

Nosotros, las Galaxias, y el Universo

(un paseo a través del Universo)

Gustavo Bruzual A.

IRyA, UNAM, Morelia, México



?



América del Sur

Colombia

Santander

Villa del Socorro

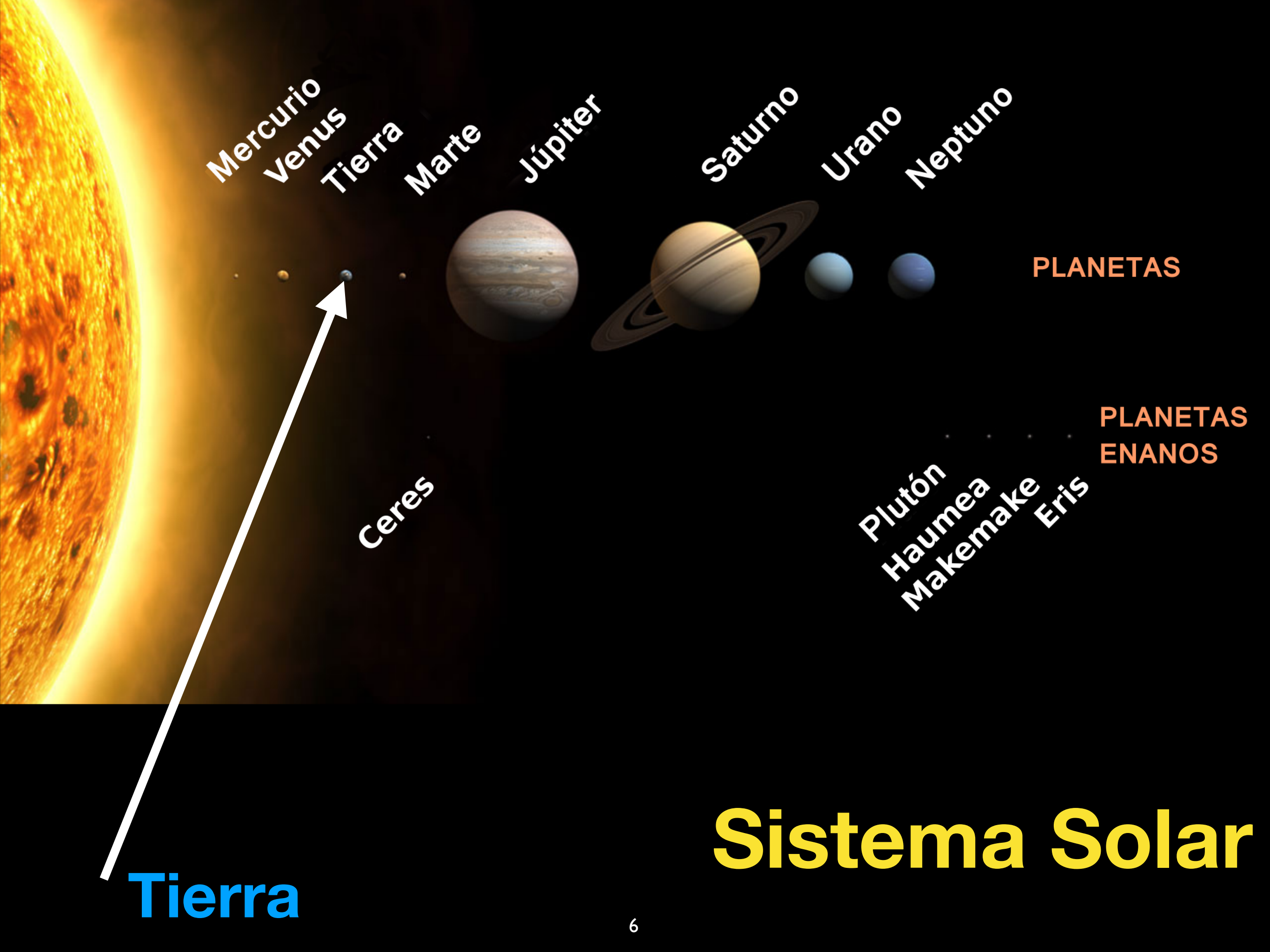


Villa del Socorro





Villa del Socorro



Mercurio
Venus

Tierra

Marte

Júpiter

Saturno

Urano

Neptuno

PLANETAS

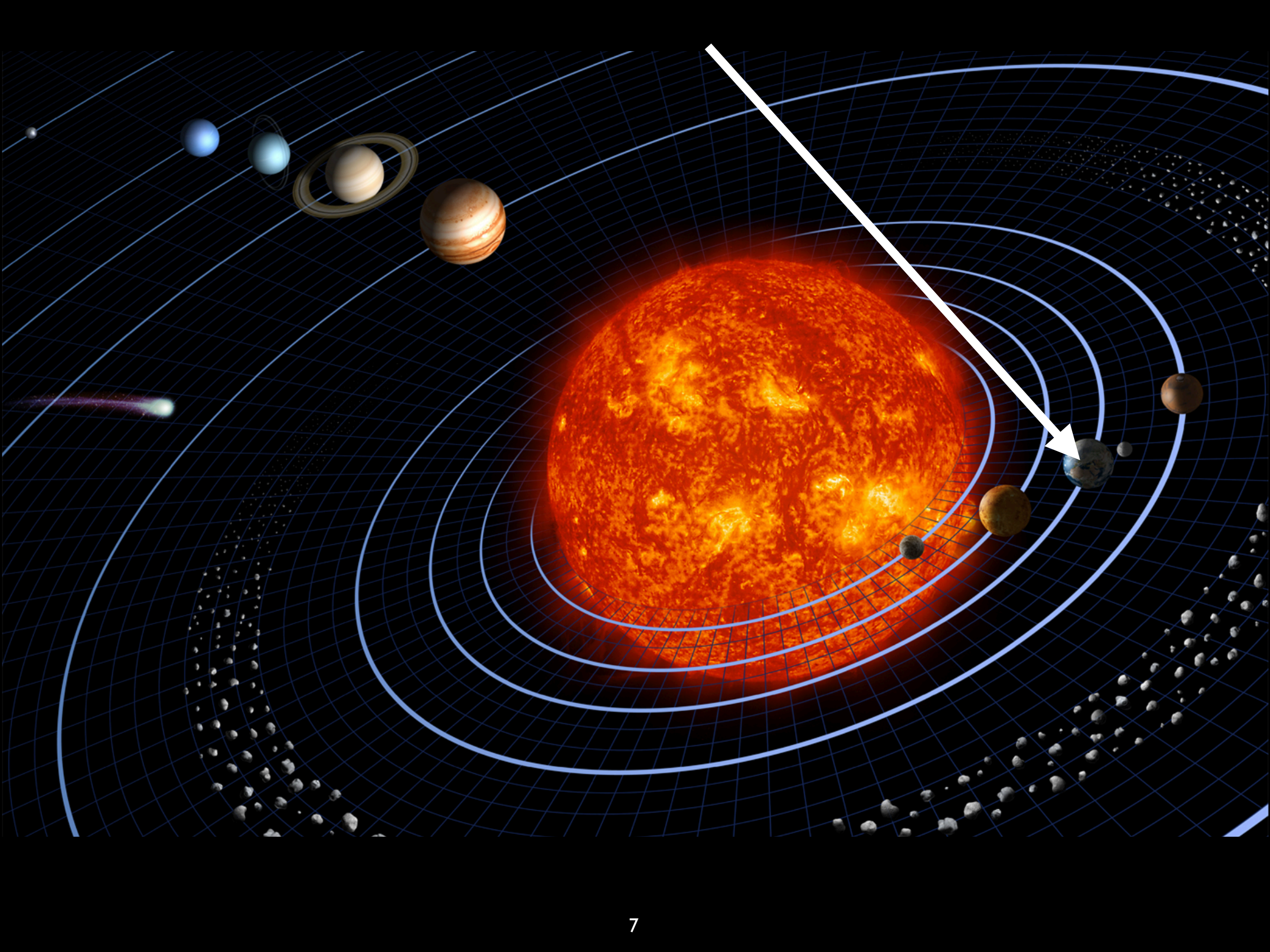
Ceres

Plutón
Haumea
Makemake
Eris

PLANETAS
ENANOS

Tierra

Sistema Solar



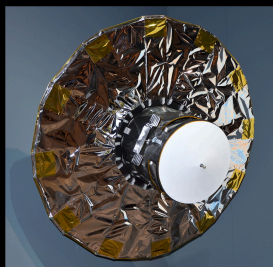
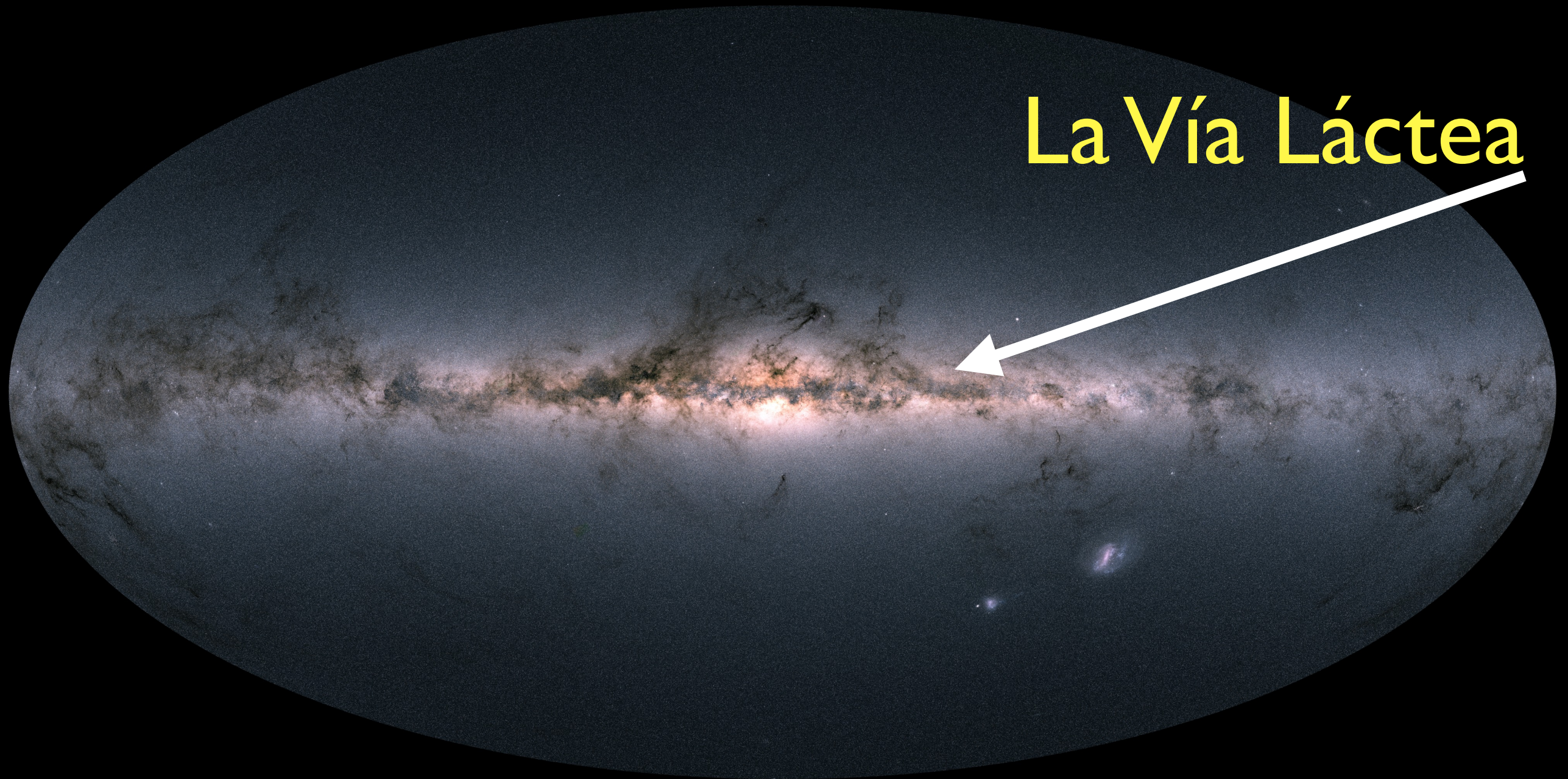
¿y dónde está el sistema solar?

¿dónde está nuestro sol?



¿qué hay a nuestro alrededor?

Mapa del cielo elaborado por el satélite Gaia (Abril 2018)



