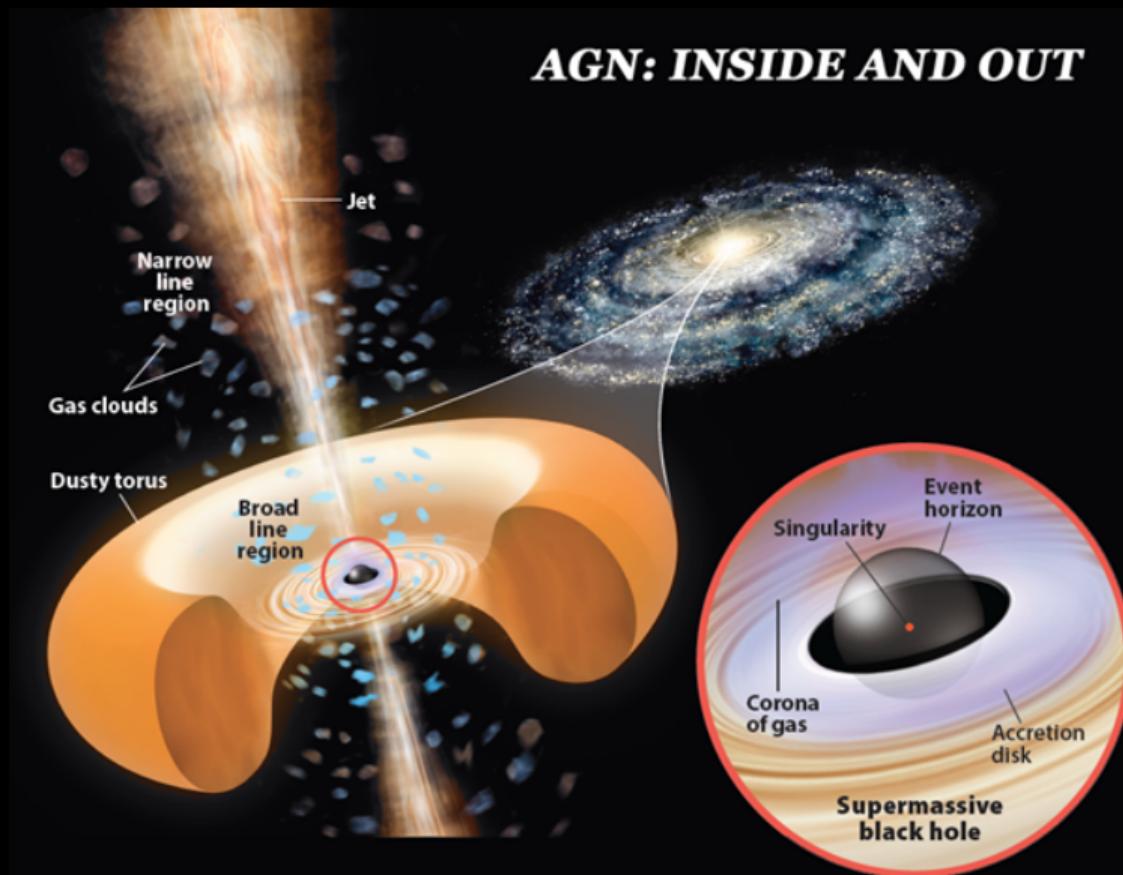
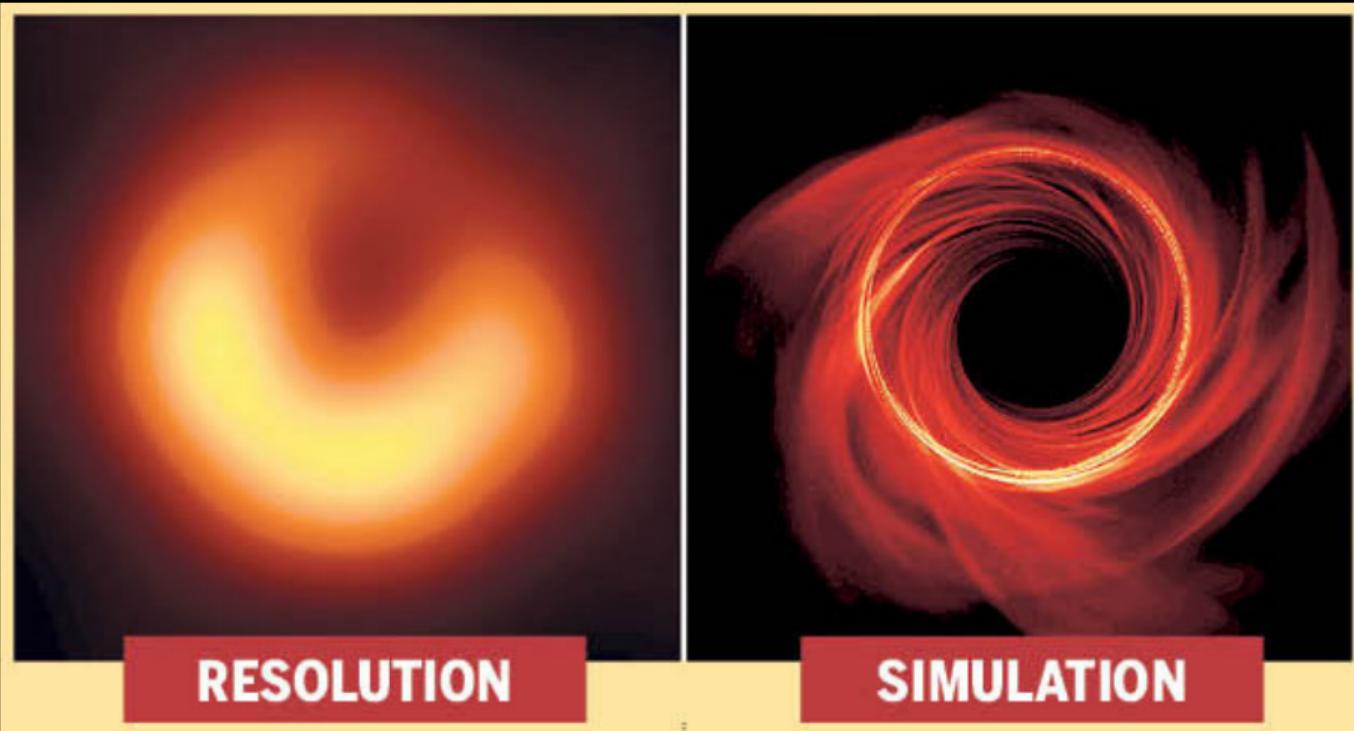


