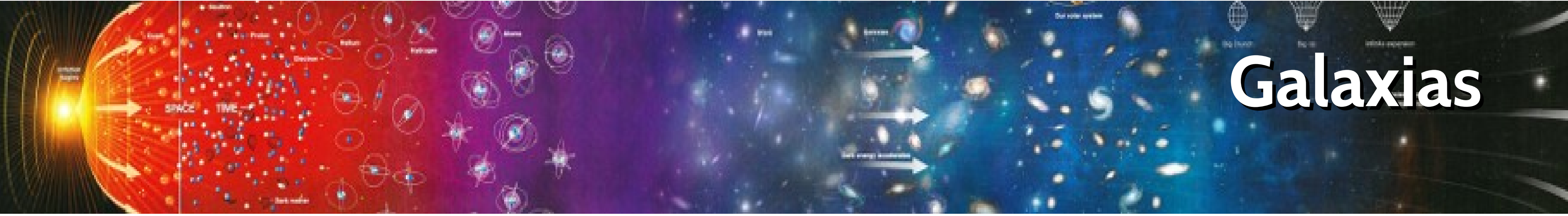
Universidad Nacional de Río Negro
Int Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2021

- **Unidad** 03–Astrofísica, galaxias y Universo
- **Clase** U03 C02 - 12/16
- **Fecha** 20 Oct 2021
- **Cont** Gran Escala
- **Cátedra** Asorey

U3: Astrofísica, escalas grandes
4 encuentros, del 06/Oct al 27/Oct

- Relatividad General.
  - Introducción y conceptos básicos.
  - Solución de Schwarzschild.
  - Objetos compactos: enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros.
- Formación de estructuras
  - Galaxias: Modelos y formación. GalaxyZoo.
  - Galaxias de Núcleos activos. Clasificación.
  - Formación de estructuras. Corrimiento al rojo y el universo en expansión.
- Trabajo unidad → fecha máxima de entrega 12/Nov

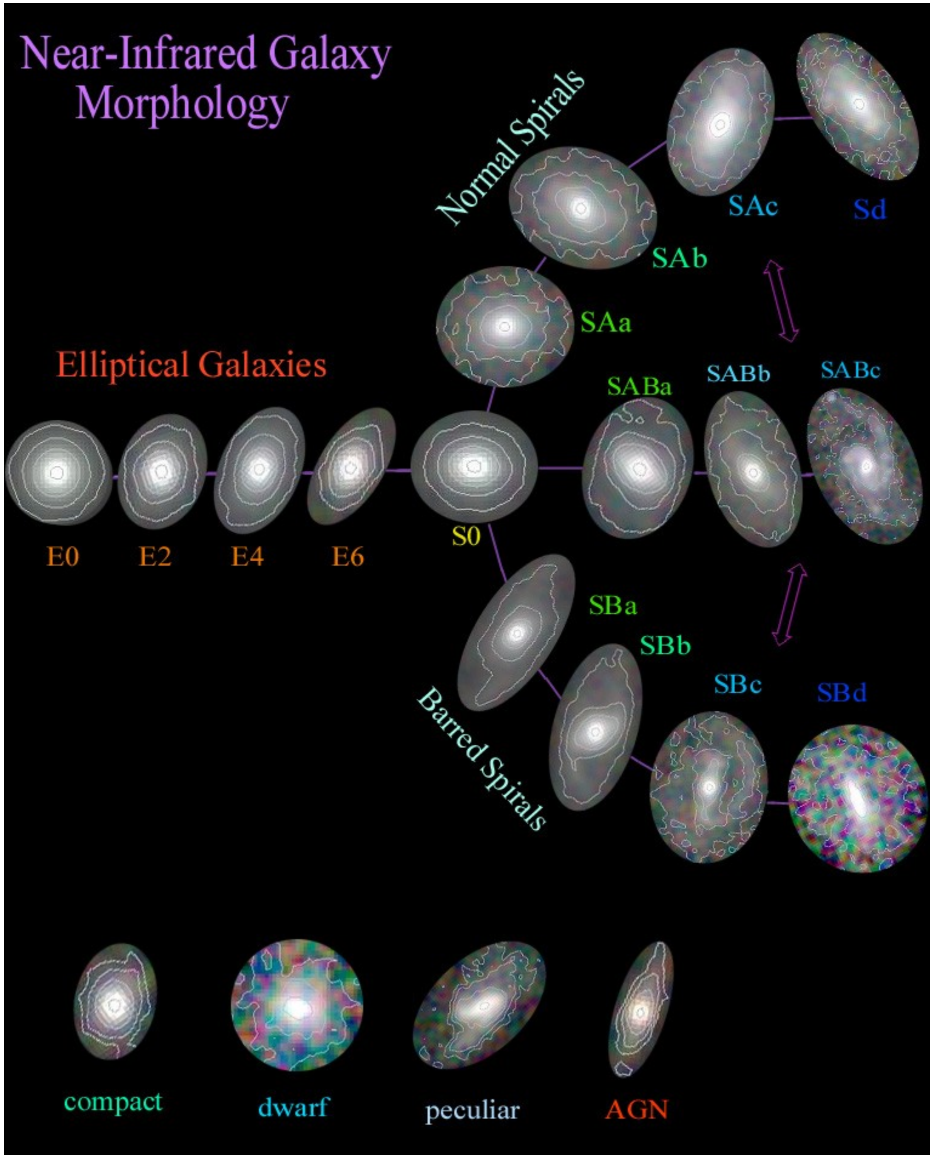
Contenidos: un viaje en el tiempo y el espacio



Galaxias

- Una **galaxia** **es un sistema autogravitante compuesto por:**
  - Estrellas (Vía Láctea: 10^{11} estrellas)
  - Remanentes estelares
  - Un medio interestelar formado por gas y polvo…
  - Un agujero negro central (no en todas, pero…)
  - Materia oscura (no está confirmada, pero…)
- **Tamaños:**
  - Enanas (~1000 estrellas, 1000 pc)
  - Gigantes (100000 pc, 10^{14} estrellas)
- Están separadas por distancias ~Mpcs (1 Mpc ~ $3{,}1 \times 10^{22}$ m)

Clasificación galáctica



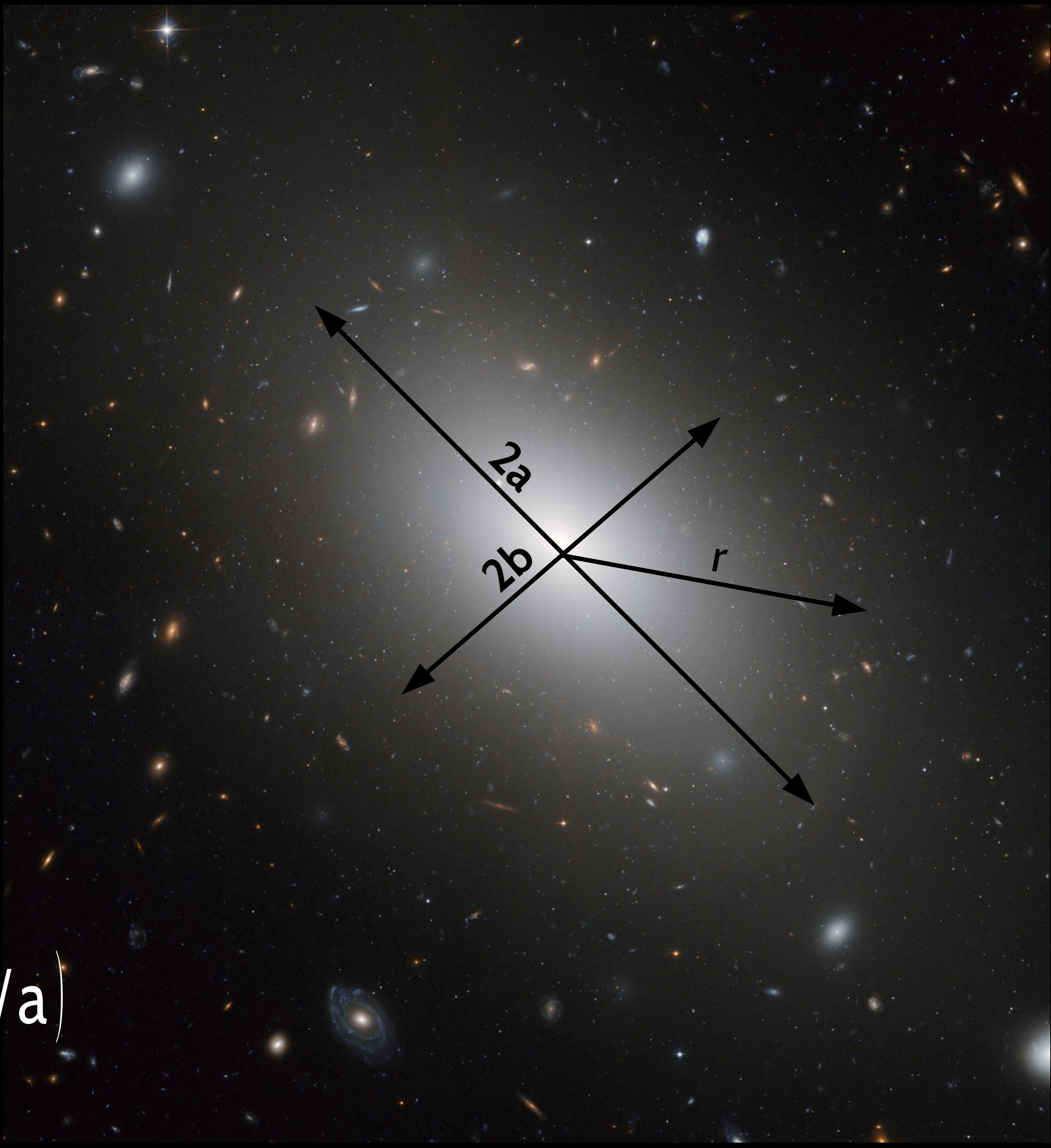
Tipo	Fracción
Espirales	60%
Elípticas	13%
Lenticulares	22%
Irregurales	3%
Peculiares	1%

- **Ley de De Vaucouleurs**
  Variación de la intensidad luminosa como función del radio

$$I(r) = I_0 \, e^{-\sqrt[4]{r/r_0}}$$

Galaxy Zoo

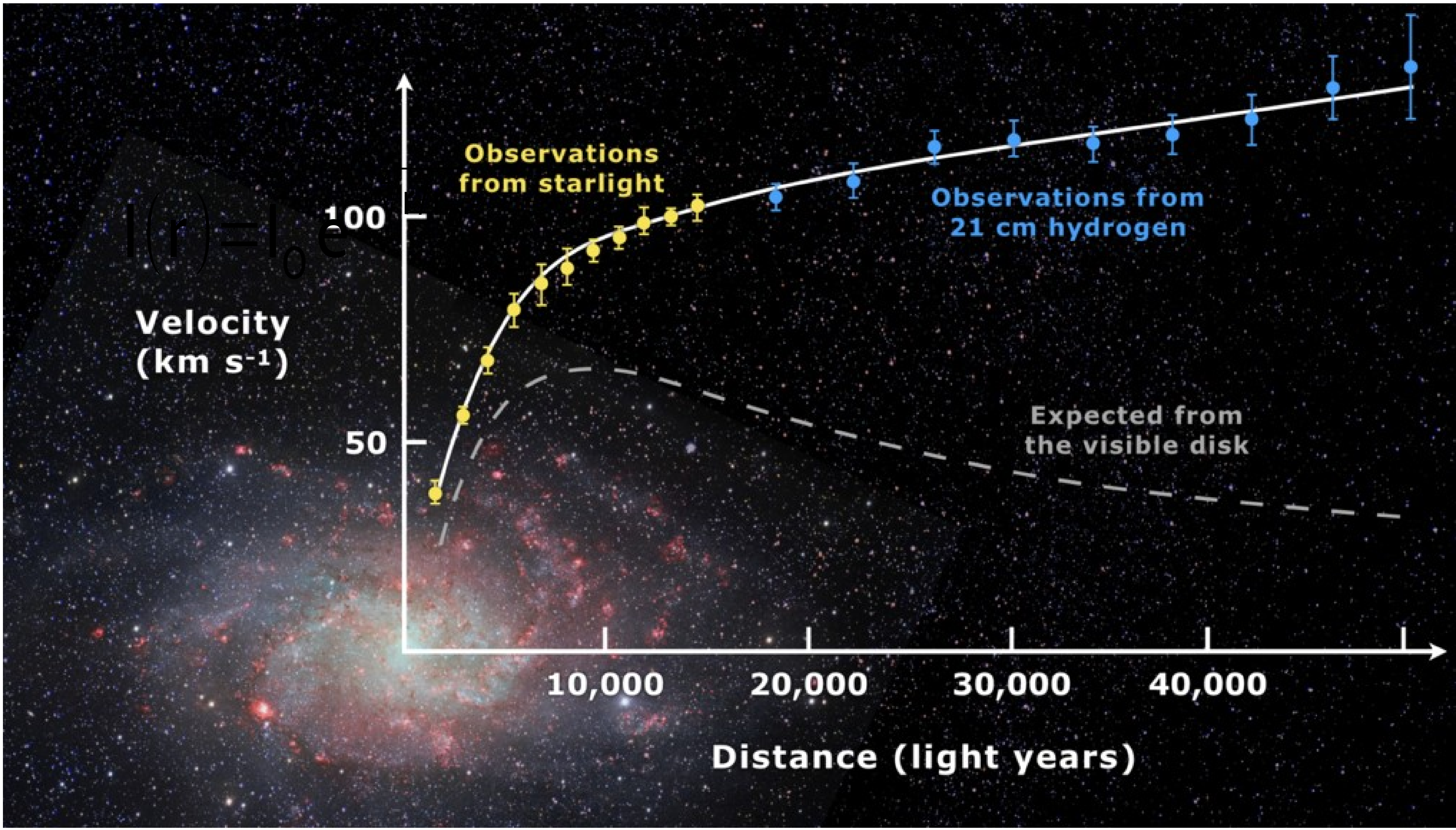
http://www.galaxyzoo.org



$$I(r) = I_0 e^{-\sqrt[4]{r/r_0}}$$

$$E_q \rightarrow E_q = 10(1 - b/a)$$

Curvas de rotación



Materia oscura (no visible)

- Consideremos, p. ej, $\alpha \sim 250$ km/s y r ~ 50 kpc

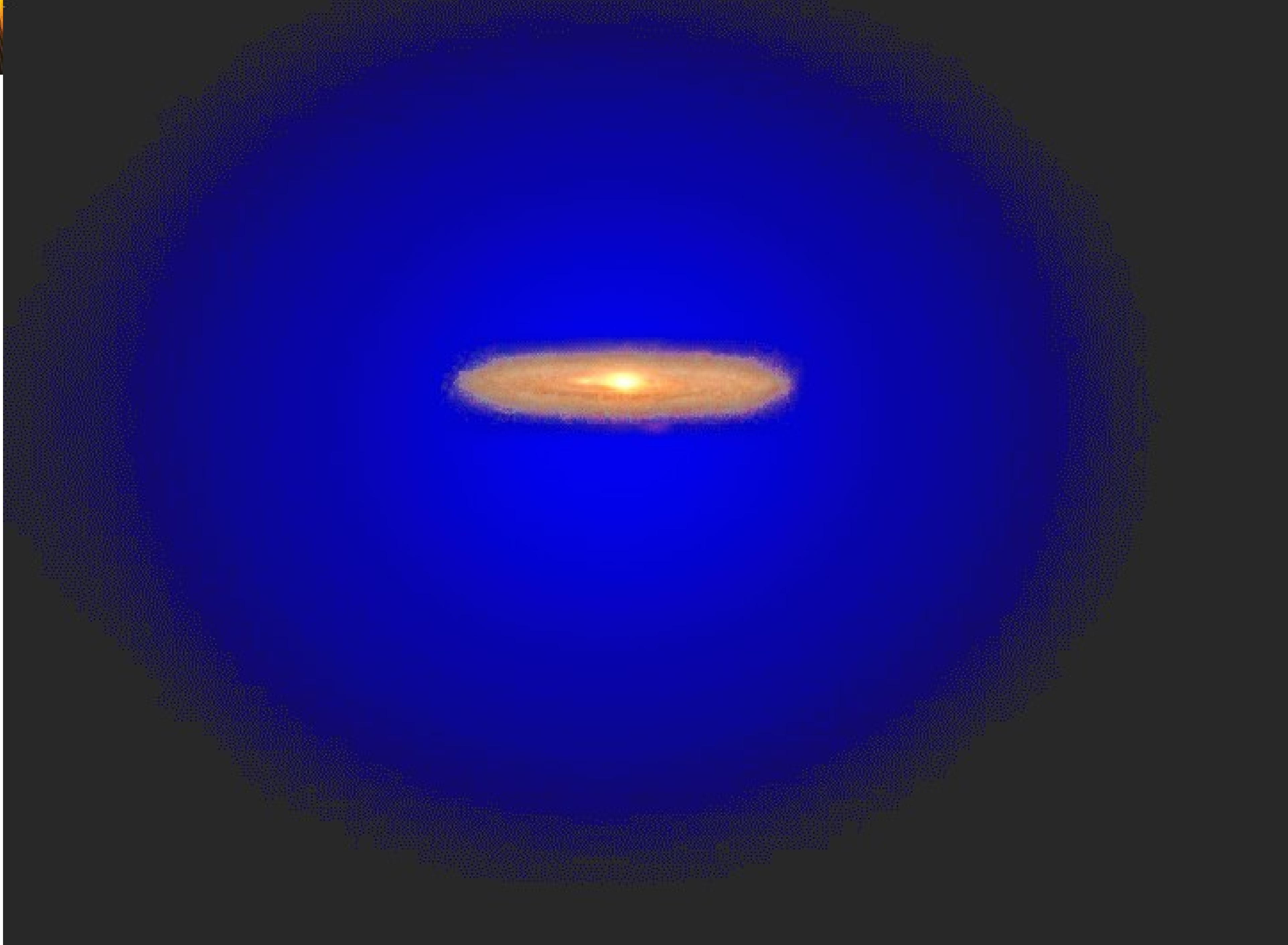
$$M = \frac{(250\,\mathrm{km/s})^2\, 50\,\mathrm{kpc}}{G} \simeq 8\times 10^{11} M_{\odot}$$

- Pero según Tully-Fisher, $M_{vis} \simeq 10^{10} M_{\odot}$

La masa galáctica es ~10-100 veces la masa observada

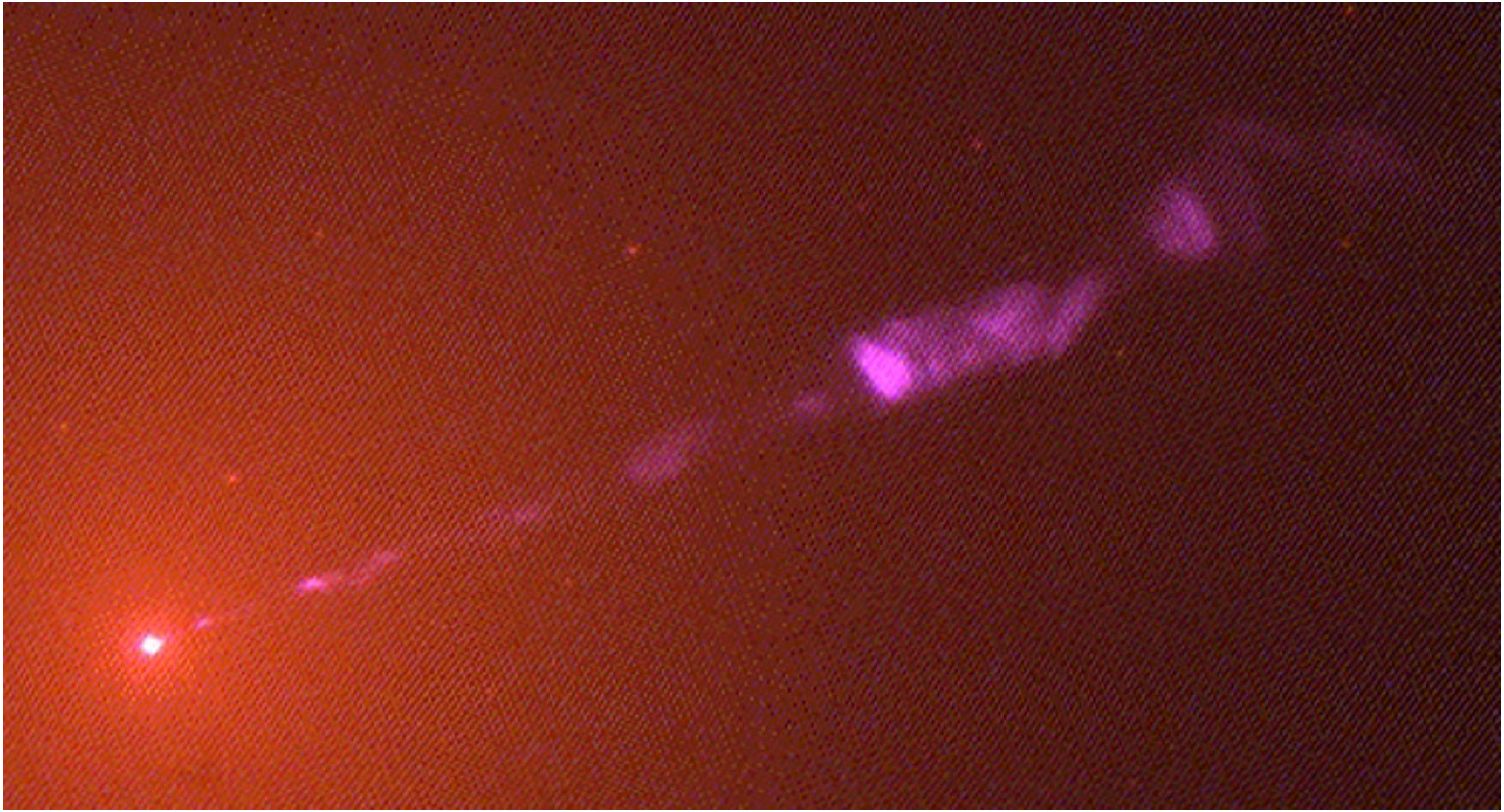
El tamaño galáctico es ~10-100 veces el radio observado

