

DE LA VÍA LÁCTEA A LOS CONFINES DEL UNIVERSO



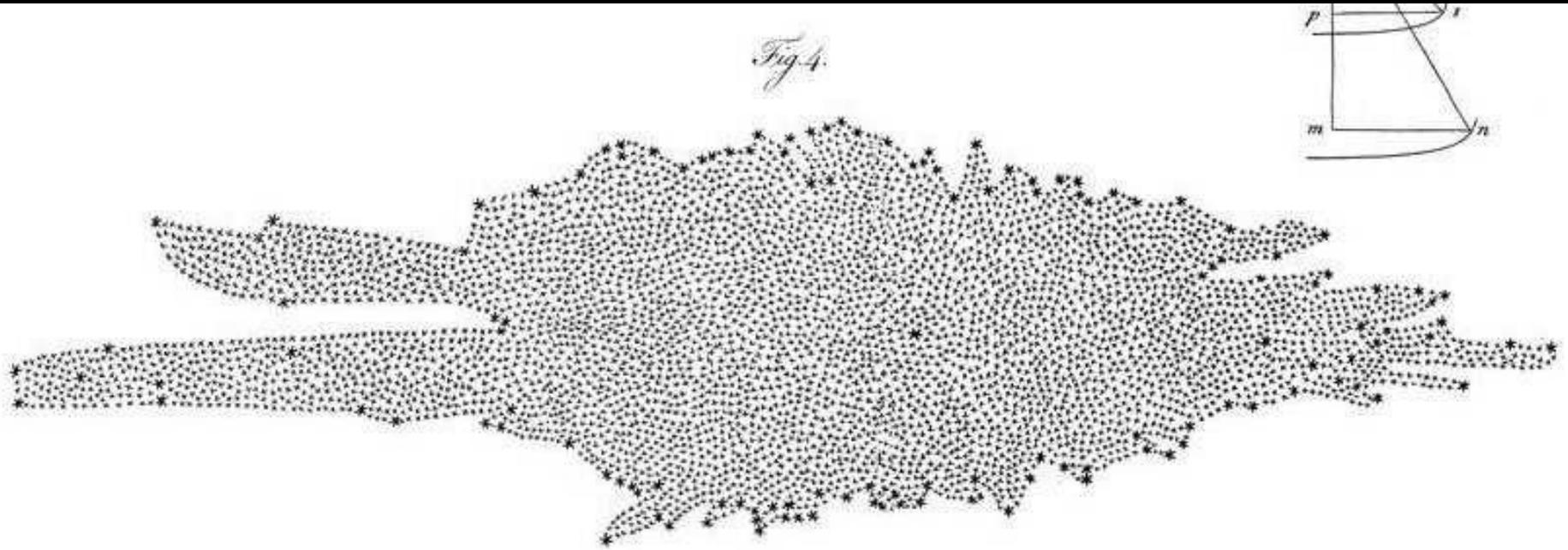
PLANETARIO
DE MADRID

AIRBUS



Hasta las primeras décadas del siglo XX,
se pensaba que la Vía Láctea era todo el universo

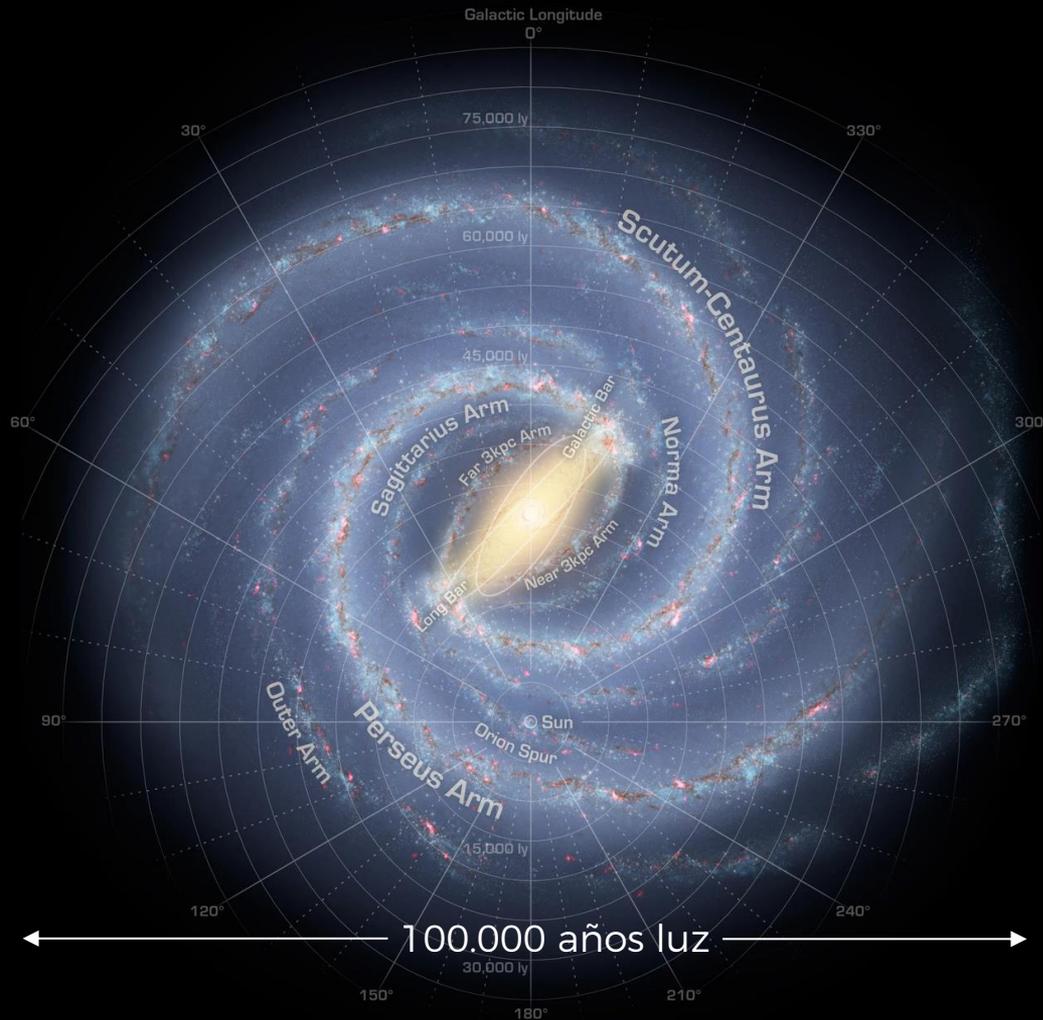
El primer mapa de la Galaxia



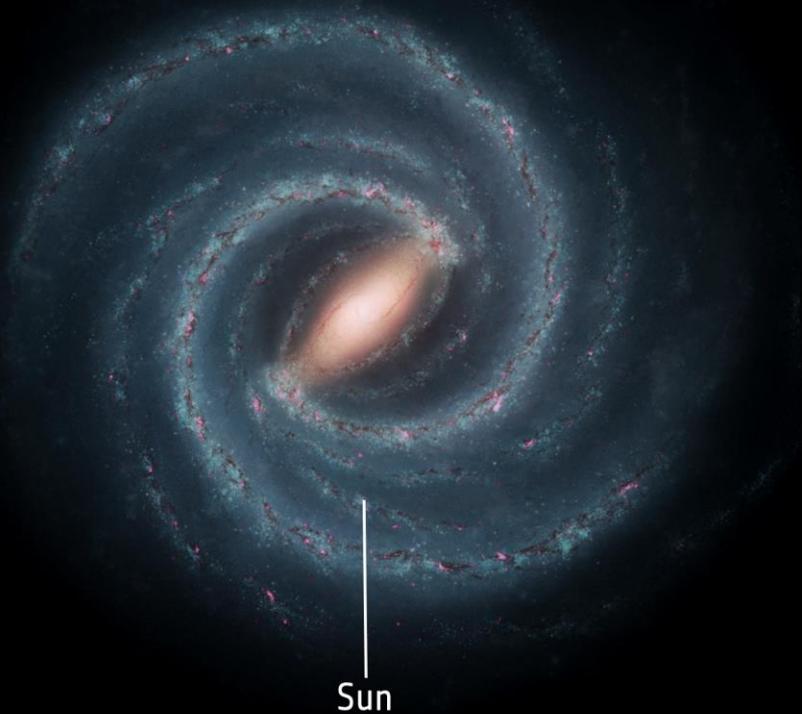
William Herschel (1785). “La construcción de los cielos”

La Vía Láctea, “hoy”

~200.000 millones de estrellas

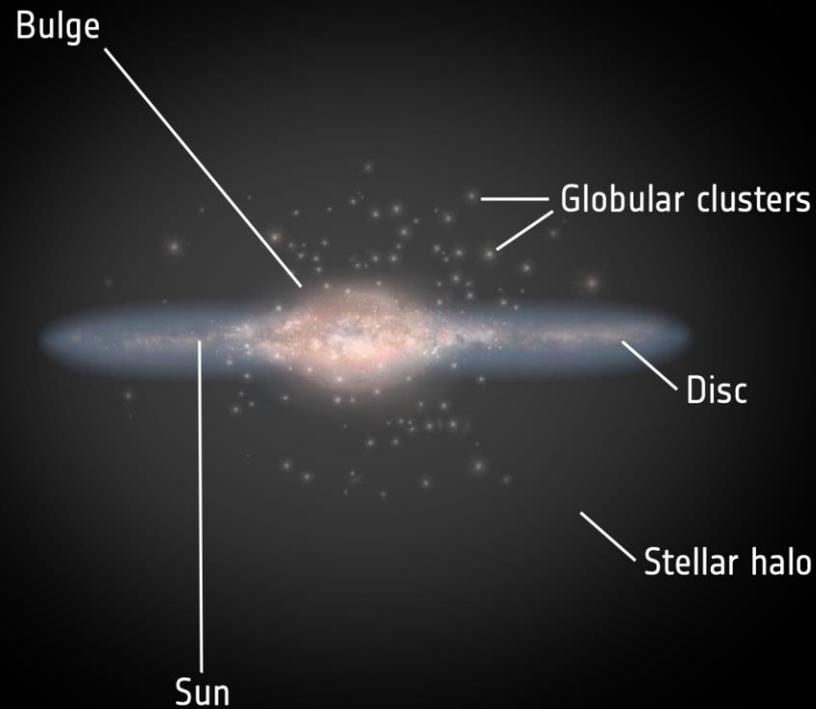


→ ANATOMY OF THE MILKY WAY



Sun

www.esa.int



Bulge

Globular clusters

Disc

Stellar halo

Sun

European Space Agency

Estrellas



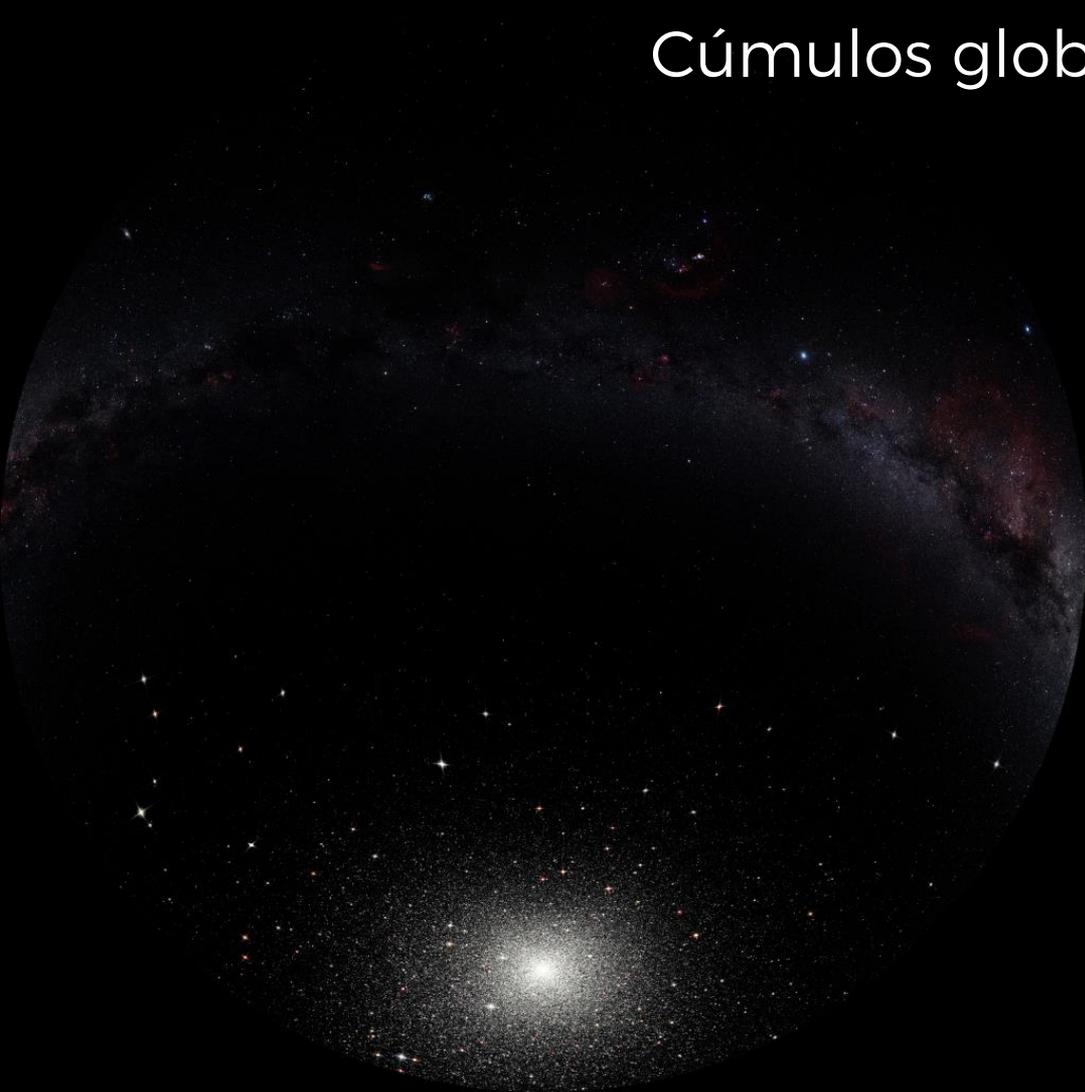
Nubes de gas y polvo



Cúmulos globulares

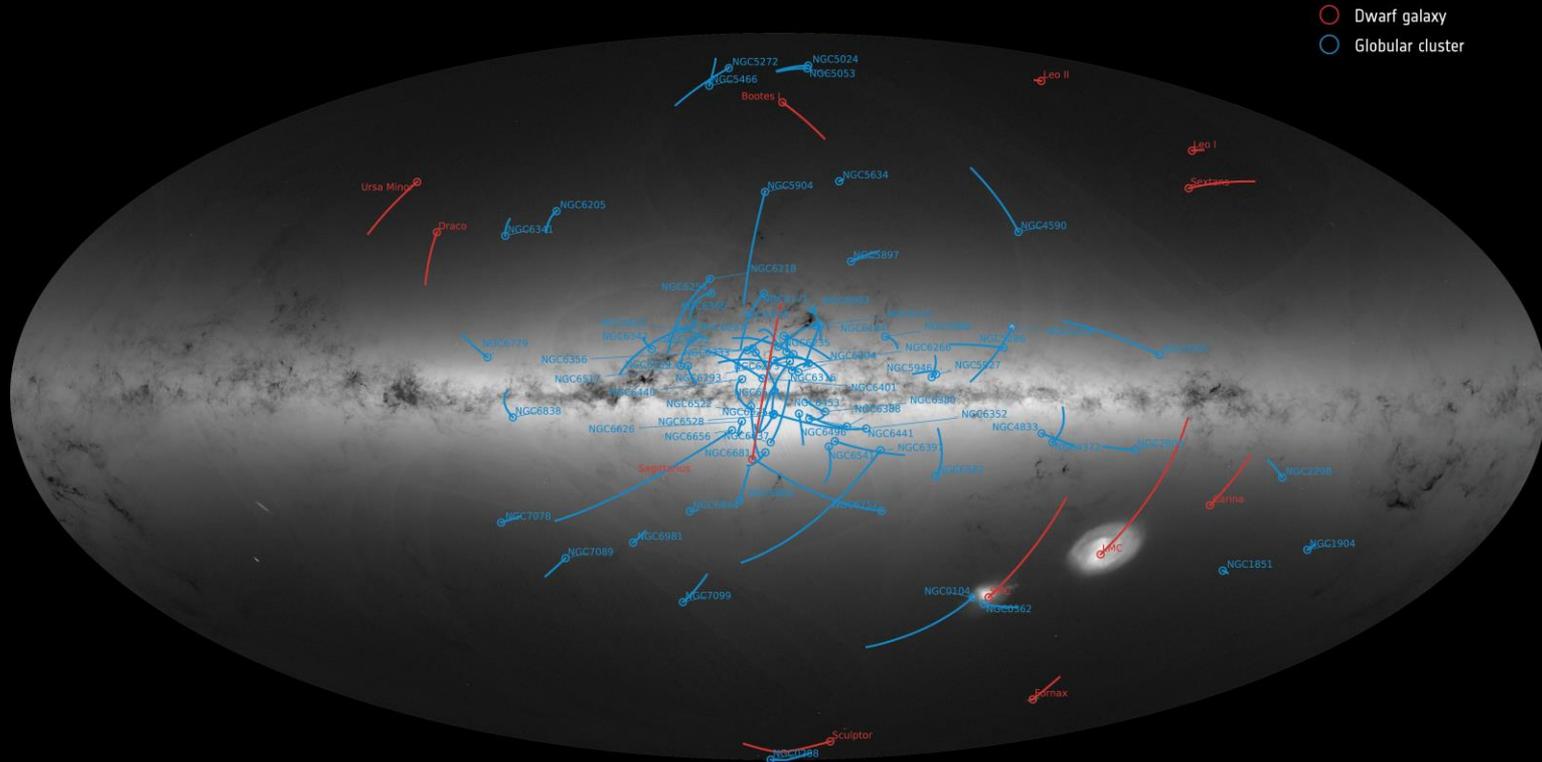


Cúmulos globulares



- Hasta un millón de estrellas
- ~150 en la Vía Láctea
- Se localizan en el halo galáctico
- Estrellas viejas (miles de millones de años)
- 10-300 años luz de diámetro