Ilustración de Roen Kelly para Astronomy Magazine 2022

Agujeros Negros Supermasivos

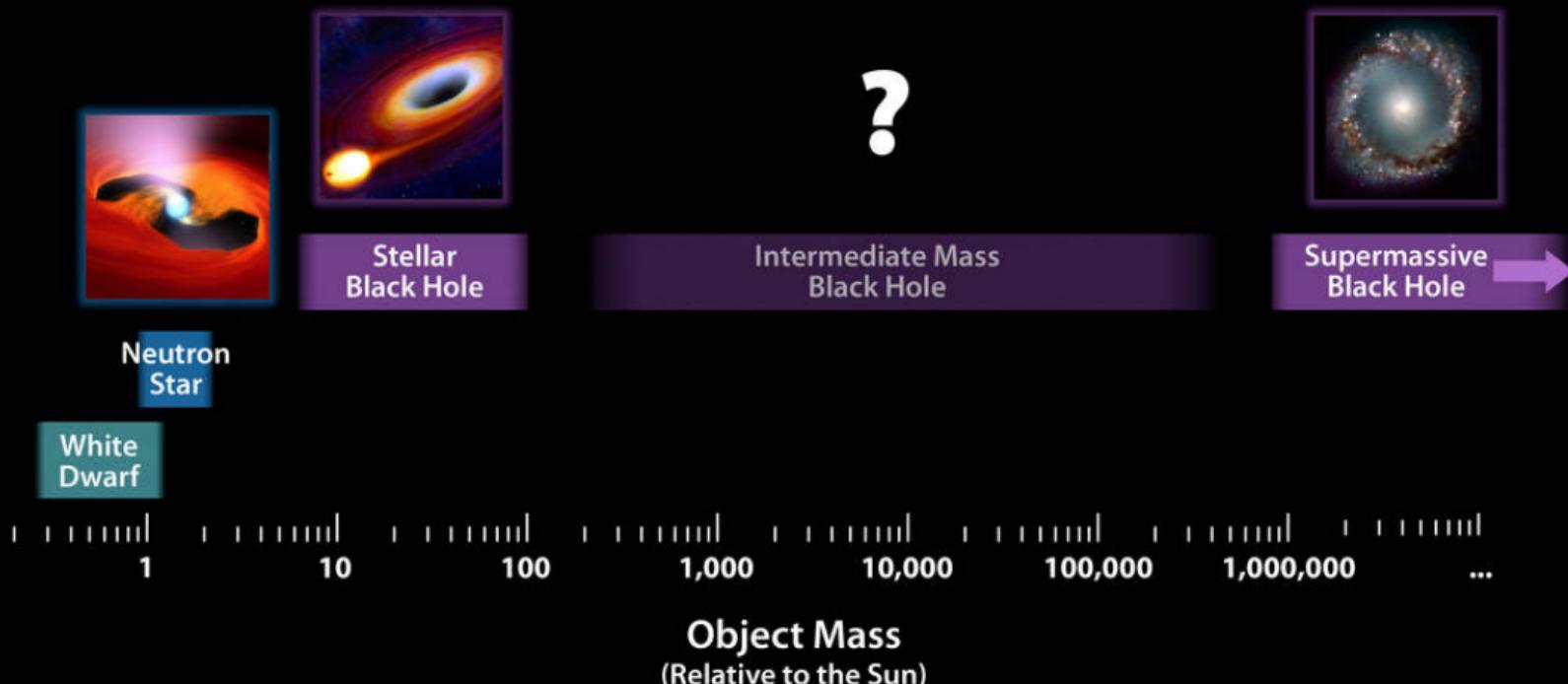


Agujero negro supermasivo de la galaxia Messier 87

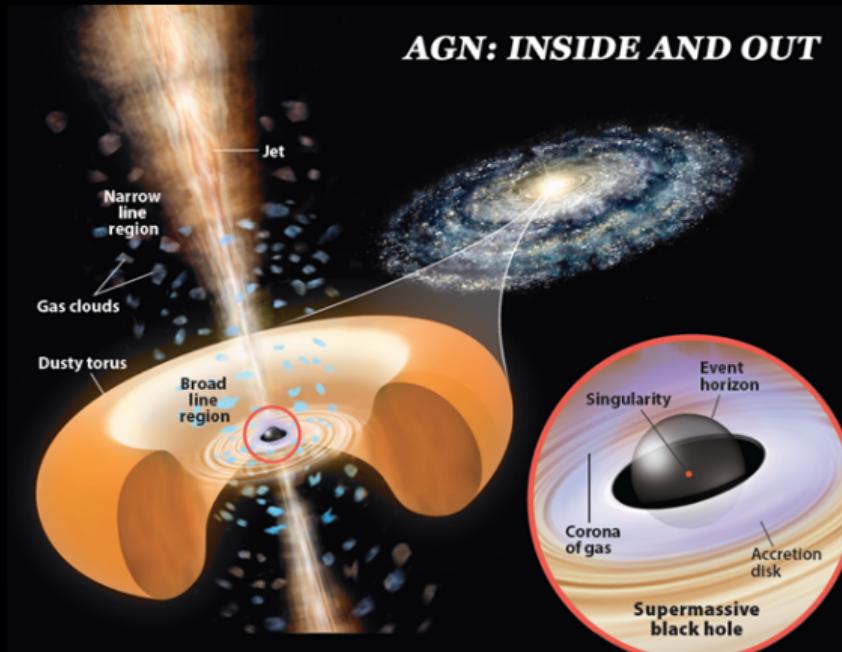