Satélite Gaia

1700 millones de estrellas en esta imagen,
todas con distancia determinada por Gaia

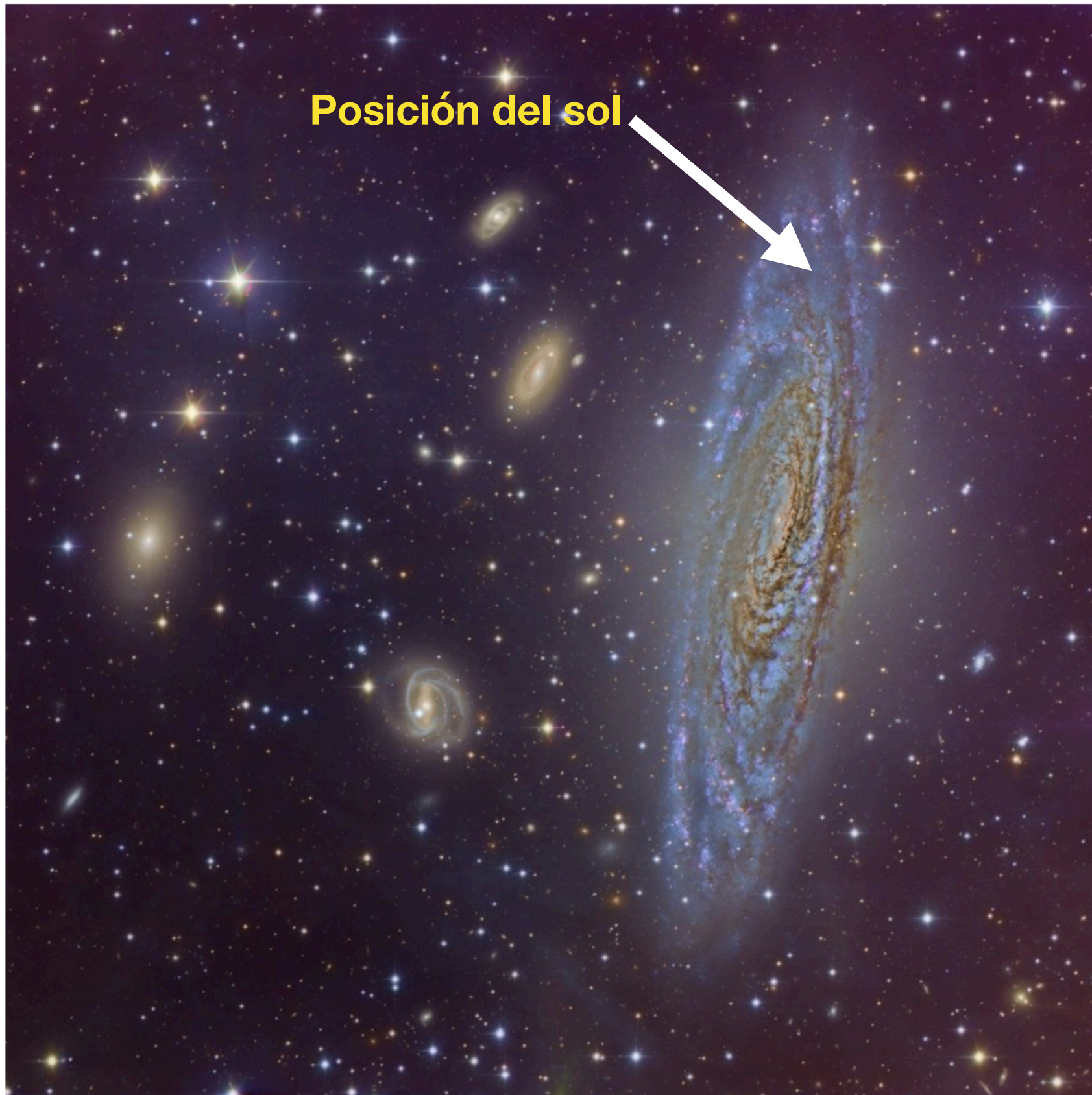
entonces, ¿dónde vivimos?

¡En La Vía Láctea, nuestra Galaxia!



2011 © Yuri B

Galaxia similar a la Via Láctea



¿quién de Uds. ha visto la Vía Láctea?



¿y por qué vemos así a la Vía Láctea?
Porque estamos dentro de su disco
y lo vemos proyectado en el cielo
con cierta inclinación

Muchas preguntas:

- ¿Qué es una galaxia?
- ¿Cómo las estudiamos?
- ¿Cómo y dónde se forman?
- ¿Qué es la edad de una galaxia?
- ¿Cómo determinamos su edad?
- ¿Envejece una galaxia?
- ¿Qué nos dicen acerca del universo?