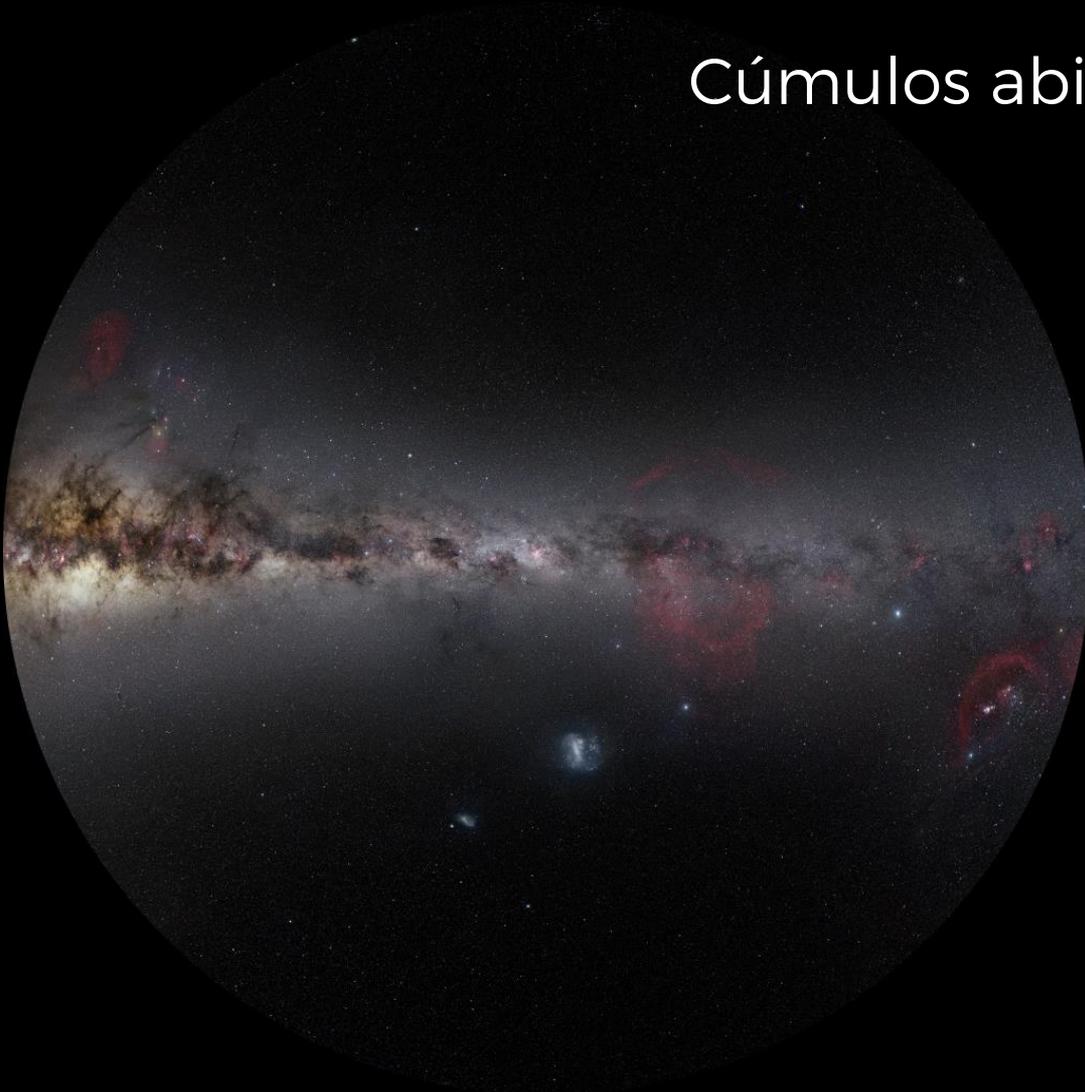
→ GAIA'S GLOBULAR CLUSTERS AND DWARF GALAXIES



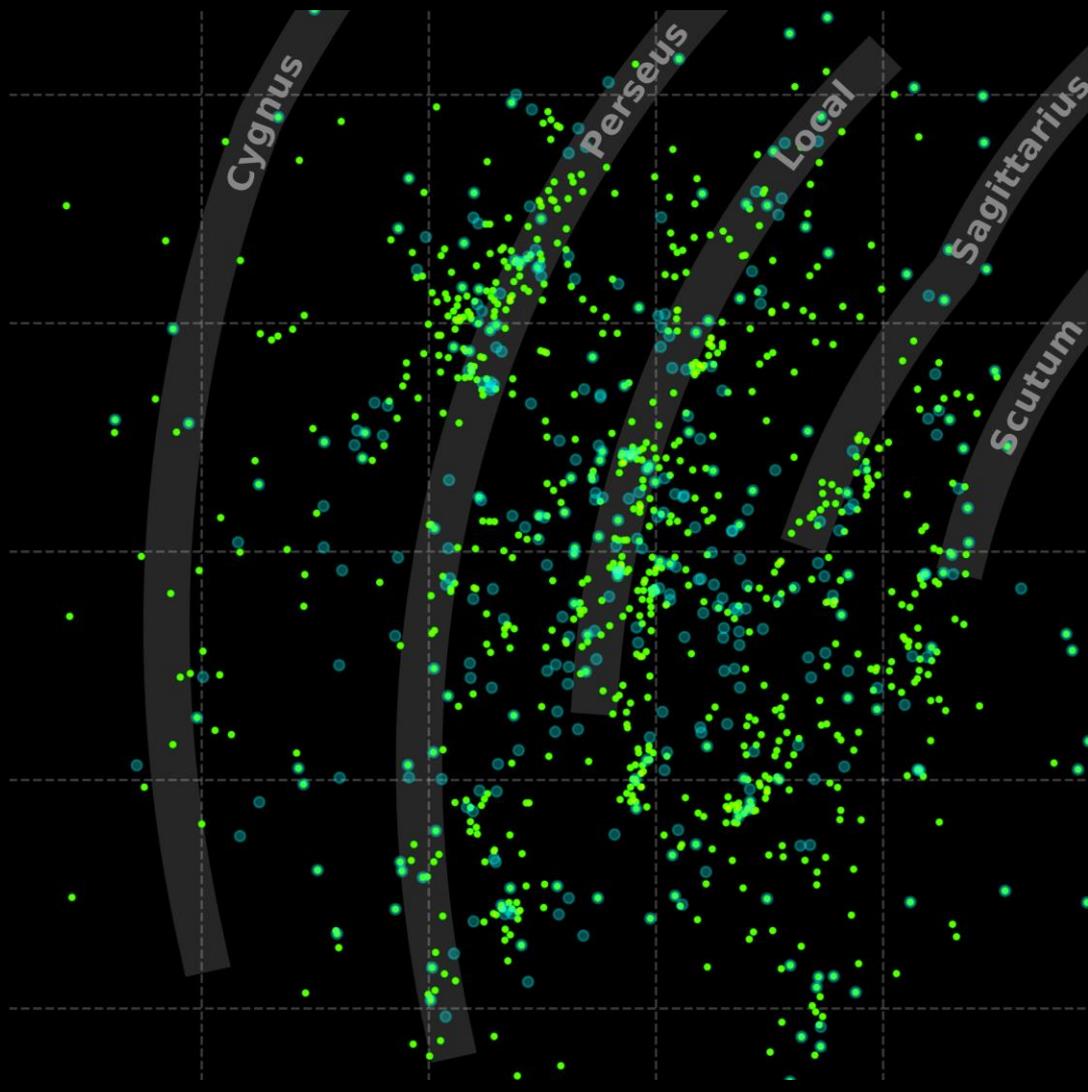
Cúmulos abiertos



Cúmulos abiertos

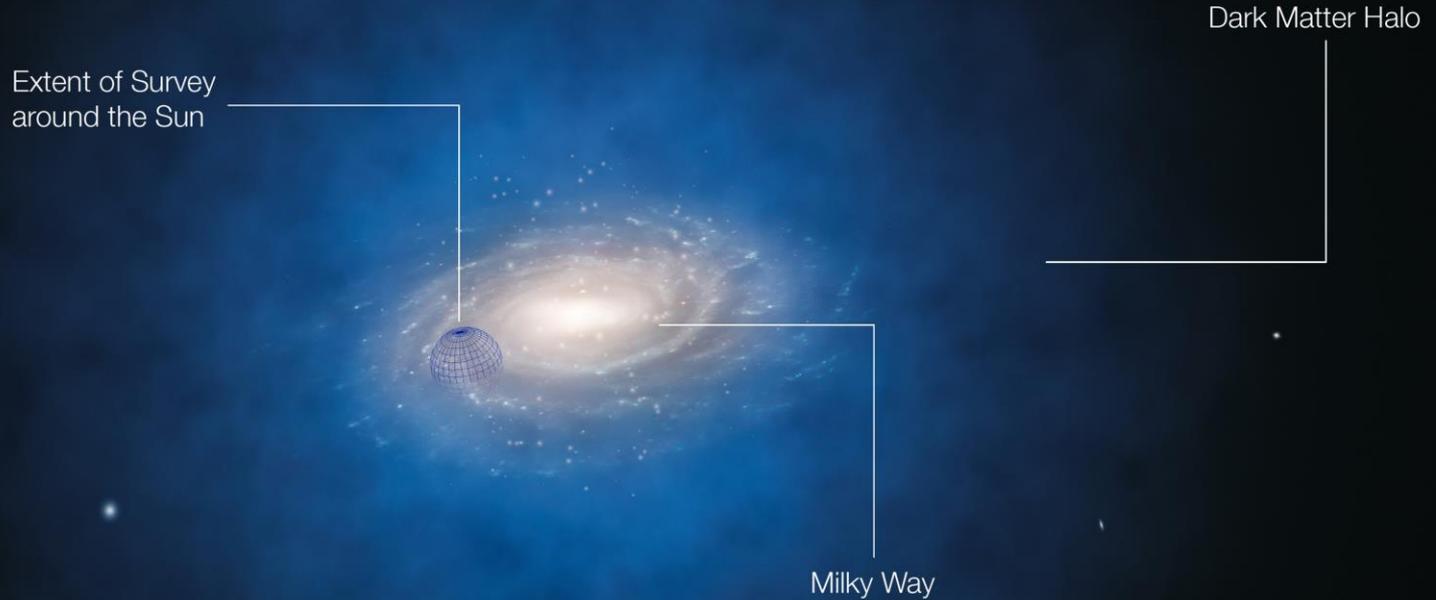


- Hasta un millón de estrellas
- ~1100 conocidos, pero hasta 10.000 sospechados en la Vía Láctea
- Se localizan en el plano galáctico
- Estrellas jóvenes (decenas-centenares de millones de años)
- 30-30.000 años luz de diámetro



Distribución de los
cúmulos abiertos

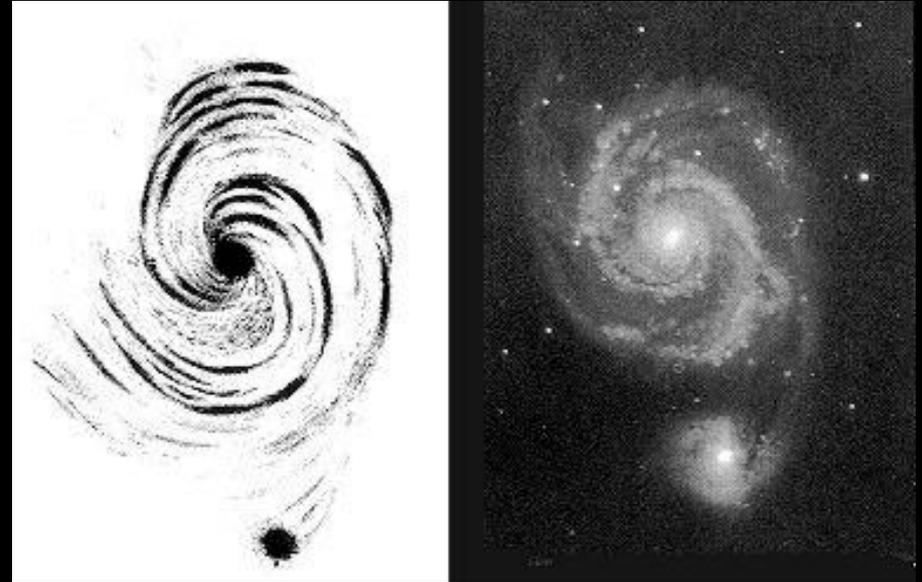
Y materia oscura...



En una proporción en masa, 10 veces superior a la de materia ordinaria

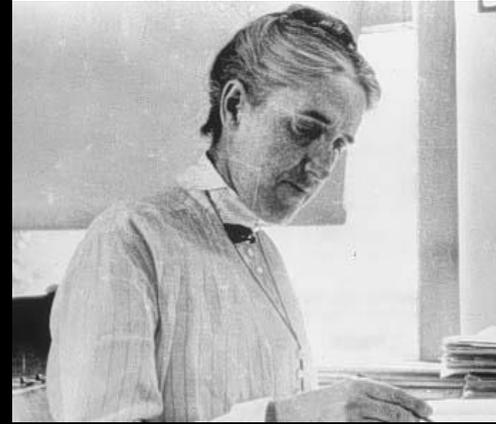
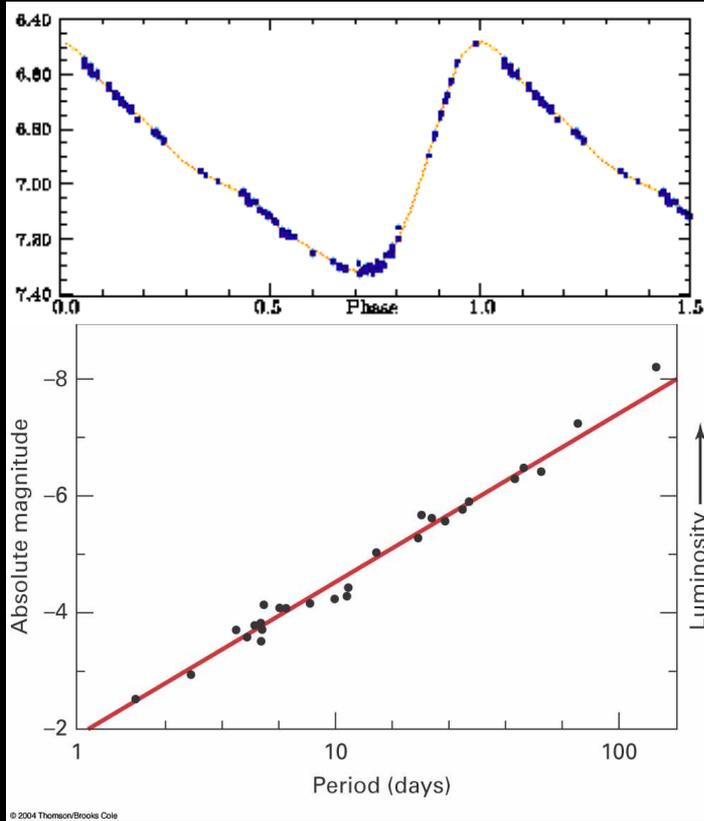
1845

William Parsons (1800-1867), 3er Conde de Rosse, construyó el “Leviatán de Parsonstown” y observó por primera vez “formas espirales” en algunas nebulosas



M51, Galaxia del Remolino

1912



Henrietta Leavitt descubrió que el periodo de las variables Cefeidas está relacionado con su luminosidad absoluta

1920 El gran debate sobre la Vía Láctea y la naturaleza de las “nebulosas espirales”



NGC 5247



Messier 100 (NGC 4321)



NGC 1300



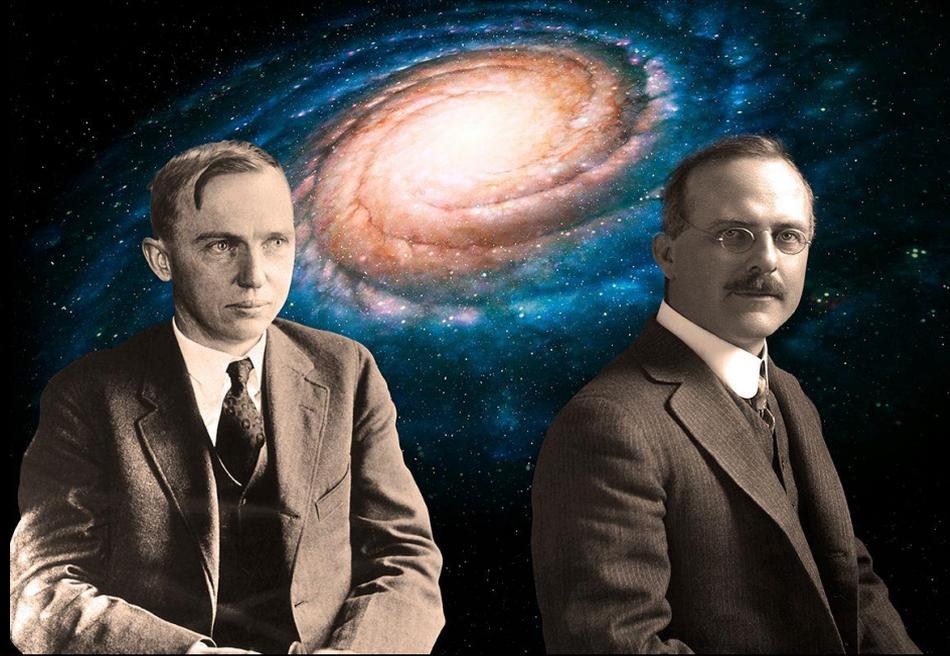
NGC 4030



NGC 2997



NGC 1232



Nebulosas espirales

¿Qué son? ¿A qué distancia se encuentran?