- Casi todas las galaxias estudiadas parecen tener un agujero negro supermasivo en su centro

Tamaños de los Agujeros Negros Supermasivos

Observed Mass Ranges of Compact Objects

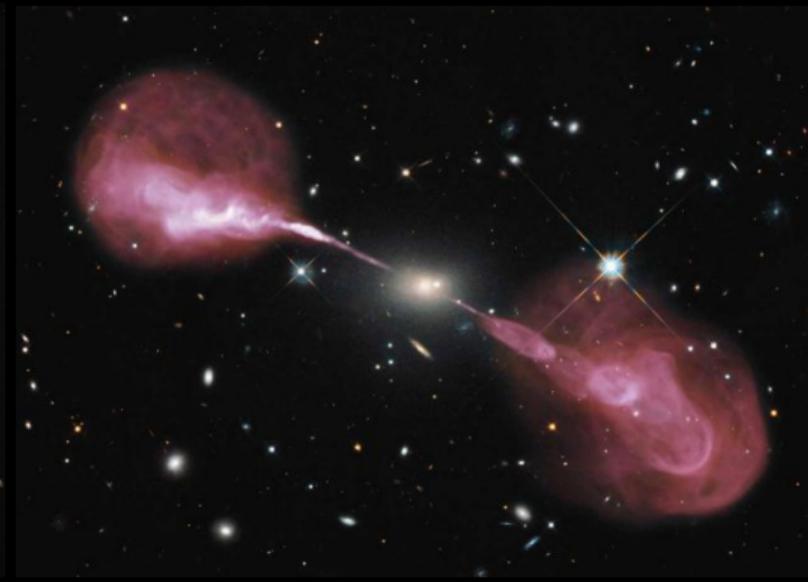


Galaxias de Núcleo Activo (AGNs)