Esta es una galaxia
100,000,000,000 de estrellas

que se mantienen juntas por la fuerza gravitacional mutua

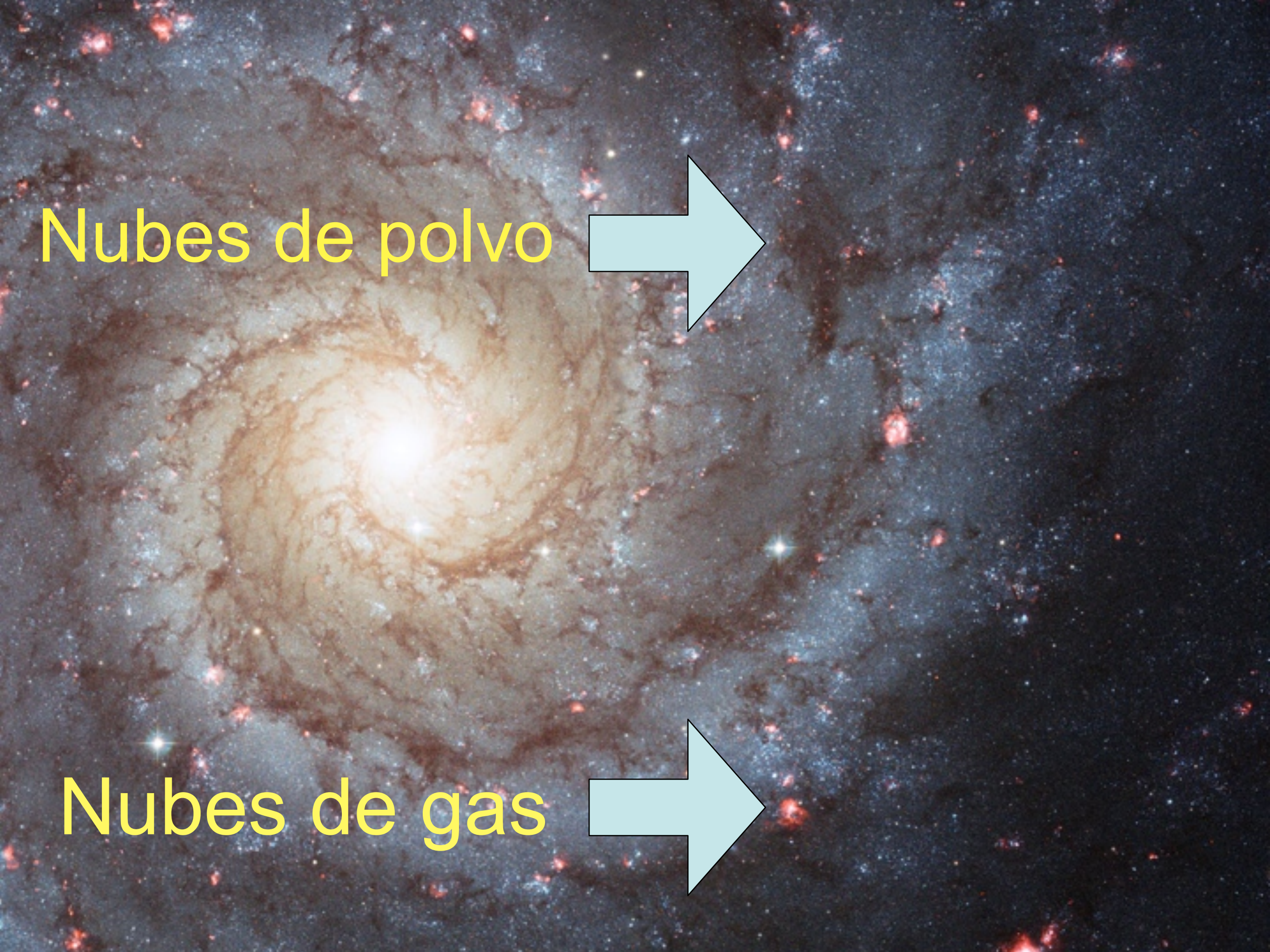
No todas son iguales



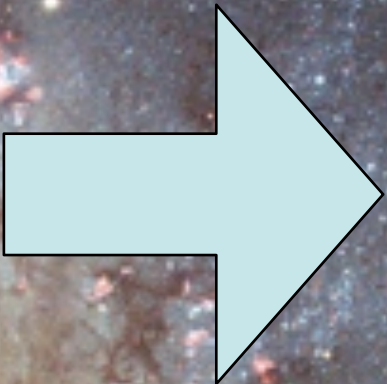
Esta tiene una barra

Estas las llamamos ESPIRALES

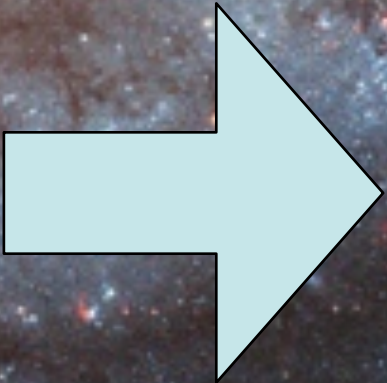