¿Son objetos de nuestro “propio universo”?

¿Son “universos isla” separados del nuestro?

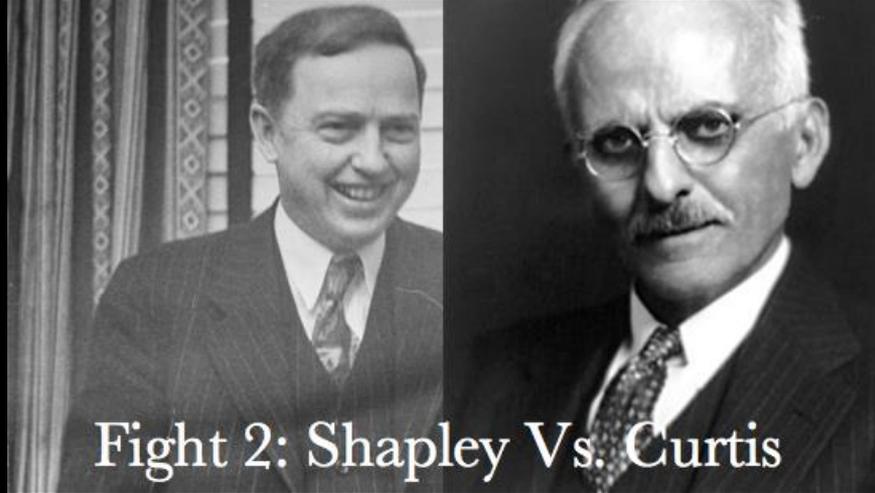
¿Están compuestas de gas o de estrellas?

¿Por qué no hay espirales en el plano de la Vía Láctea?

¿Qué tamaño tiene el Universo?

Science Sparring Society

Las nebulosas espirales pertenecían a nuestra galaxia



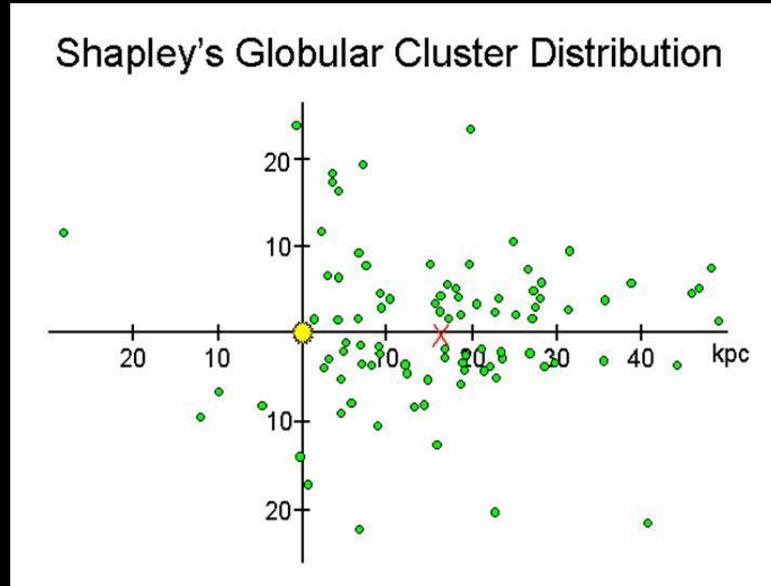
Las nebulosas espirales eran galaxias independientes

El estudio de la distancia y naturaleza de las nebulosas espirales se convirtió en el apasionante **“Gran Debate Shapley-Curtis”** que el 26 de abril de 1920 mantuvieron públicamente los astrónomos Harlow Shapley y Heber Curtis en el Museo de Historia Natural Smithsonian en Washington.

1918

H. Shapley estudió la distribución de los cúmulos globulares usando estrellas RR Lyrae y variables Cefeidas que había en ellos

Plano galáctico

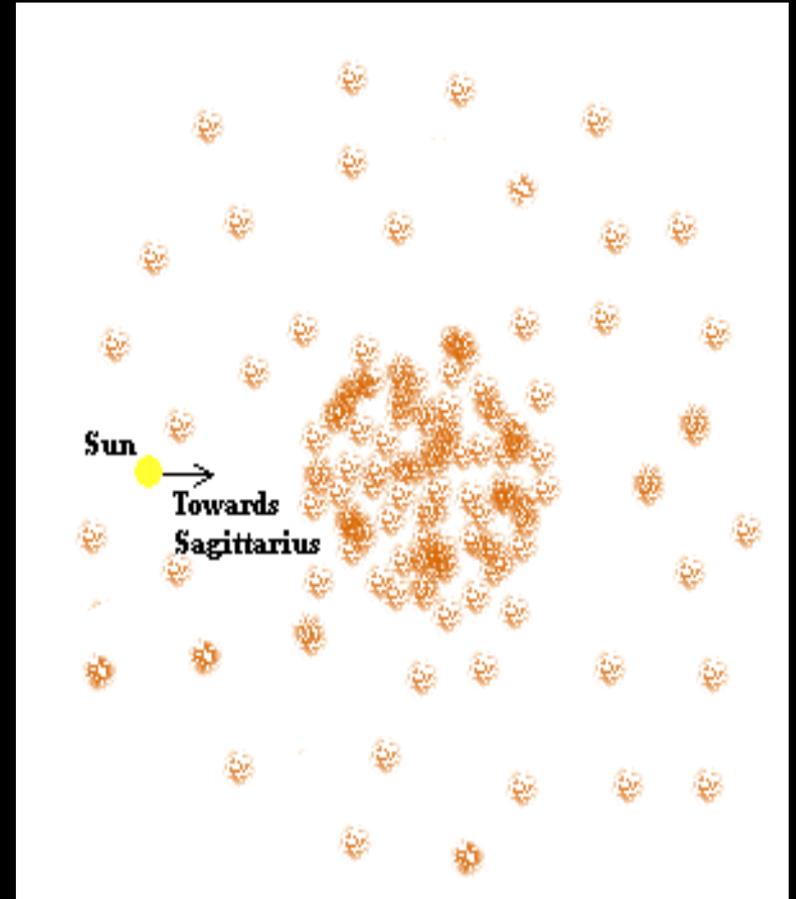


La mayor parte de los cúmulos se localizaban en la dirección de la constelación de Sagitario

1918

La conclusión de Shapley fue que los cúmulos globulares orbitaban alrededor del centro galáctico y que éste se encontraba en la dirección de Sagitario.

Esto explicaría el porqué los cúmulos globulares aparecían mayoritariamente en esa dirección del cielo.



Shapley



- Las nebulosas espirales son nubes de gas.
- La Vía Láctea es mucho mayor de lo que se había pensado hasta entonces y, por tanto, puede contener a las nubes de gas de forma espiral que se habían descubierto.
- Nuestra Galaxia es todo el Universo.
- El Sol no está en el centro de la Galaxia/Universo, sino a 50.000 años-luz del centro.
- La Galaxia tiene un tamaño de 300.000 años-luz.

Curtis

- Las nebulosas espirales son entidades separadas, que se encuentran más allá de la Vía Láctea.
- Son galaxias como la nuestra.
- El Sol está cerca del centro de la Galaxia.
- La galaxia tiene menos de 30.000 años-luz de tamaño.



Shapley's Milky Way:
300,000 ly

Actual size



The Milky Way:
105,700 ly



Curtis's Milky Way:
30,000 ly

Shapley



Curtis

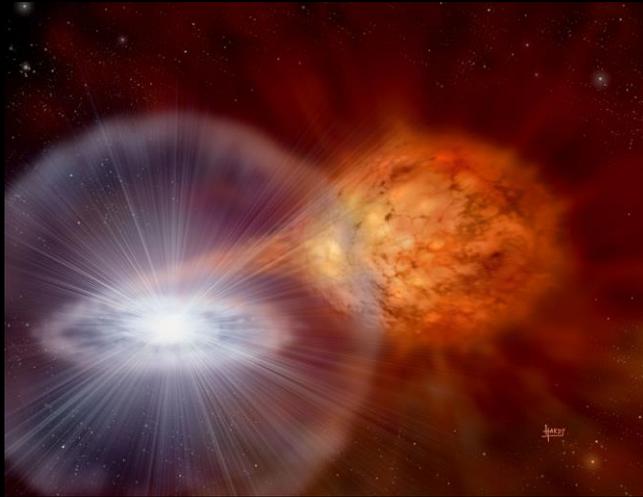
- Si las nebulosas espirales fuesen del tamaño de nuestra galaxia, las novae que observamos en ellas deberían verse 15.000 veces más brillantes que las novae cercanas.
- Por ejemplo, la nova brillante que había aparecido en la Nebulosa de Andrómeda M31 en 1885, debería ser muchísimo más potente que las novae conocidas hasta entonces, si M31 estuviese muy alejada.
- Es más lógico pensar que las nebulosas espirales son objetos cercanos (a menos de 20.000 años-luz de distancia) y con novae normales.

- En el plano de la galaxia, parece haber menos estrellas que en otras direcciones, de modo que el Sol está en el centro de la galaxia.
- Parece que no hay estrellas más allá de 30.000 años-luz.
- Las estrellas de los cúmulos globulares son débiles, por lo que estos últimos deben estar más cerca de lo que proponía Shapley.
- El espectro de una nebulosa espiral se parece más al espectro de un cúmulo de estrellas que al de una nebulosa de gas. Parece lógico pensar que es una gran agrupación de estrellas. Las nebulosas no espirales se concentran cerca del plano galáctico.

Shapley



Curtis



DATO IMPORTANTE

En la época de Shapley y Curtis no se conocían las diferencias entre novas y supernovas, ni desde el punto de vista teórico ni observacional.

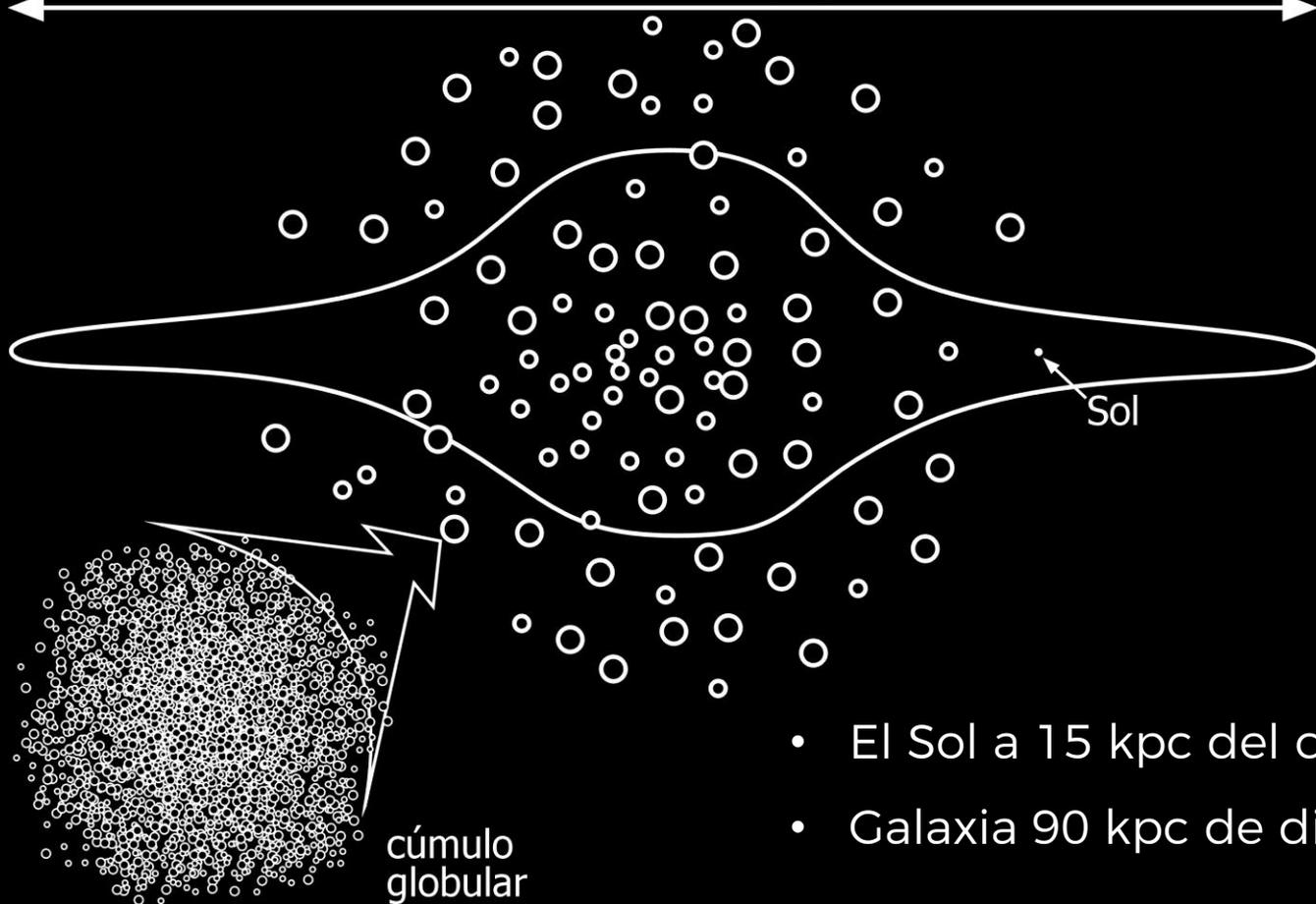
¿Cómo explicar la ausencia de nebulosas espirales en el plano de la Vía Láctea?

Slipher había observado que las espirales se alejaban de la Vía Láctea, lo que combinado con la ausencia de espirales en el plano galáctico, llevó a Shapley a proponer que la Vía Láctea ejercía una peculiar y desconocida “fuerza repulsiva” sobre las espirales.



Curtis observó que muchas de las espirales tenían bandas oscuras de material oscurecido y propuso que (1) si la Vía Láctea tenía esa banda, (2) si nosotros estamos localizados en el plano medio de esa banda y (3) si las espirales están fuera de la Vía Láctea, ENTONCES simplemente no se ven espirales en el plano galáctico porque el material que hay entre ellas y nosotros bloquea su luz.

diámetro de la Galaxia según Shapley: 300 000 años-luz



- El Sol a 15 kpc del centro
- Galaxia 90 kpc de diametro

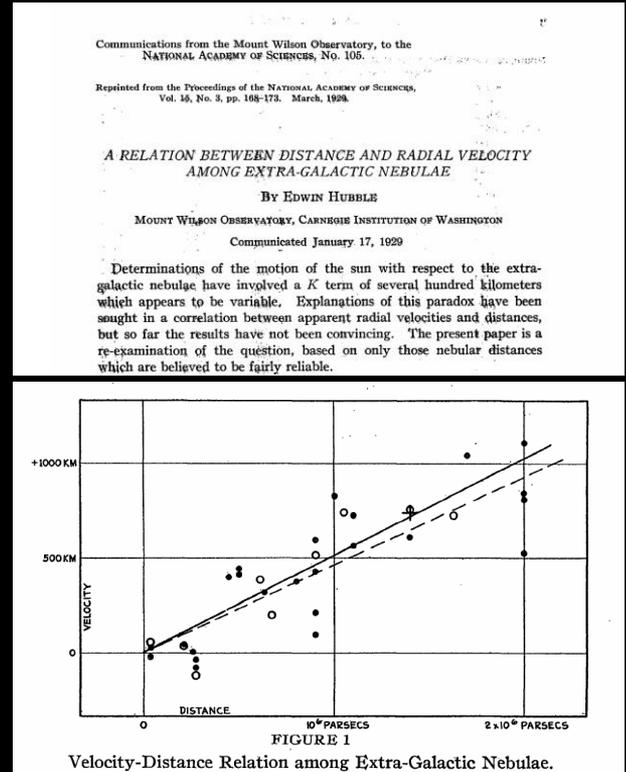
1923

Edwin Hubble encontró Cefeidas en la nebulosa de Andrómeda y pudo medir la distancia. Obtuvo 900.000 años-luz
¡¡M31 está fuera de la Vía Láctea!!



Las Cefeidas son estrellas muy luminosas, 500-10,000 veces más que el Sol, por ello son visibles a grandes distancias, hasta unos pocos millones de años-luz, en los límites de los telescopios que utilizaba Hubble.

!!El Universo era mucho más grande de lo que se había pensado!!