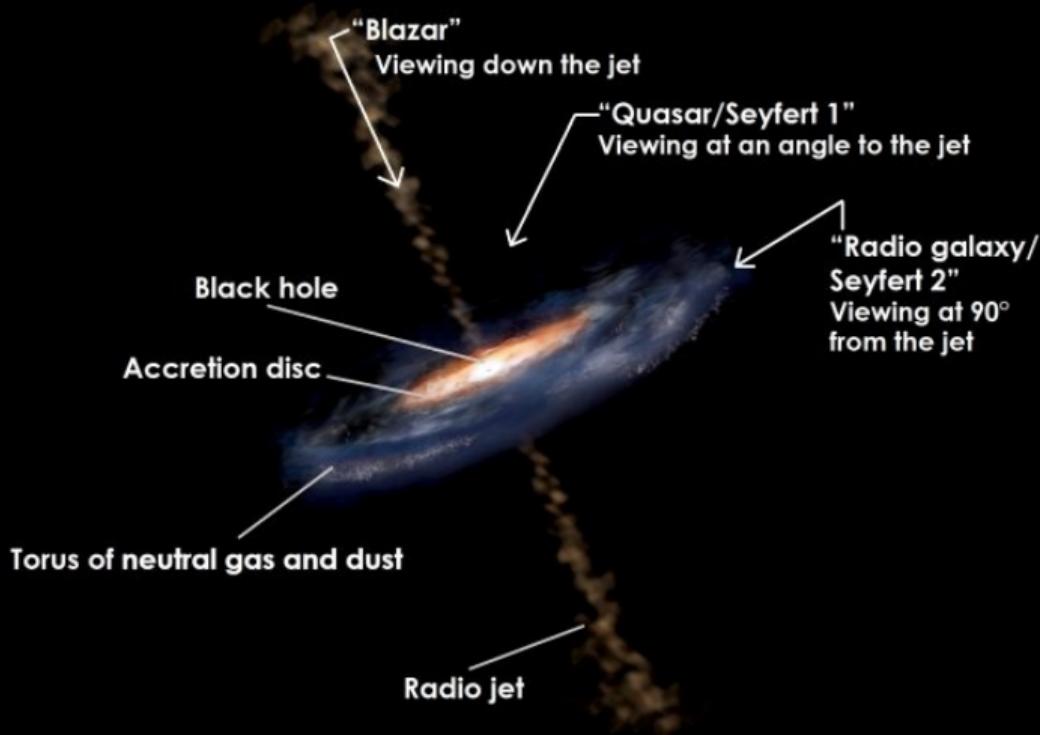
- En algunas galaxias el agujero negro supermasivo central consume grandes cantidades de materia cercana (gas y polvo).
 - Las **galaxias de núcleo activo** (AGN, *Active Galaxy Nucleus*, por sus siglas en inglés) emiten grandes cantidades de radiación electromagnética y partículas

Galaxias de Núcleo Activo



- En algunas galaxias el agujero negro supermasivo central consume grandes cantidades de materia cercana (gas y polvo).
 - Las **galaxias de núcleo activo** (AGN, *Active Galaxy Nucleus*, por sus siglas en inglés) emiten grandes cantidades de radiación electromagnética y partículas
 - Se piensa que la Vía Láctea pasó por una (o varias) fase activa en el pasado.