por la forma de los brazos



Nubes de polvo



Nubes de gas



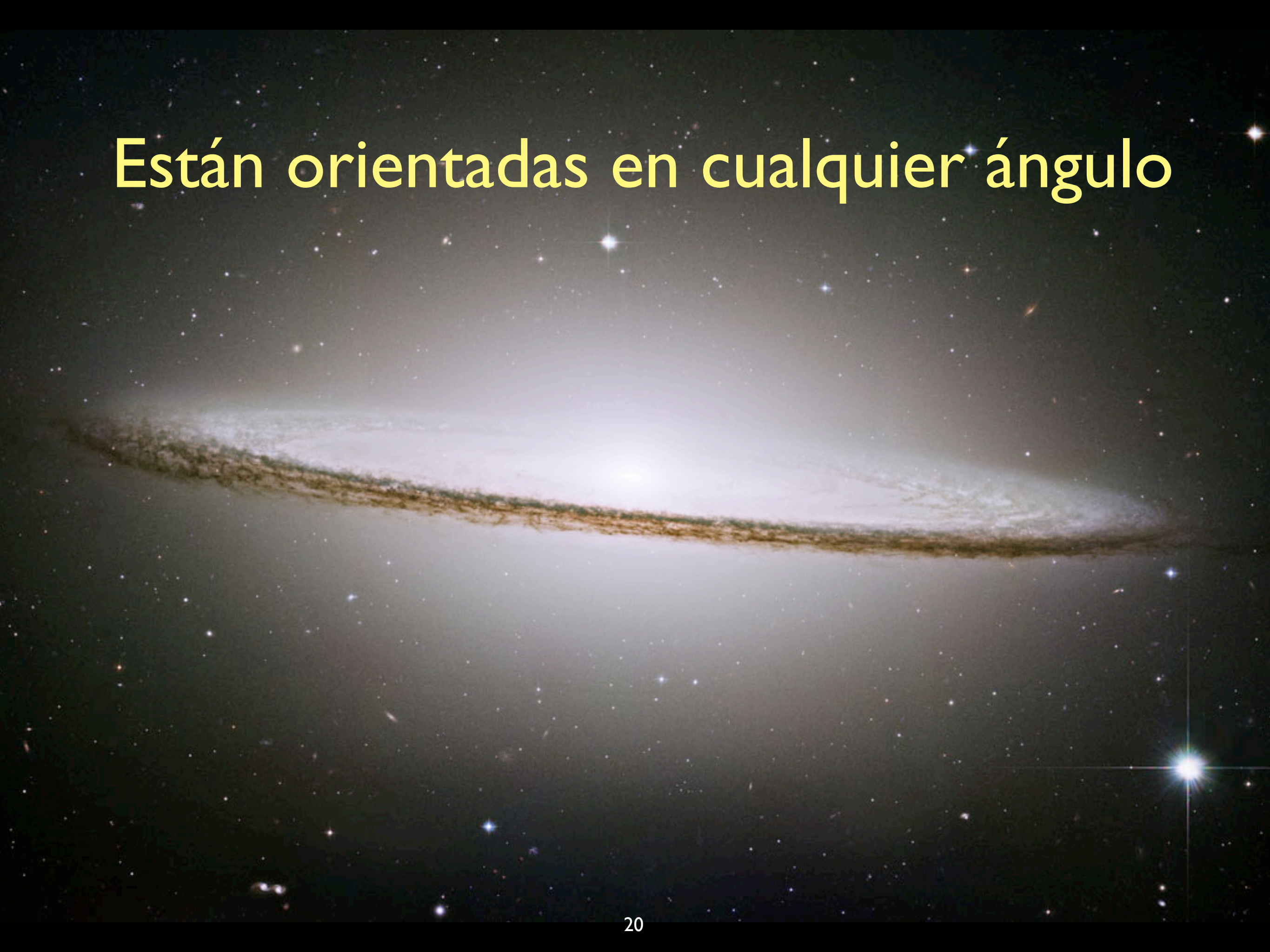
Estrellas recién nacidas





Hay galaxias
esferoidales o
elipsoidales

Están orientadas en cualquier ángulo



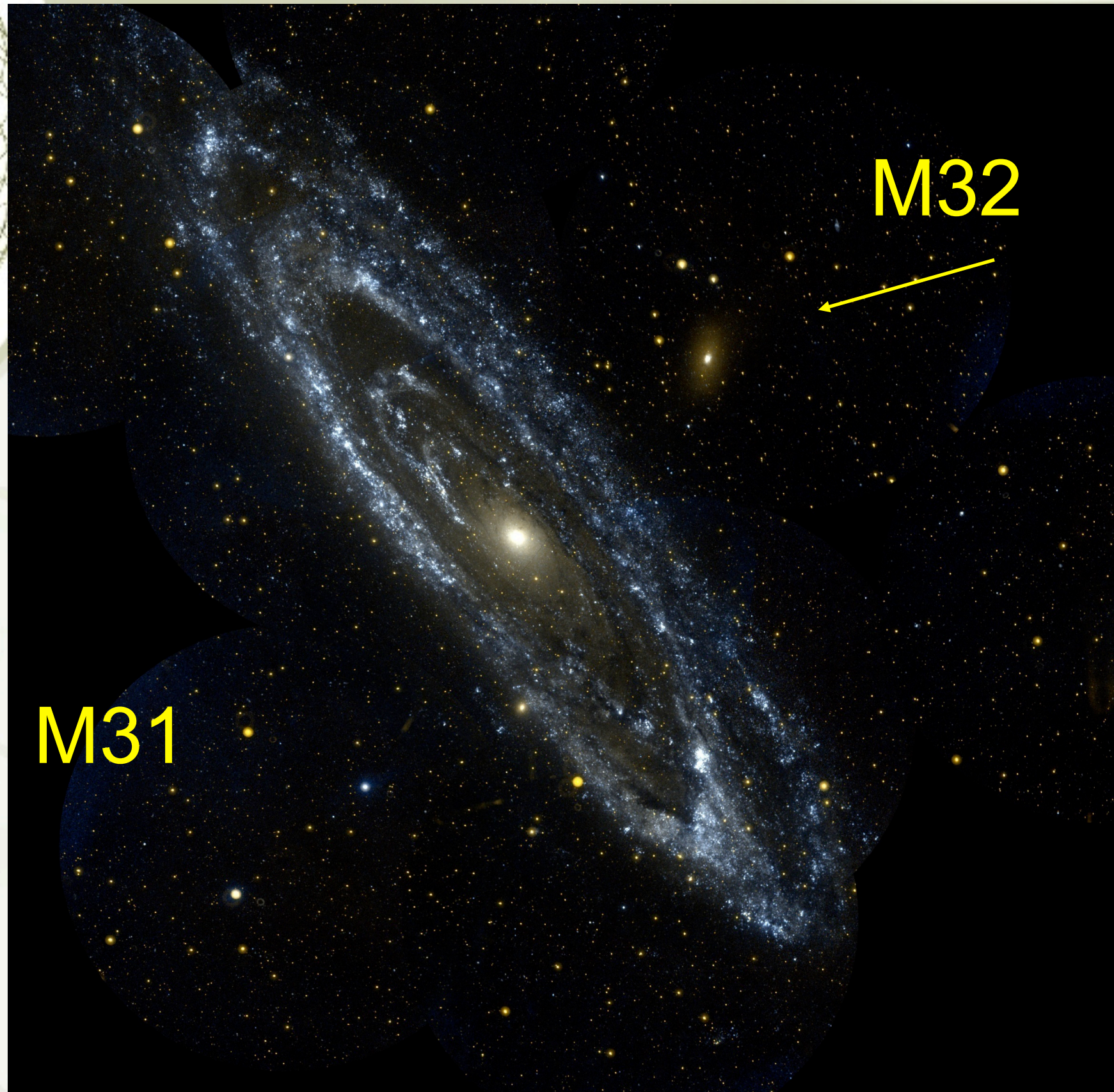
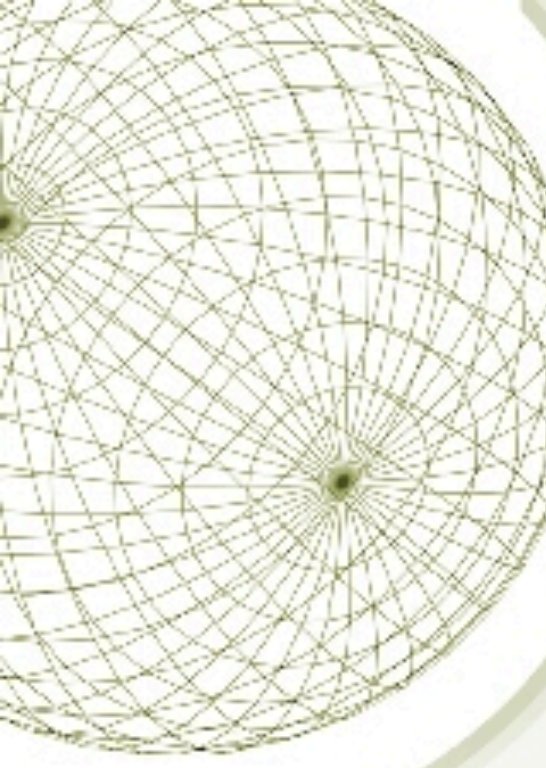
M104 = Galaxia El Sombrero