El “halo” de materia oscura



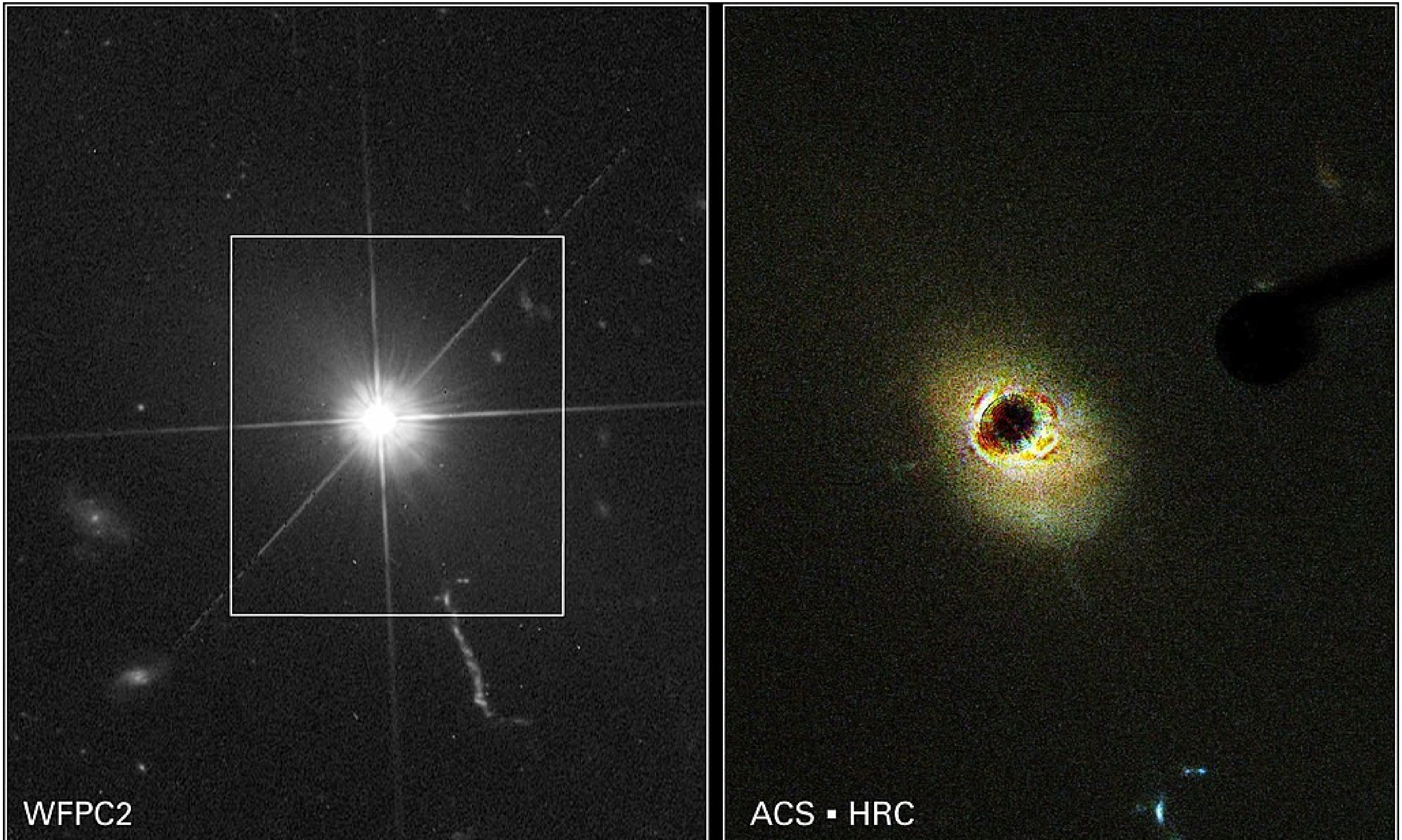
Galaxias de Núcleos Activos (AGN)

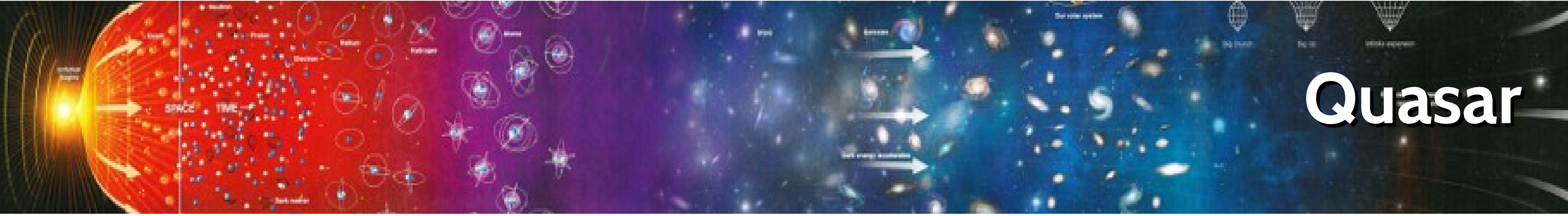
Jet en M87, una galaxia elíptica en Virgo A (Vir A)



Quasar (quasi stellar radio source)

3C 273 (https://en.wikipedia.org/wiki/3C_273)





Quasar

- Objeto puntual pero que presenta corrimientos al rojo muy grandes ($z > 1$)
  - Si $z = 1 \rightarrow d \sim 4000$ Mpc.
  - $L \sim 10^{38}$ -10^{41} W ($1 - 1000\ L_{VL}$)
  - Pero son puntuales → pequeños → $r \sim 10^{-3}$ pc
- Luego $$GM \simeq \frac{L}{4\pi c} \rightarrow M \simeq \frac{L}{4\pi c G} \rightarrow 10^{8} < M/M_{\odot} < 10^{10}$$
- Radio de Schwarzchild

$$R_S = \frac{2GM}{c^2} \rightarrow 3 \times 10^{11}\,\mathrm{m} < R_S < 3 \times 10^{13}\,\mathrm{m}$$

Quasar

emisión ~ 1 galaxia en un objeto muy pequeño

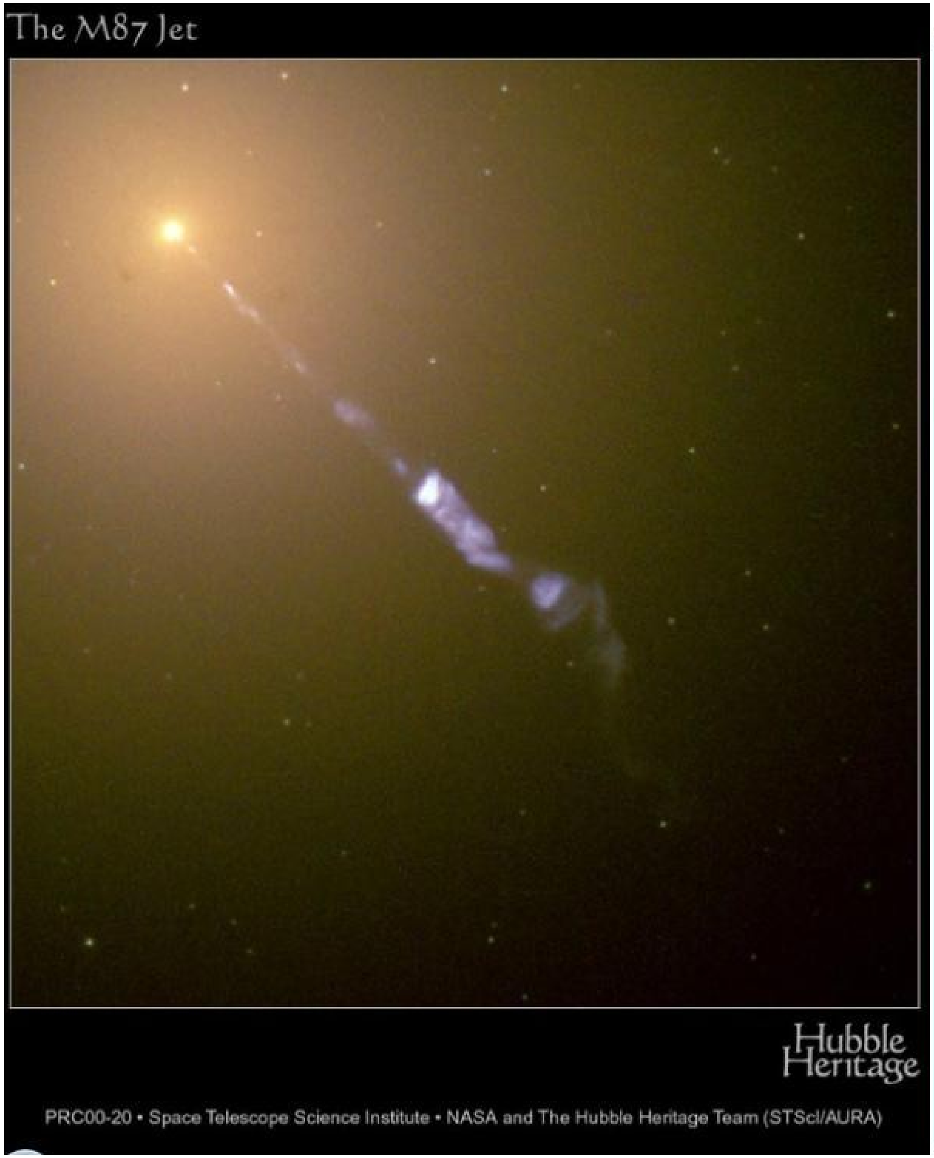
- Objeto puntual pero que presenta corrimientos al rojo muy grandes ($z > 1$)
  - Si $z = 1 \rightarrow d \sim 4000$ Mpc.
  - $L \sim 10^{38}$ -10^{41} W $\rightarrow$ **$1 < L/L_{VL} < 1000$**
  - Pero son puntuales → pequeños → $r \sim 10^{-3}$ pc
- Luego

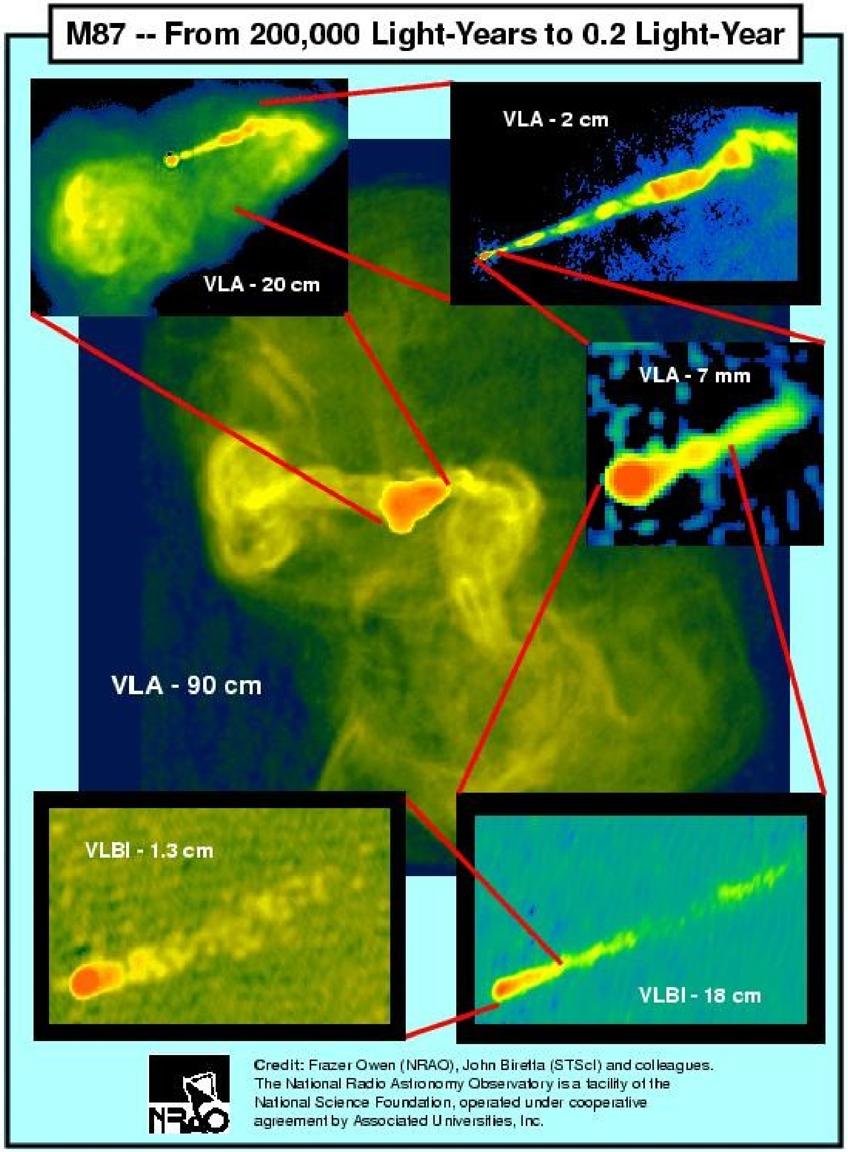
$$GM \simeq \frac{L}{4\pi c} \rightarrow M \simeq \frac{L}{4\pi c G} \rightarrow 10^{8} < M/M_{\odot} < 10^{10}$$

- Radio de Schwarzchild

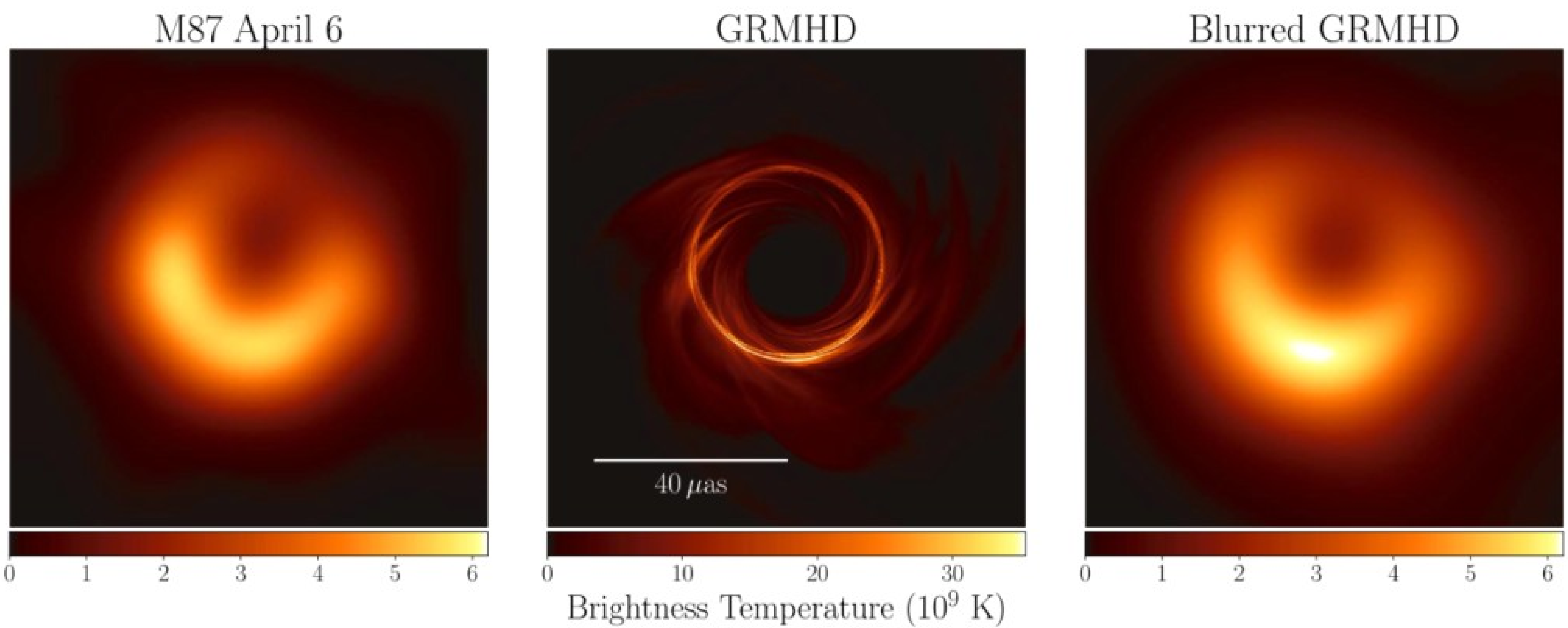
$$R_{SCH} = \frac{2GM}{c^2} \rightarrow 3\times10^{11}\,\mathrm{m} < R_{SCH} < 3\times10^{13}\,\mathrm{m} \rightarrow \mathbf{2\,UA < R_{SCH} < 200\,UA}$$

El chorro de M87 se origina a 5.5 R_{SCH} del centro



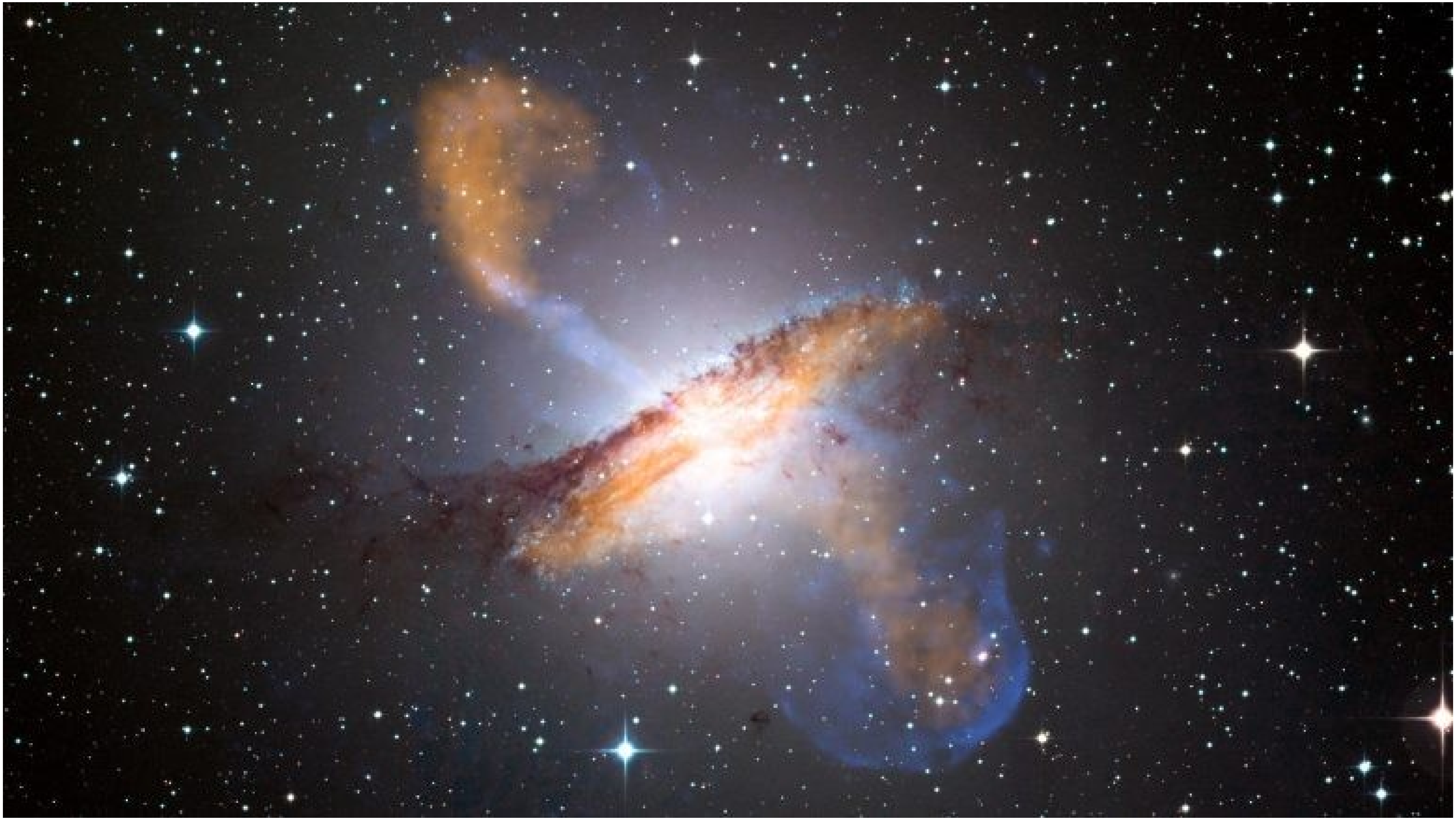


El agujero negro en central en M87 → M87*
Agujero negro supermasivo→ M~7x10⁹ $M_\odot$

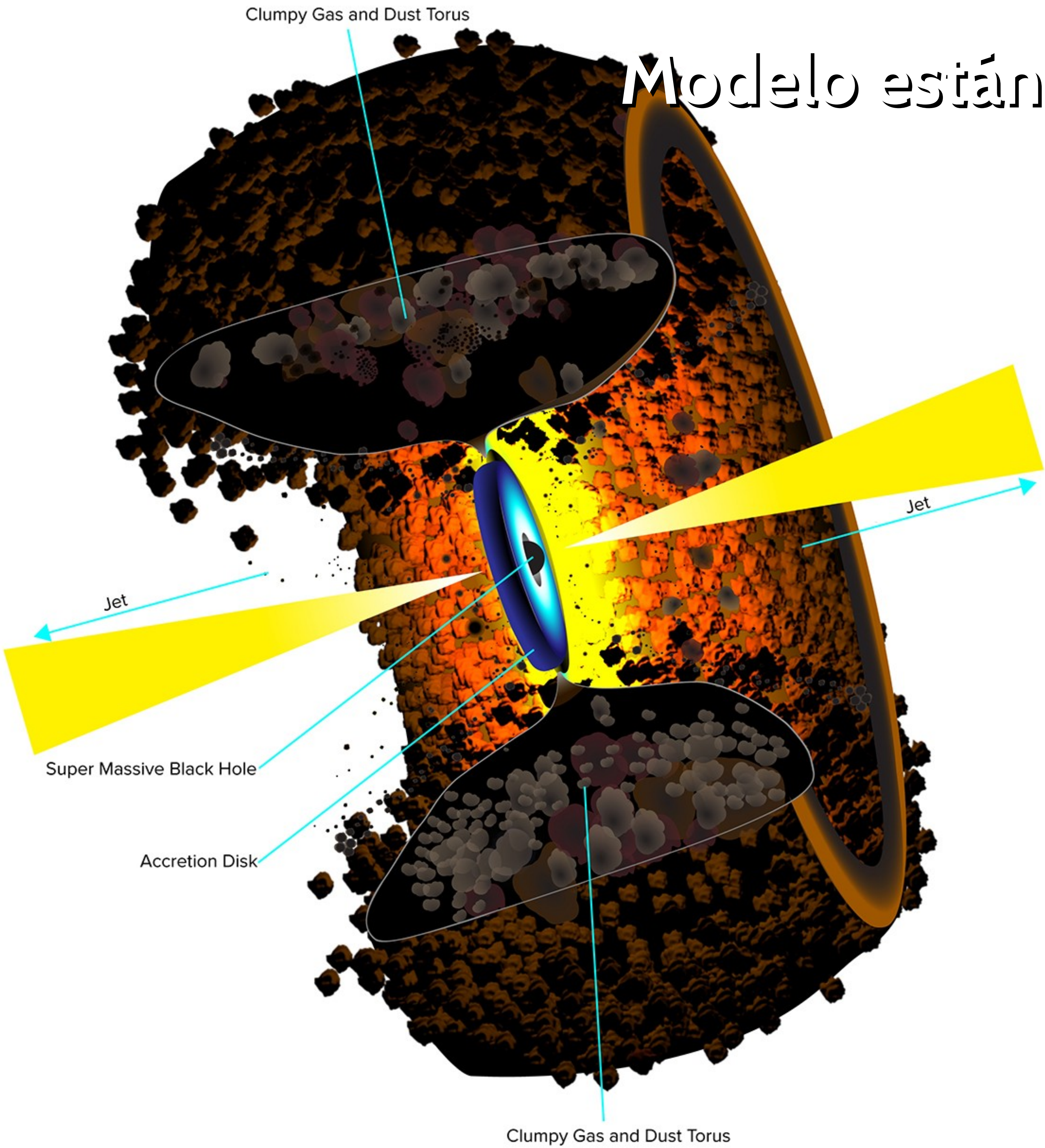


Galaxias de núcleos activos (NGC 5128 Cen A)

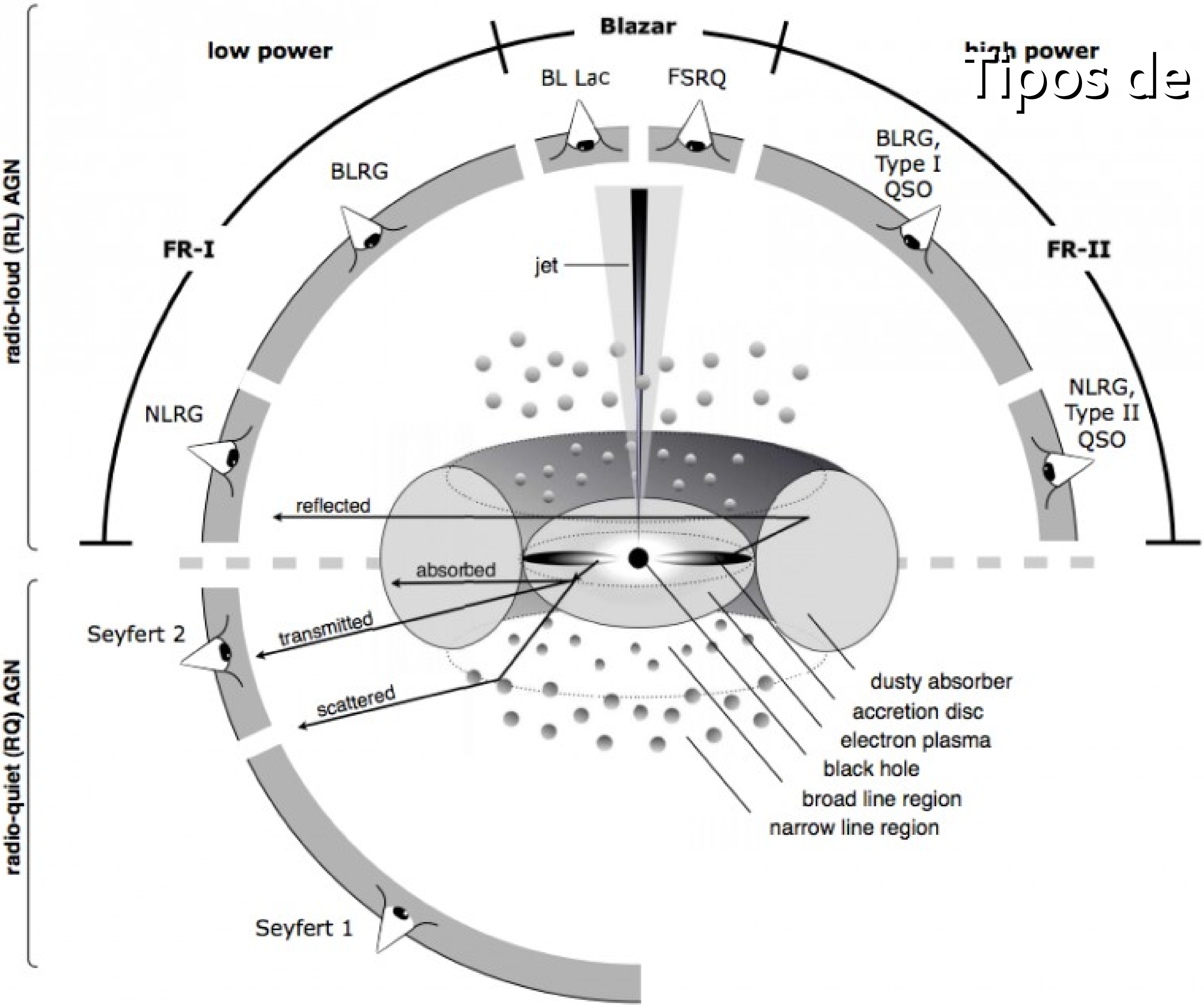
CenA* → M ~ 5,5 x 10^6 M_o.