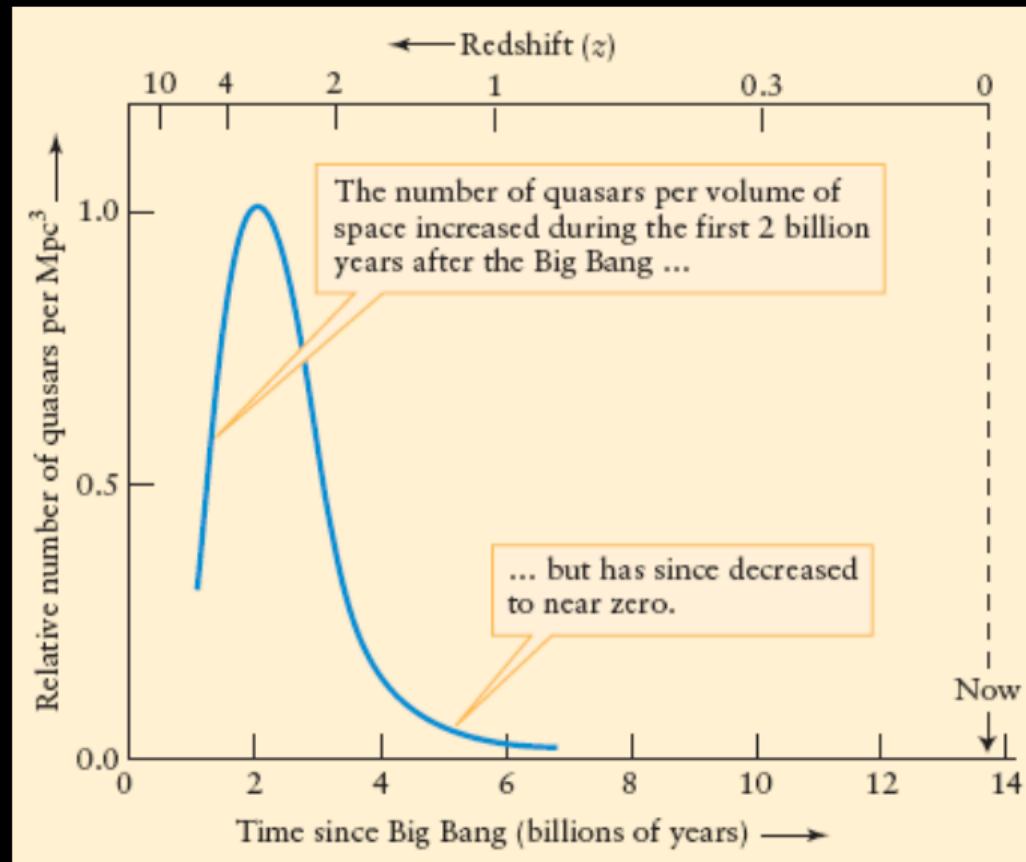
Galaxias de Núcleo Activo: Quásares, Blázares o Galaxias Seyfert



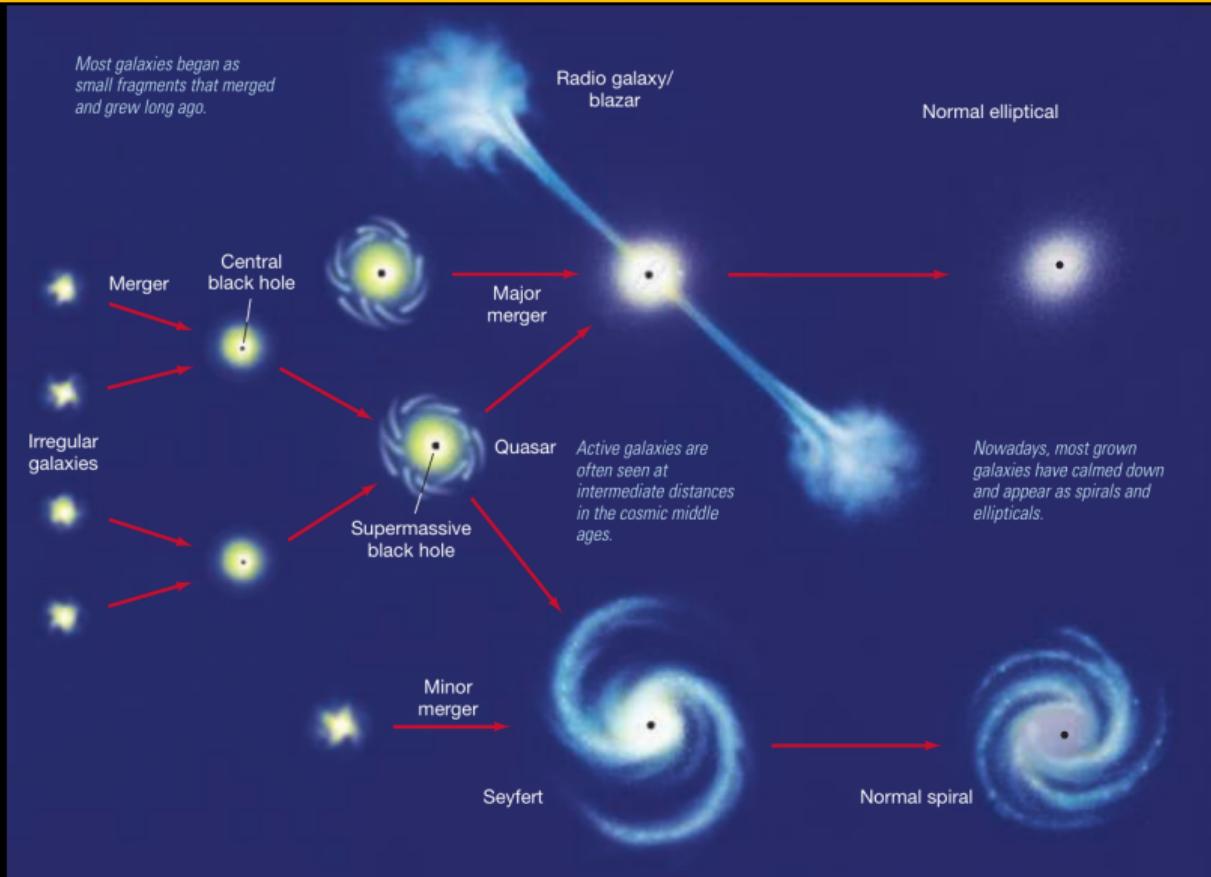
Dependiendo del ángulo de inclinación en el cielo en el que las observamos la galaxia de núcleo activo desde la tierra, las AGNs se conocen como:

- Quásares,
- Blázares o
- Galaxias Seyfert.