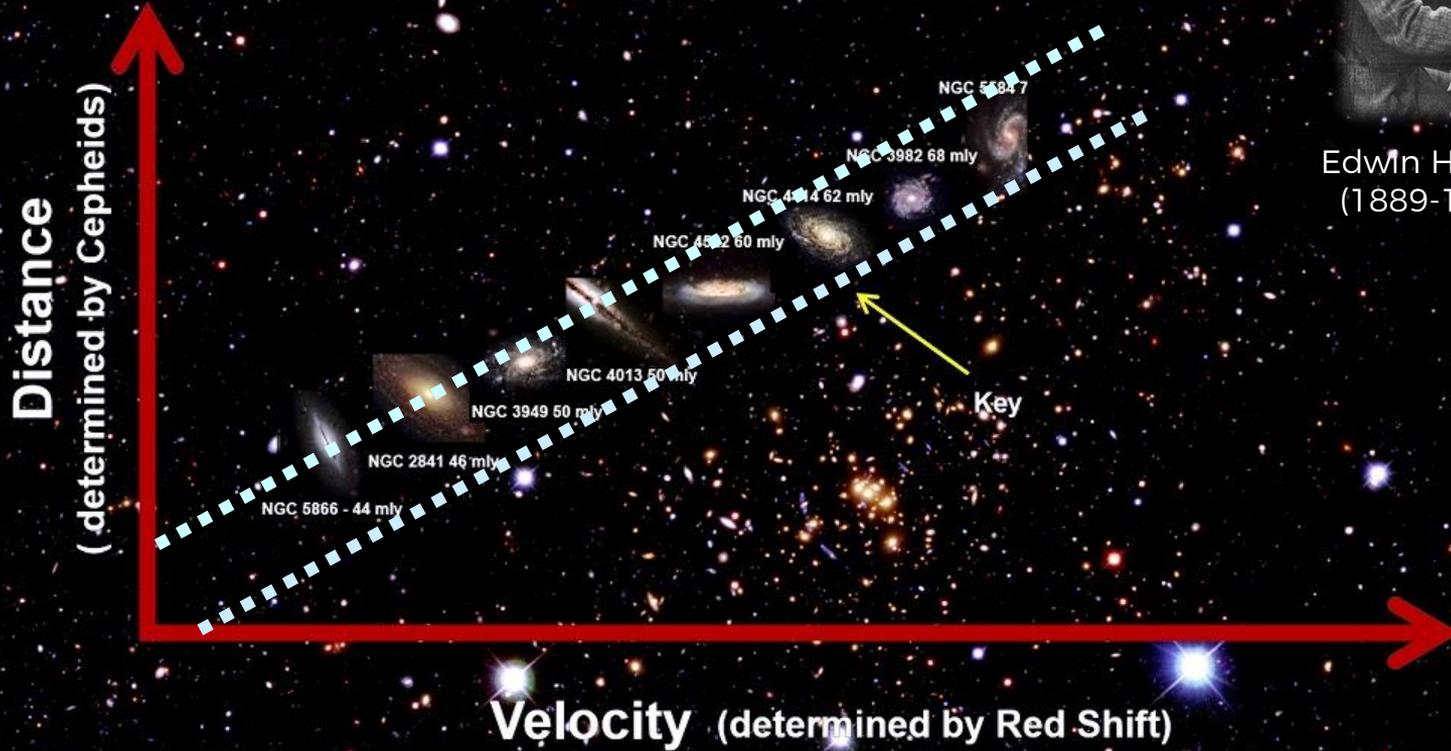


Ley de Hubble-Lemaître

$$v = H_0 \cdot d$$



Edwin Hubble (1889-1953) / George Lemaître (1894-1966)



Fin del debate

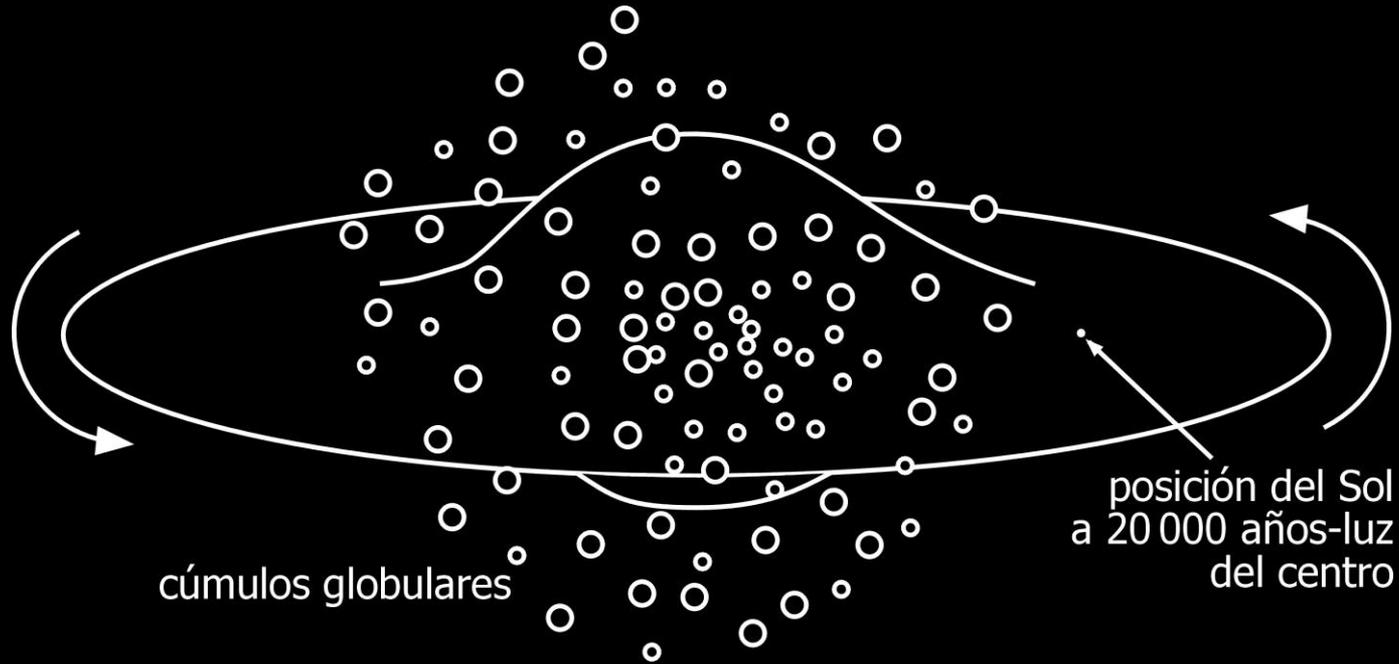
- A partir de la distancia y tamaño angular de la nebulosa de Andrómeda, su tamaño físico debía ser enorme.
- Las nebulosas espirales debían ser también gigantescos sistemas estelares como nuestra Vía Láctea, de naturaleza diferente a otras nebulosas de gas más pequeñas como la Nebulosa de Orión (la Nebulosa de Andrómeda fue llamada a partir de entonces la Galaxia de Andrómeda).

EL TAMAÑO DEL UNIVERSO CRECIÓ SUSTANCIALMENTE.

- Desde Hubble, no sólo la Tierra es un planeta que orbita una estrella de los miles de millones que tiene la Vía Láctea, sino que ésta es una galaxia más de los miles de millones que pueblan el Universo.

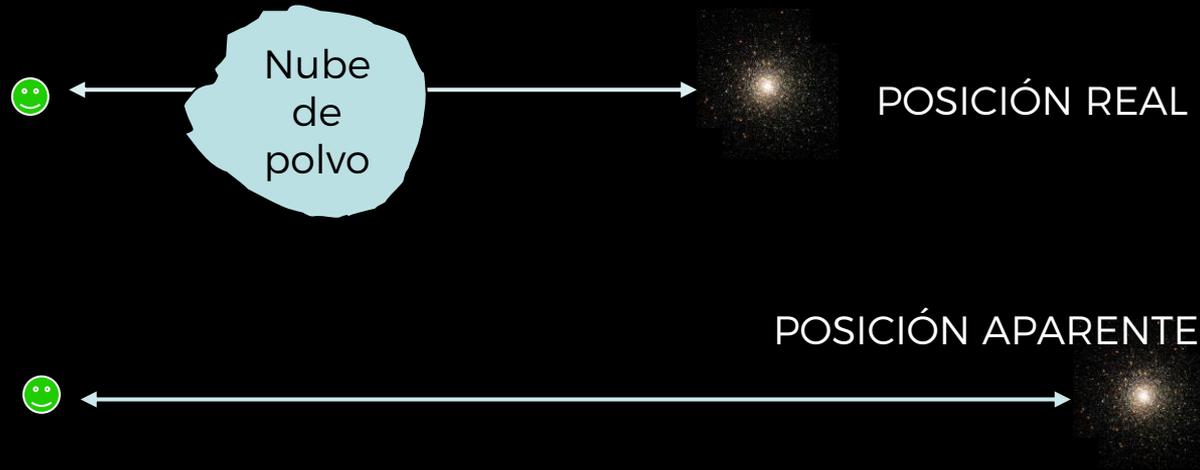
1927

Confirmación de la rotación galáctica por J.H Oort y B. Lindblad

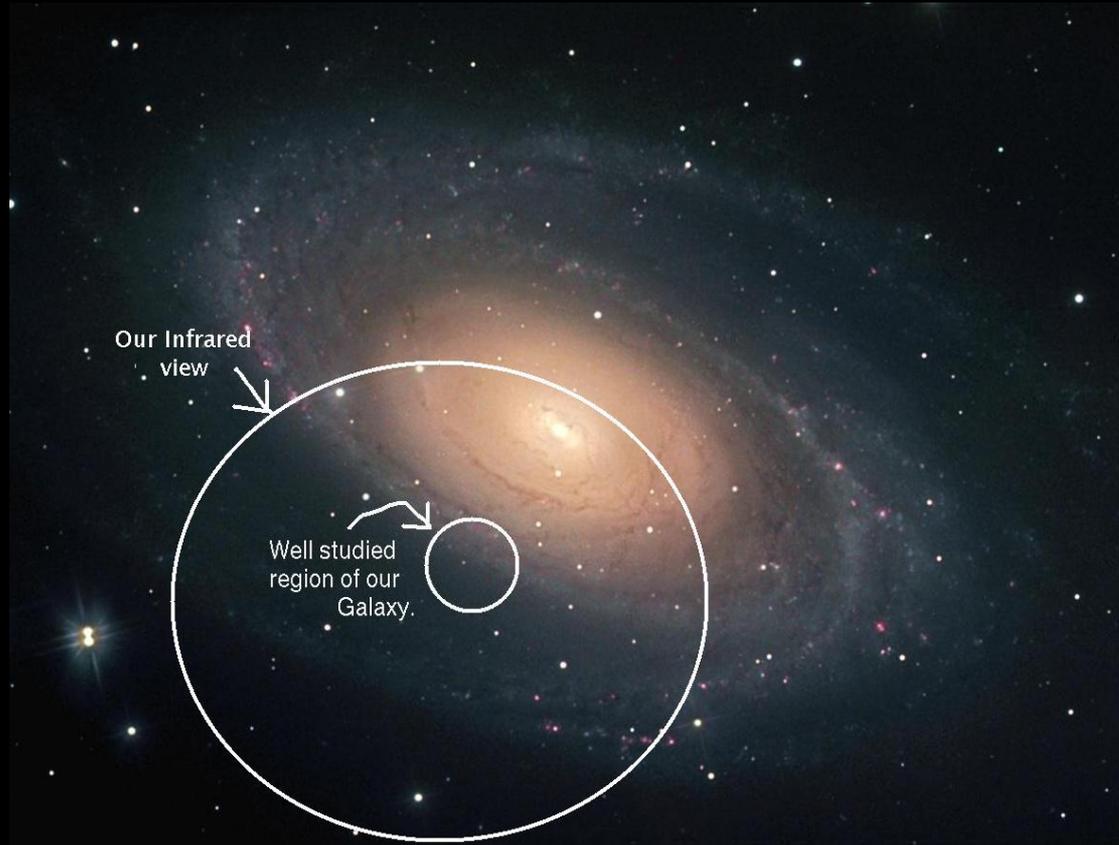


¿Por qué Shapley sobredimensionó el tamaño de la Galaxia?

1) Ignoró el efecto de la extinción por nubes de polvo. Al calcular la distancia a los cúmulos no tuvo en cuenta que sus brillos estaban disminuidos por el efecto de la absorción interestelar y su conclusión era que se encontraban más lejos.

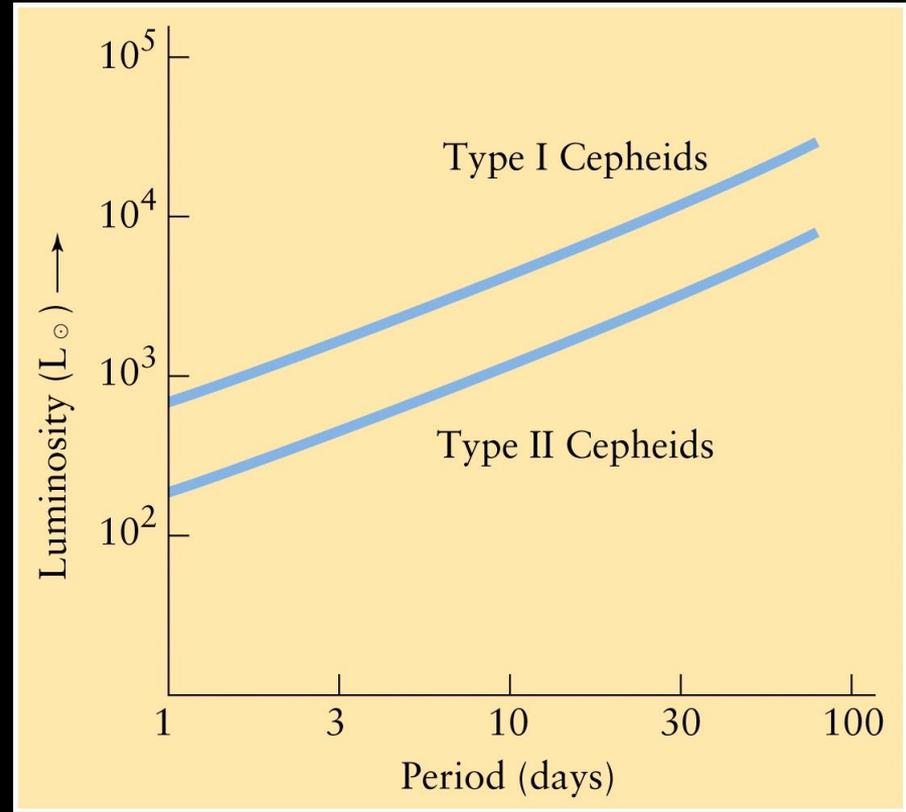


En el rango visible, el centro de nuestra galaxia sufre una extinción de ~30 magnitudes debido al polvo. Incluso con telescopios modernos, no podemos ver mucho del centro galáctico en el óptico, no así en el infrarrojo.



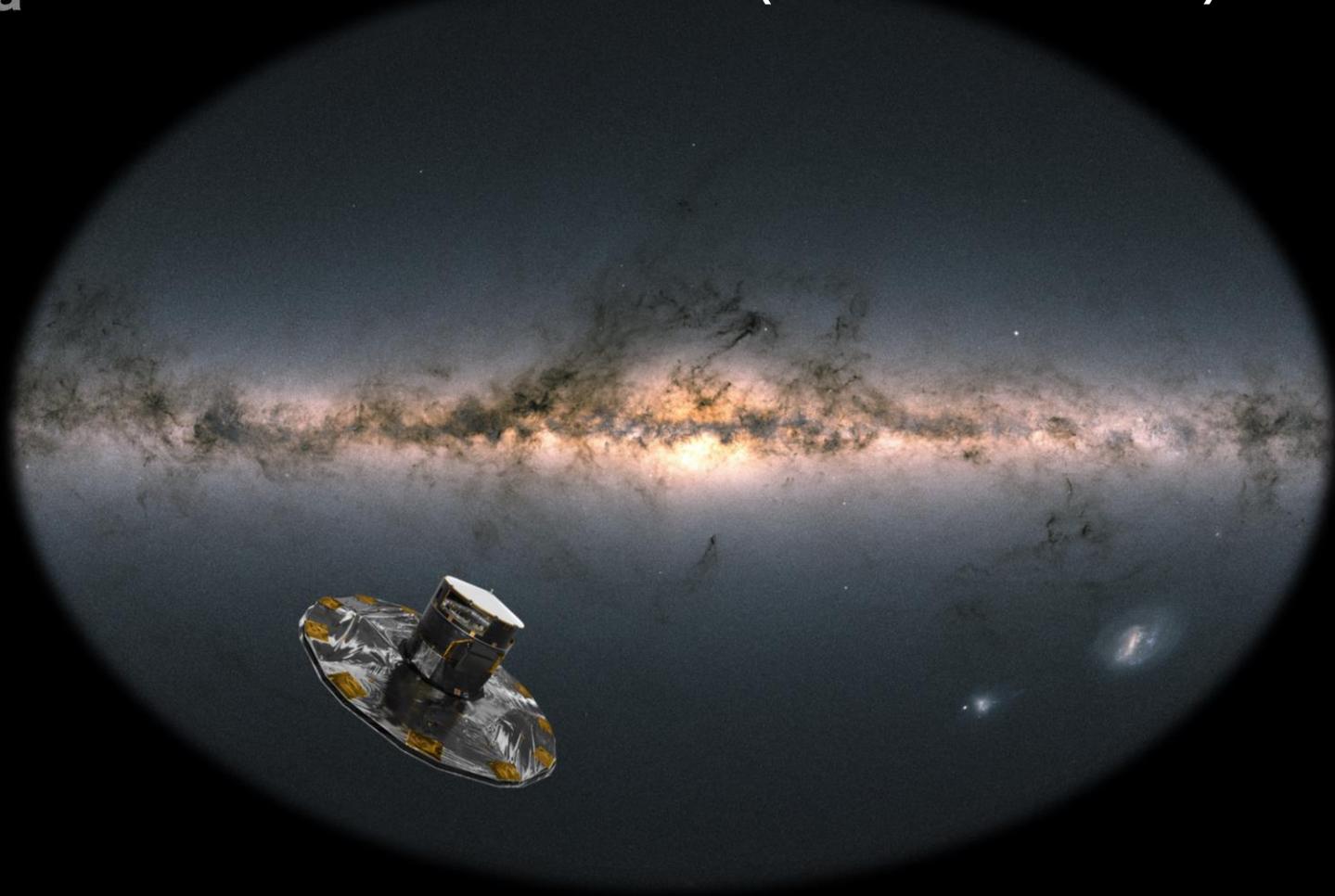
2) Existen dos tipos de Cefeidas: las de Tipo I y las de Tipo II. Shapley utilizó las de Tipo II pensando que eran de Tipo I, y la consecuencia de ello fue que las distancias obtenidas eran mayores.