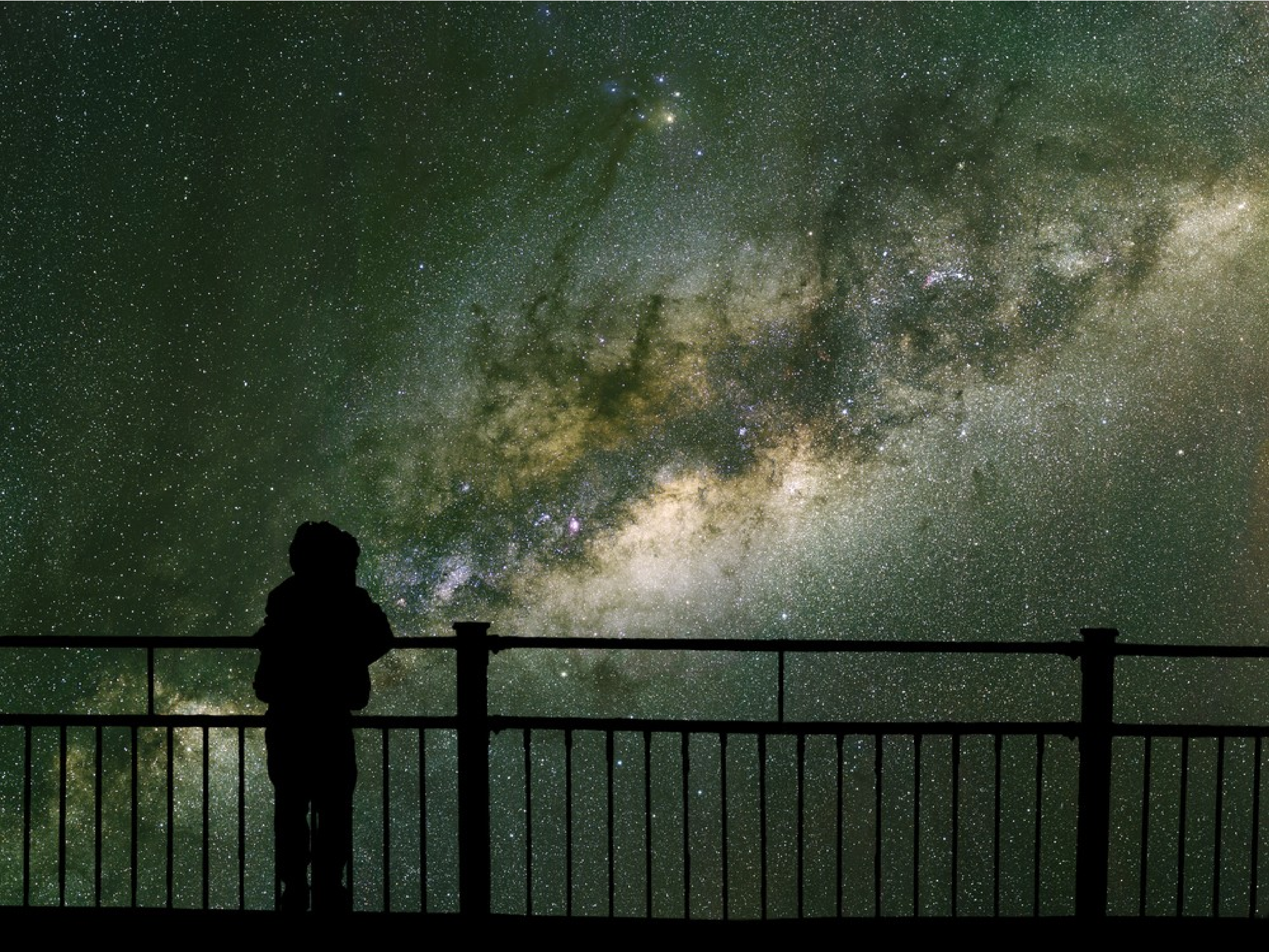
Modelo estándar de los AGN



Tipos de AGN

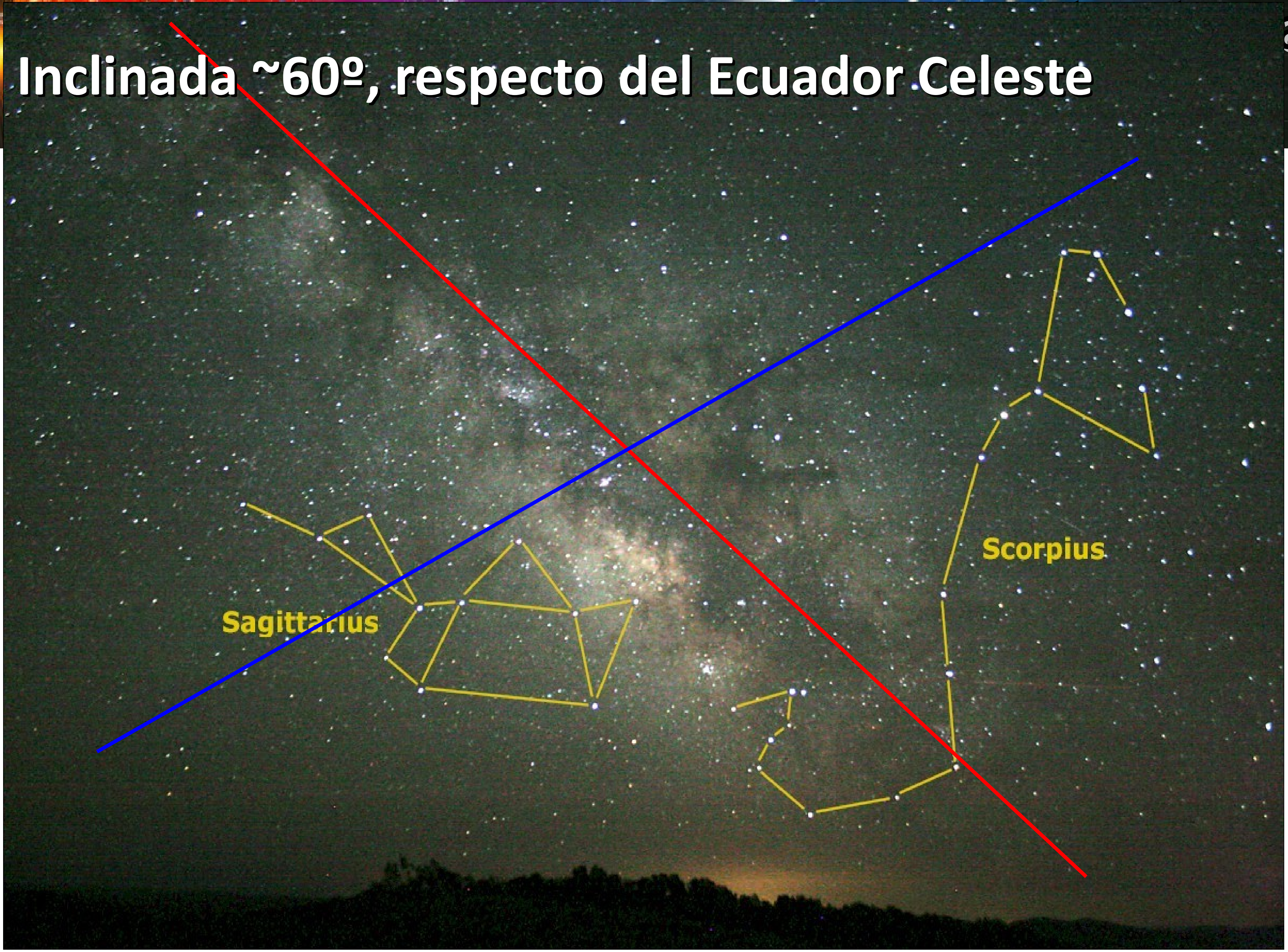

Blazar
low power
high power
BL Lac
FSRQ
BLRG
BLRG,
Type I
QSO
FR-I
FR-II
jet
NLRG
NLRG,
Type II
QSO
reflected
absorbed
transmitted
scattered
Seyfert 2
Seyfert 1
dusty absorber
accretion disc
electron plasma
black hole
broad line region
narrow line region
radio-loud (RL) AGN
radio-quiet (RQ) AGN

La Vía Láctea

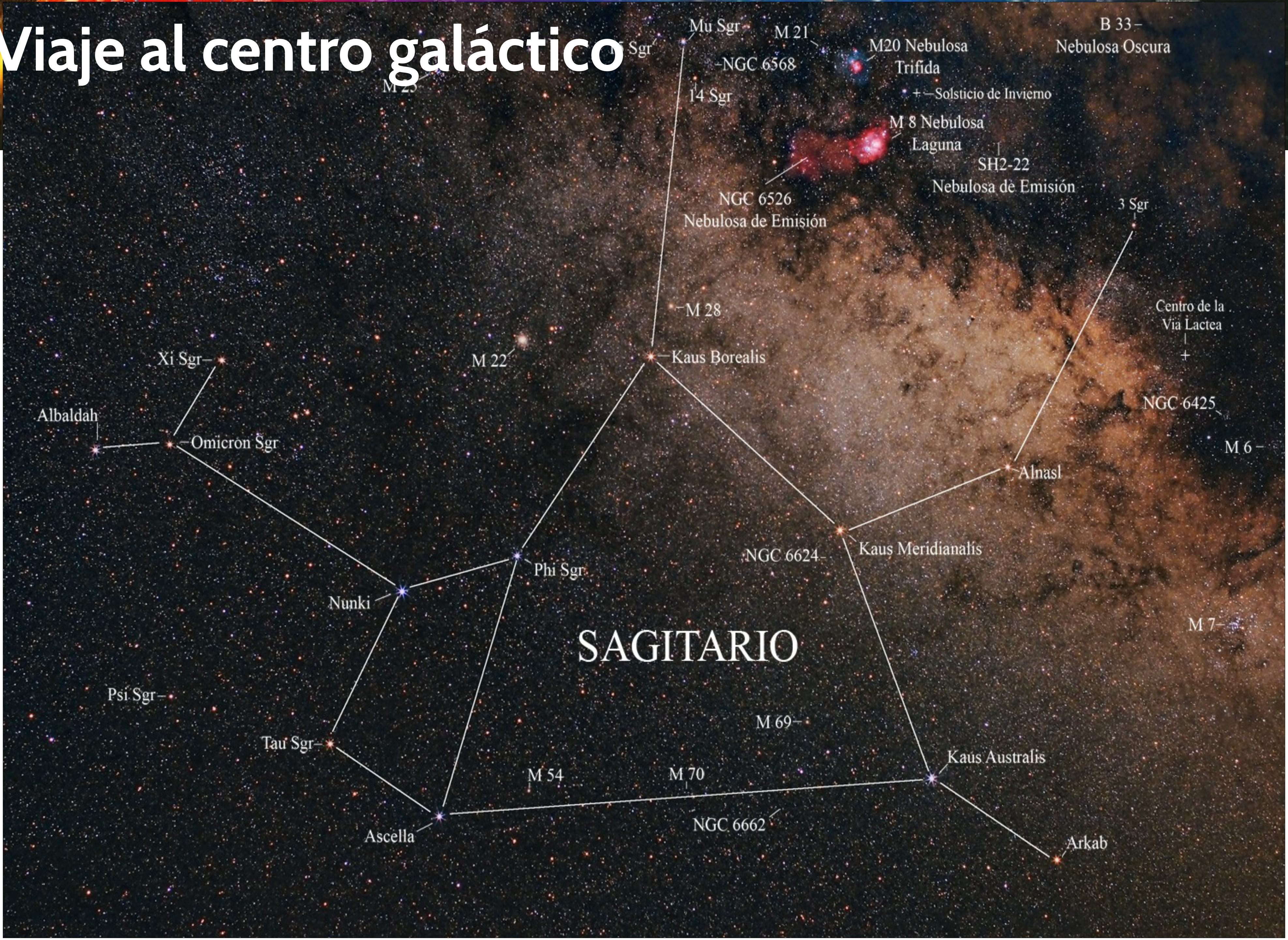


La Vía Láctea desde Cerro Paranal

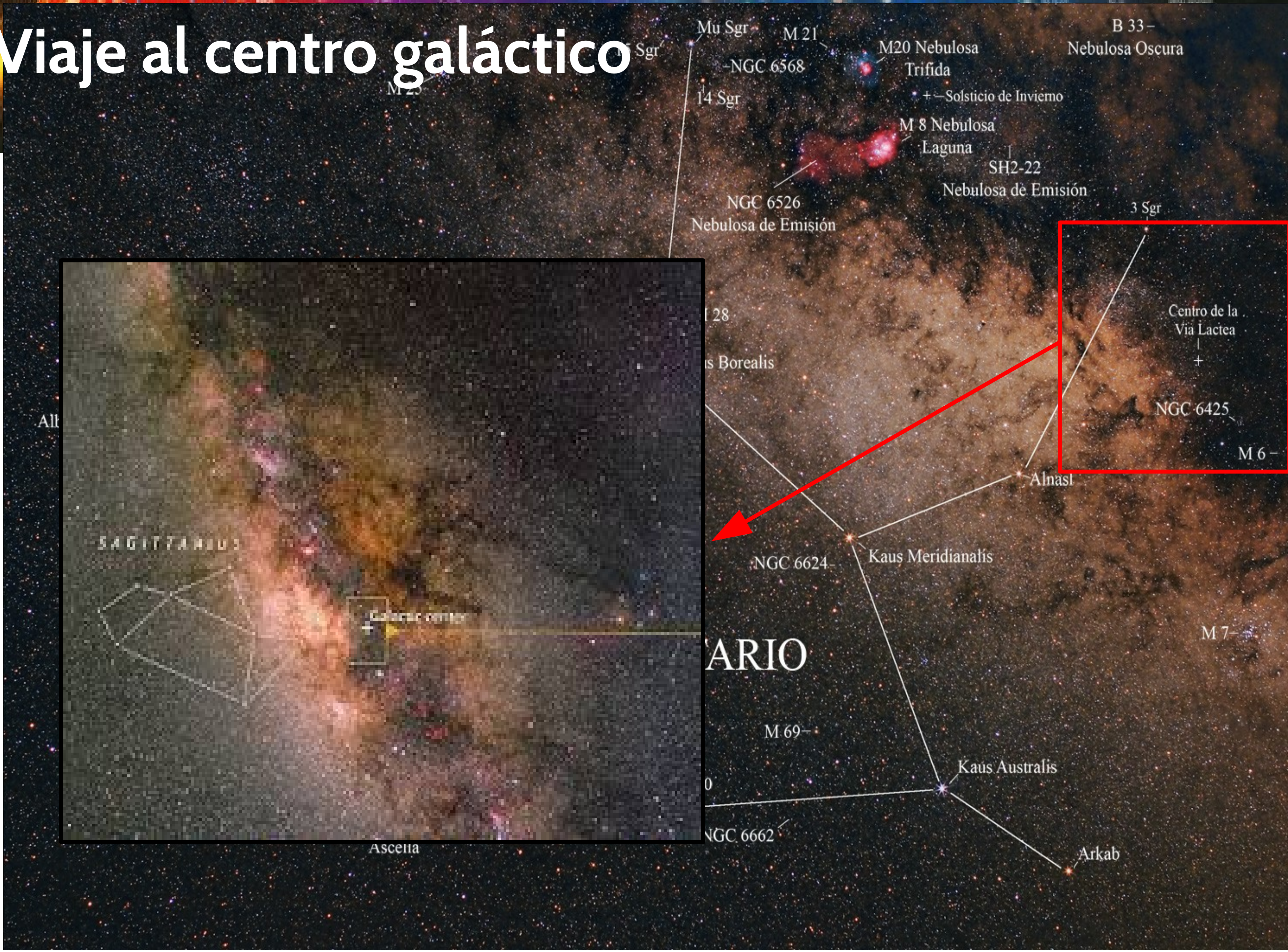
Inclinada ~60º, respecto del Ecuador Celeste