Evolución de la cantidad de Quásares en el tiempo



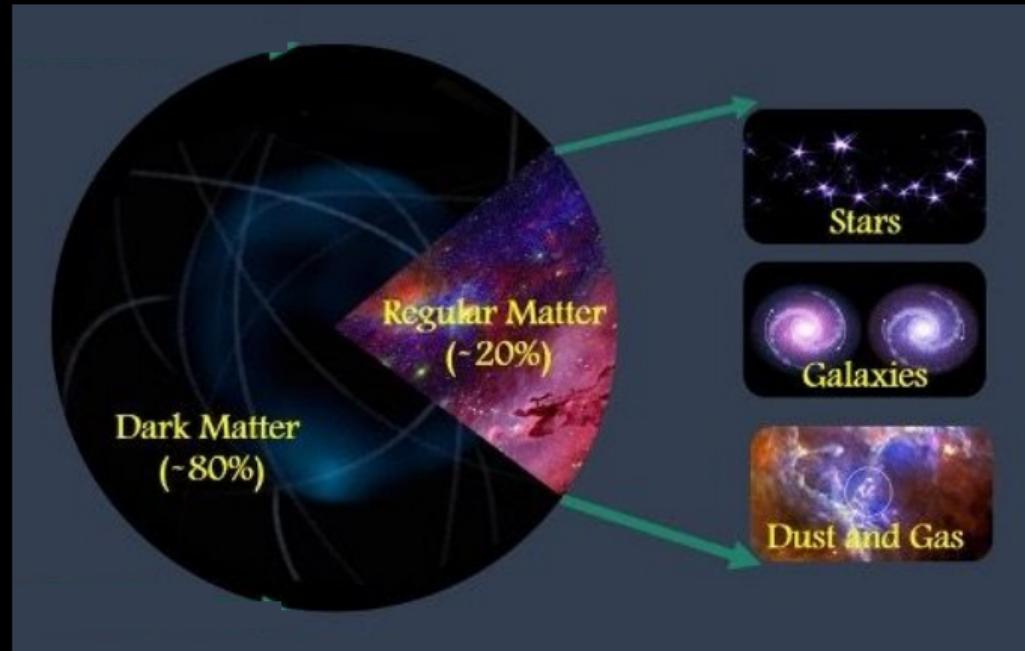
Evolución de la cantidad de Quásares en el tiempo



2 Otras galaxias

2.5 Materia oscura

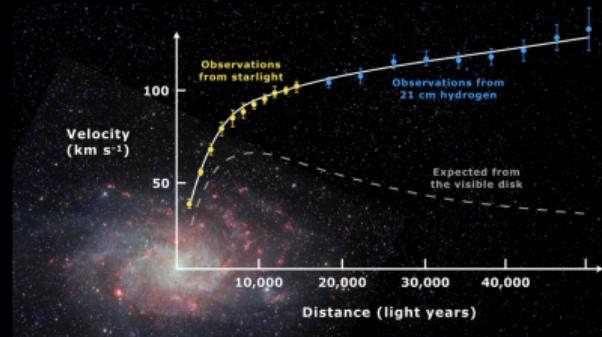
Las galaxias y la materia oscura



- Las galaxias parecen estar rodeadas de materia que no emite luz: **materia oscura**
 - Las galaxias están compuestas de: materia oscura $\sim 80\%$ y materia "normal" $\sim 20\%$
- Actualmente no sabemos que tipo de partículas componen la materia oscura!