Algunas viven en pareja





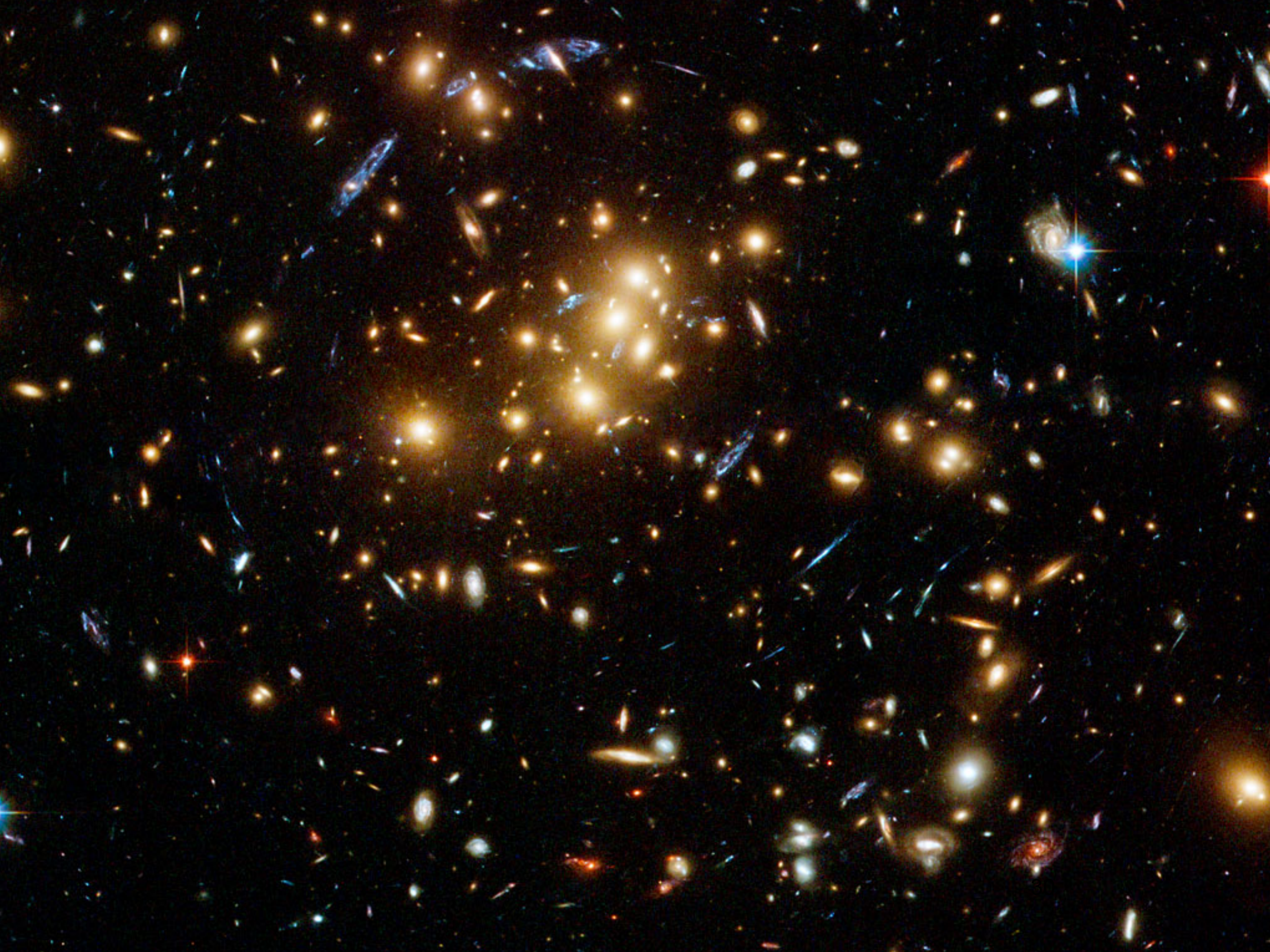




O en grandes grupos que llamamos
cúmulos de galaxias

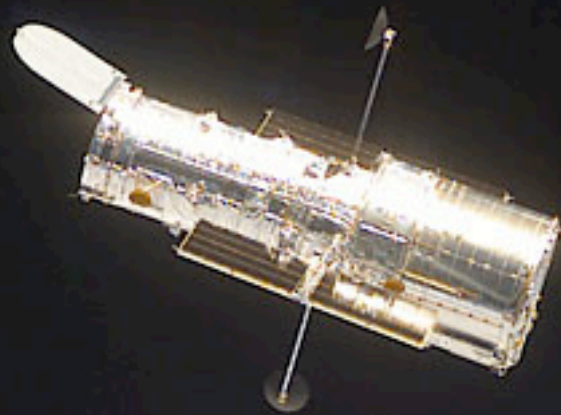






¿Cómo las observamos?

Te Telescopio Espacial Hubble





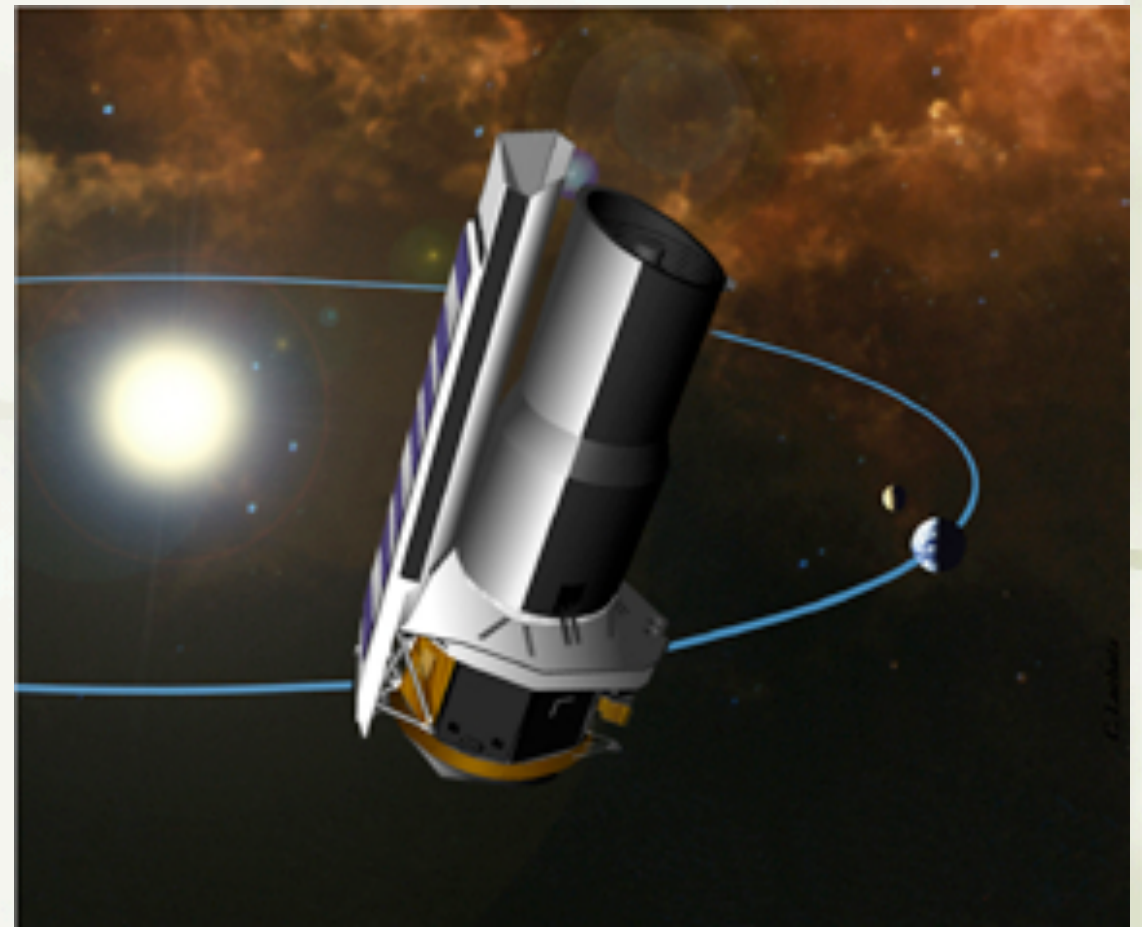
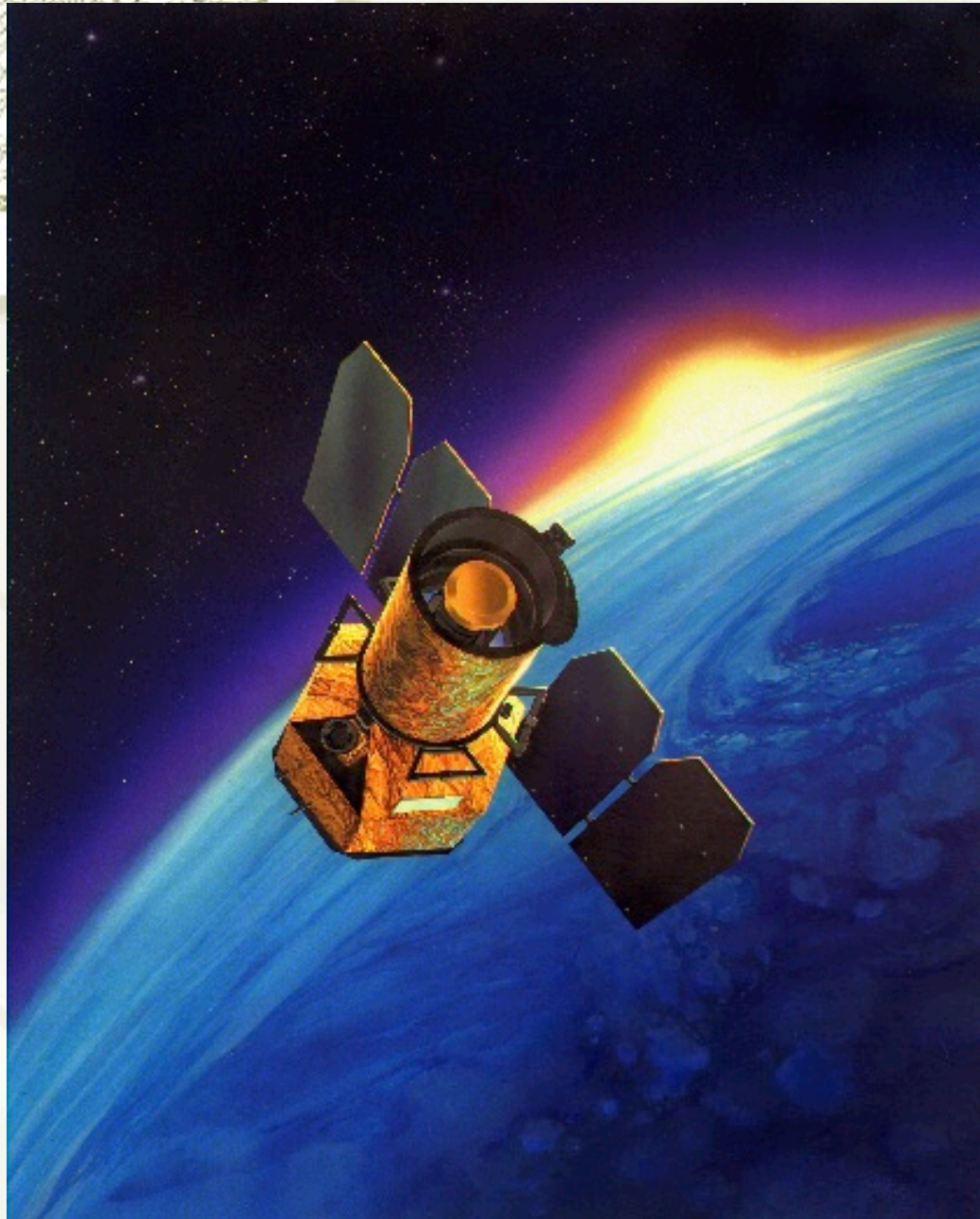
Observatorio Gemini (Hawaii y Chile)