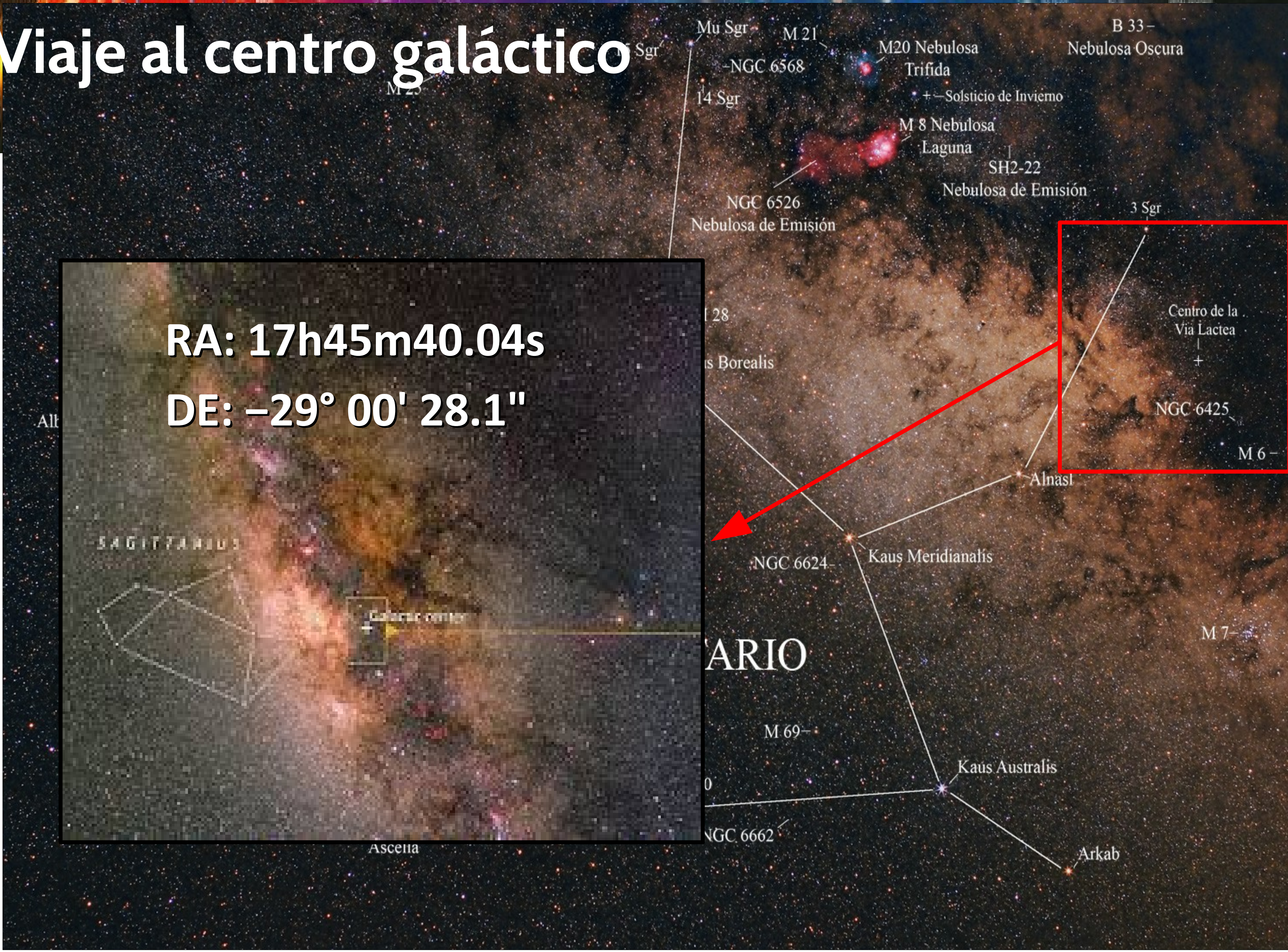
Viaje al centro galáctico



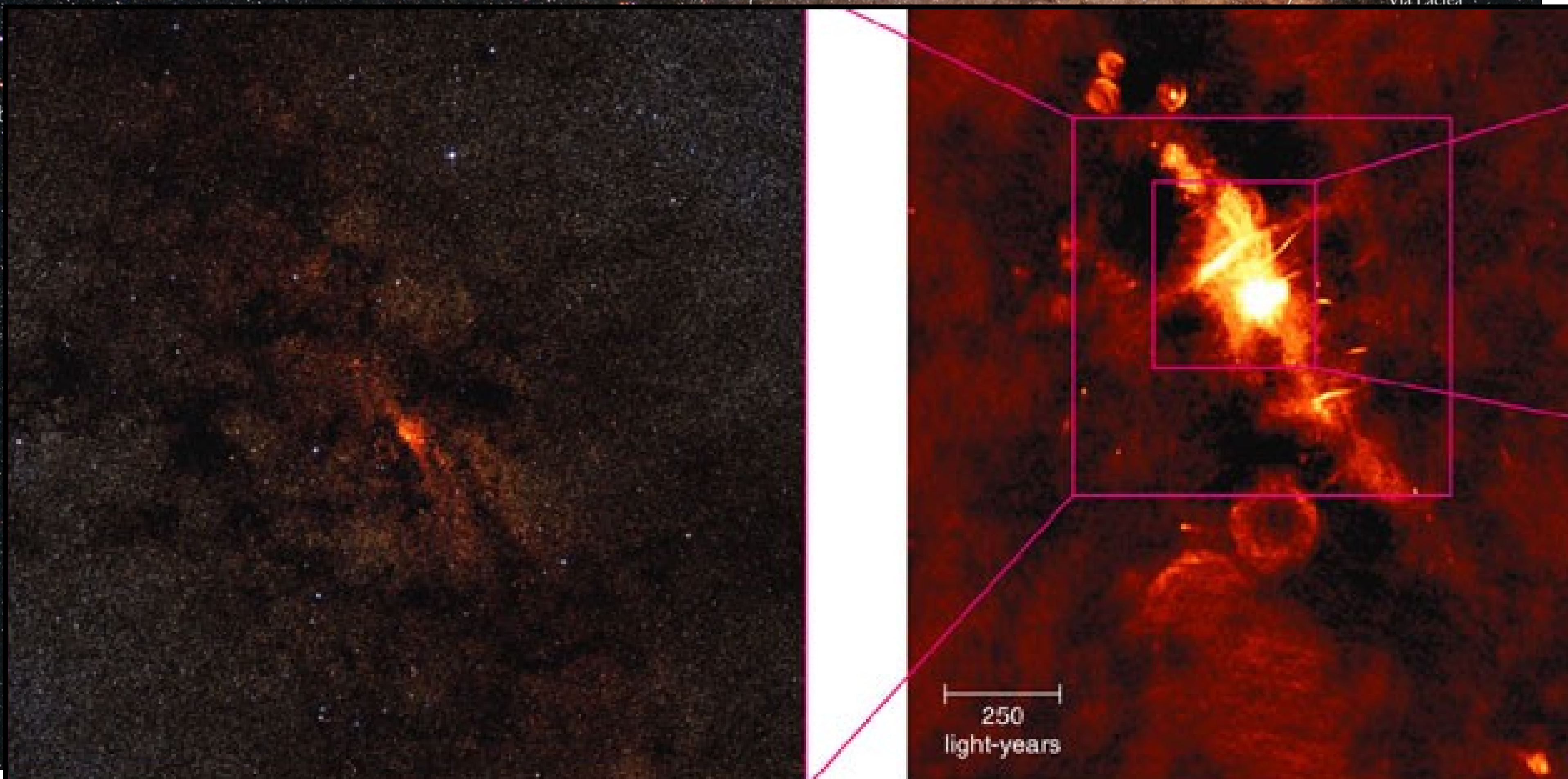
Viaje al centro galáctico



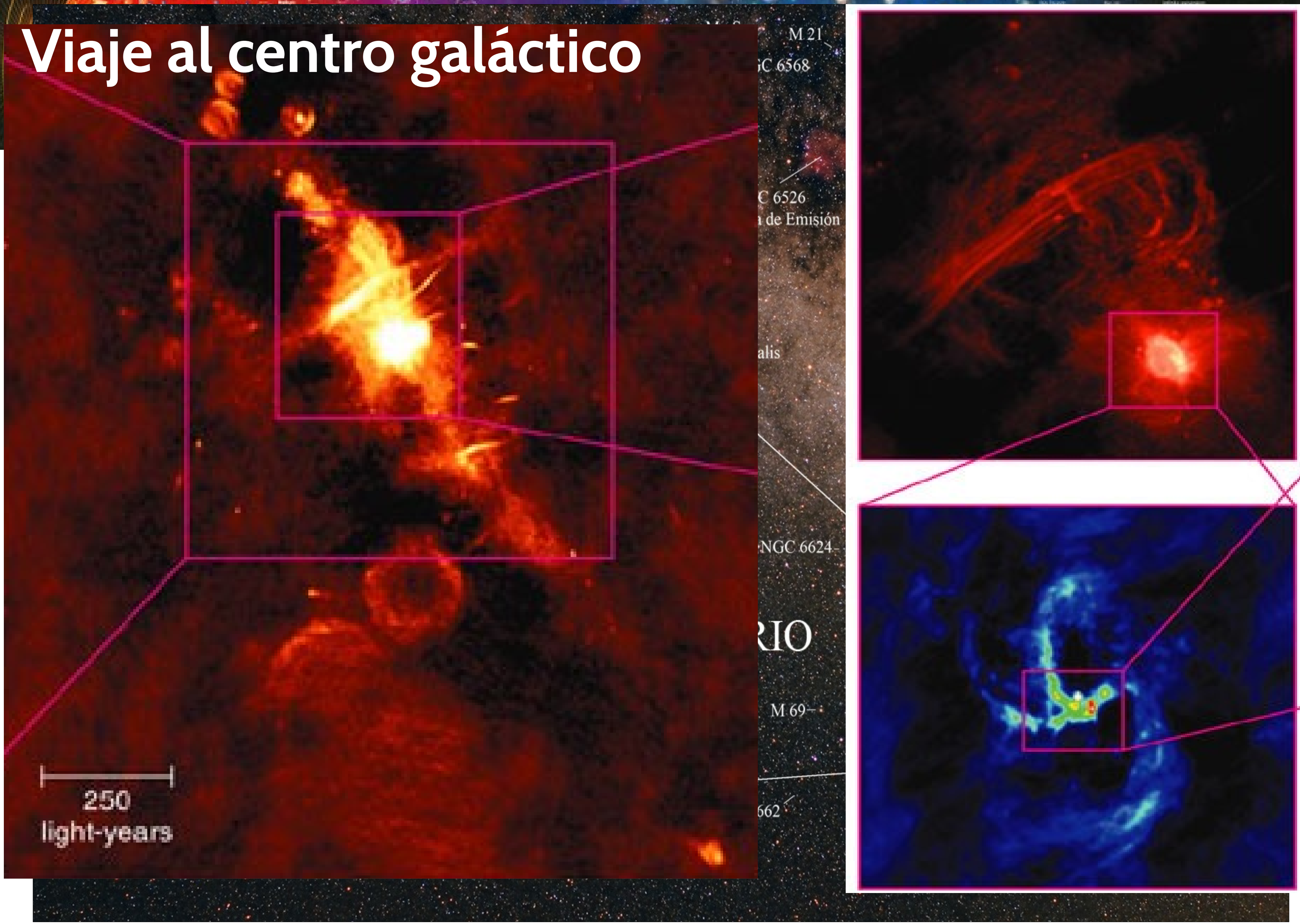
Viaje al centro galáctico



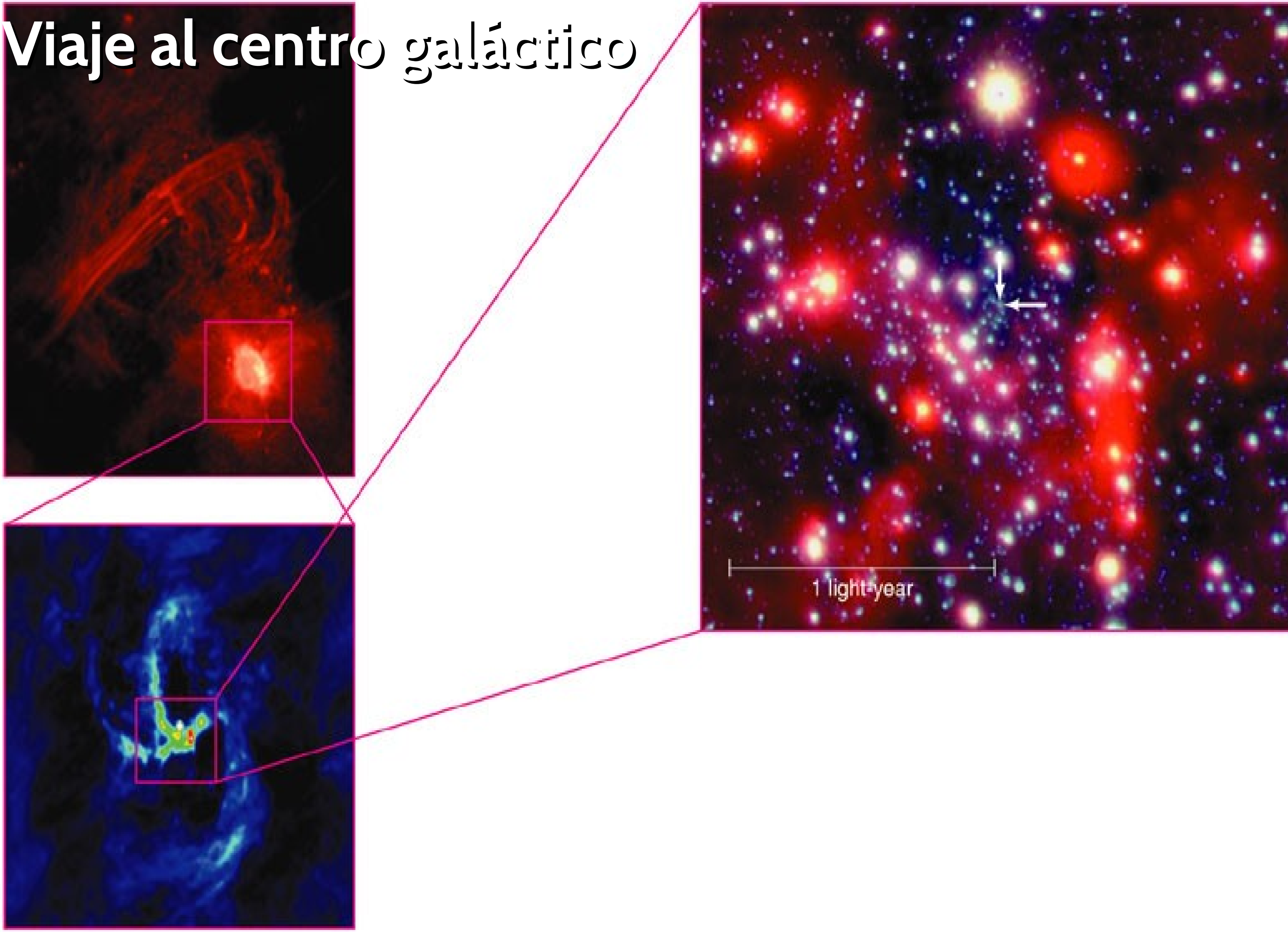
Viaje al centro galáctico



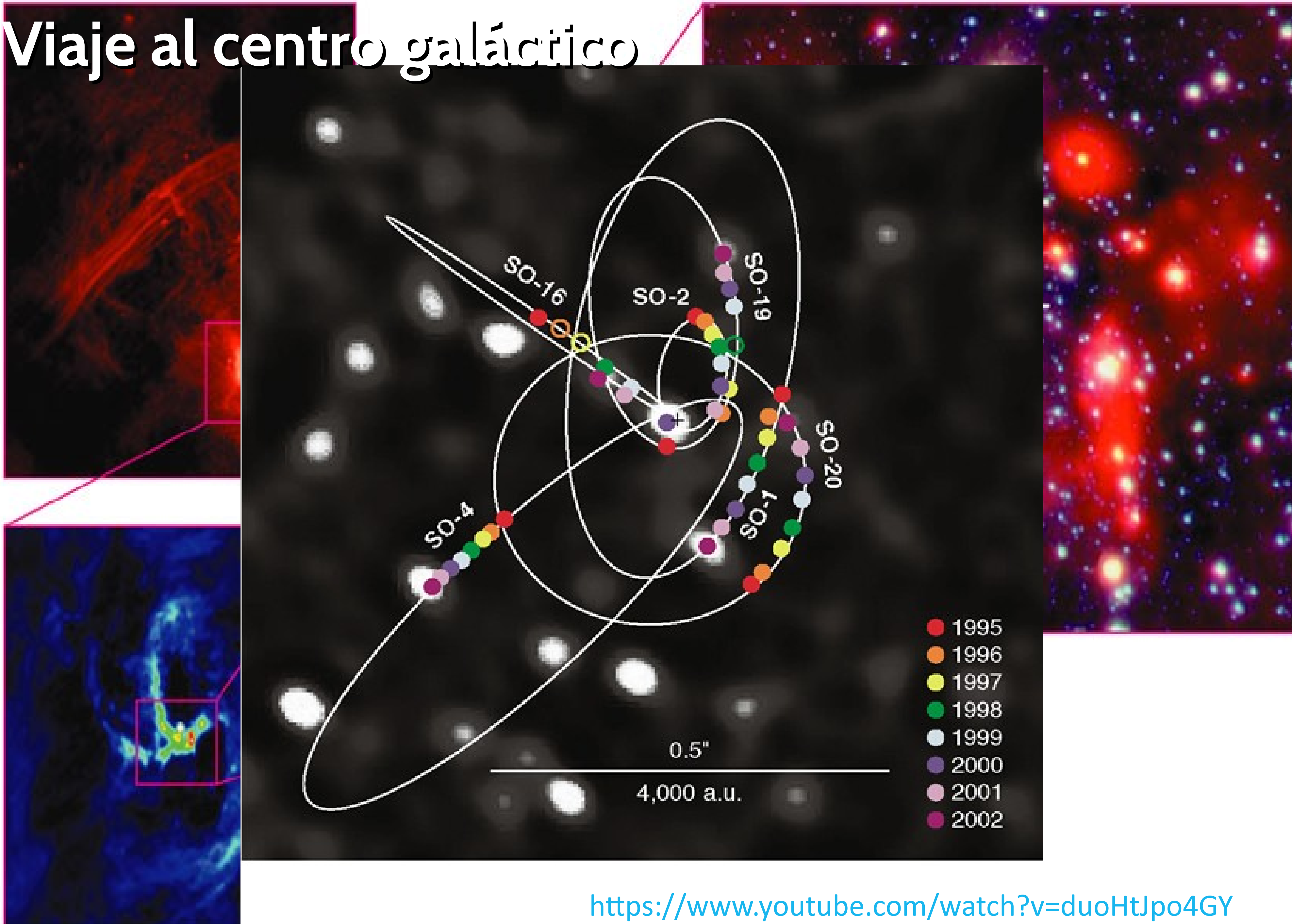
Viaje al centro galáctico



Viaje al centro galáctico



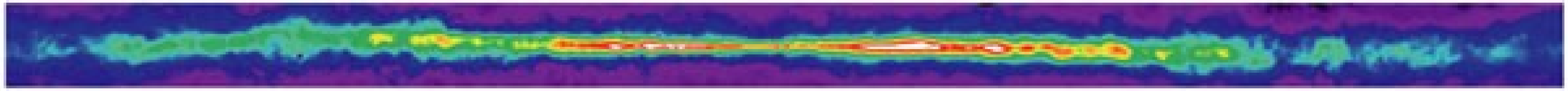
Viaje al centro galáctico



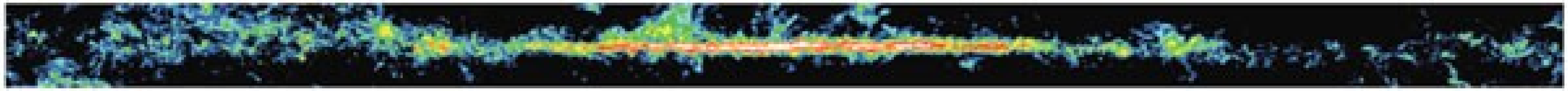
https://www.youtube.com/watch?v=duoHtJpo4GY

El agujero negro central

Observations with the VLT

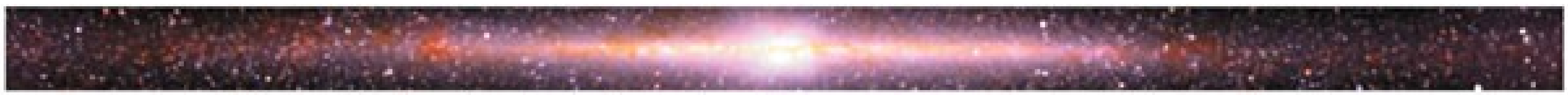


a 21-cm radio emission from atomic hydrogen gas.

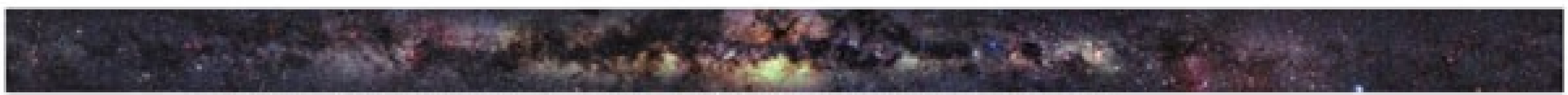


b Radio emission from carbon monoxide reveals molecular clouds.

c Infrared (60–100 μm) emission from interstellar dust.

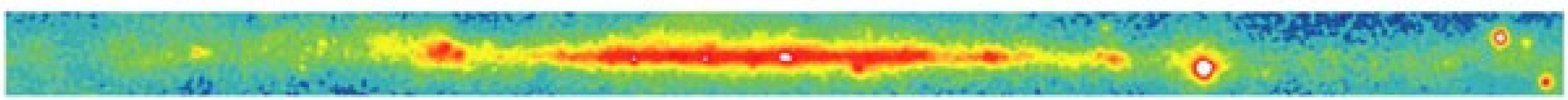


d Infrared (1–4 μm) emission from stars that penetrates most interstellar material.



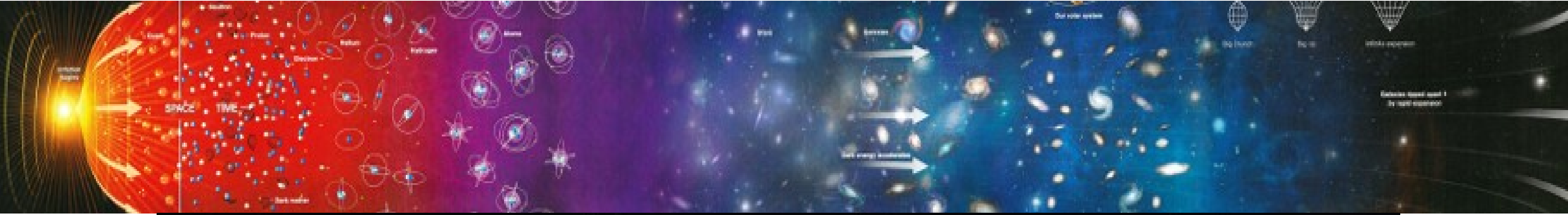
e Visible light emitted by stars is scattered and absorbed by dust.

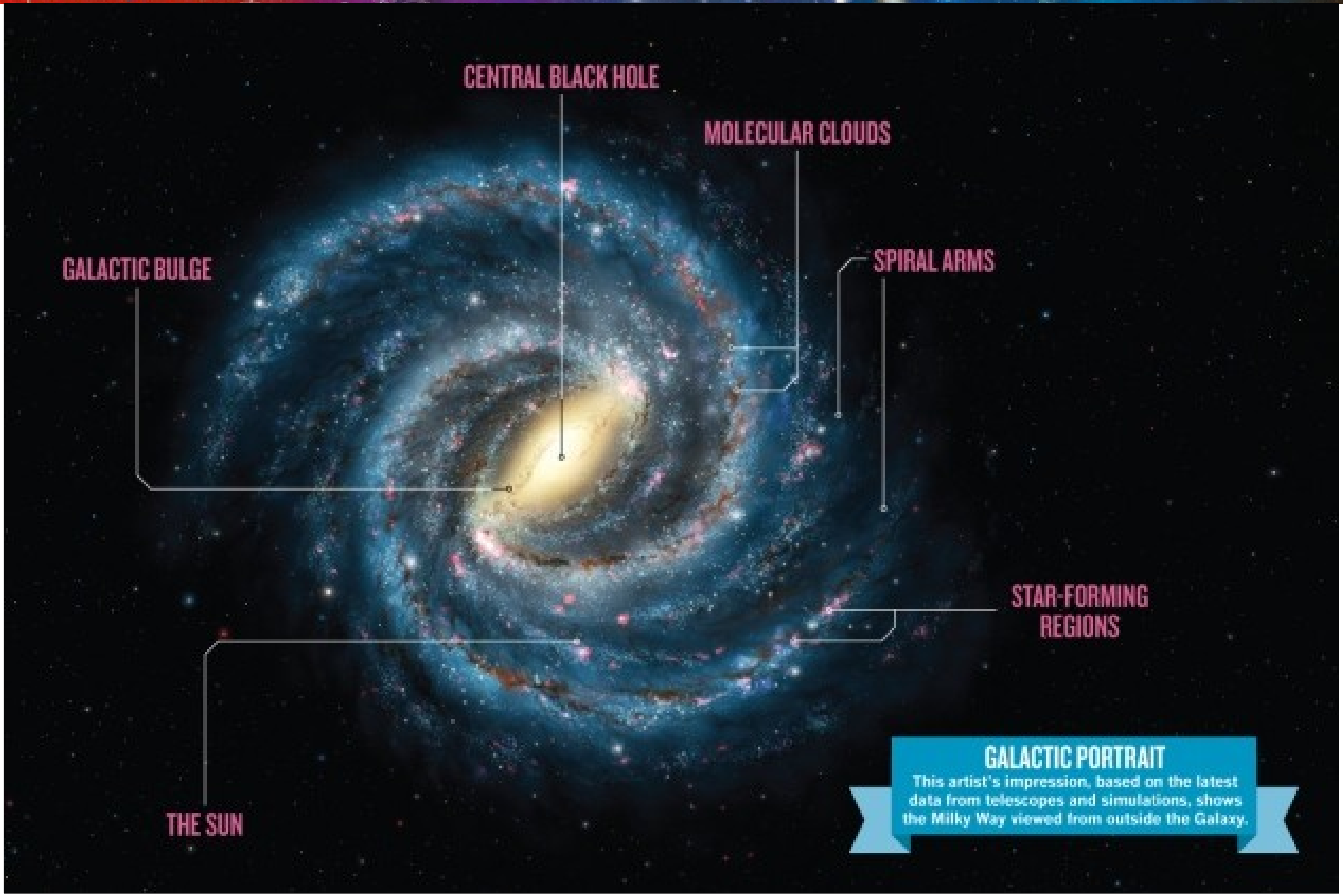
f X-ray emission from hot gas bubbles (diffuse blobs) and X-ray binaries (pointlike sources).



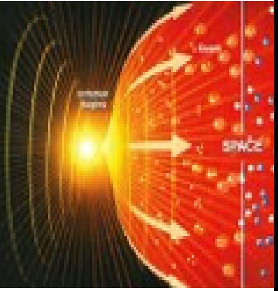
g Gamma-ray emission from collisions of cosmic rays with atomic nuclei in interstellar clouds.