Evidencia de la materia oscura

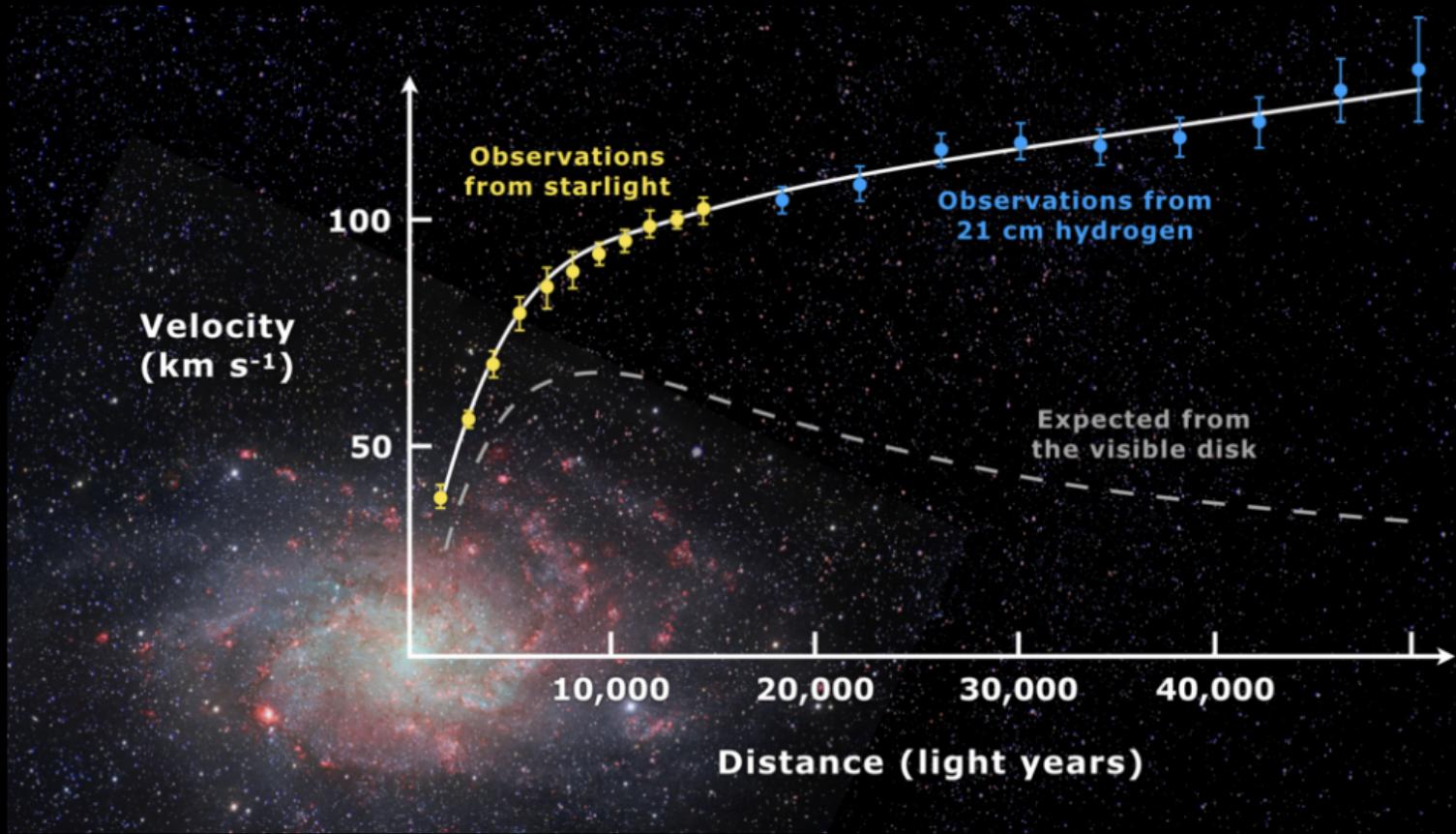
1 Rotación de las estrellas en galaxias (Vera Rubin 1970s)