VLT: Very Large Telescope, ESO, Cerro Paranal, Chile

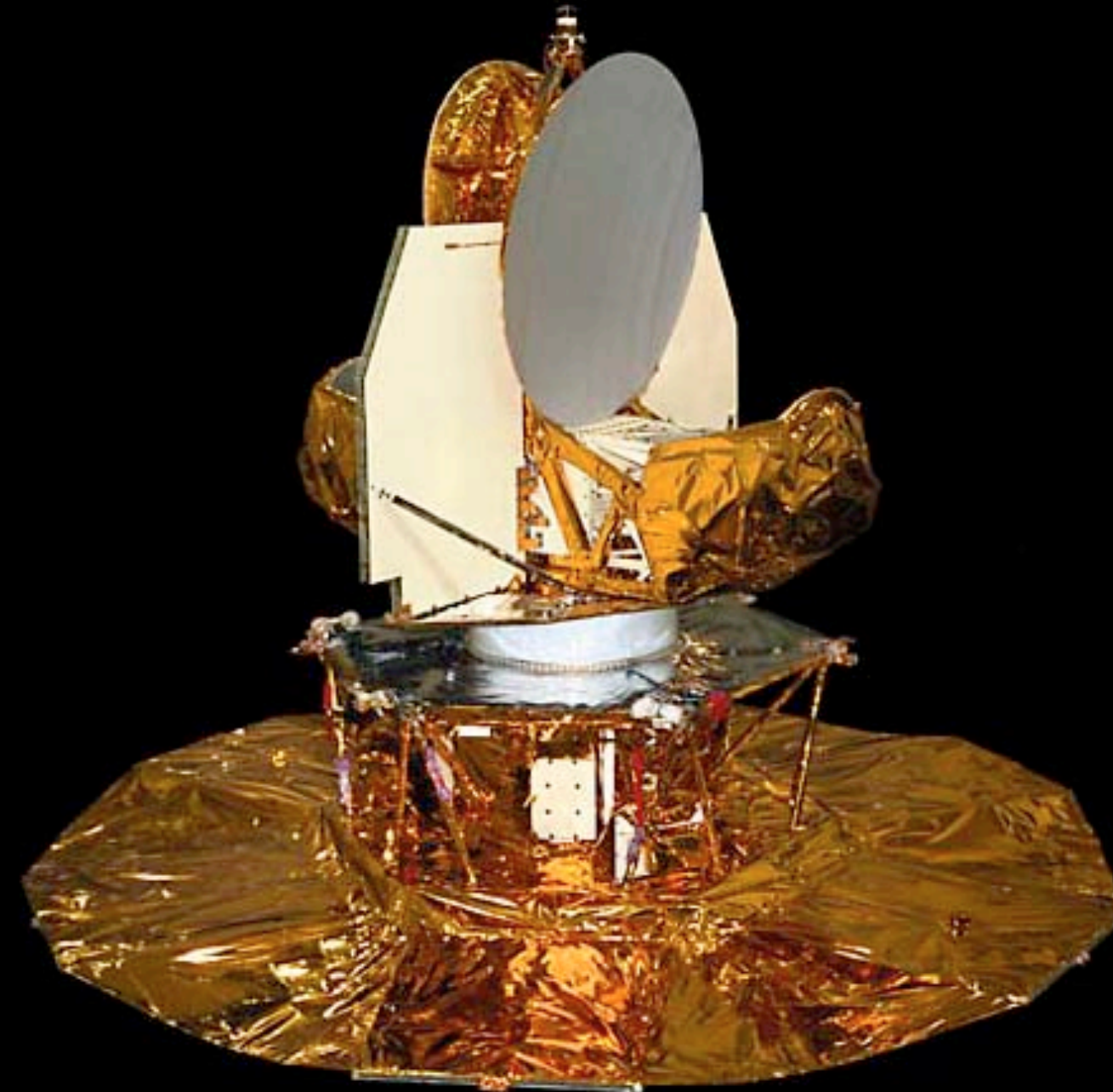


GALEX: Galaxy Evolution Explorer (UV)



Telescopio Espacial Spitzer (IR)

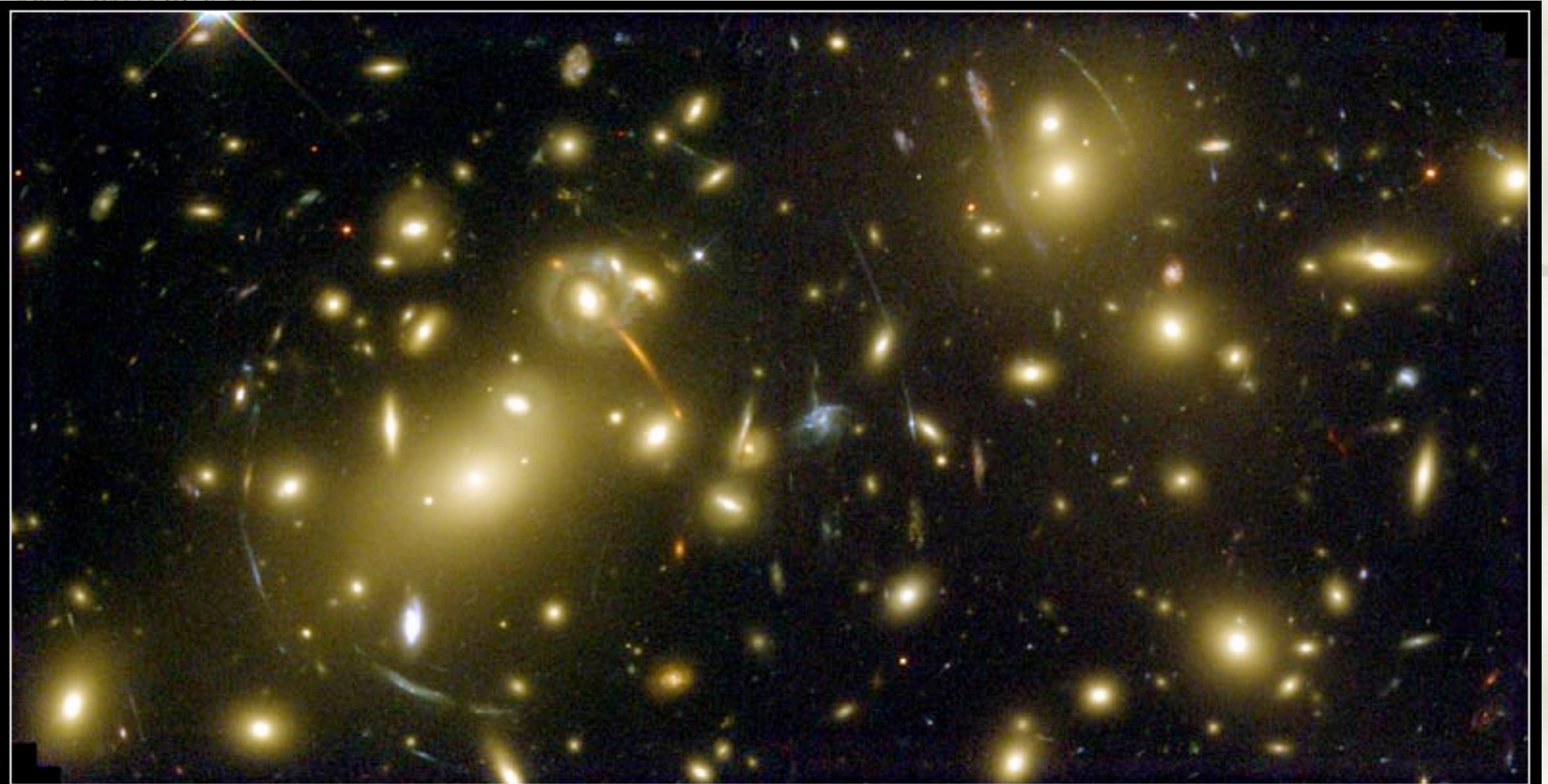
Telescopio Espacial Hubble



MAP990389

WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

Telescopios gravitacionales



Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, ST-ECF) • STScI-PRC00-08

¿CÓMO PODEMOS SABER LA
EDAD DE UNA GALAXIA?