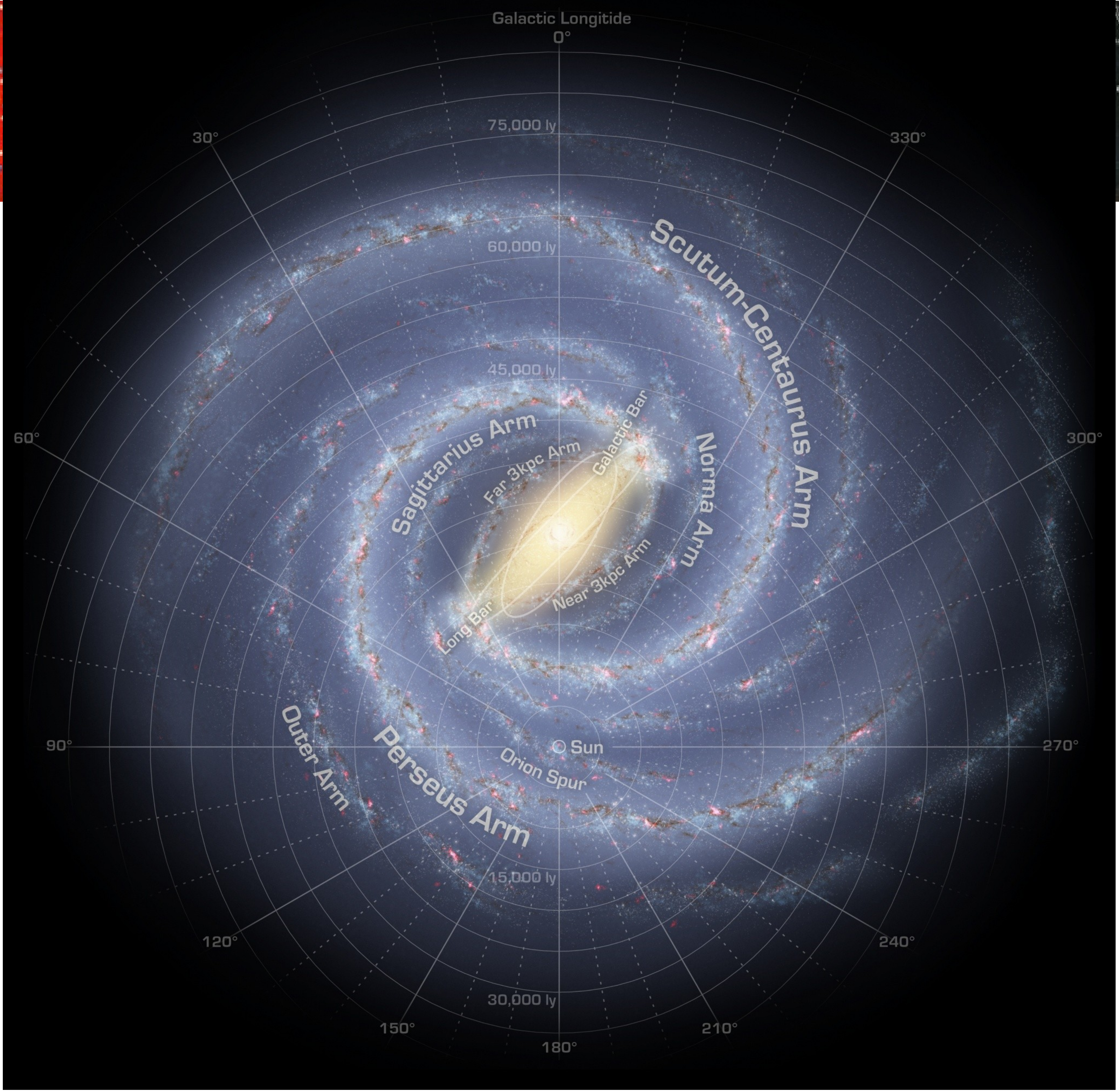
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Infrared-visible_light_comparison_of_VISTA's_gigapixel_view_of_the_centre_of_the_Milky_Way.ogv



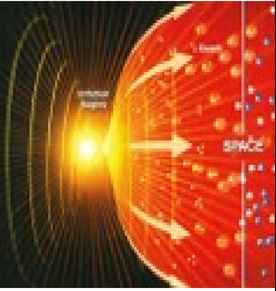


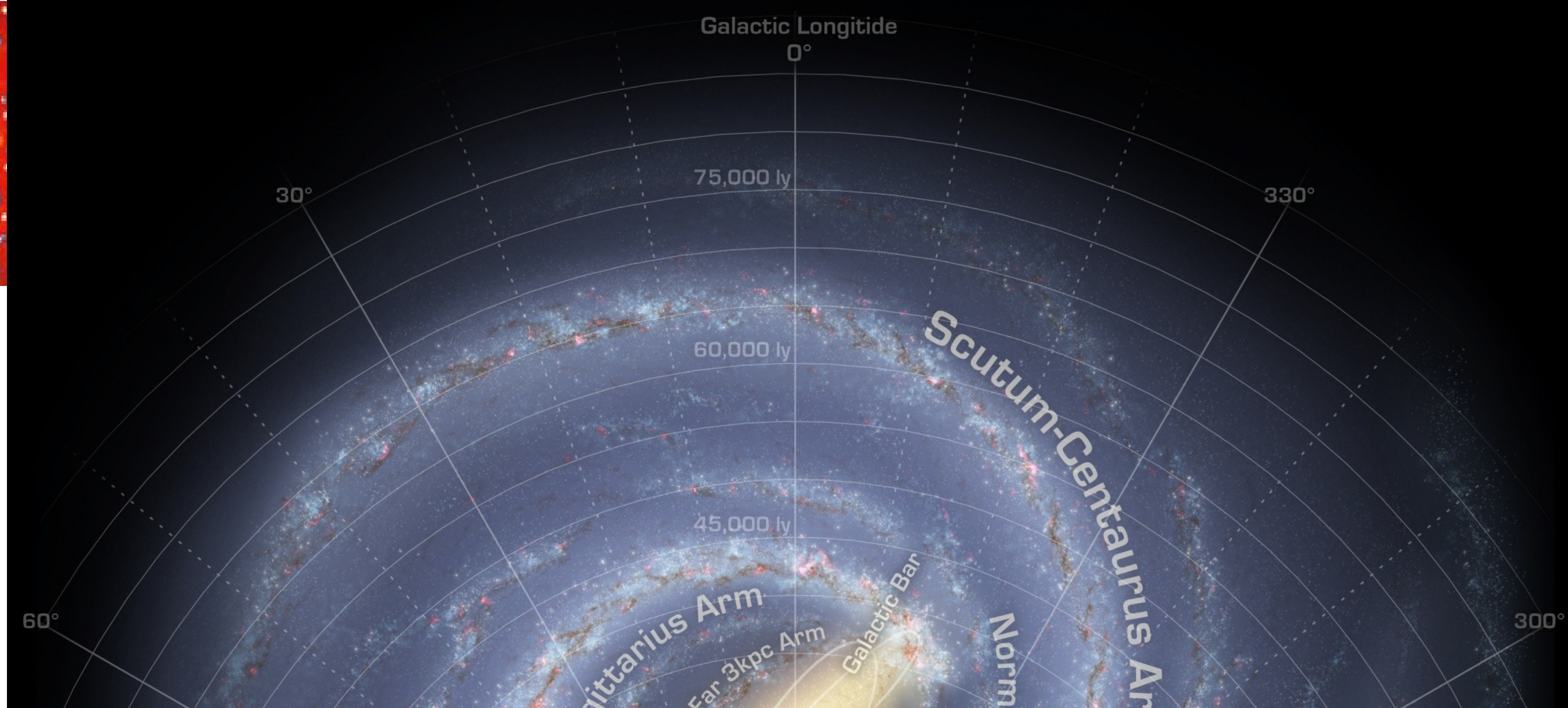
http://www.nature.com/news/galaxy-formation-the-new-milky-way-1.11517#/mw1

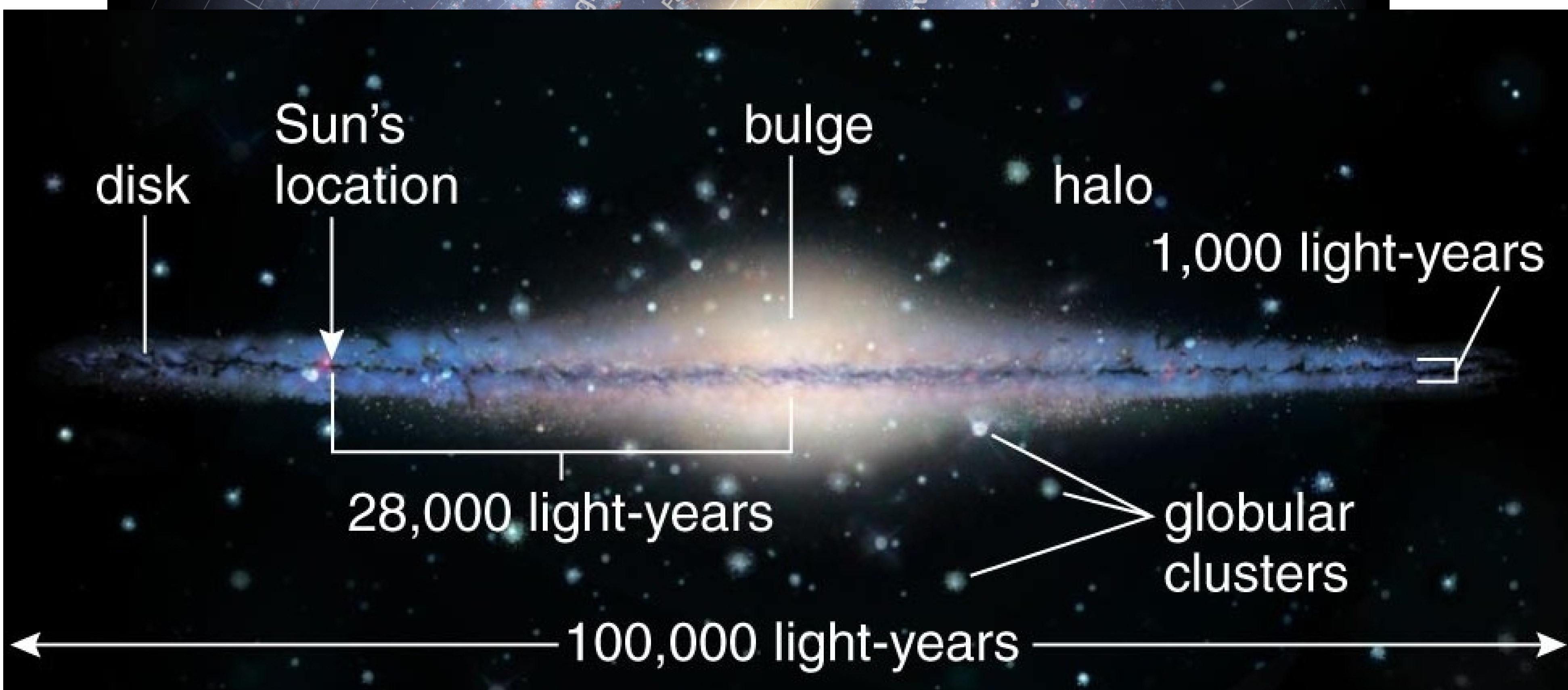


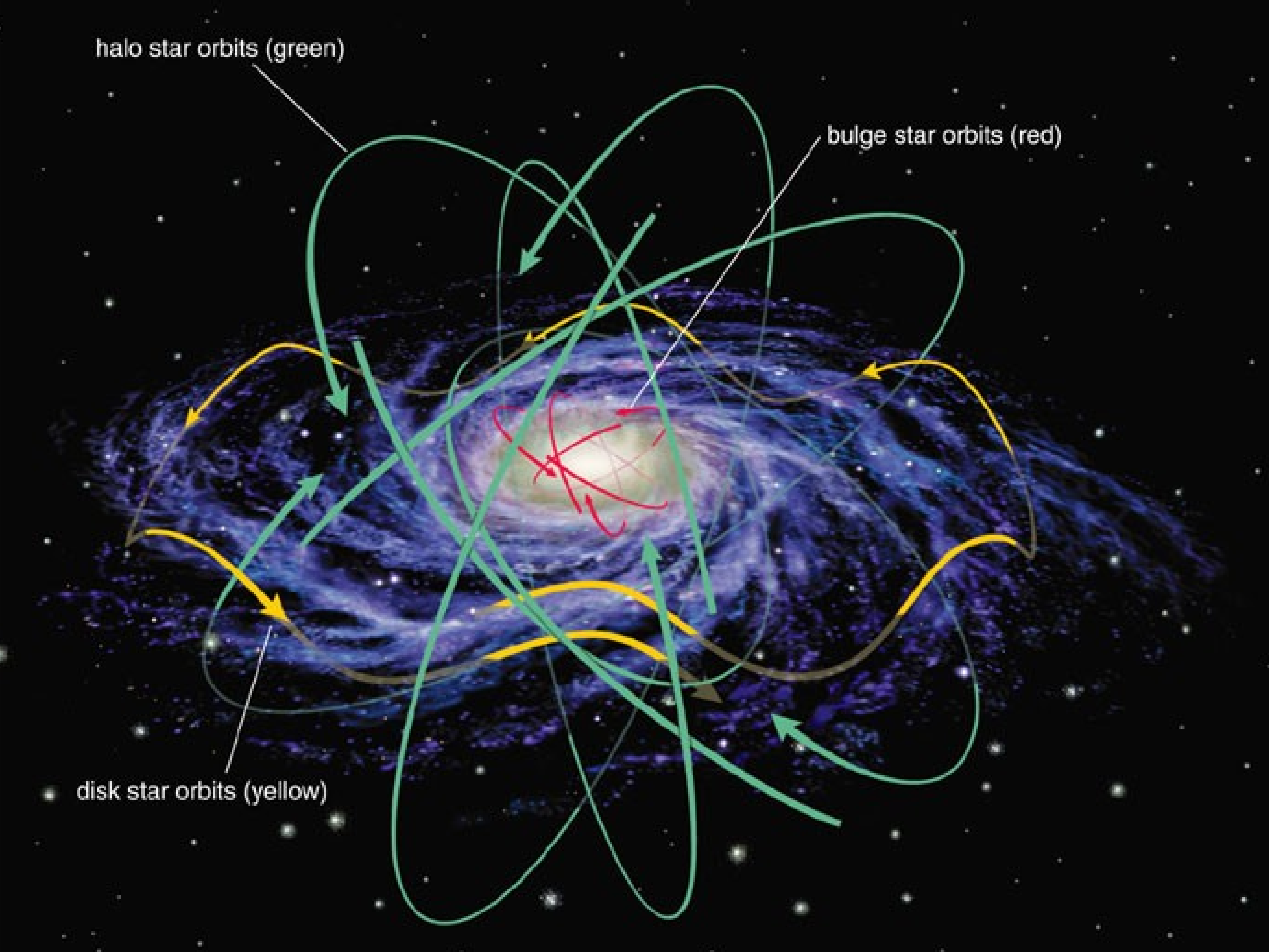


Galactic Longitide
0°
75,000 ly
30°
330°
60,000 ly
Scutum-Centaurus Arm
45,000 ly
Galactic Bar
Sagittarius Arm
Far 3kpc Arm
Norma Arm
60°
300°
Near 3kpc Arm
Long Bar
Outer Arm
Perseus Arm
90°
Sun
270°
Orion Spur
15,000 ly
120°
240°
30,000 ly
150°
210°
180°

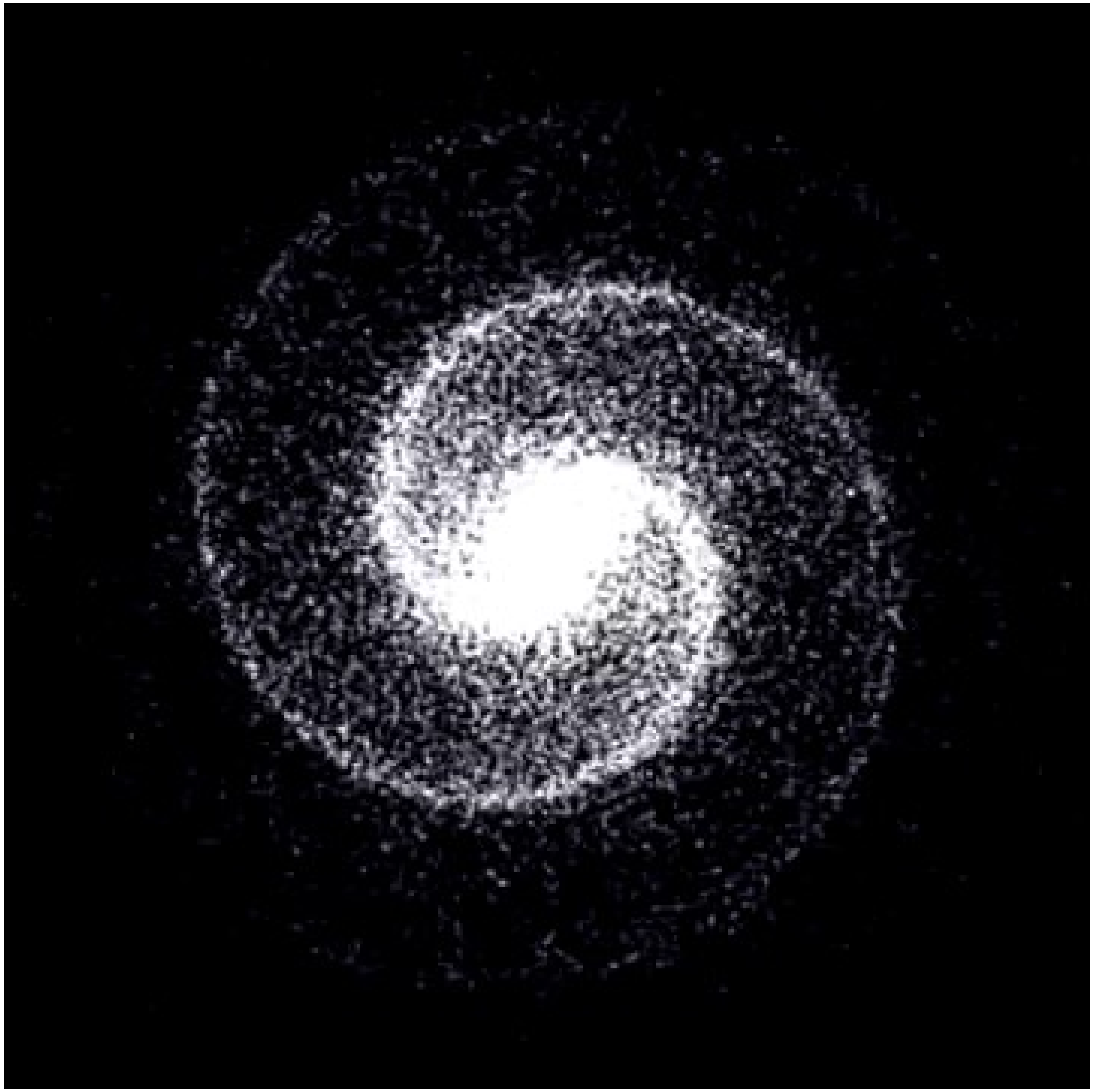



Galactic Longitide
0°
30°
330°
60°
300°
75,000 ly
60,000 ly
45,000 ly
Scutum-Centaurus Ar
gittarius Arm
Far 3kpc Arm
Galactic Bar
Norm


disk
Sun's location
bulge
halo
1,000 light-years
28,000 light-years
globular clusters
100,000 light-years


halo star orbits (green)
bulge star orbits (red)
disk star orbits (yellow)

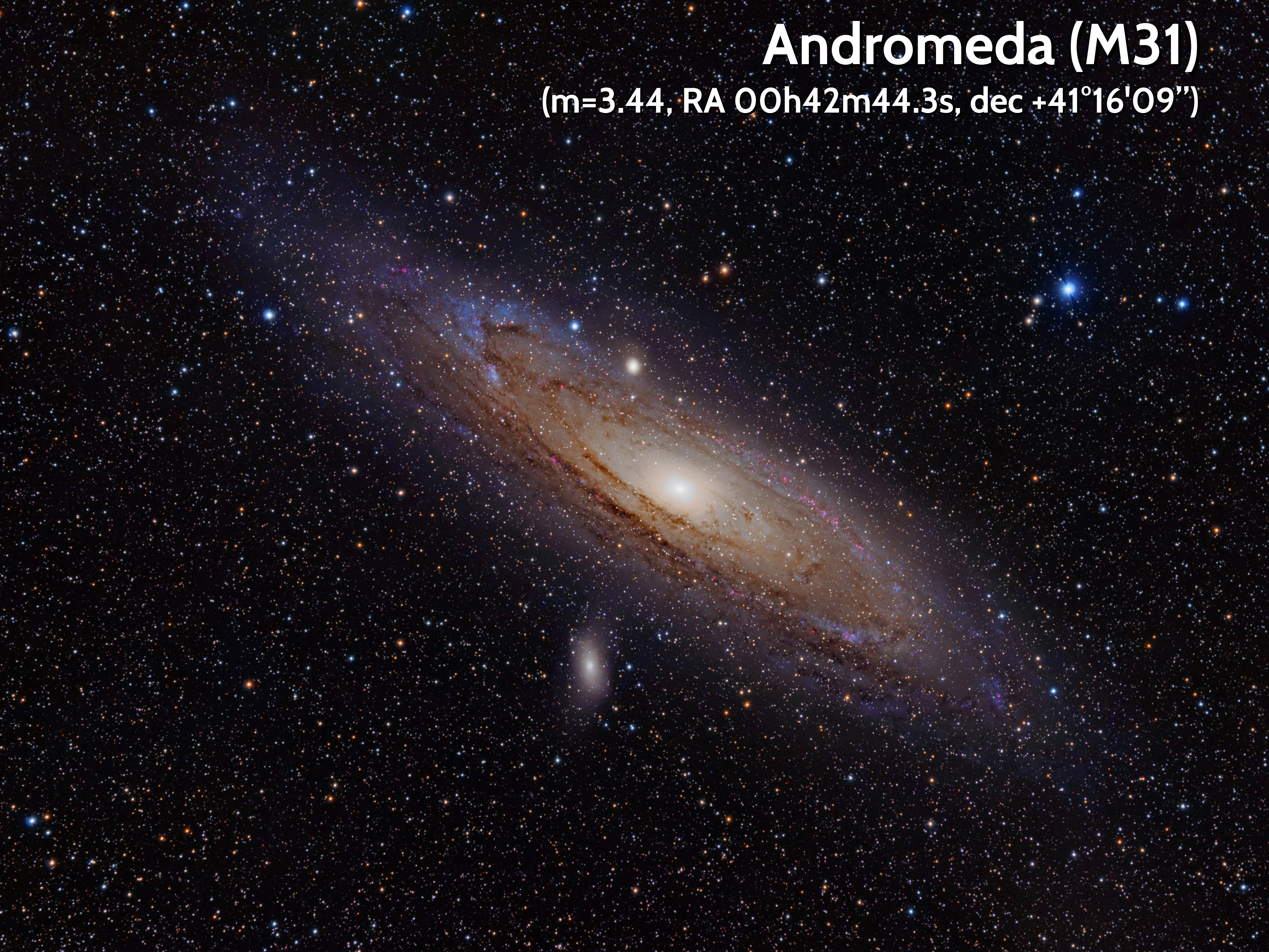
Brazos espirales → atracción entre vecinos



Si Andrómeda fuera más brillante...

Andromeda (M31)

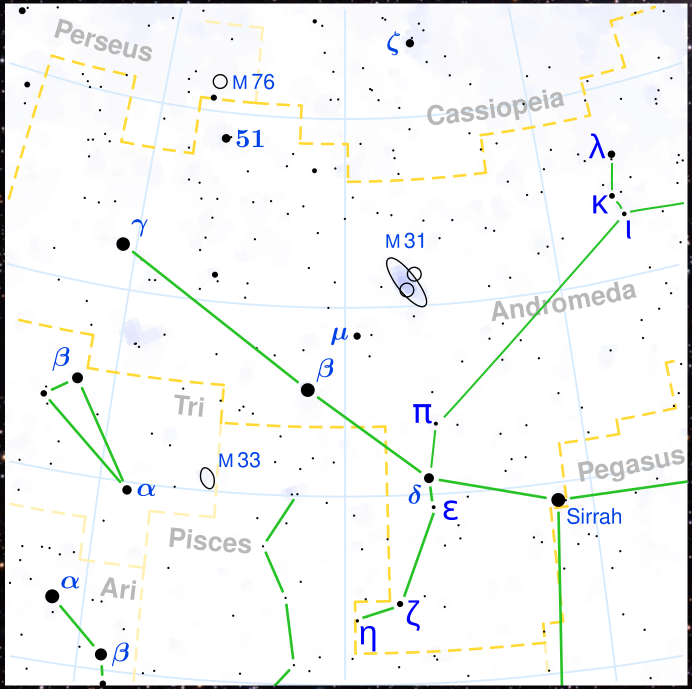
(m=3.44, RA 00h42m44.3s, dec +41°16'09")



Andromeda (M31)

(m=3.44, RA 00h42m44.3s, dec +41°16'09")

- Ubicada a 780 kpc
- Visible con binoculares (noches sin luna y oscuras a simple vista como una mancha borrosa)
- Es la galaxia más masiva del Grupo Local: $1.5 \times 10^{12}\ M_S$



Un viaje hacia los confines del Universo...