2 Velocidad de las galaxias en cúmulos galácticos (Fritz Zwicky 1930s)

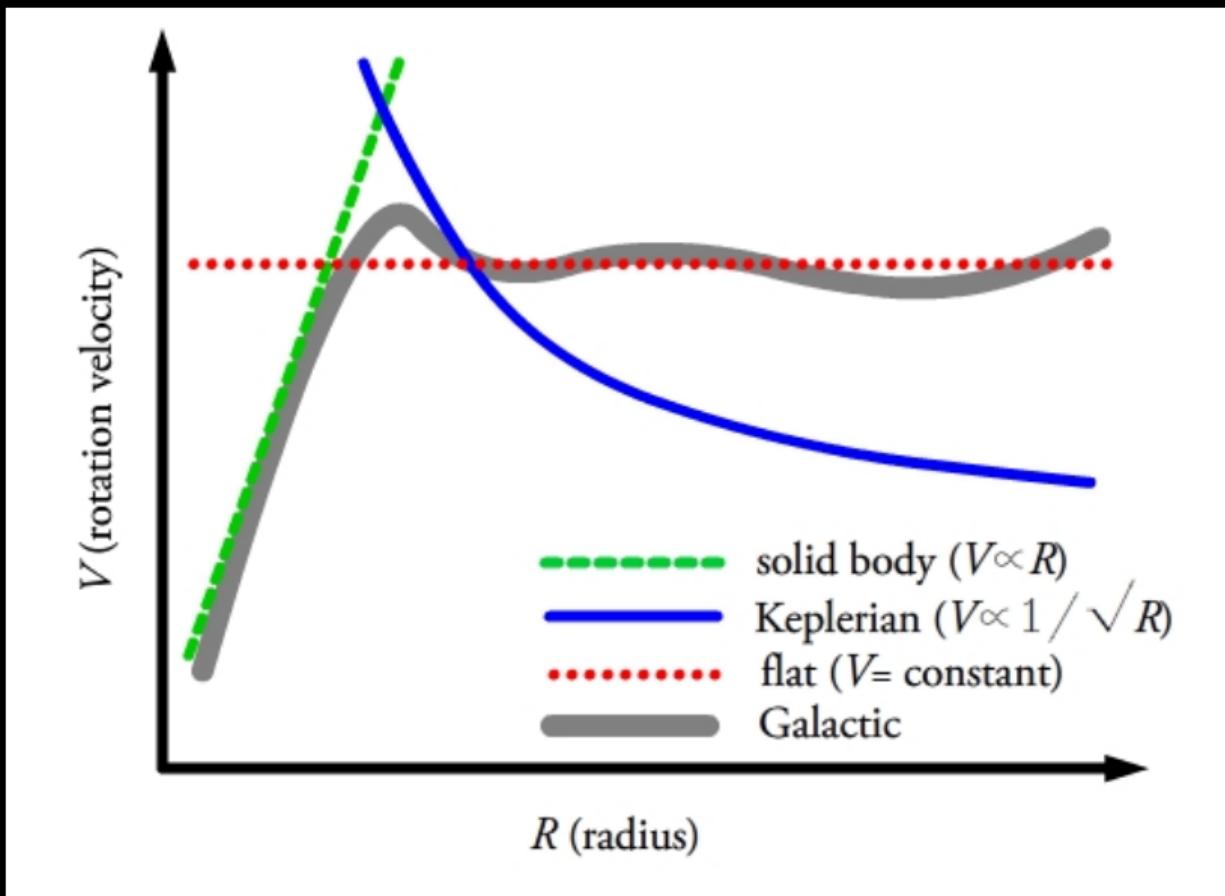


Rotación de las galaxias y la hipótesis de la materia oscura

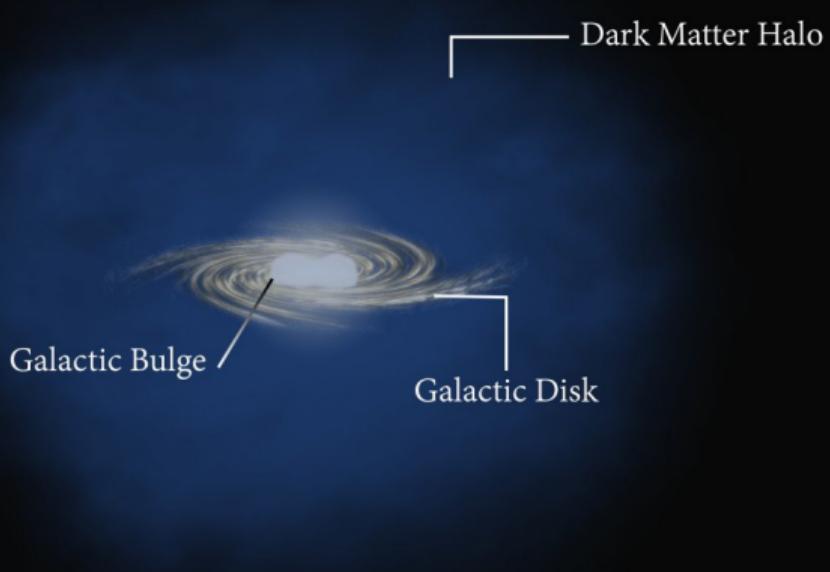


Velocidad de rotación de las estrellas en la galaxia Messier 33 (Triangulum)

Rotación de las galaxias y la hipótesis de la materia oscura



Halo de Materia Oscura de la Vía Láctea



- Mas allá del halo de nuestra galaxia, un envoltorio de materia oscura parece rodear toda la galaxia
- Esta enigmática "materia oscura" también ha sido observada envolviendo otras galaxias
- Se calcula que el 80% de la materia que compone la galaxia es materia oscura.
- La materia oscura del halo es la responsable de la rotación diferencial de las estrellas en el disco galáctico

¿Preguntas?



Recreación artística de la Vía Láctea, por R. Hurt (NASA)