Estudiando sus estrellas

¿CÓMO PODEMOS SABER LA
EDAD DE UNA ESTRELLA?

¡Estudiando astrofísica!

¿Qué hemos aprendido?

Esto es un cúmulo globular

100,000 estrellas que viven
juntas desde que nacieron

En nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay entre 100 y 200 de estos cúmulos

Sus estrellas son tan viejas como el universo: 13,600,000,000 de años

ENTONCES,

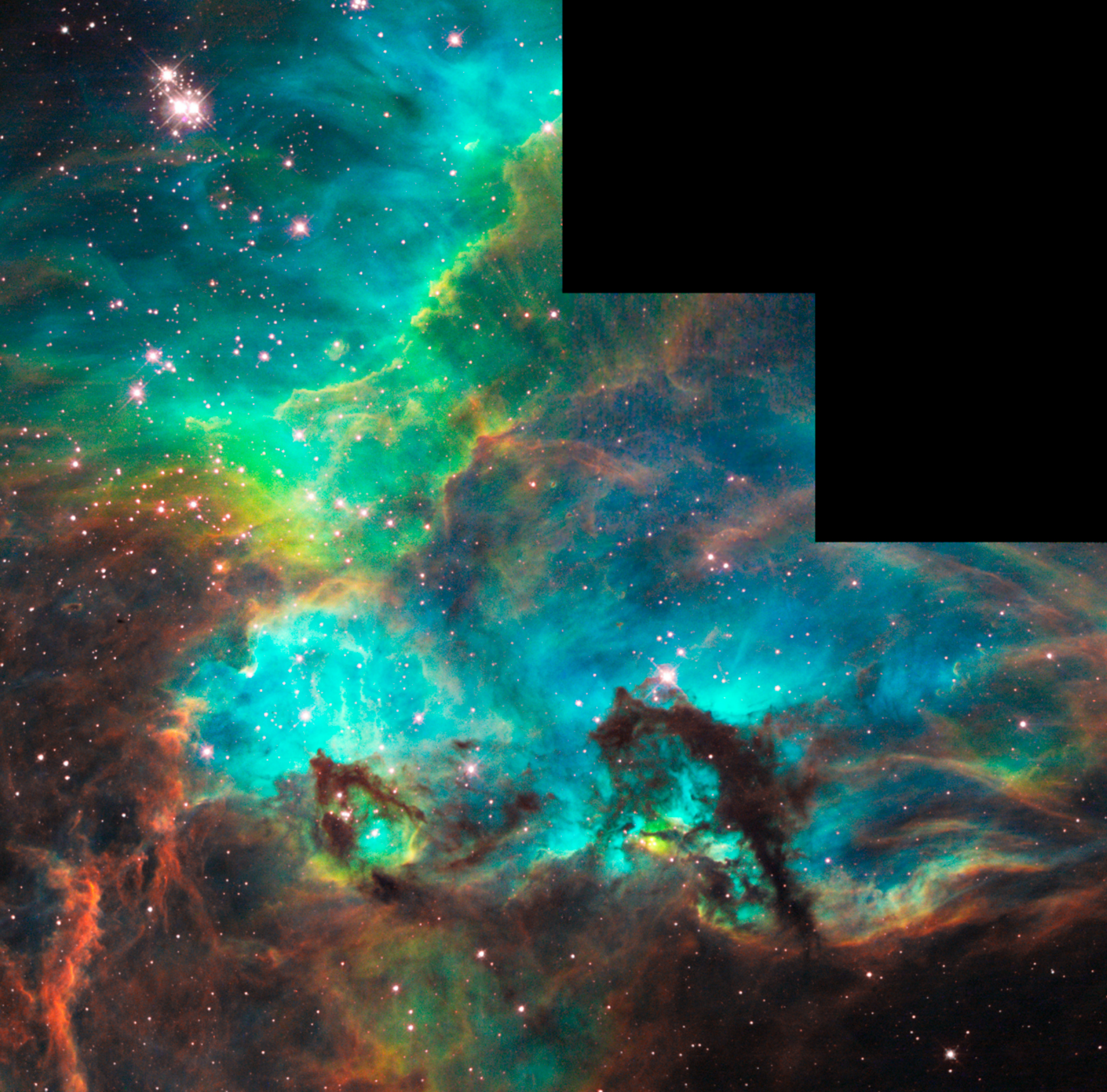
En nuestra galaxia hay estrellas
tan viejas como el universo mismo

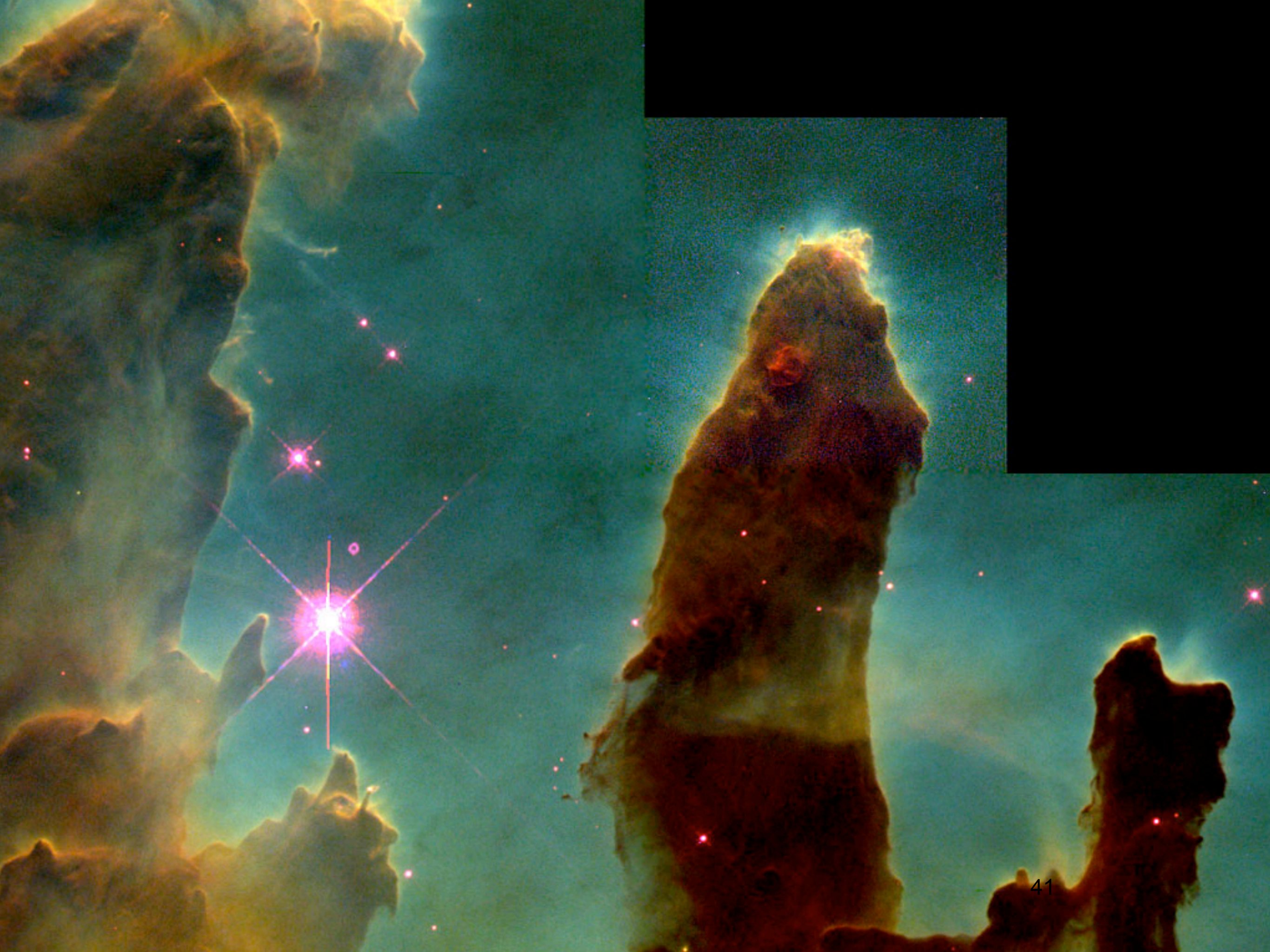
PERO...

no todas las estrellas de la Vía Láctea
tienen esa edad

Región de formación estelar

Estrellas
recién
nacidas con
edad = 0

















TAMBIÉN SABEMOS,

que el Sol, el Sistema Solar y la
Tierra tienen alrededor de
4,500,000,000 años

ES DECIR...