Para un brillo aparente dado, una estrella de mayor luminosidad intrínseca debe estar más lejos. Shapley observó las de Tipo II, pero utilizó las luminosidades de las de Tipo I.

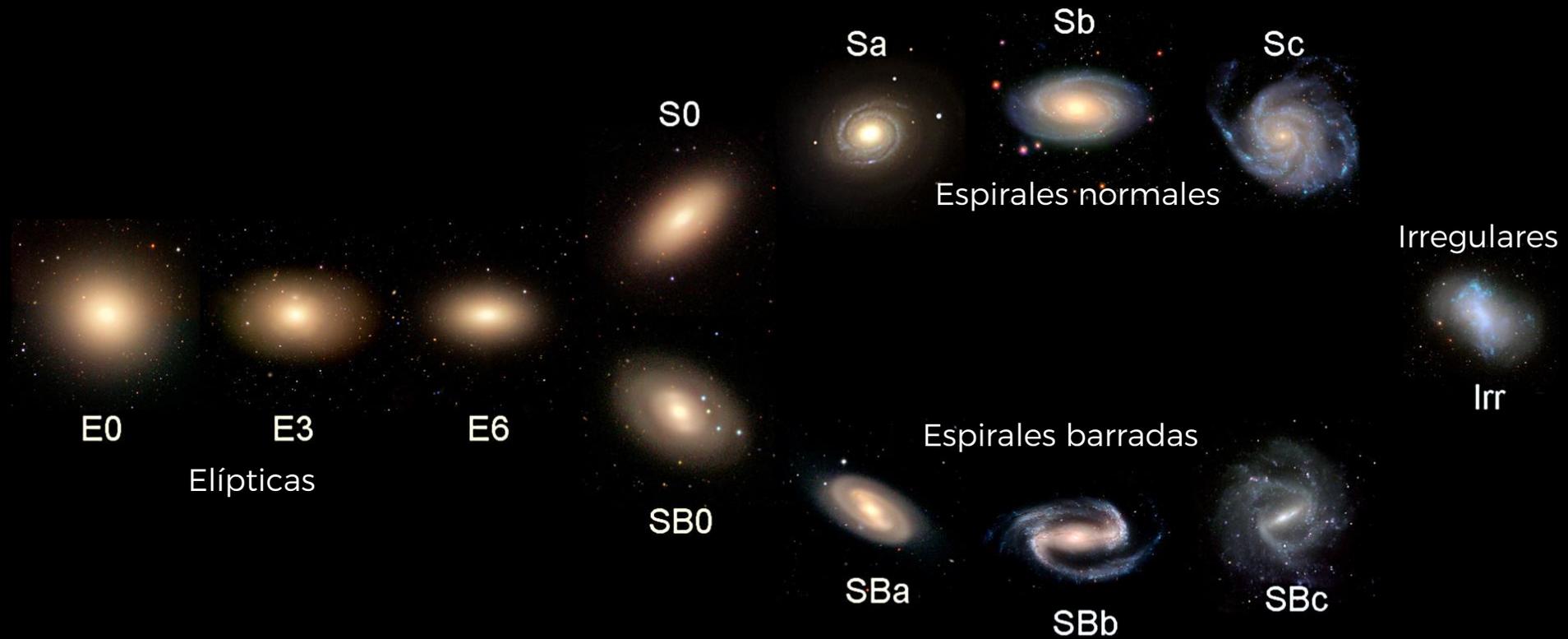




El satélite Gaia (2013-2025)



Clasificación morfológica de Hubble (1936)





Galaxias elípticas

- Distribución regular de luz, sin formas reconocibles
- Entre el 10-15% de las galaxias que observamos
- Pobres en gas y polvo
- La mayoría de sus estrellas son viejas
- E0, E1, E2...



Galaxias espirales

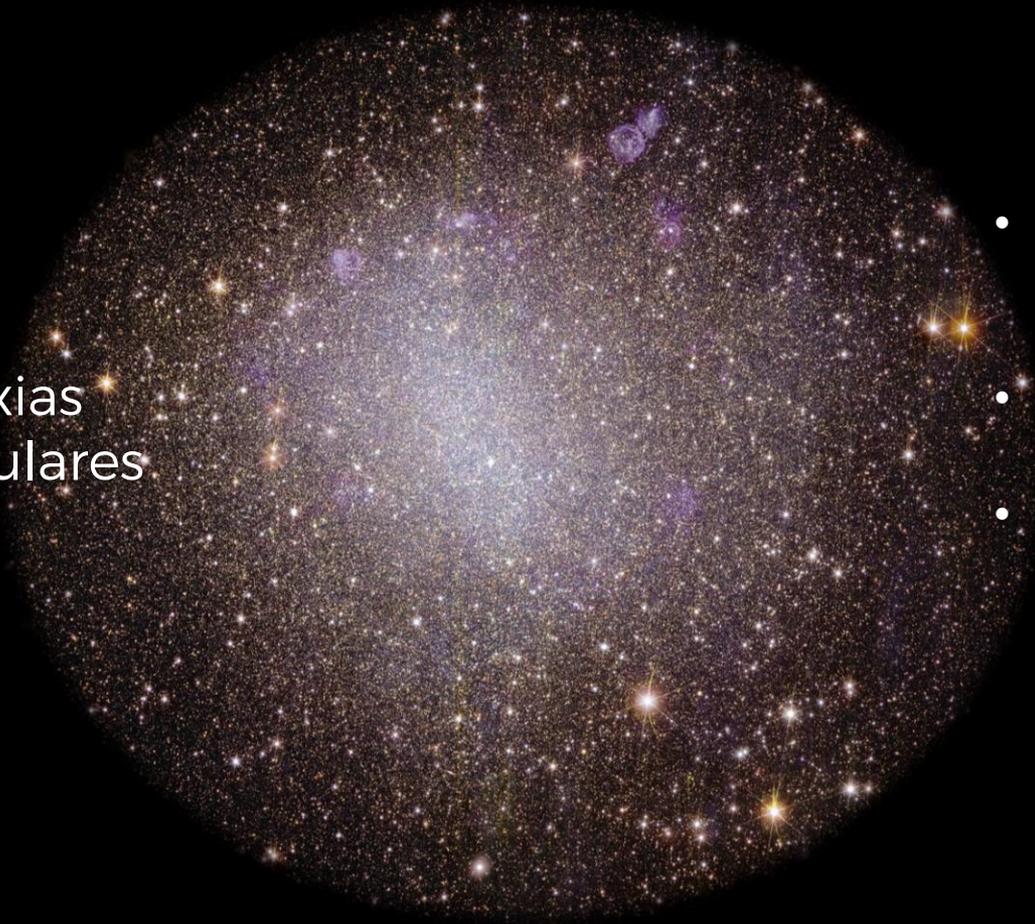
- Brazos espirales saliendo del núcleo
- Representan el 70% de las galaxias que observamos
- Gas, polvo y formación de estrellas en los brazos
- Sa, Sb, Sc

Galaxias espirales barradas



- Brazos espirales saliendo de una barra central
- 2/3 de las espirales que vemos son barradas
- La barra afecta a la dinámica de los brazos espirales, del gas y de las estrellas
- SBa, SBb, SBc

Galaxias irregulares



- Son el producto de la interacción de otras galaxias
- Algunas tienen ciertas estructuras
- Son muy ricas en gas y polvo y en ellas hay una formación estelar muy intensa

Canibalismo galáctico

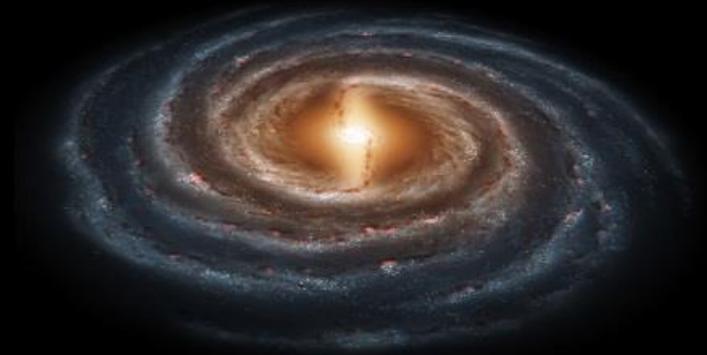
Hace ~10.000 millones de años

Gaia-Enceladus

Vía Láctea primitiva

En la actualidad

Vía Láctea actual



Sagittarius dwarf galaxy



Milky Way

8 billion years ago



5.7 billion years ago
First Sagittarius passage



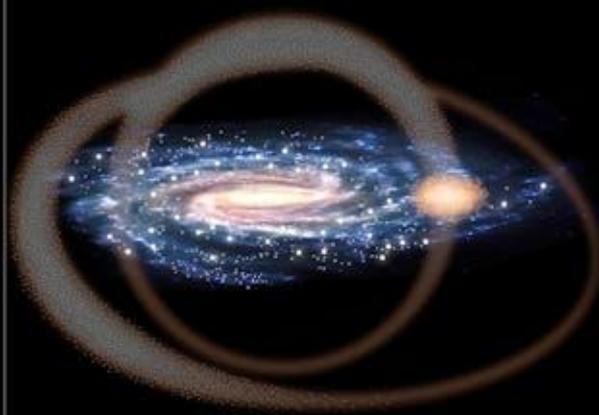
3 billion years ago



1.9 billion years ago
Second Sagittarius passage



1 billion years ago
Third Sagittarius passage



Current situation

Galaxia de Andrómeda



- Visible a simple vista
- Su tamaño aparente en el cielo es seis veces mayor que el de la Luna llena
- 152.000 años luz de diámetro
- 2,5 millones años luz de distancia
- 1 billón de estrellas

En la actualidad



Andromeda y La Vía Láctea se están acercando a una velocidad de unos 110 km/s y al Sol a 300 km/s, mientras el Sol orbita alrededor del centro de nuestra Galaxia a 225 km/s

En 7000 millones de años

La mayor parte de las galaxias tienen en común que albergan en sus núcleos gigantescos agujeros negros supermasivos...

...de cuyos discos salen chorros de materia a velocidades próximas a la de la luz.