La Vía Láctea

- No dejen de ver este video:

  https://www.youtube.com/watch?v=Z3xkHmC-KQE
- Con música de Nigel Stanford,

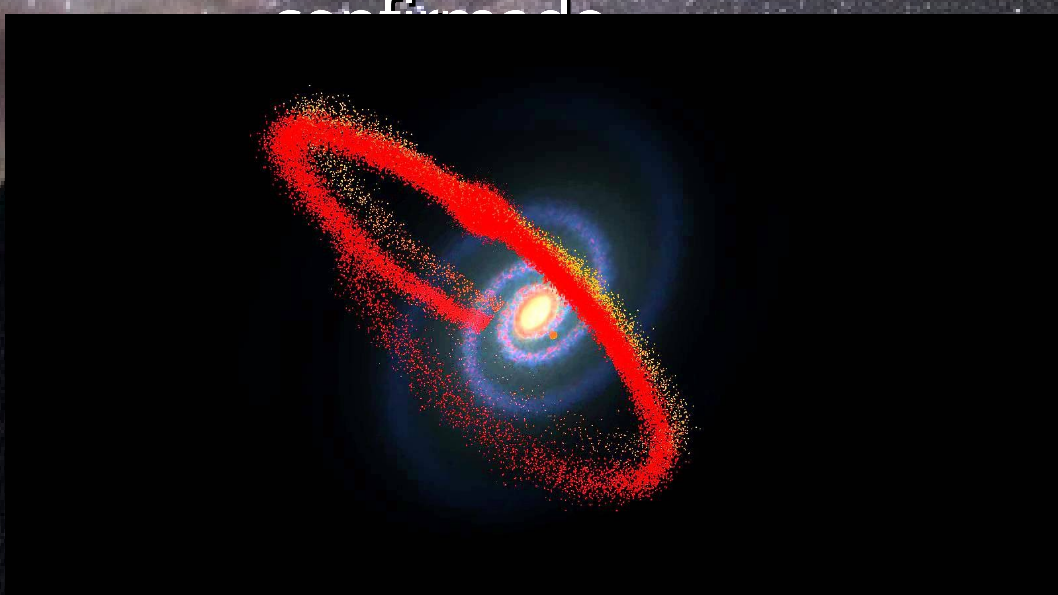
  https://open.spotify.com/artist/4JybOl1PTSn1VxNmiFxSf4?si=uDF9LHL3Q1iZX18T2nkmKA
- un viejo conocido de Física II B (Ondas), en

  https://www.youtube.com/watch?v=Q3oItpVa9fs

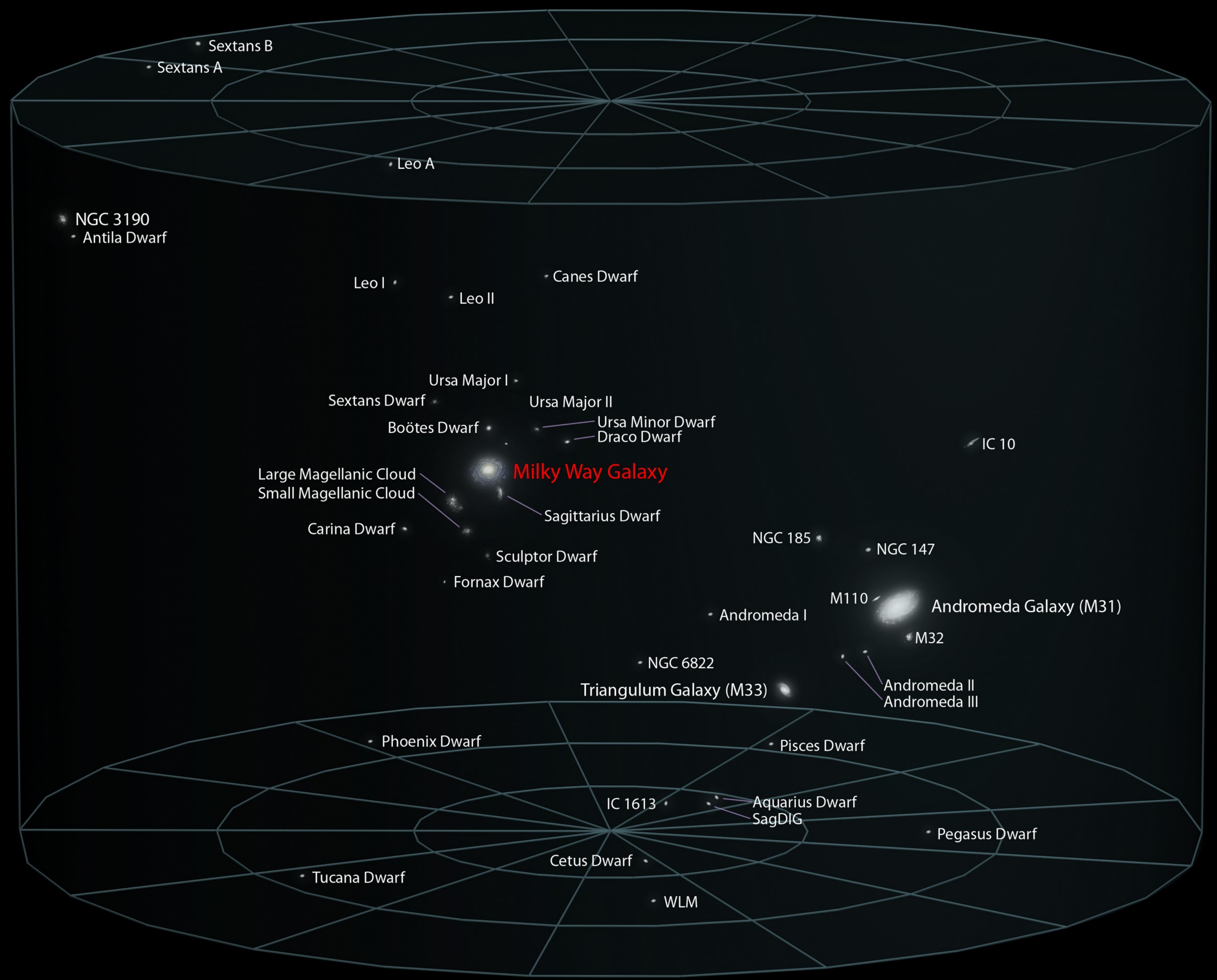
Los satélites de la Vía Láctea

Los satélites de la Vía Láctea

- Subgrupo de la Vía Láctea
  - ~25 galaxias pequeñas unidas gravitatoriamente a la Vía Láctea
  - Nubes de Magallanes son visibles a simple vista, aunque aún no se sabe si son satélites de la Vía Láctea (2006)
  - Galaxia Enana sub-esférica de Sagitario es el mayor satélite confirmado



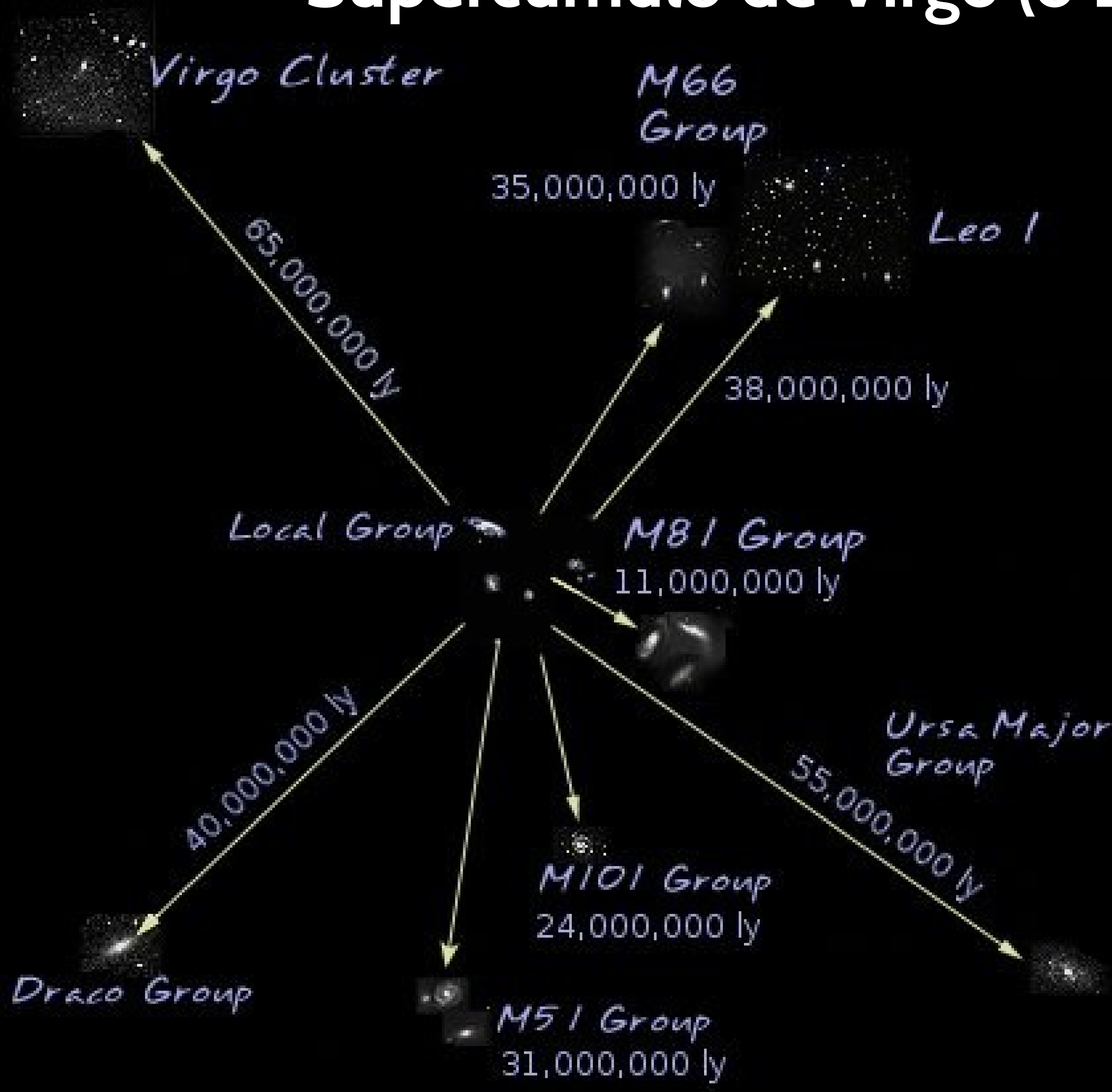
Grupo Local


Sextans B
Sextans A
Leo A
NGC 3190
Antila Dwarf
Leo I
Leo II
Canes Dwarf
Ursa Major I
Sextans Dwarf
Ursa Major II
Ursa Minor Dwarf
Boötes Dwarf
Draco Dwarf
IC 10
Large Magellanic Cloud
Milky Way Galaxy
Small Magellanic Cloud
Sagittarius Dwarf
Carina Dwarf
NGC 185
NGC 147
Sculptor Dwarf
Fornax Dwarf
M110
Andromeda Galaxy (M31)
Andromeda I
M32
NGC 6822
Andromeda II
Triangulum Galaxy (M33)
Andromeda III
Phoenix Dwarf
Pisces Dwarf
IC 1613
Aquarius Dwarf
SagDIG
Pegasus Dwarf
Cetus Dwarf
Tucana Dwarf
WLM

Grupo Local

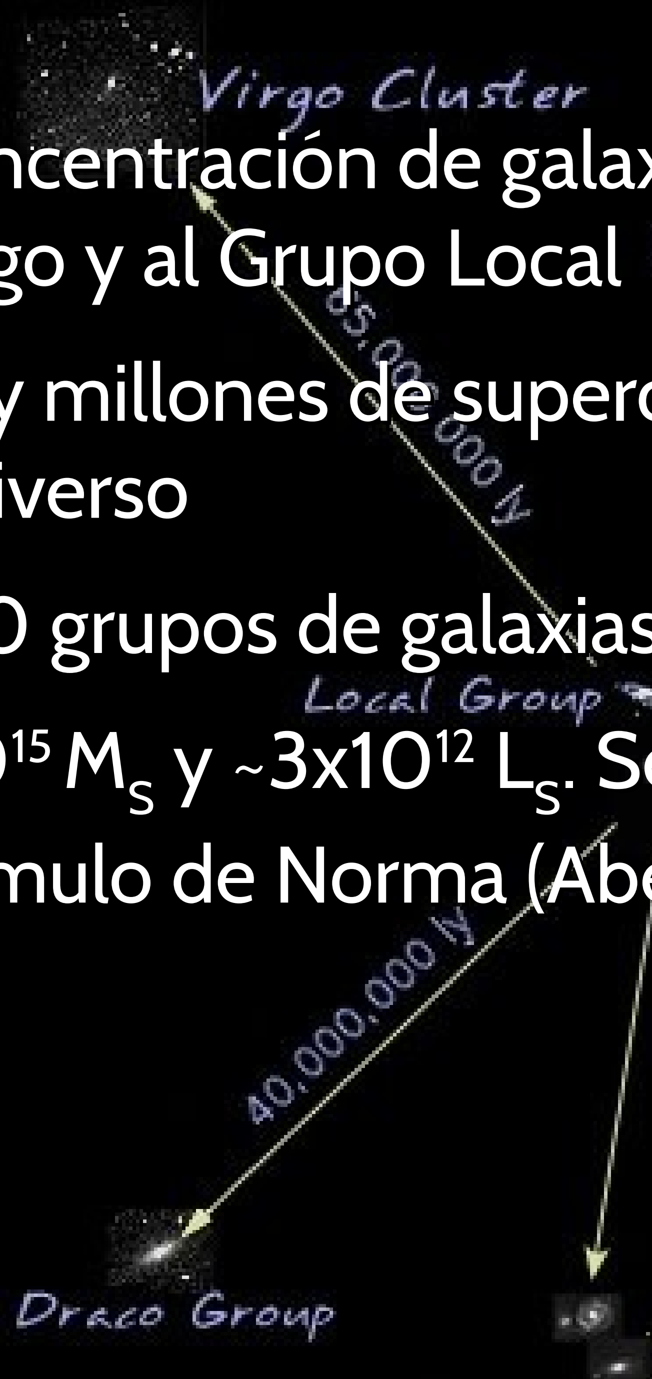
- 54 galaxias, la mayoría son galaxias enanas
- El centro de masa se encuentra entre la Vía Láctea y Andrómeda
- Diámetro ~ 3.1 Mpc
- Componentes:
  - Dos subgrupos:
    - El subgrupo de la Vía Láctea
    - El subgrupo de Andrómeda
  - Galaxia Triangular (M33)
  - Otras galaxias (NGC3109, Sextans A, ...)

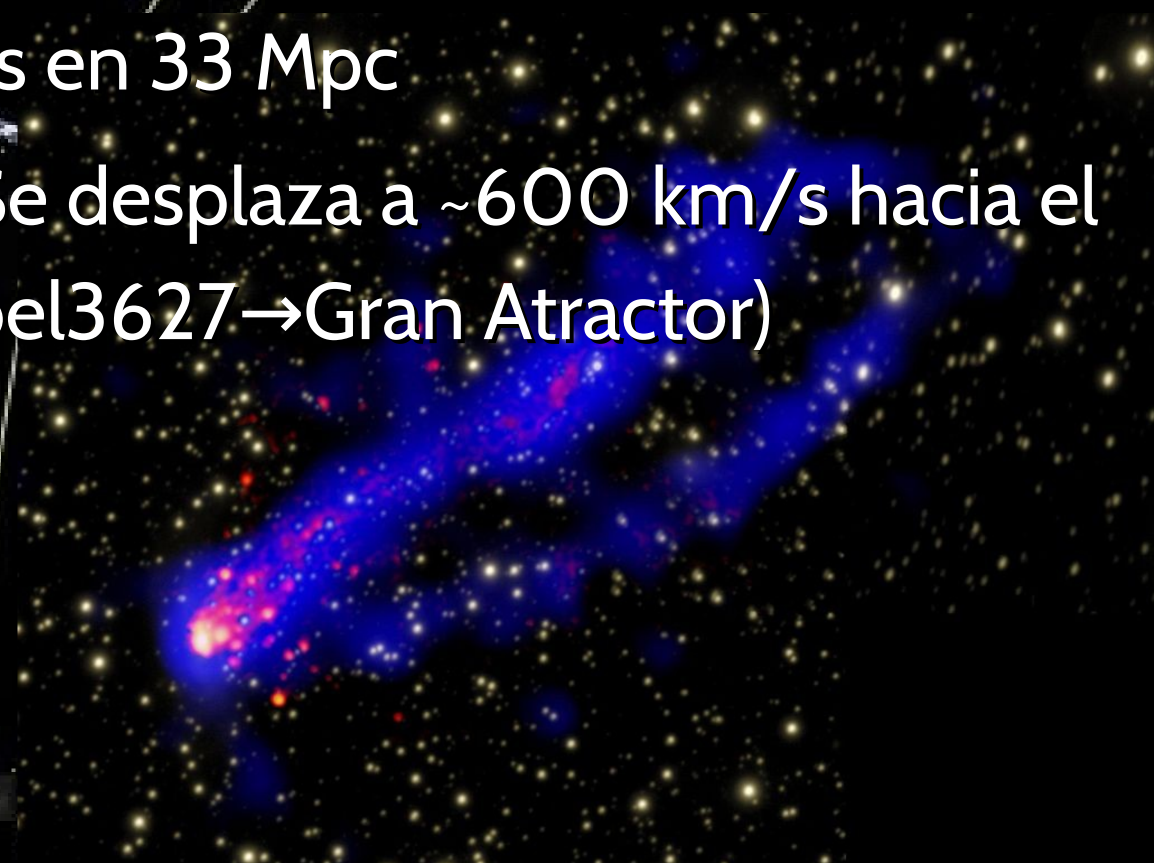
Supercúmulo de Virgo (o Local)



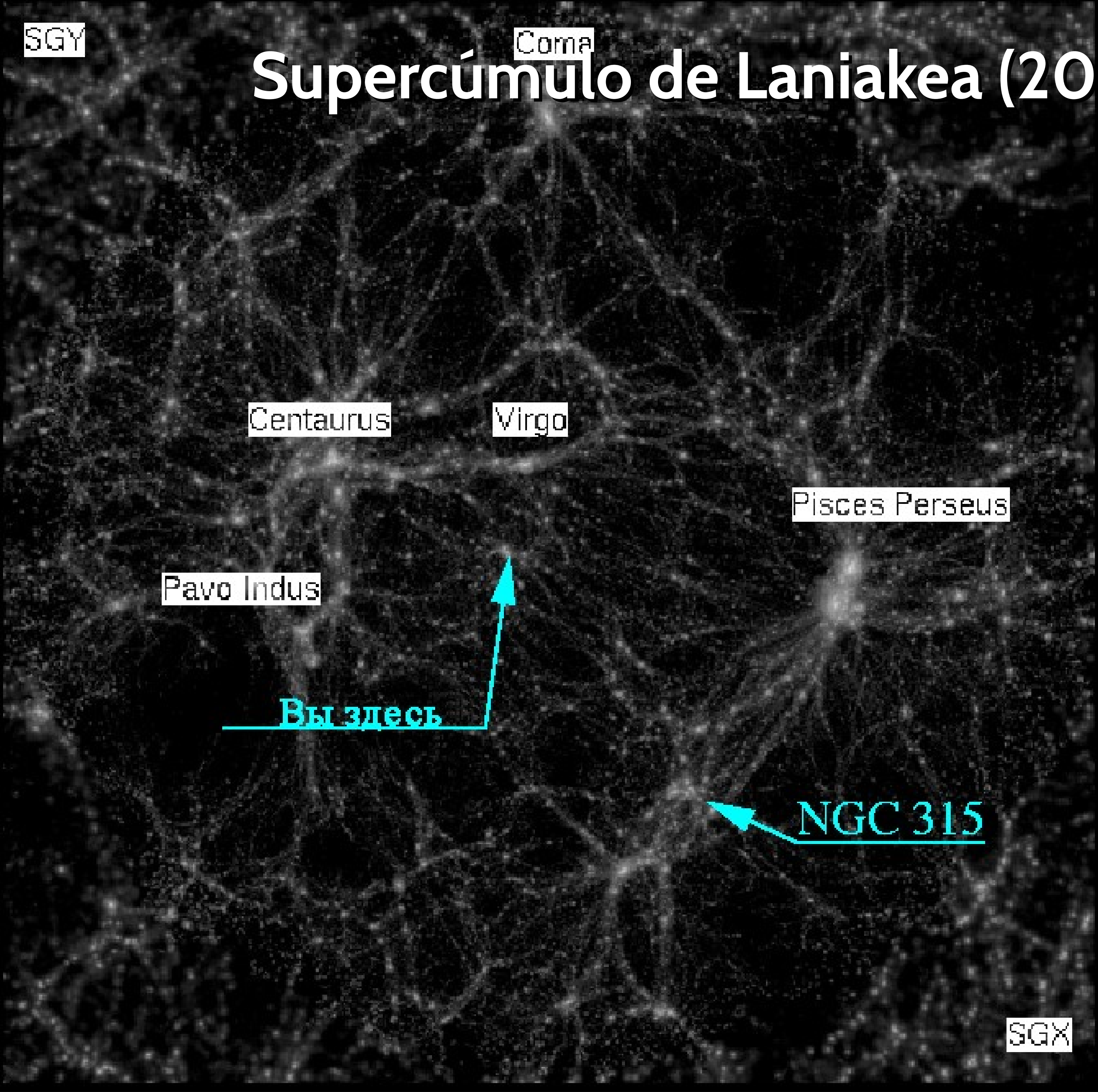
Supercúmulo de Virgo

- Concentración de galaxias que incluyen al Cúmulo de Virgo y al Grupo Local
- Hay millones de supercúmulos como este en el Universo
- 100 grupos de galaxias en 33 Mpc
- $\sim 10^{15}\,M_S$ y $\sim 3\times10^{12}\,L_S$. Se desplaza a ~600 km/s hacia el Cúmulo de Norma (Abel3627→Gran Atractor)