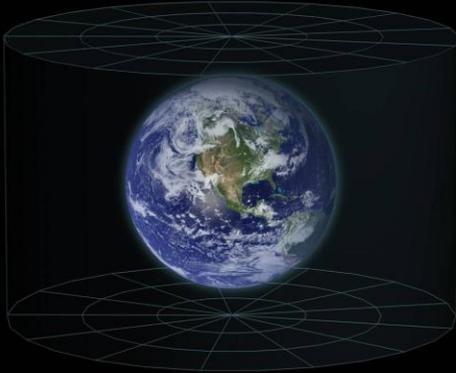


Incluso nuestra propia Vía Láctea

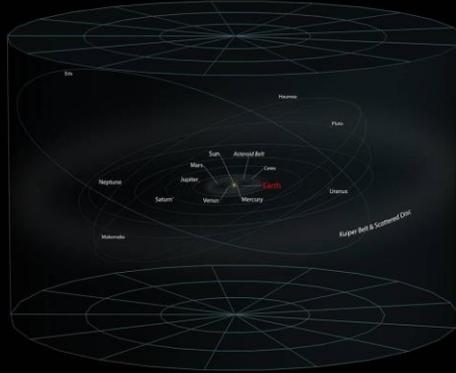


Escalas del universo

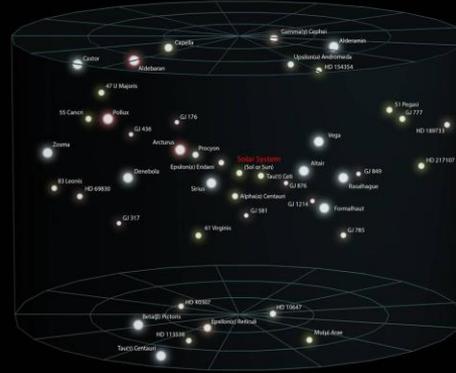
Earth



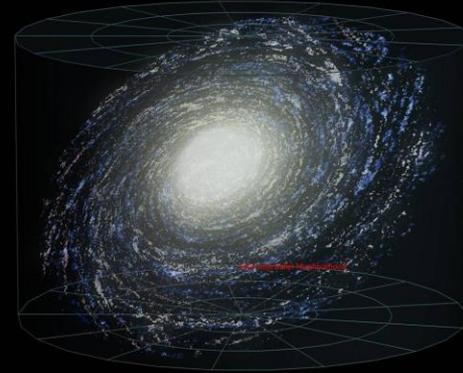
Solar System



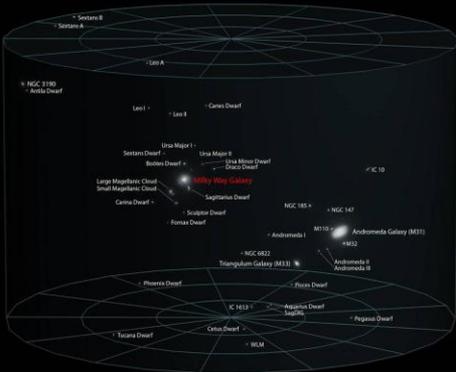
Solar Interstellar Neighborhood



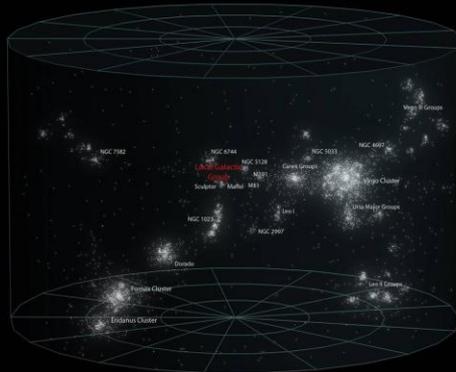
Milky Way Galaxy



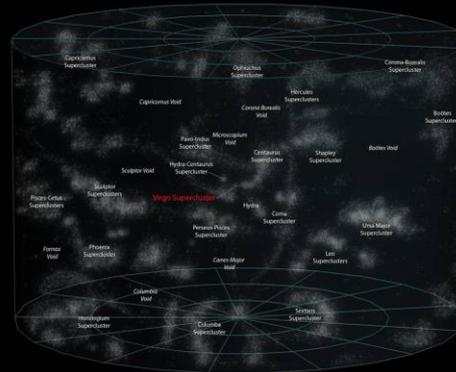
Local Galactic Group



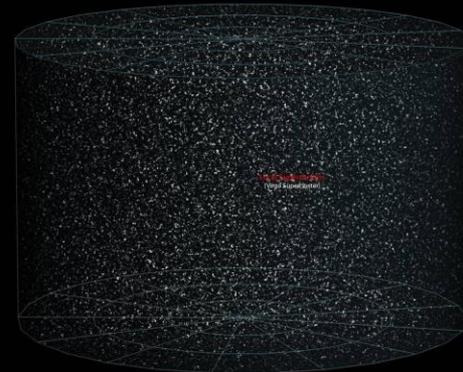
Virgo Supercluster



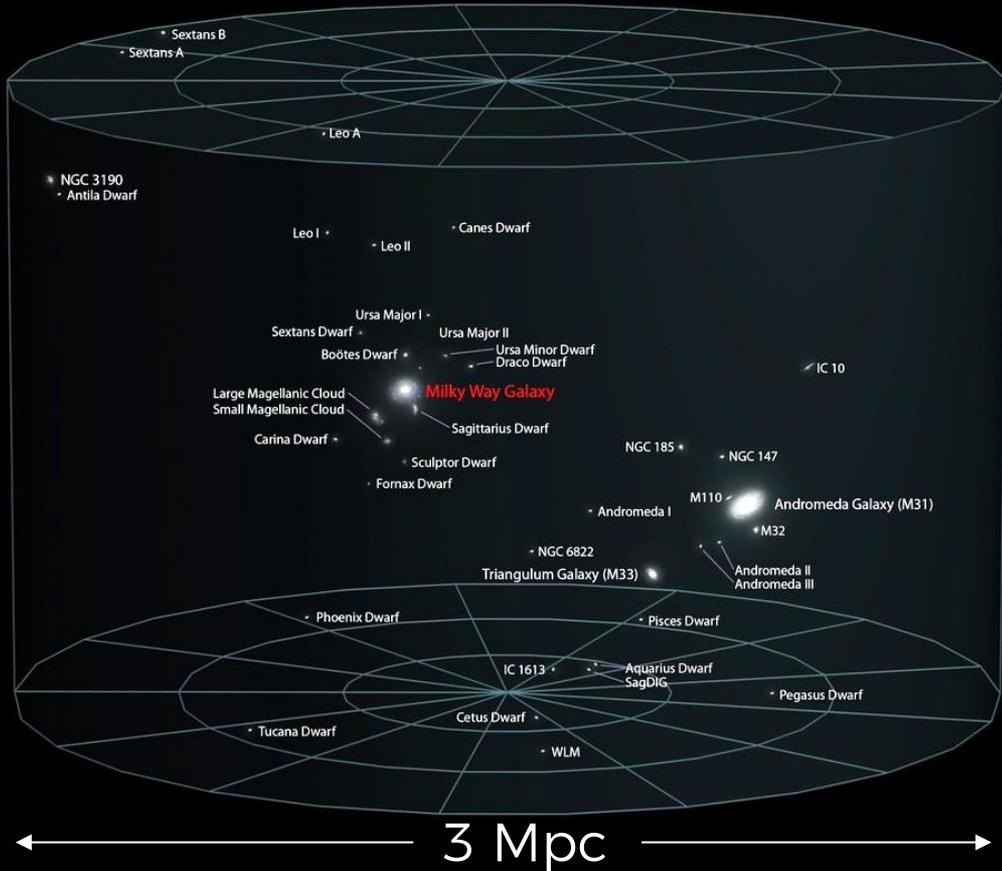
Local Superclusters



Observable Universe



Local Galactic Group



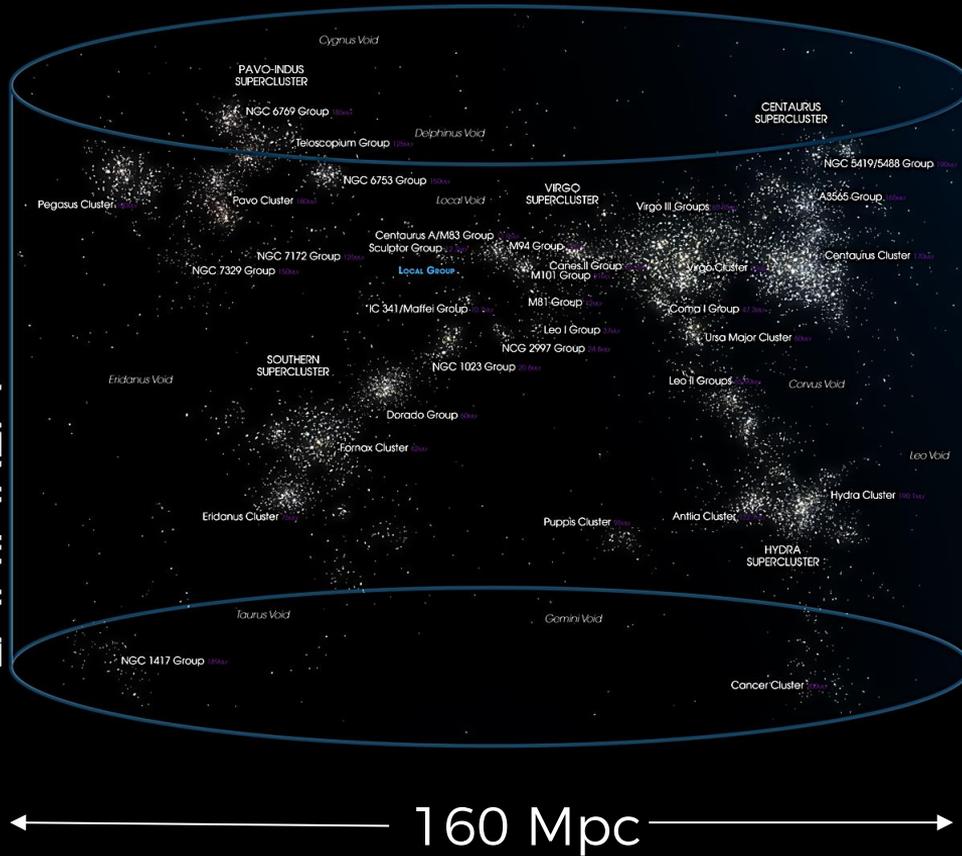
- ~80 galaxies
- 2×10^{12} masas solares
- Las más importantes: la Vía Láctea, Andrómeda y la Galaxia del Triángulo, siendo satélites las dos Nubes de Magallanes

VIRGO SUPERCLUSTER



- 100 cúmulos de galaxias, de los que el cúmulo de Virgo es el más importante
- $1,5 \times 10^{15}$ masas solares

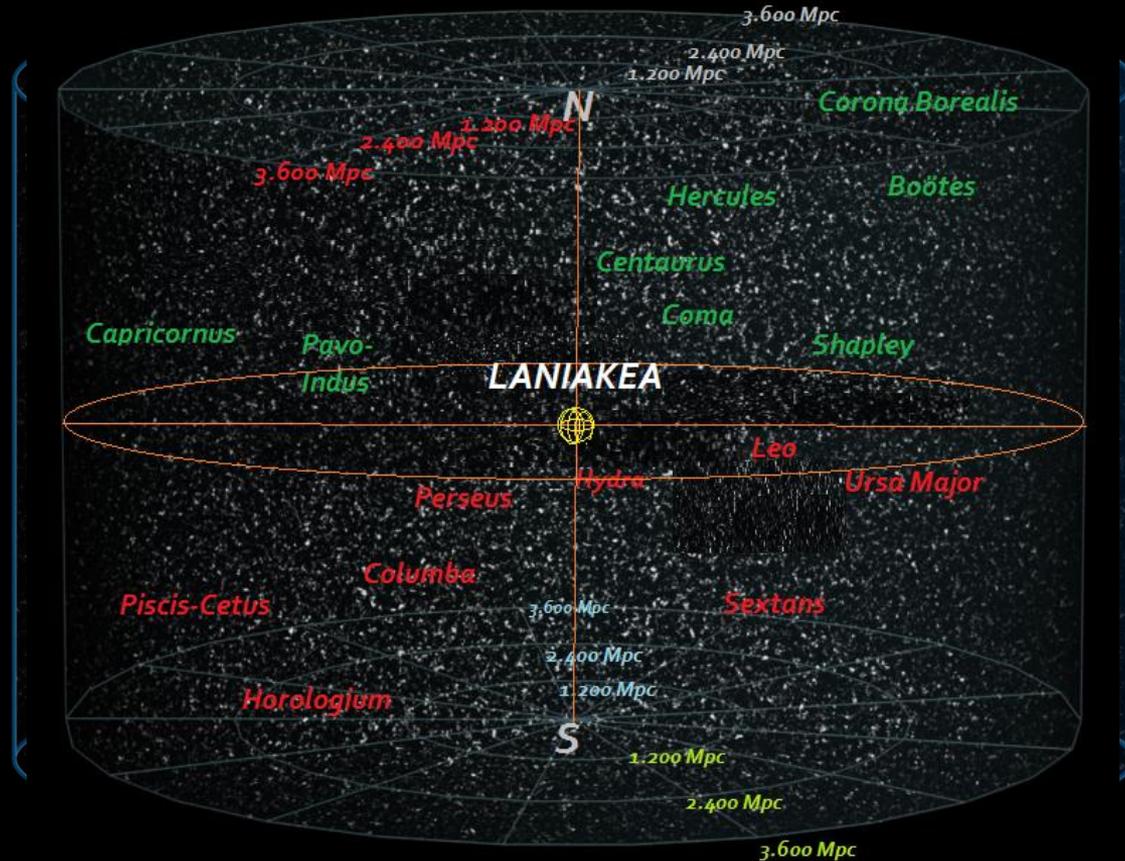
LANIAKEA

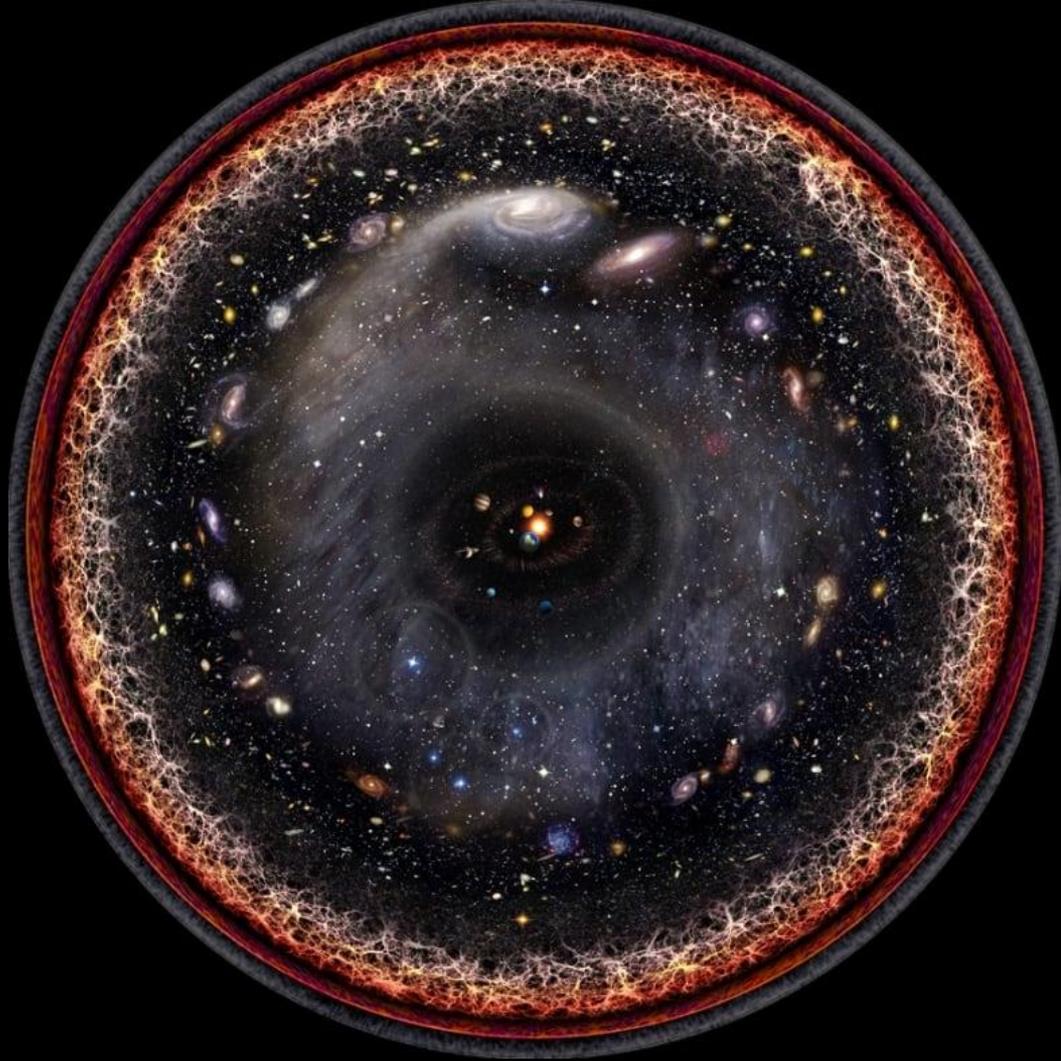


- 10^{17} masas solares
Agrupa cuatro grandes supercúmulos de galaxias próximos entre sí:

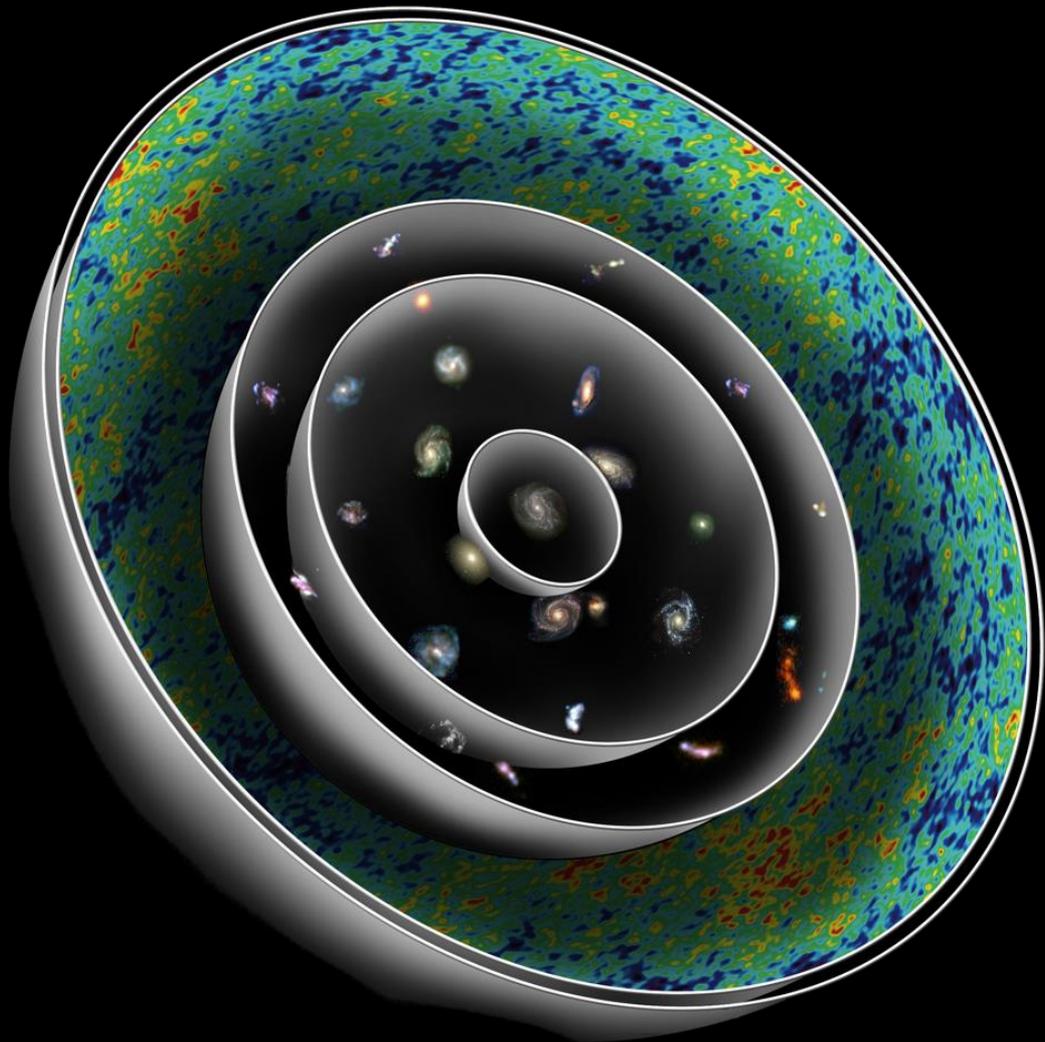
- Supercúmulo de Virgo
- Supercúmulo Hidra-Centauro que contiene al Gran Atractor, centro gravitatorio de todo el sistema
- Supercúmulo del Centauro
- Supercúmulo meridional que incluye el Cúmulo de Fornax, el Cúmulo del Dorado y el Cúmulo de Eridano

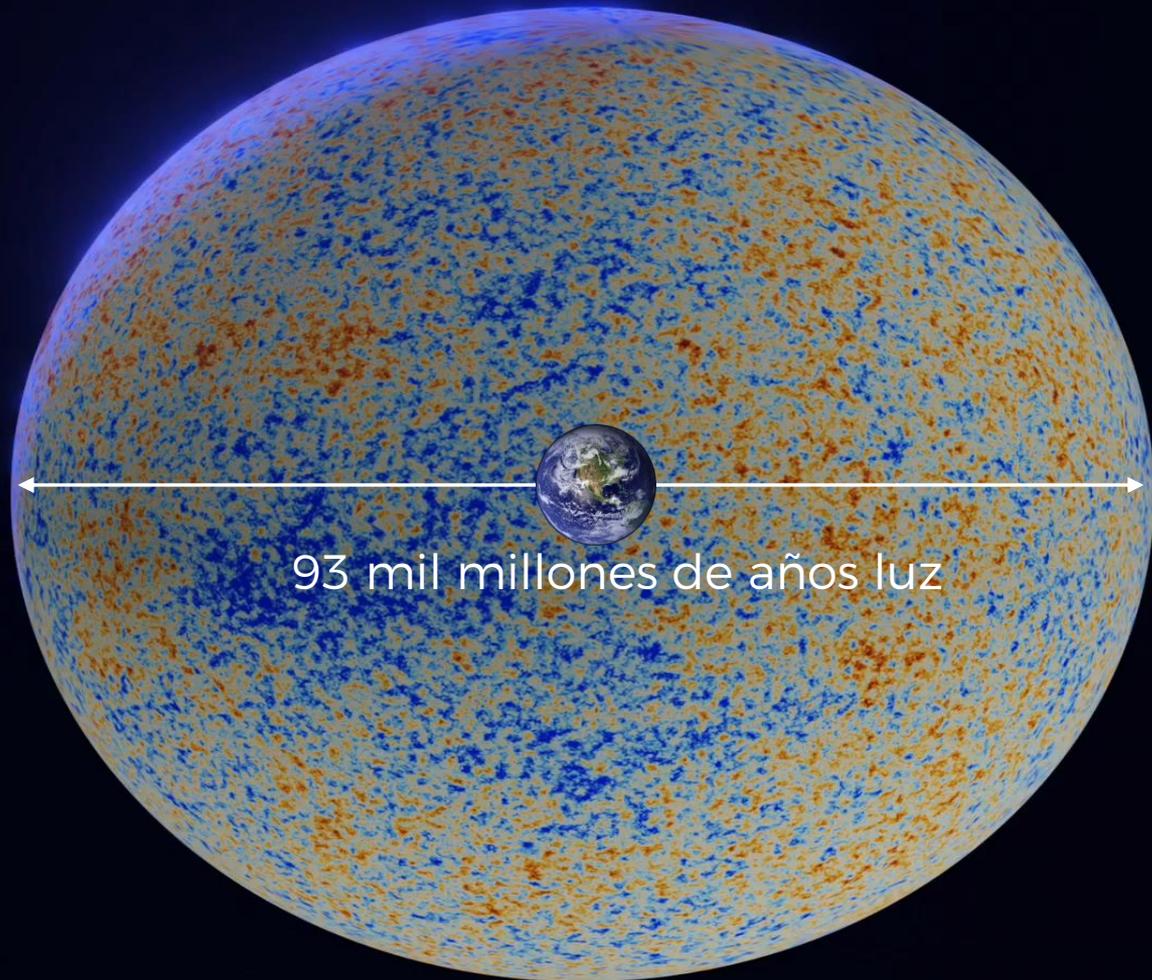
Hay ~10 millones de supercúmulos en el universo observable





¿Qué tamaño tiene el universo observable?





93 mil millones de años luz

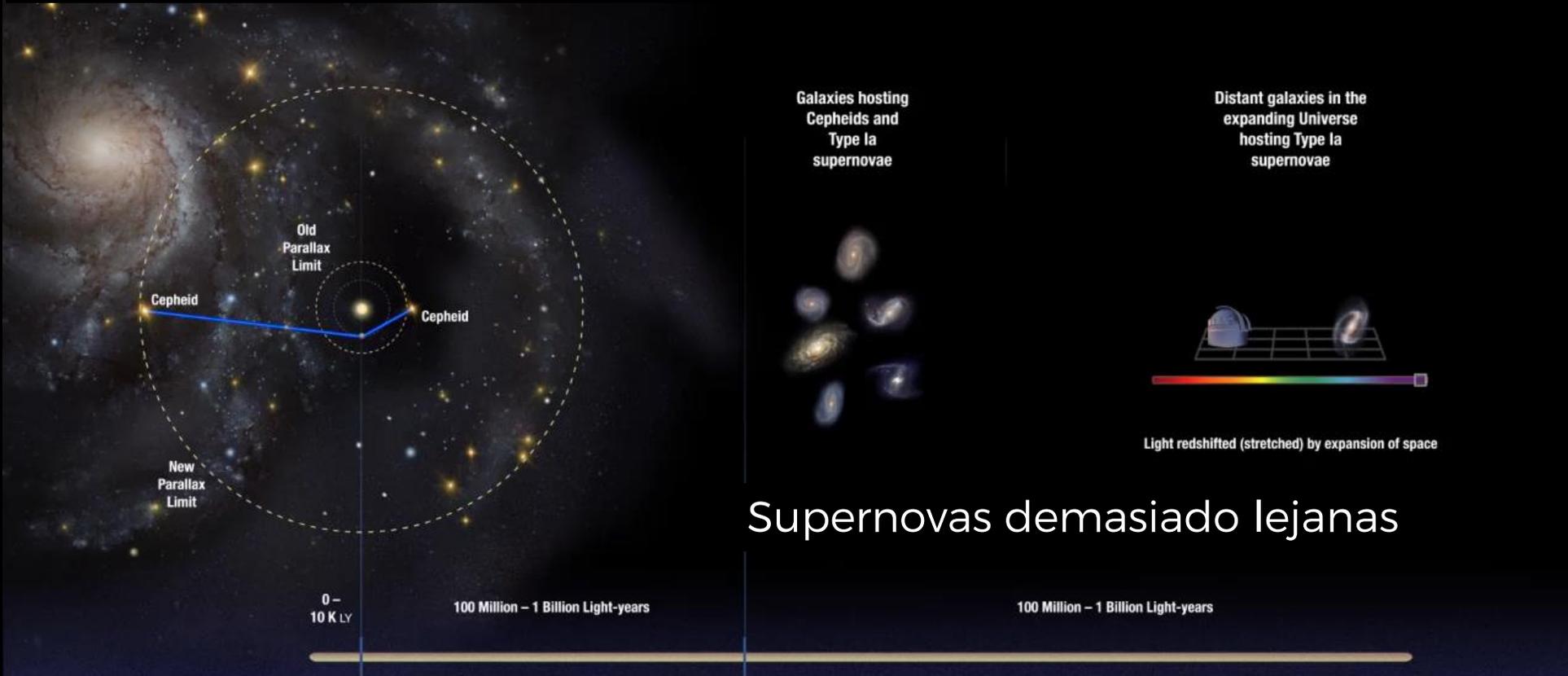
El universo no solo tiene materia ordinaria



Se necesita un tipo de materia (oscura) para explicar cómo rotan las galaxias y la estructura de los cúmulos de galaxias

Nuestra propia Galaxia tiene un halo de materia oscura

La medida del ritmo de expansión del universo en tres pasos

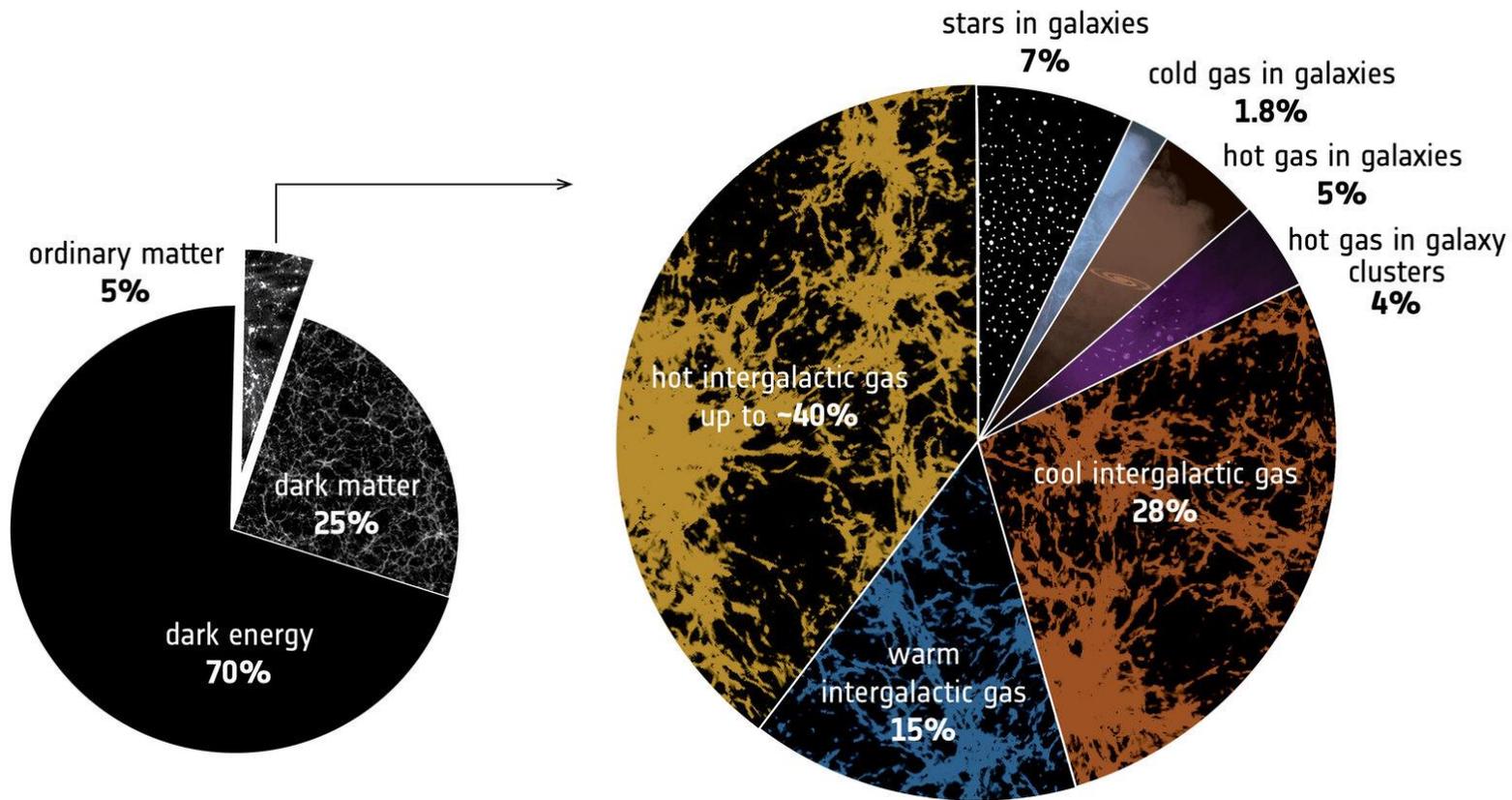


Supernovas demasiado lejanas

¡La expansión del Universo está acelerándose en la actualidad!

...por causa de una especie de ANTIGRAVEDAD de efecto repulsivo, a la que se llama ENERGÍA OSCURA y que parece estar asociada al vacío



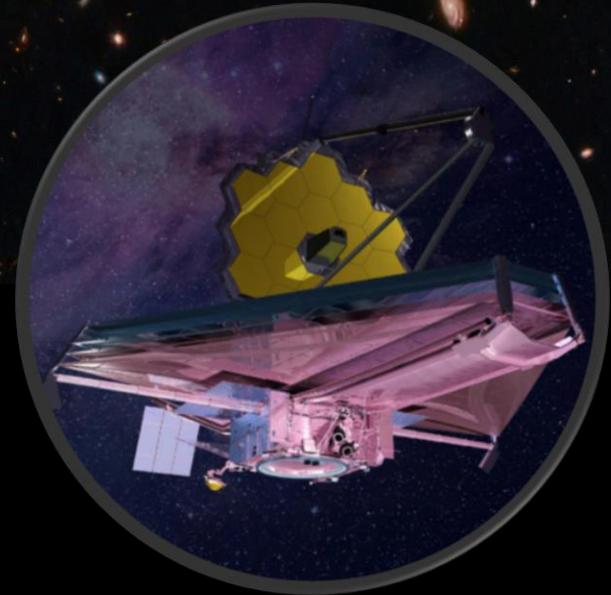


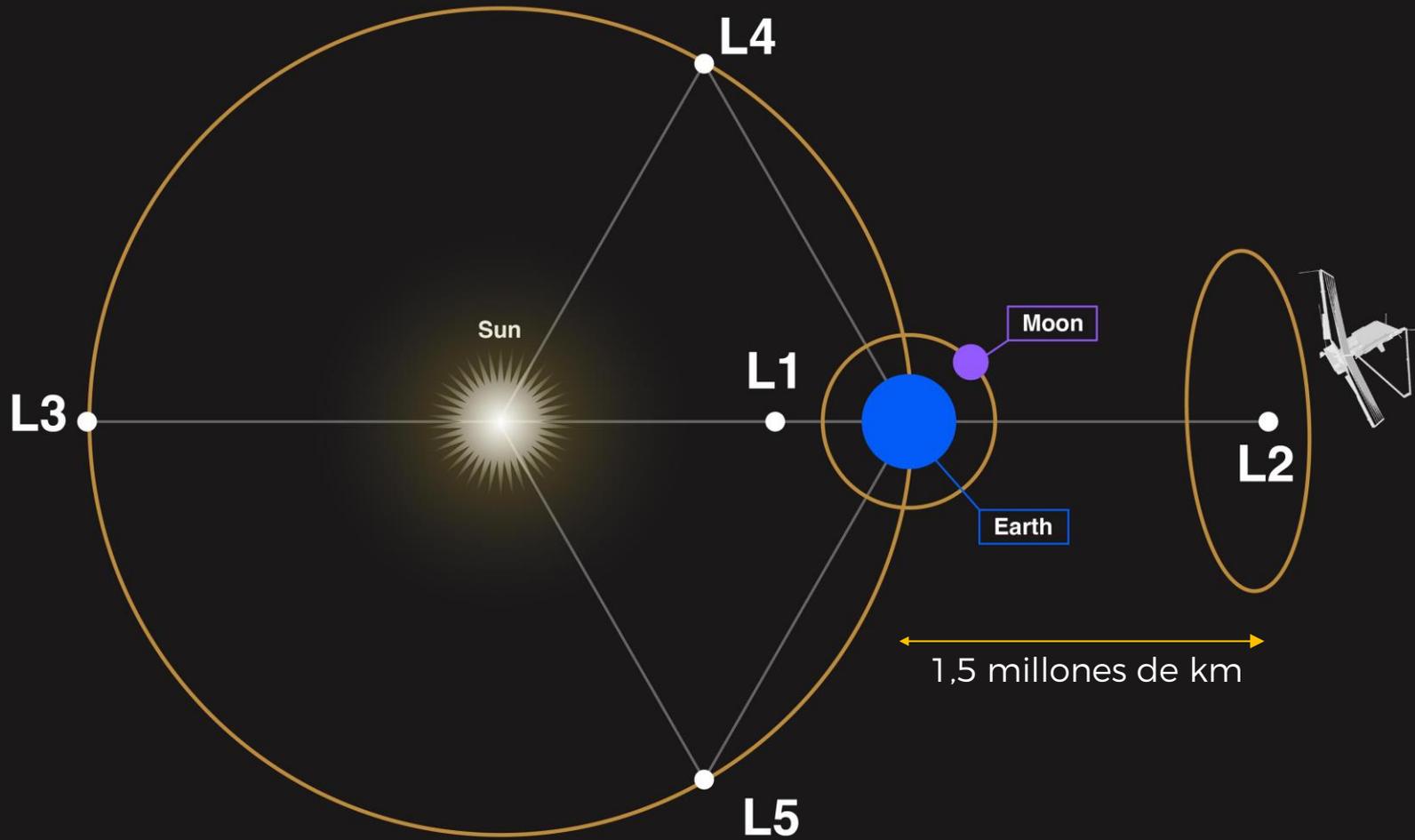
Contenido del Universo “actual”

James Webb Telescope (2021-)



- 6,5 metros de diámetro
- Situado en el punto de Lagrange L2
- Infrarrojo medio





Primeras imágenes del James Webb Telescope



M87, Phantom Galaxy



Hubble / Optical

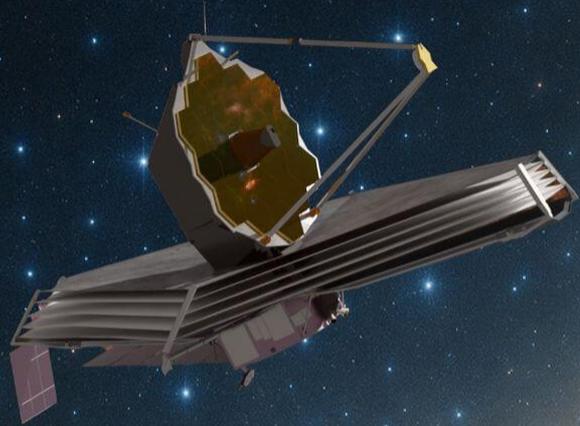


Hubble & Webb



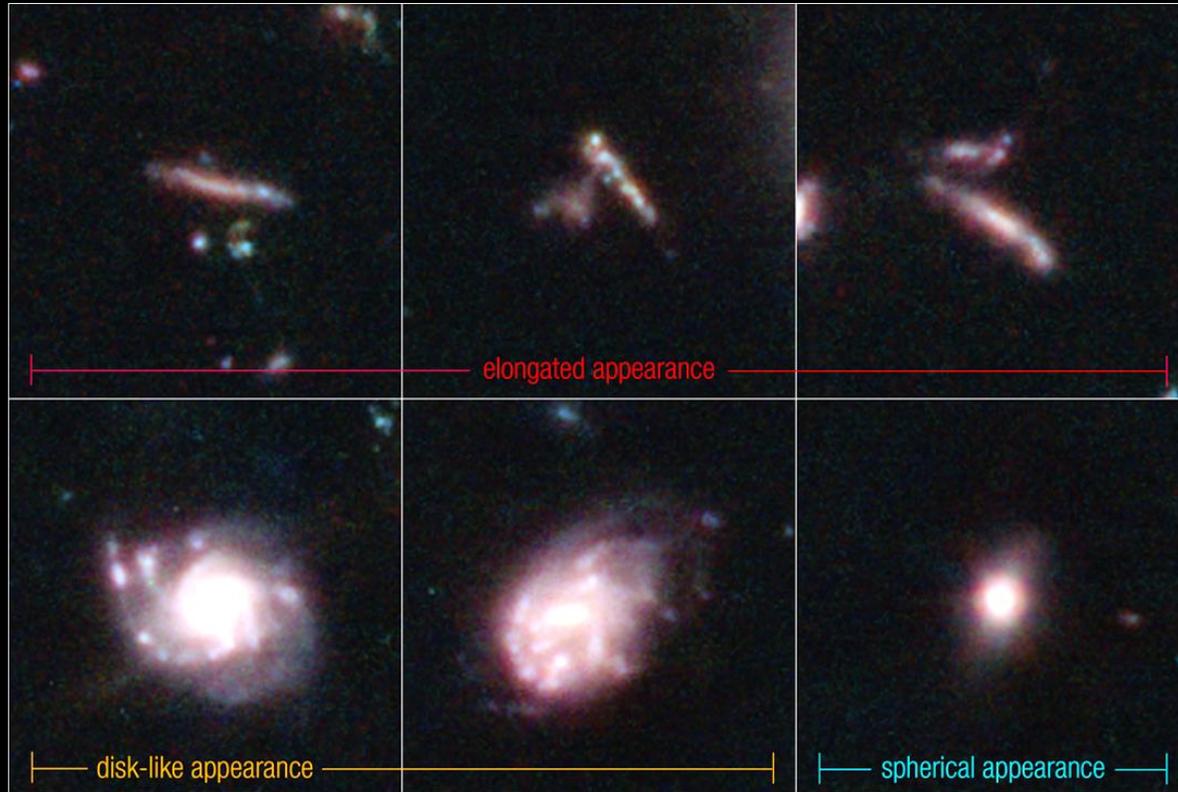
Webb / Infrared

Hubble vs James Webb Telescope



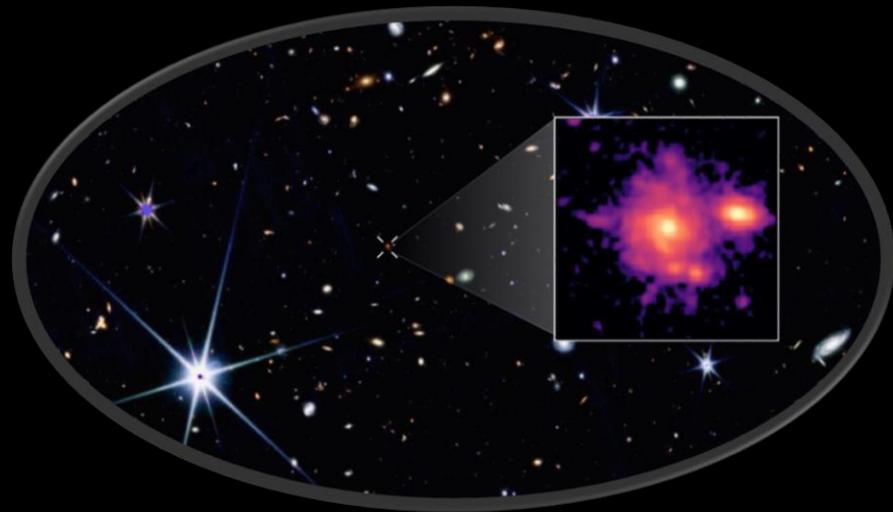
El James Webb Telescope ha abierto
una nueva era de la astronomía

Uno de los descubrimientos del JWST es que en el universo primitivo hay más galaxias brillantes de las que los astrónomos anticipaban antes de que este telescopio se lanzara.