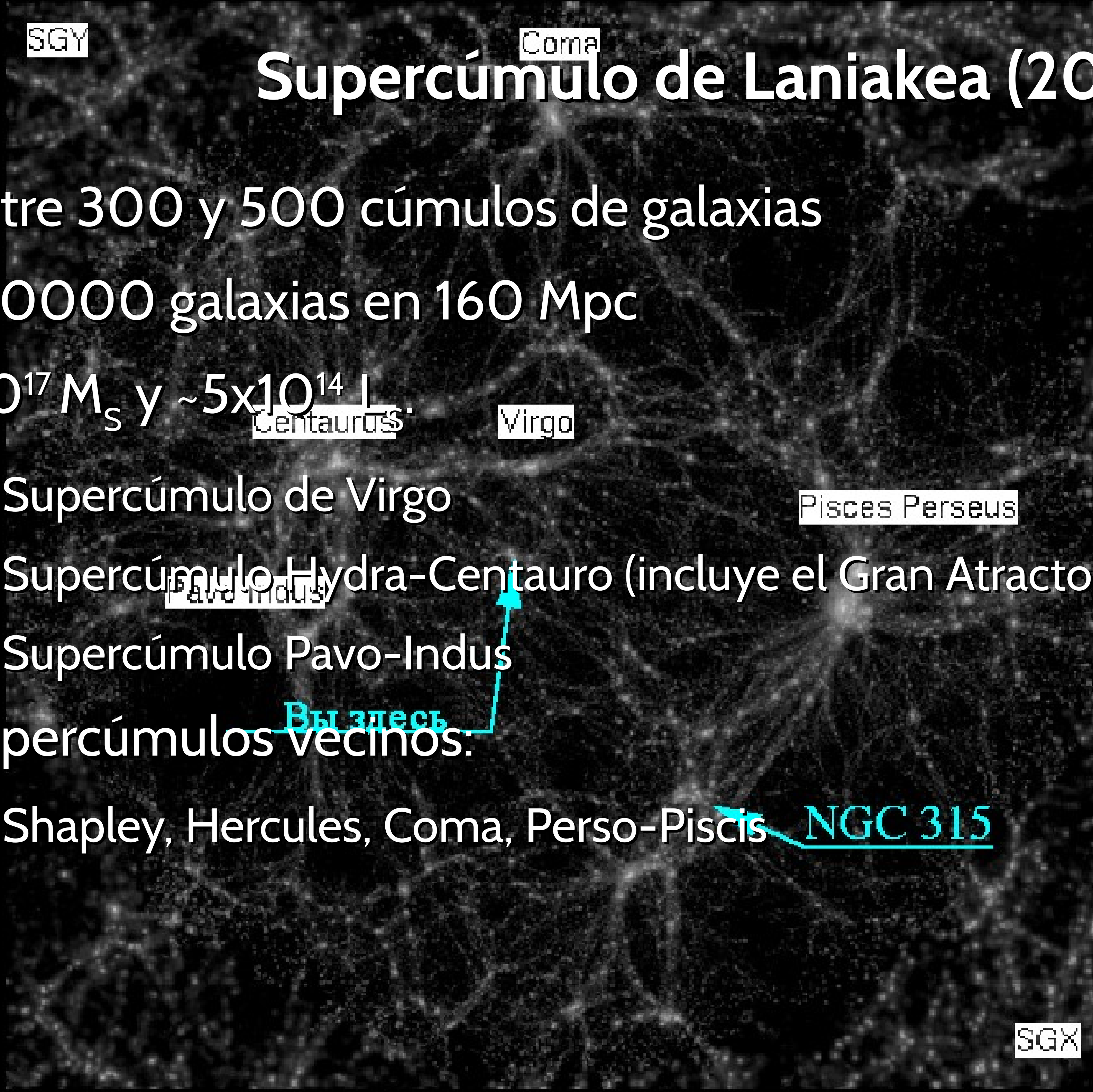


Supercúmulo de Laniakea (2014)

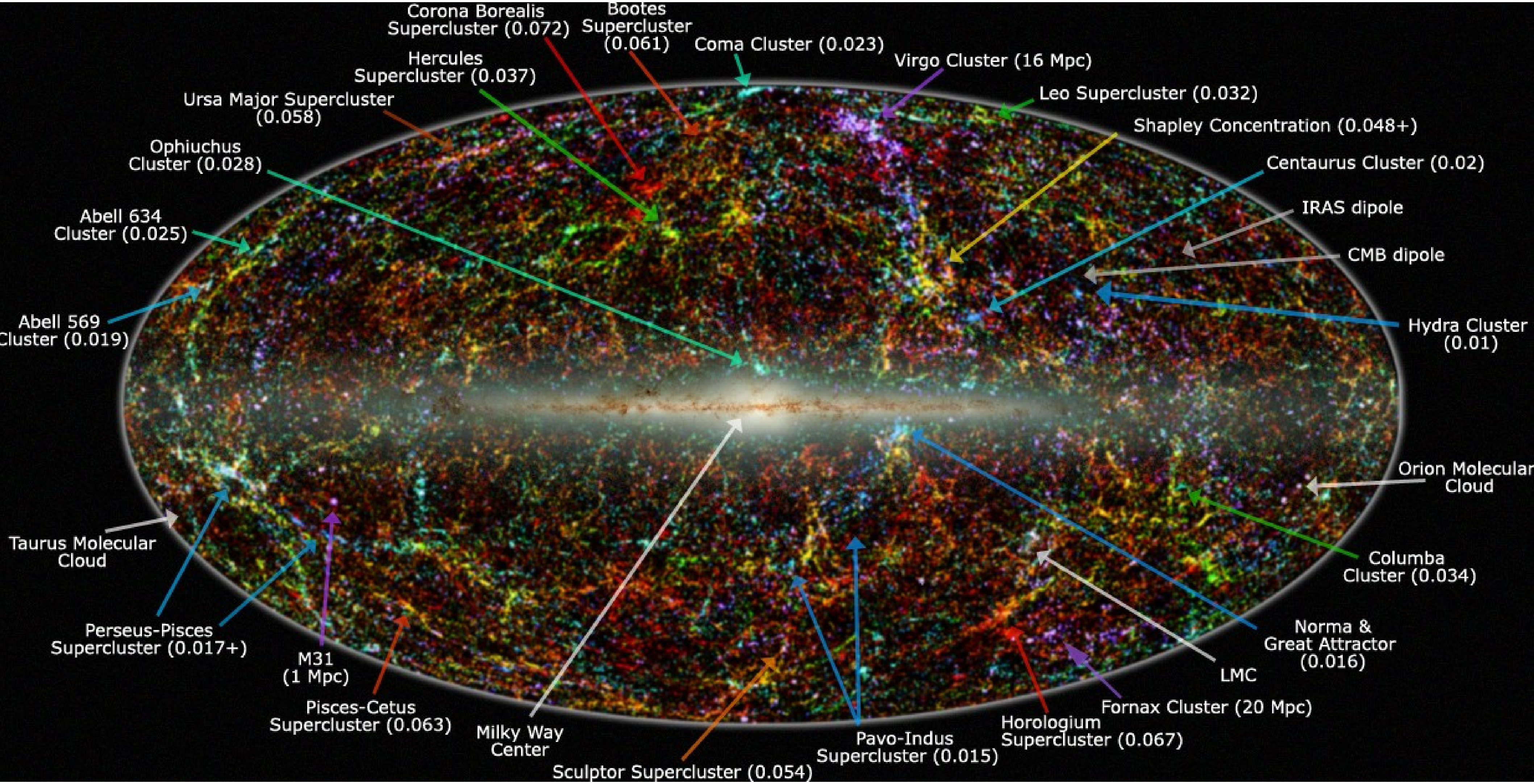


Supercúmulo de Laniakea (2014)

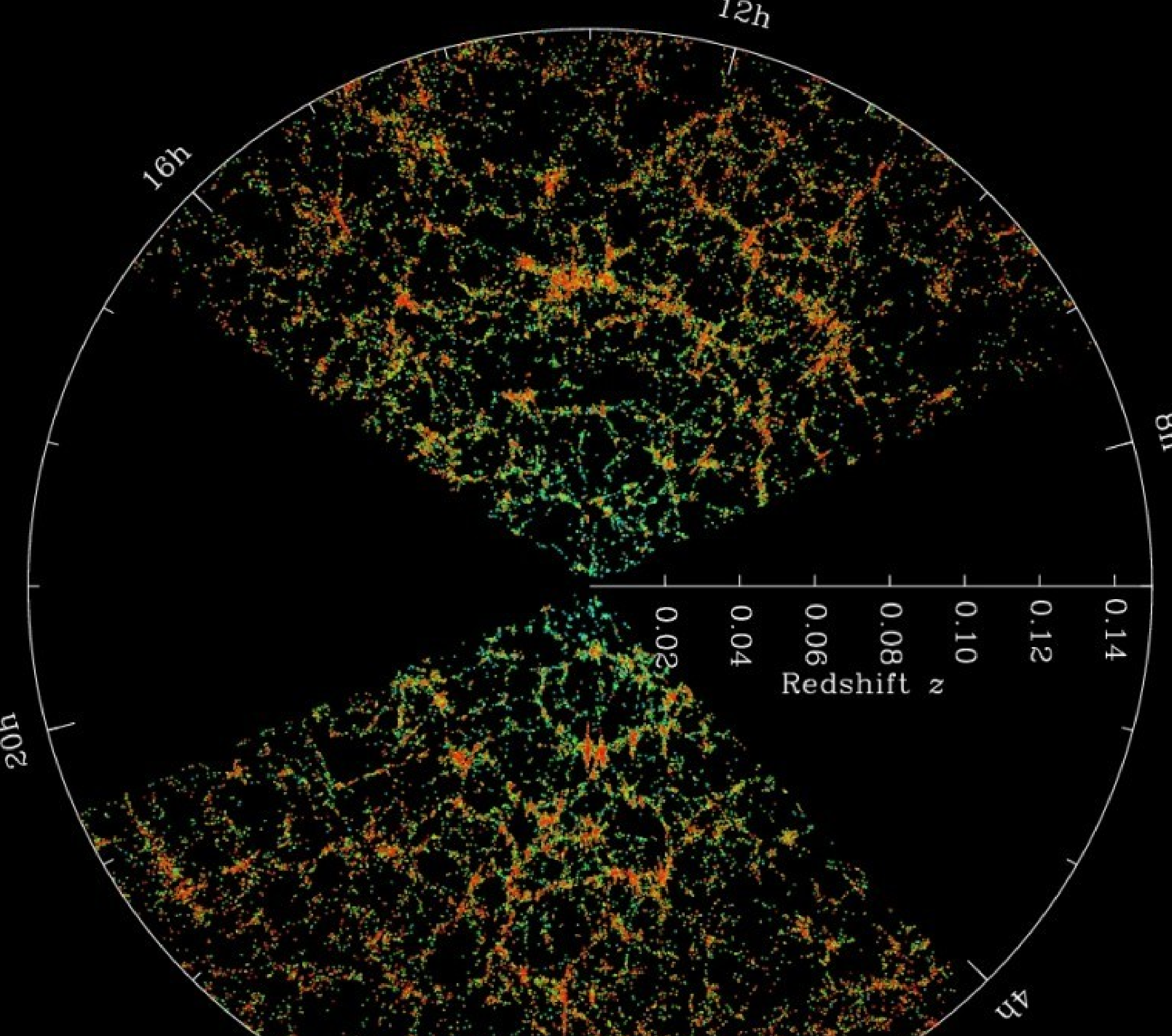
- Entre 300 y 500 cúmulos de galaxias
- 100000 galaxias en 160 Mpc
- $\sim 10^{17}$ M_S y $\sim 5x10^{14}$ L_S.
    - Supercúmulo de Virgo
    - Supercúmulo Hydra-Centauro (incluye el Gran Atractor)
    - Supercúmulo Pavo-Indus
- Supercúmulos vecinos:
    - Shapley, Hercules, Coma, Perso-Piscis

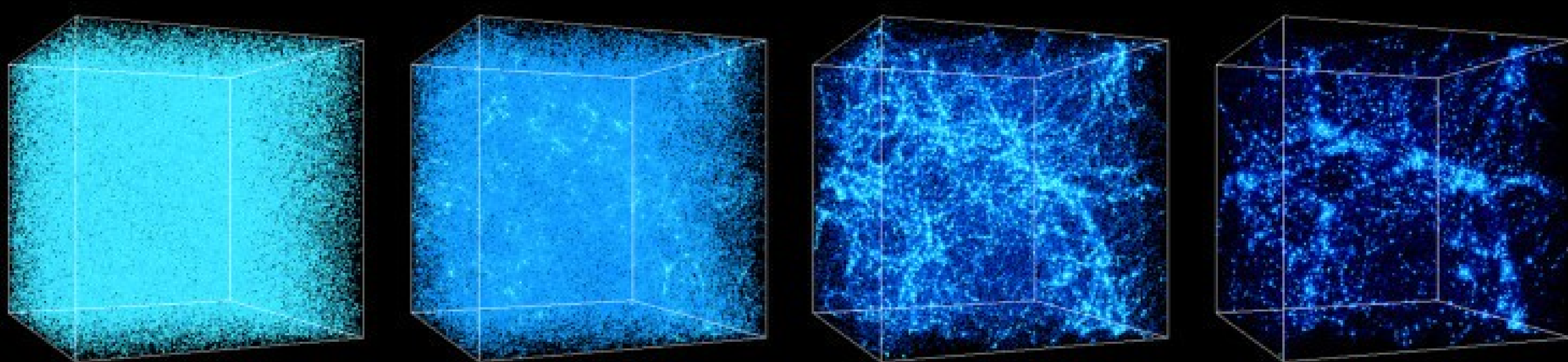


El Universo a las eslacas más grandes

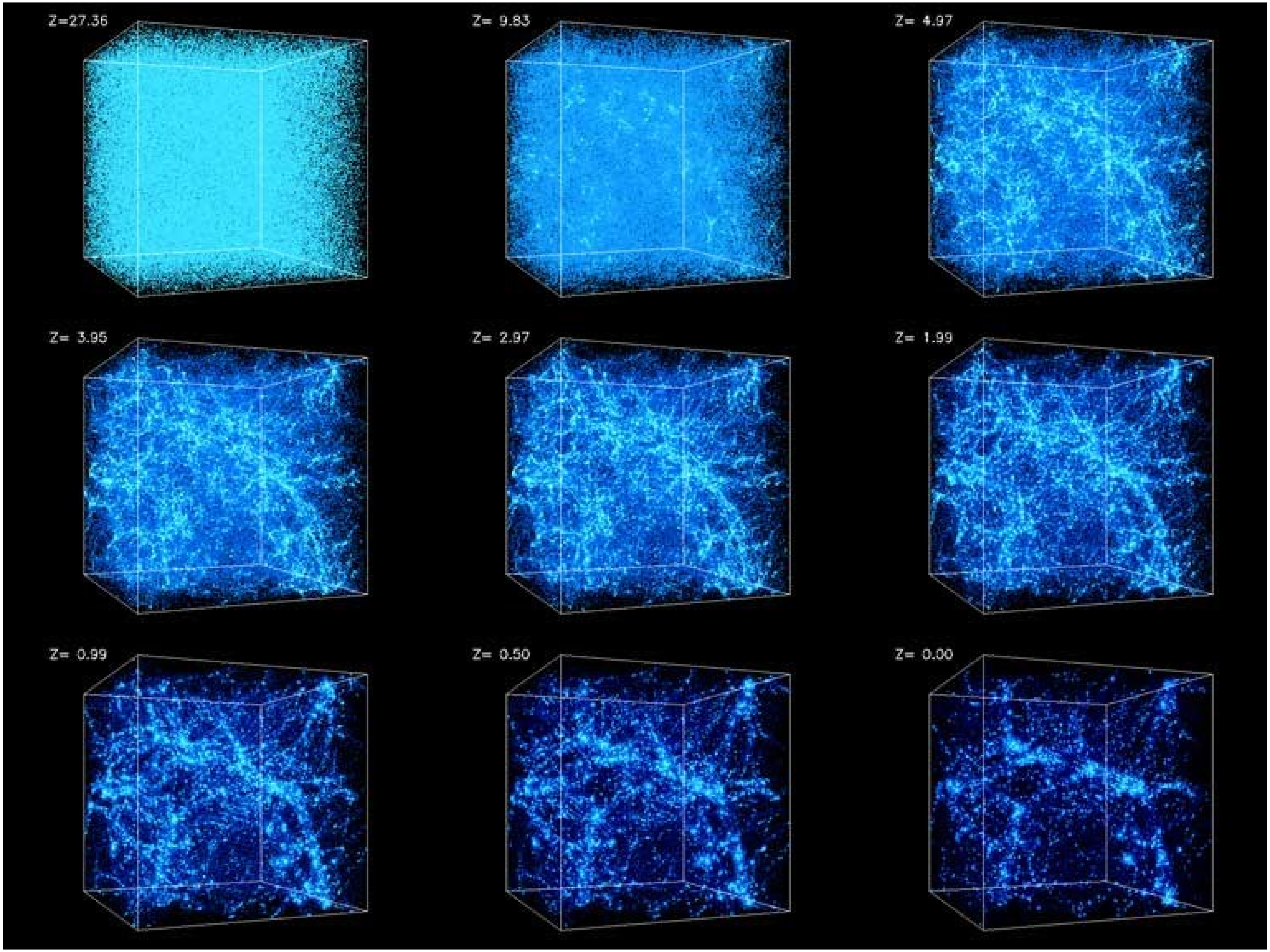


nación de estructuras

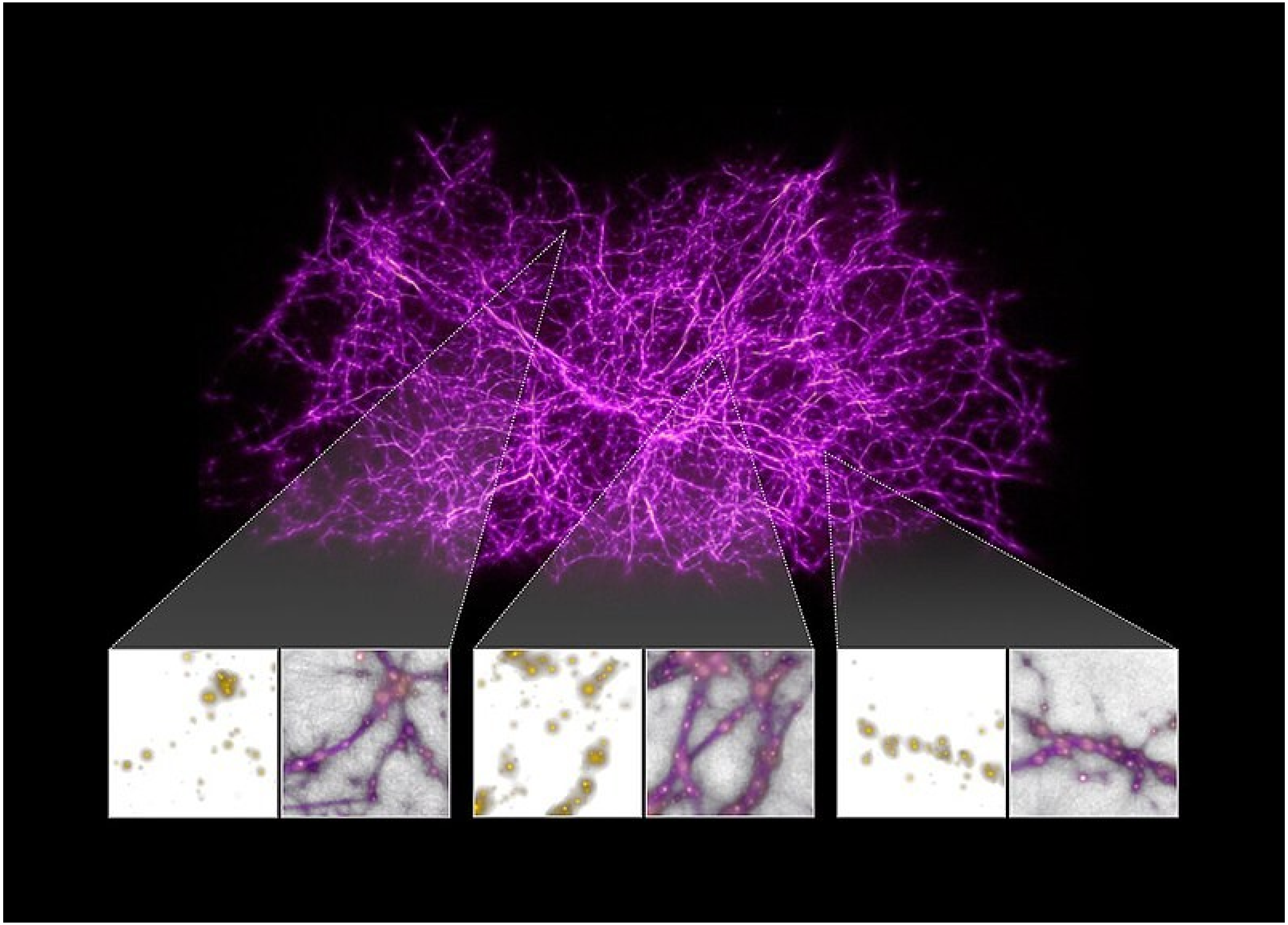




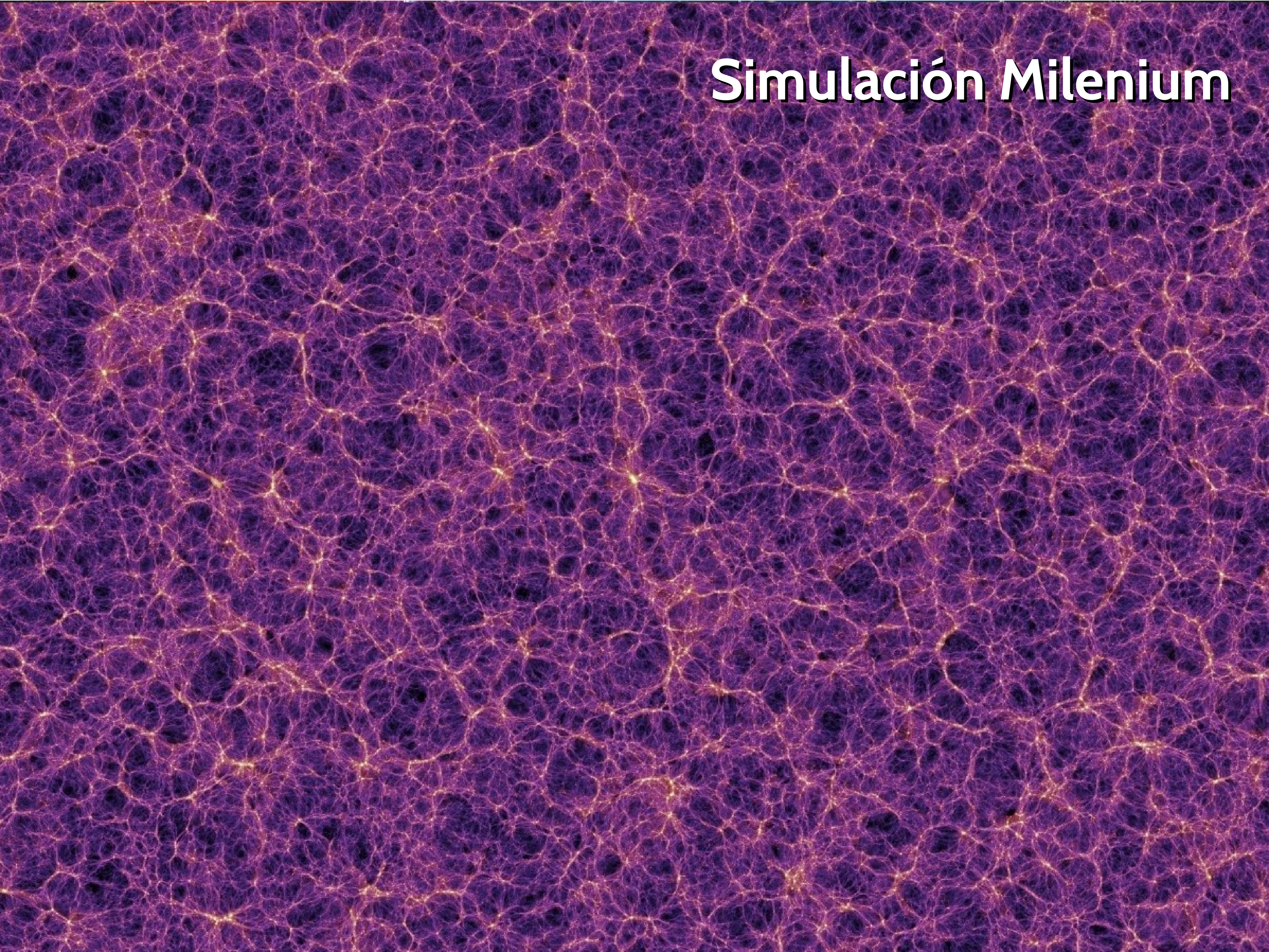
Simulaciones



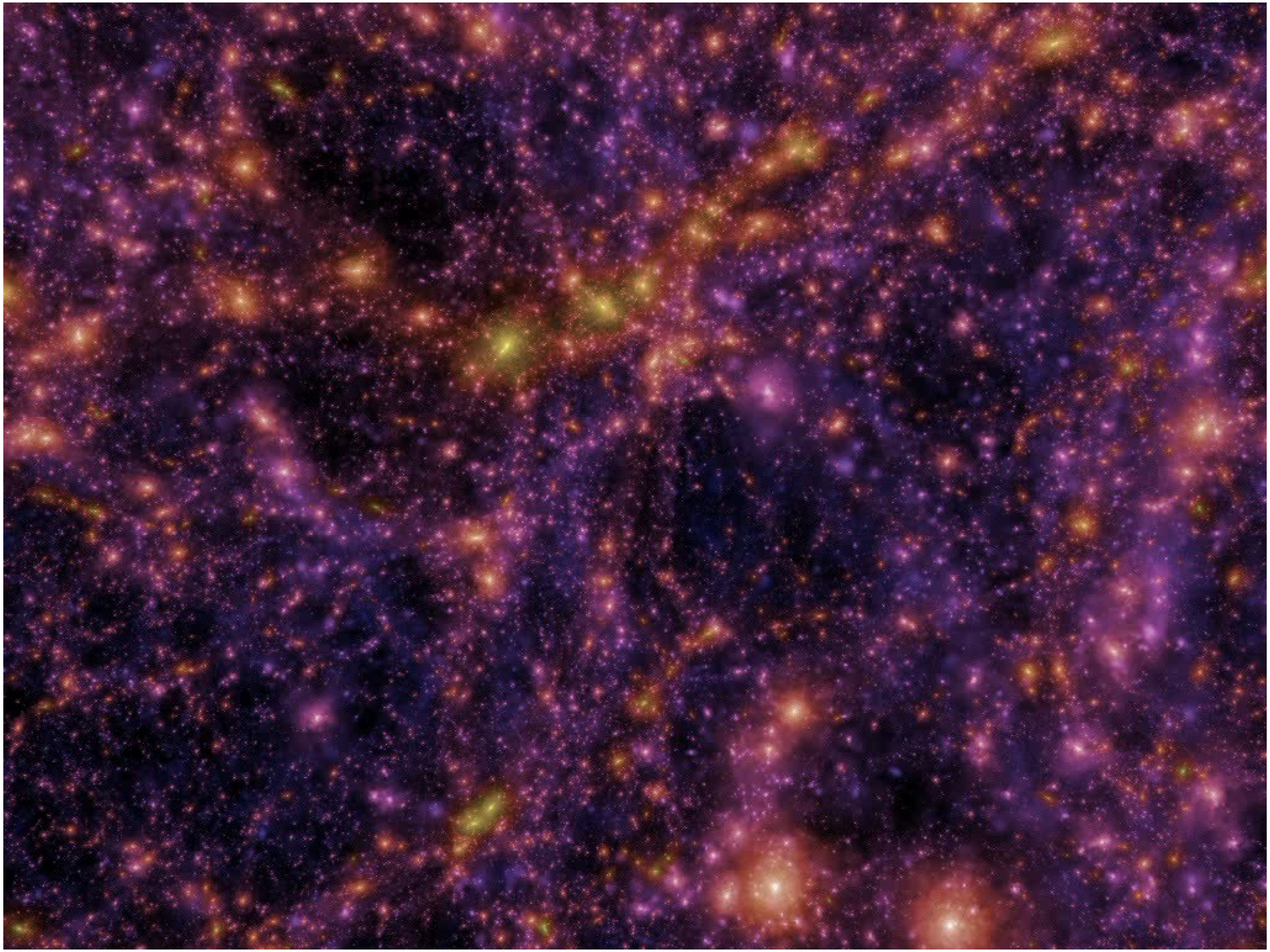
Simulaciones de formación de estructuras



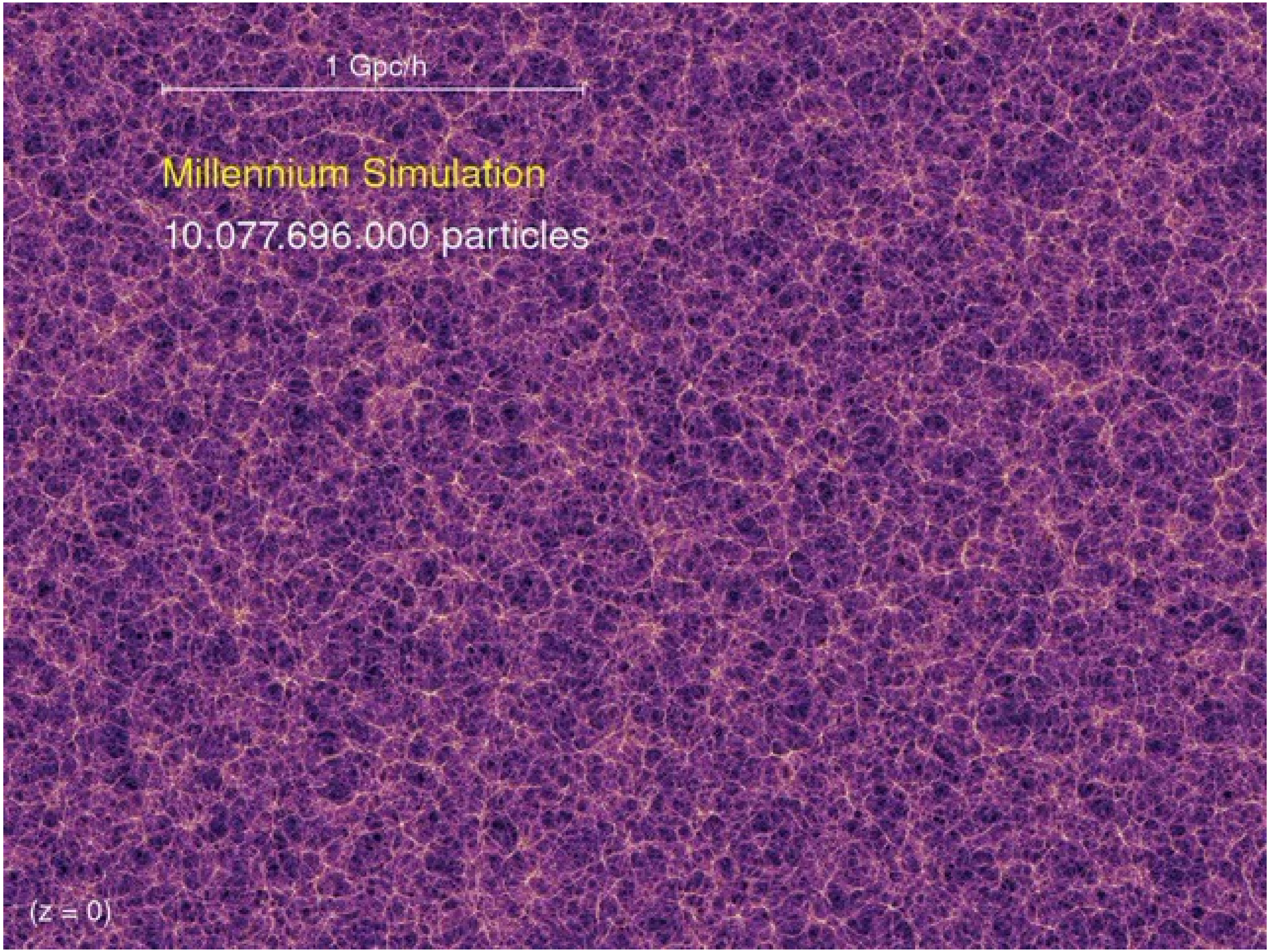
Simulación Milenium



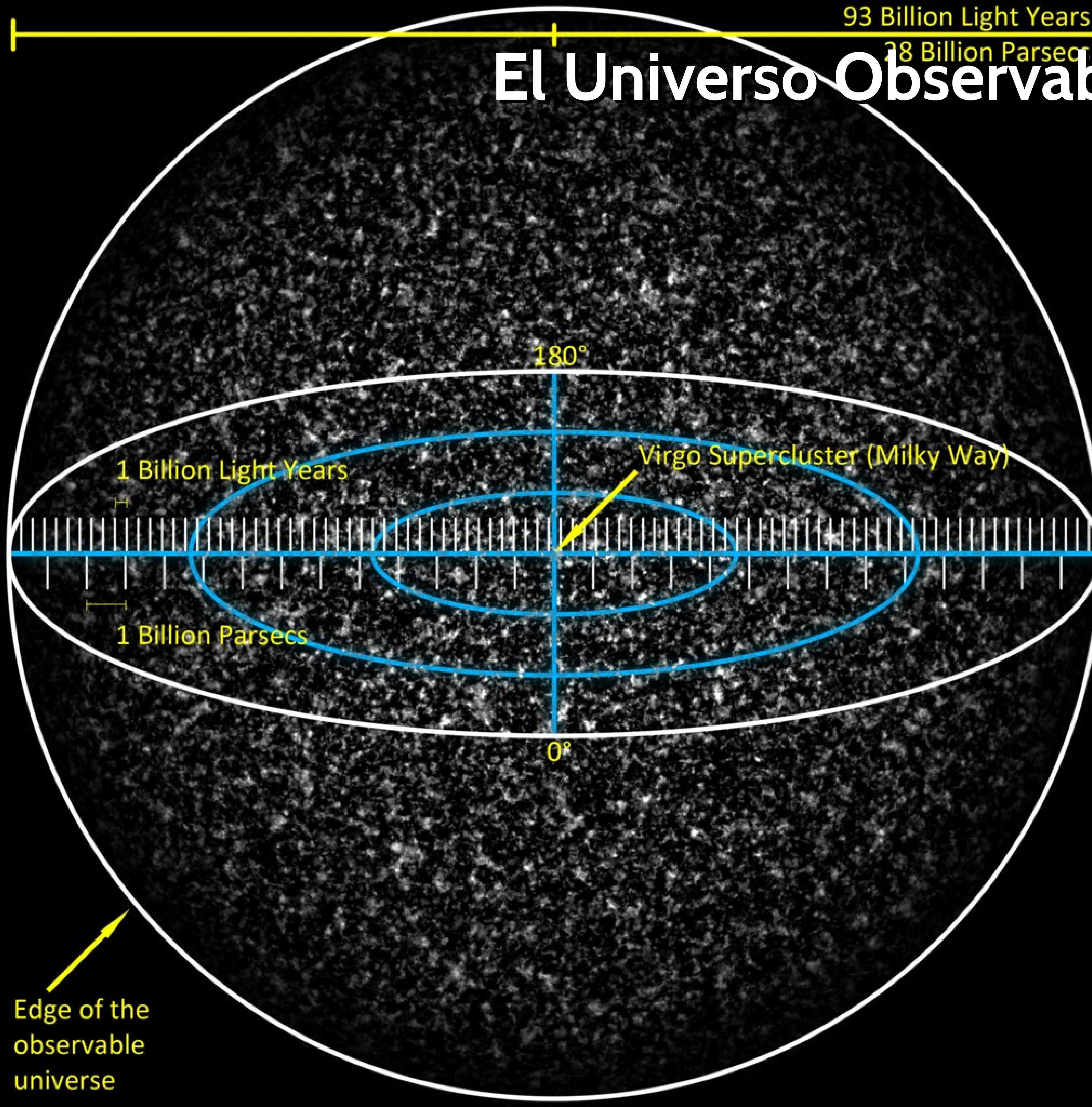
Simulación Milenium



Zoom



El Universo Observable

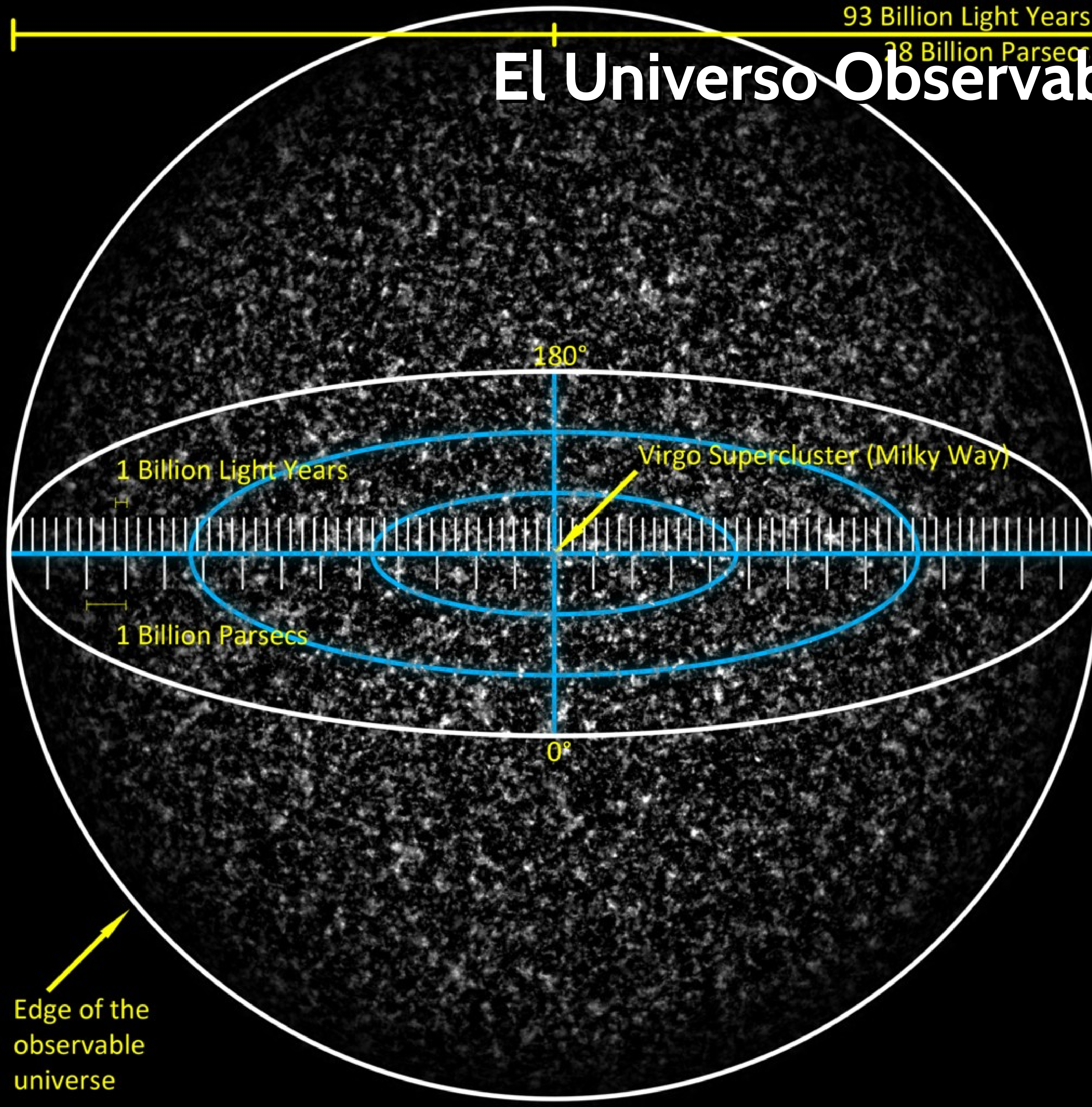


Alto, ¿Qué significa "observable"?

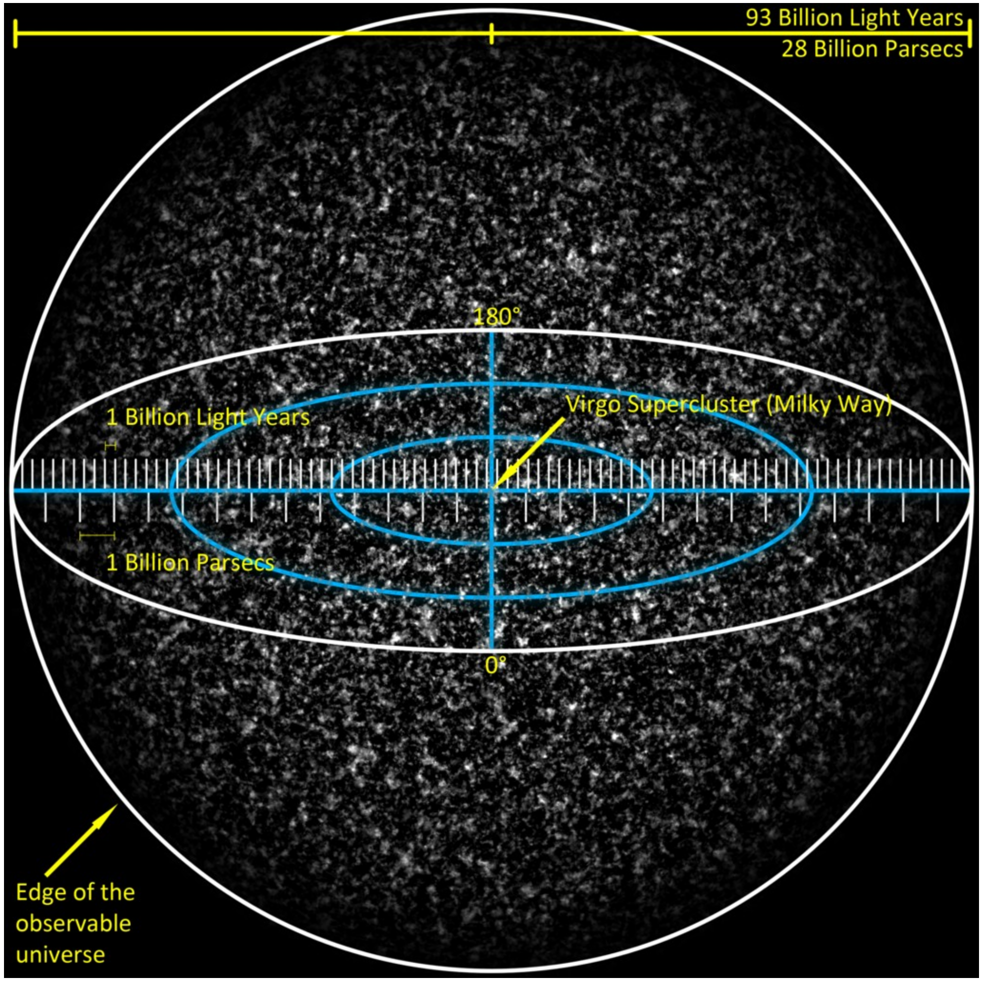
- **Universo observable → r ~ 46.5 mil millones años luz**
  - **Es una esfera centrada en la Tierra que contiene a todos los objetos que pueden ser vistos desde la Tierra ahora.**
  - La luz emitida por estos objetos ha tenido tiempo suficiente para alcanzar a la Tierra
  - **Edad del Universo: 1.37×10^{10} años → El Universo observable NO tiene 13.7×10^{9} a.l. → universo en expansión (volveremos)**
- **Radio de Hubble → es la distancia que viaja la luz en un tiempo igual al tiempo de Hubble**

$$r_{H_0} = c\, t_{H_0} = \frac{c}{H_0} \simeq 1.37 \times 10^{10} \text{ años luz}$$

El Universo Observable



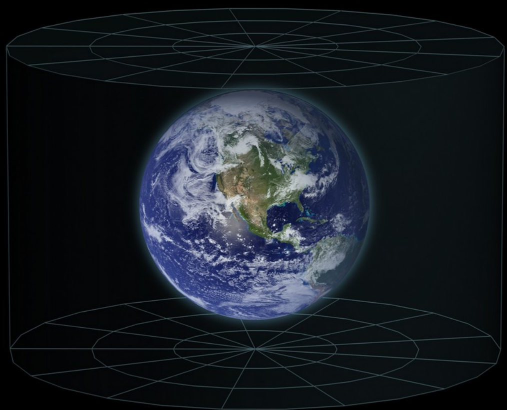
¿Cómo se distribuye?



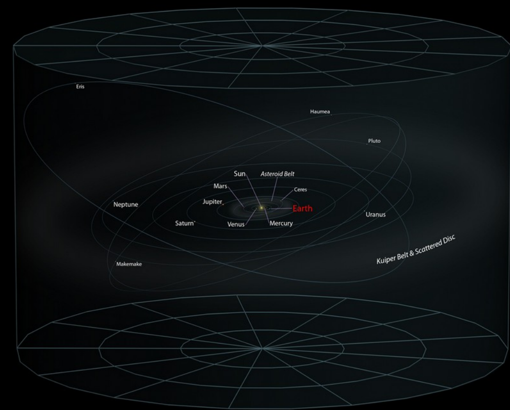
- ¡¡¡A las escalas más grandes el Universo es isótropo y homogeneo!!!
- *parejito* dirían por ahí...
- Esto tiene consecuencias observaciones que veremos en la próxima unidad

El Universo Observable

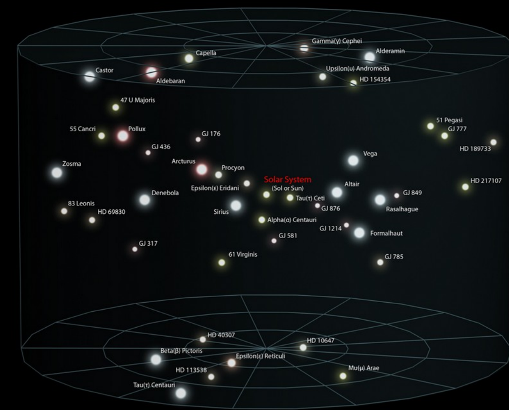
Earth



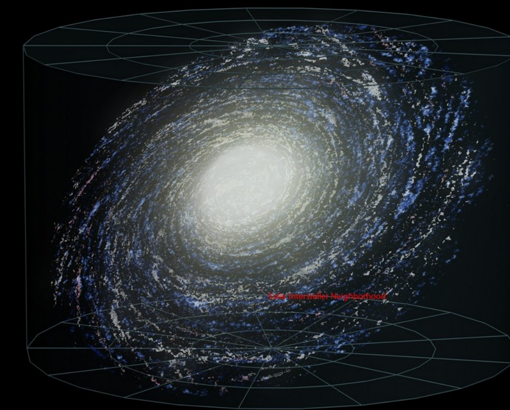
Solar System



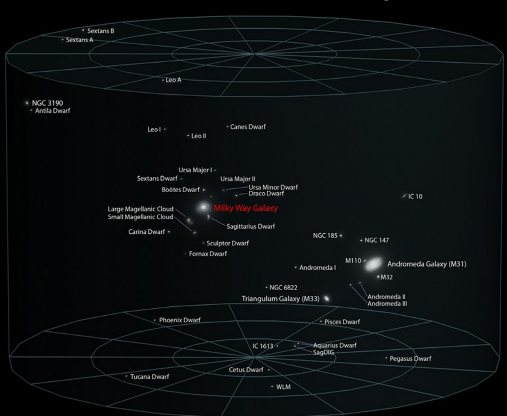
Solar Interstellar Neighborhood



Milky Way Galaxy

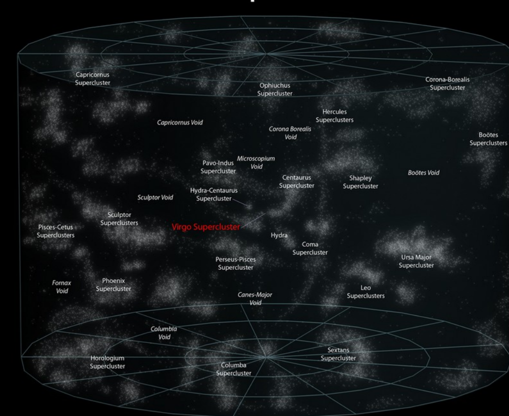


Local Galactic Group



Virgo Supercluster

Local Superclusters



Observable Universe