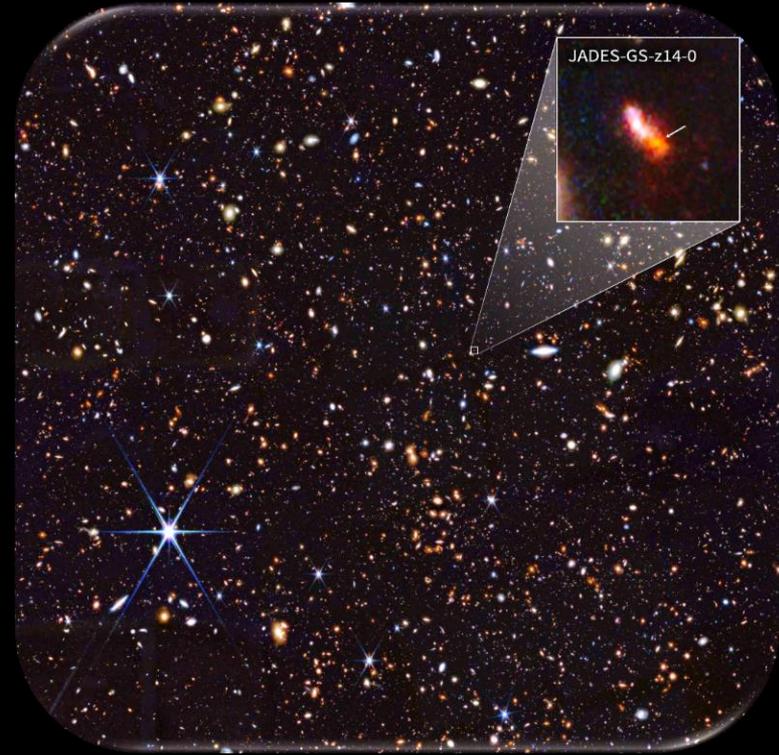


- Datos del JWST muestran una abundancia de elementos, como por ejemplo el nitrógeno, en las galaxias primitivas. El nitrógeno es producido por estrellas envejecidas de baja masa, y en esta fase temprana del universo, no ha habido tiempo suficiente para que una generación de estrellas de baja masa envejezca y produzca mucho nitrógeno. Y no se sabe el porqué.
- JWST ha encontrado estructuras espirales similares a las de nuestra propia galaxia en edades más tempranas de las que los modelos predecían. Otros mapeados muestran una abundancia de galaxias (del 50 al 80%) con formas planas o alargadas.

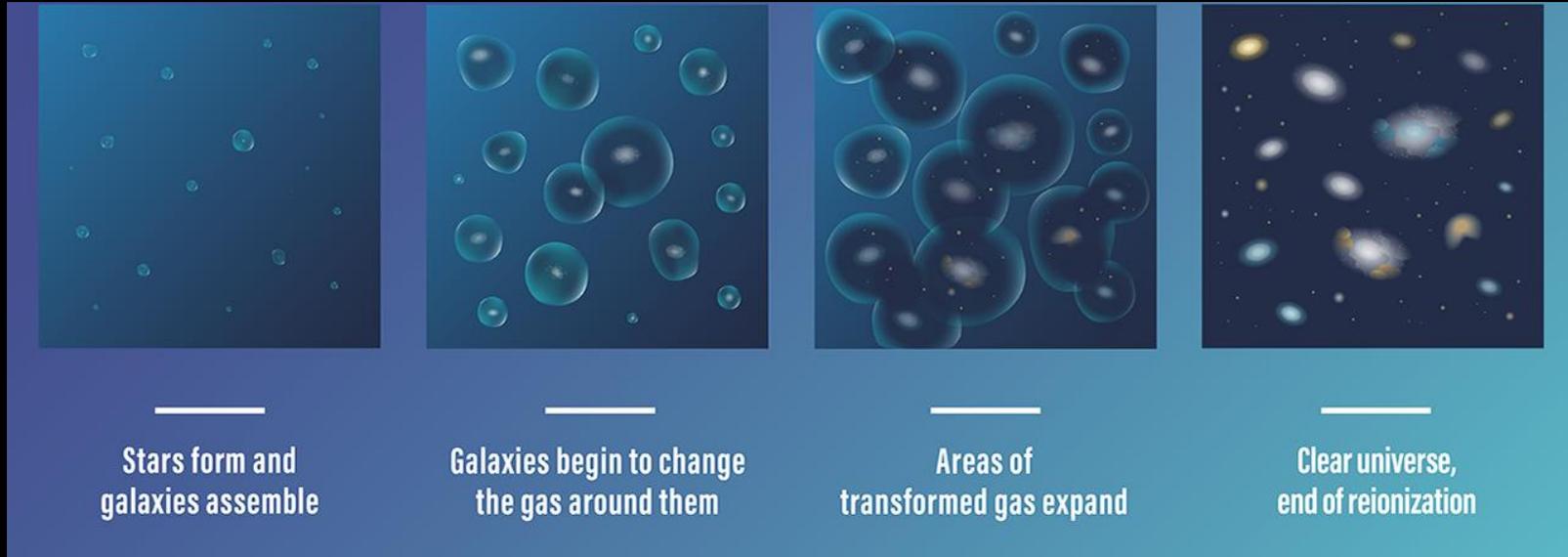
Zhúlóng, galaxia espiral descubierta por el James Webb a 12.400 millones de años luz, gemela de la Vía Láctea



- JWST apunta que los agujeros negros supermasivos, se forman bien a partir de la fusión de agujeros negros más pequeños, o por el colapso gravitatorio directo de nubes de gas en el universo primitivo.
- JWST está encontrando agujeros negros primitivos mucho más masivos de lo esperado para el tamaño de sus galaxias.
- JWST ha detectado la galaxia más lejana conocida (JADES-GS-z14-0) con un desplazamiento al rojo 14.32 (<300 millones de años después del Big Bang)



Hace más de 13.000 millones de años, el gas entre las galaxias era opaco a la luz más energética, lo que dificultaba la observación de las galaxias jóvenes; tan solo la radiación cósmica de fondo podía viajar libremente por el espacio. La era de la reionización fue el periodo en el que la luz pasó de estar atrapada y dispersa en el denso gas del universo primitivo a moverse libremente por el espacio y el tiempo.



Las observaciones del JWST muestran galaxias diminutas que "despejan" el espacio a su alrededor, hasta unos 2 millones de años-luz de radio, que sugiere una intensa formación estelar en las primeras galaxias. Las estrellas jóvenes, masivas y calientes emitían enormes cantidades de luz ultravioleta, que ionizaba el gas que las rodeaba y lo convertía de opaco a transparente.

Hubble Space Telescope



1.7 x 1.7 minutos de arco cuadrados

James Webb Telescope



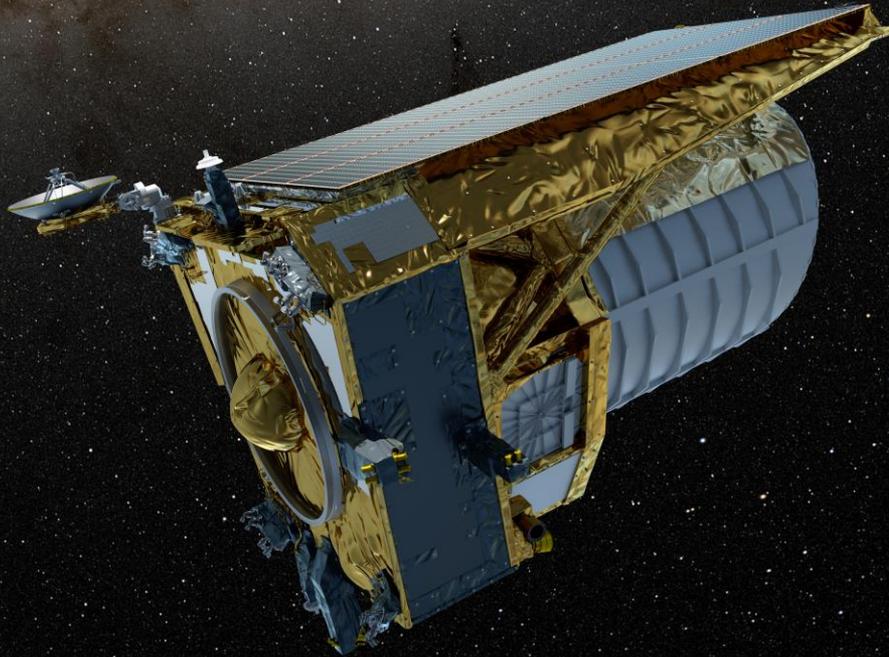
2.4 x 2.4 minutos de arco cuadrados

DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) (2021-2026) cartografía el universo



Espectros de 40 millones de galaxias

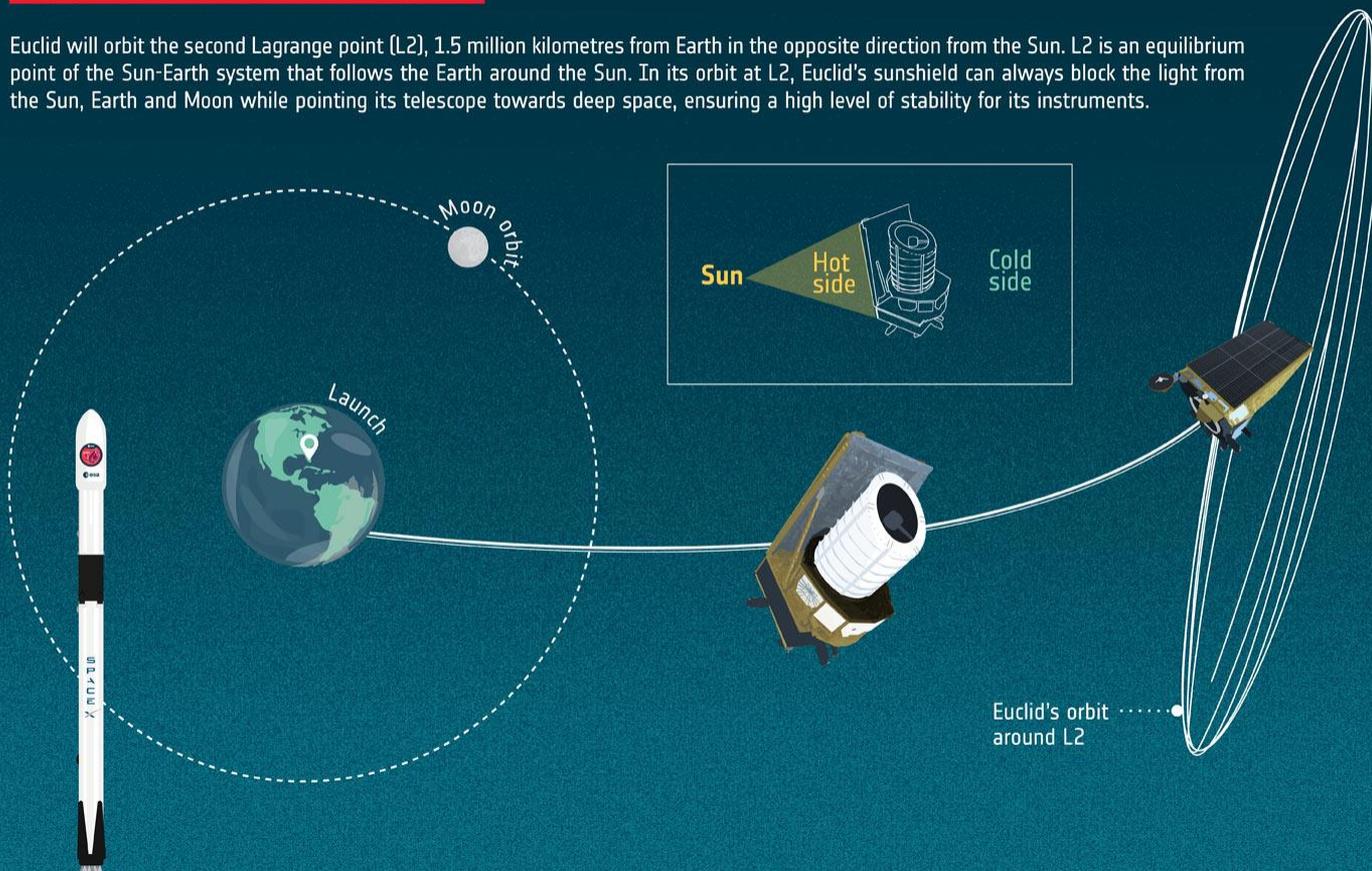
La misión Euclid de la ESA (2023-2029) intentará comprender la naturaleza de la “parte oscura” del cosmos



Observará 1.500 millones de galaxias,
un tercio de todo el cielo, 14.000 grados cuadrados

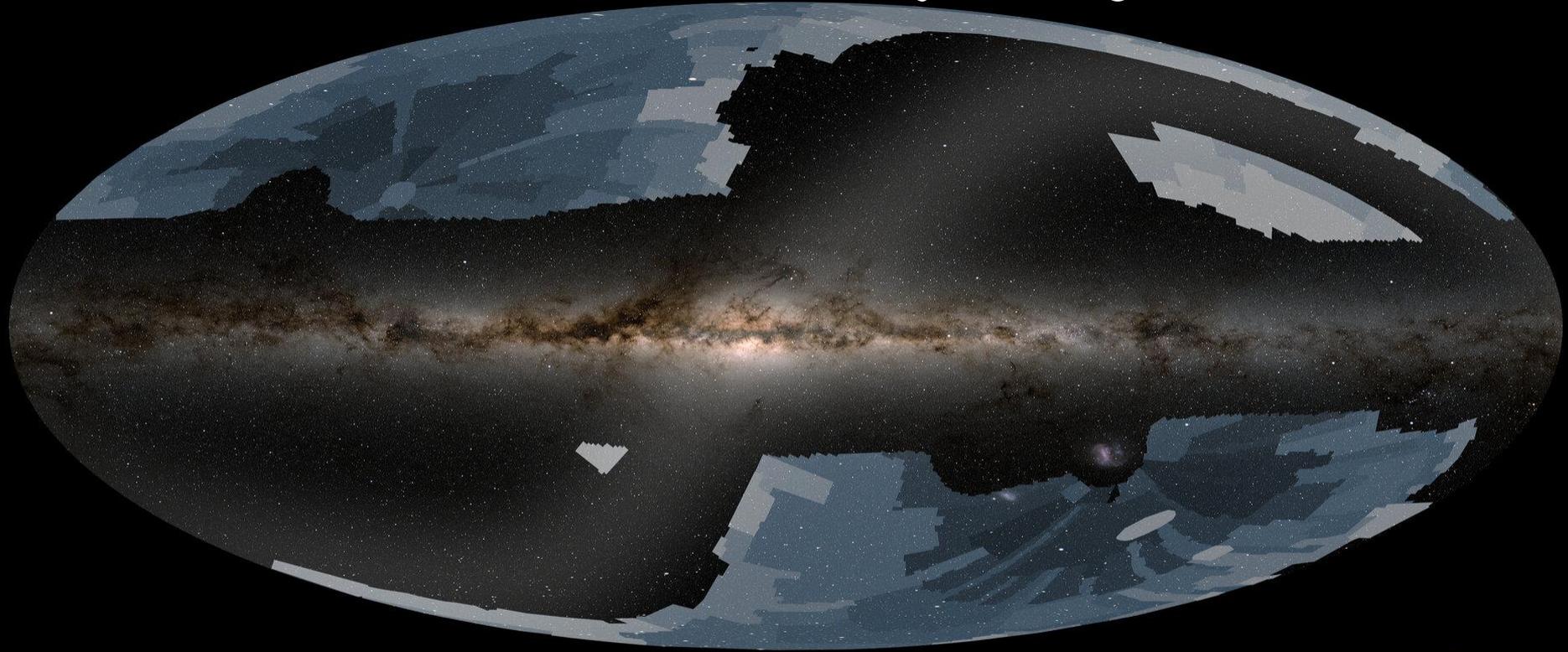
EUCLID'S JOURNEY TO L2

Euclid will orbit the second Lagrange point (L2), 1.5 million kilometres from Earth in the opposite direction from the Sun. L2 is an equilibrium point of the Sun-Earth system that follows the Earth around the Sun. In its orbit at L2, Euclid's sunshield can always block the light from the Sun, Earth and Moon while pointing its telescope towards deep space, ensuring a high level of stability for its instruments.

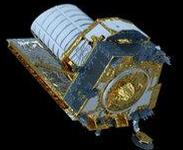


- **Launch (L)**
- **L+2 days:**
Euclid is on its way to L2
- **L+2 weeks:**
Euclid cool-down is complete
- **L+4 weeks:**
Euclid in orbit around L2
- **L+4 weeks:**
Telescope aligned and all instruments turned on
- **L+1-3 months:**
Testing of scientific performance and readiness for science
- **L+3 months:**
Euclid begins its survey

La misión Euclid (ESA) cartografía el universo para dar luz sobre la materia oscura y la energía oscura



Time (years)



RECOMENDACIONES

<https://www.youtube.com/c/PlanetariodeMadridoficial>