en la Vía Láctea siempre se han
estado formando estrellas nuevas

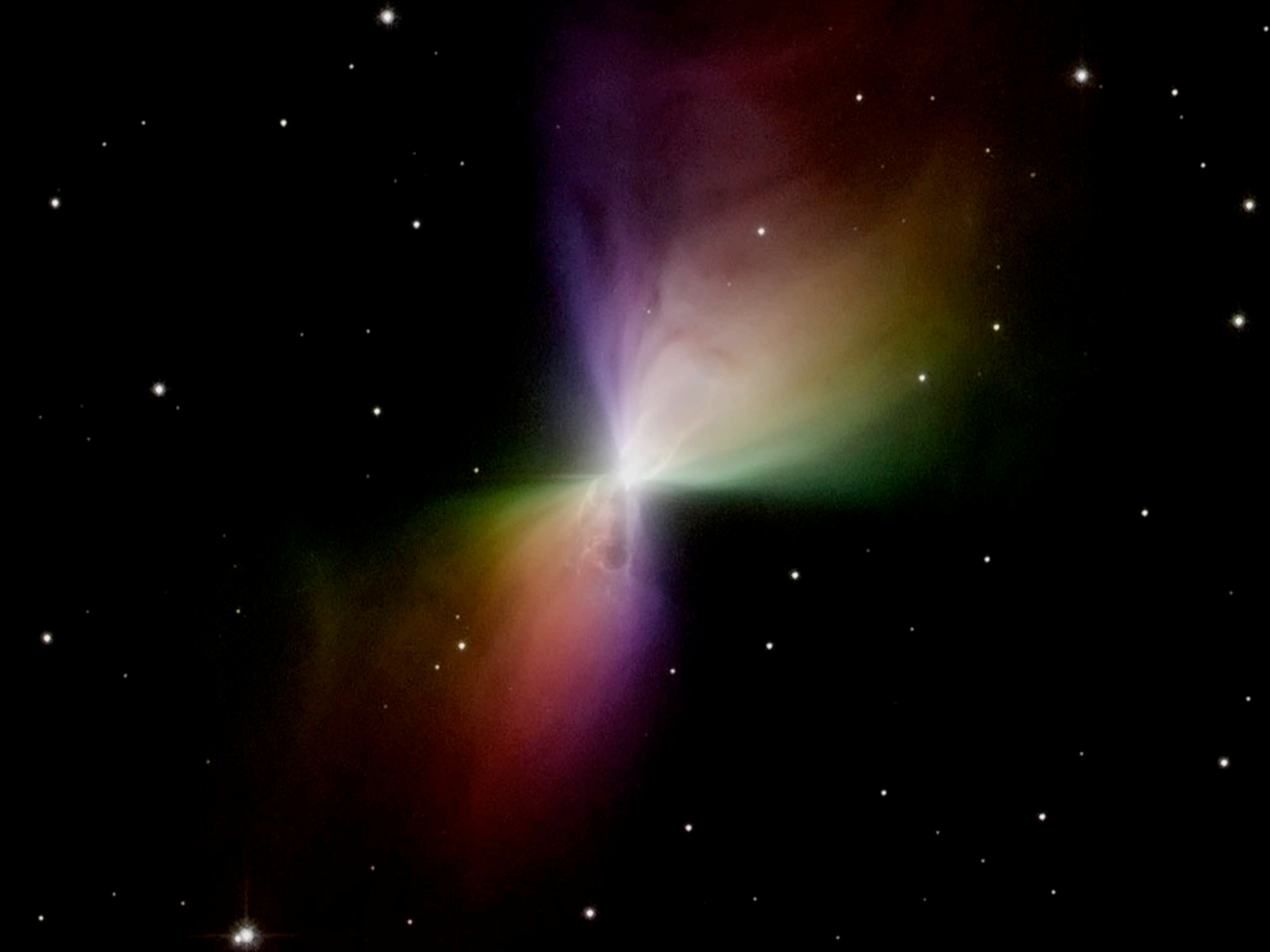
Y TAMBIÉN SABEMOS,

que las estrellas mueren cuando se les
acaba el combustible (gas hidrógeno),
y dejan rastros de su existencia

POR EJEMPLO...

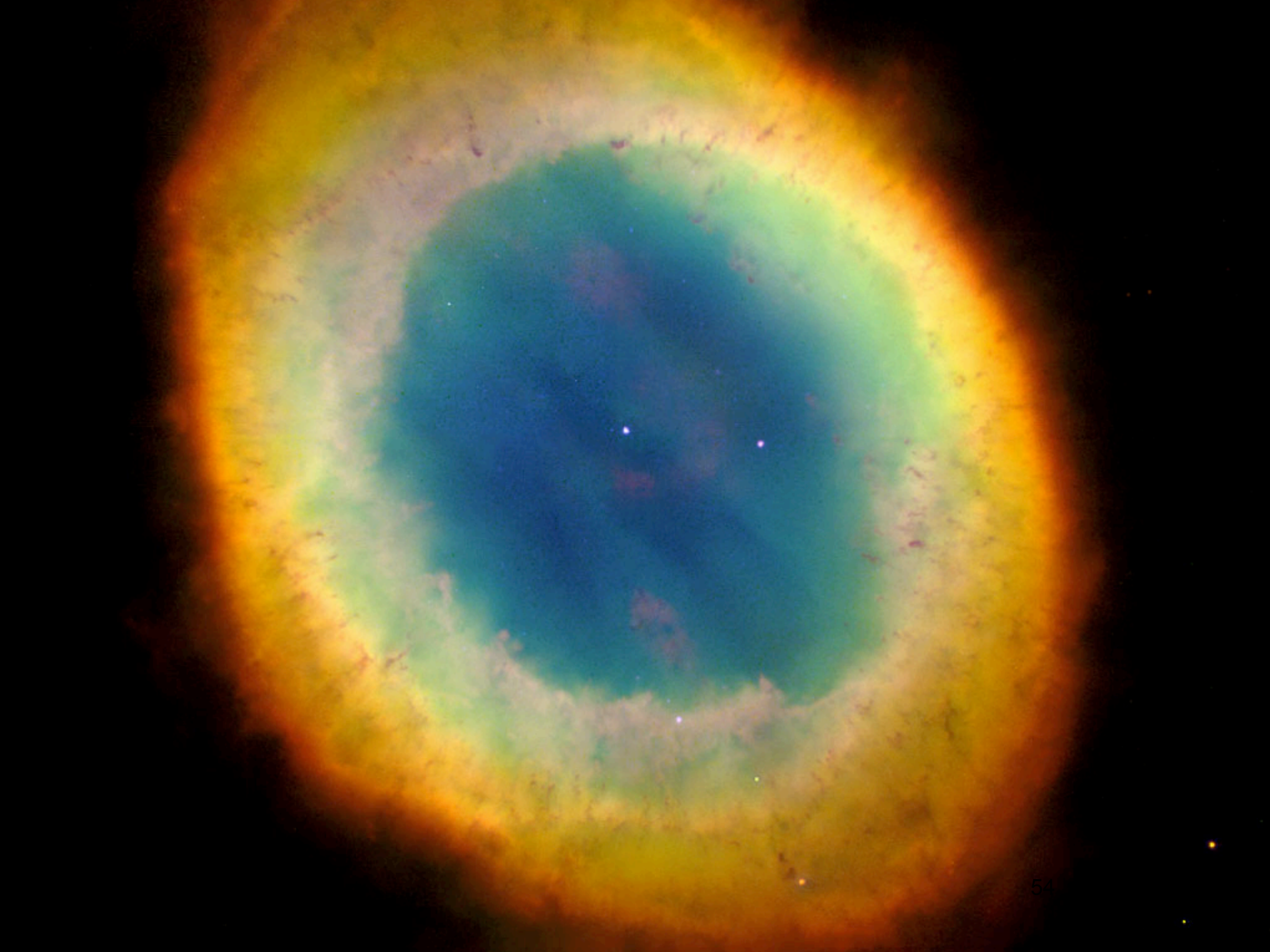
- Explosiones de supernova
- Nebulosas Planetarias













POR LO TANTO:

- las galaxias son sistemas dinámicos
- se forman estrellas siempre que haya materia prima (gas y polvo), que mueren al agotar el combustible
- son tan viejas como el universo
- pero ninguna estrella en ninguna galaxia puede ser mas vieja que el universo

¿Y QUÉ SABEMOS DEL UNIVERSO?

¿Ha tenido siempre la misma edad?

¡ NO !

Como todo, el universo envejece

Y las estrellas mas viejas en cualquier galaxia eran mas jóvenes cuando el universo era mas joven

Galaxia dominada por estrellas jóvenes



NGC 4881
Coma Cluster
HST · WFPC2

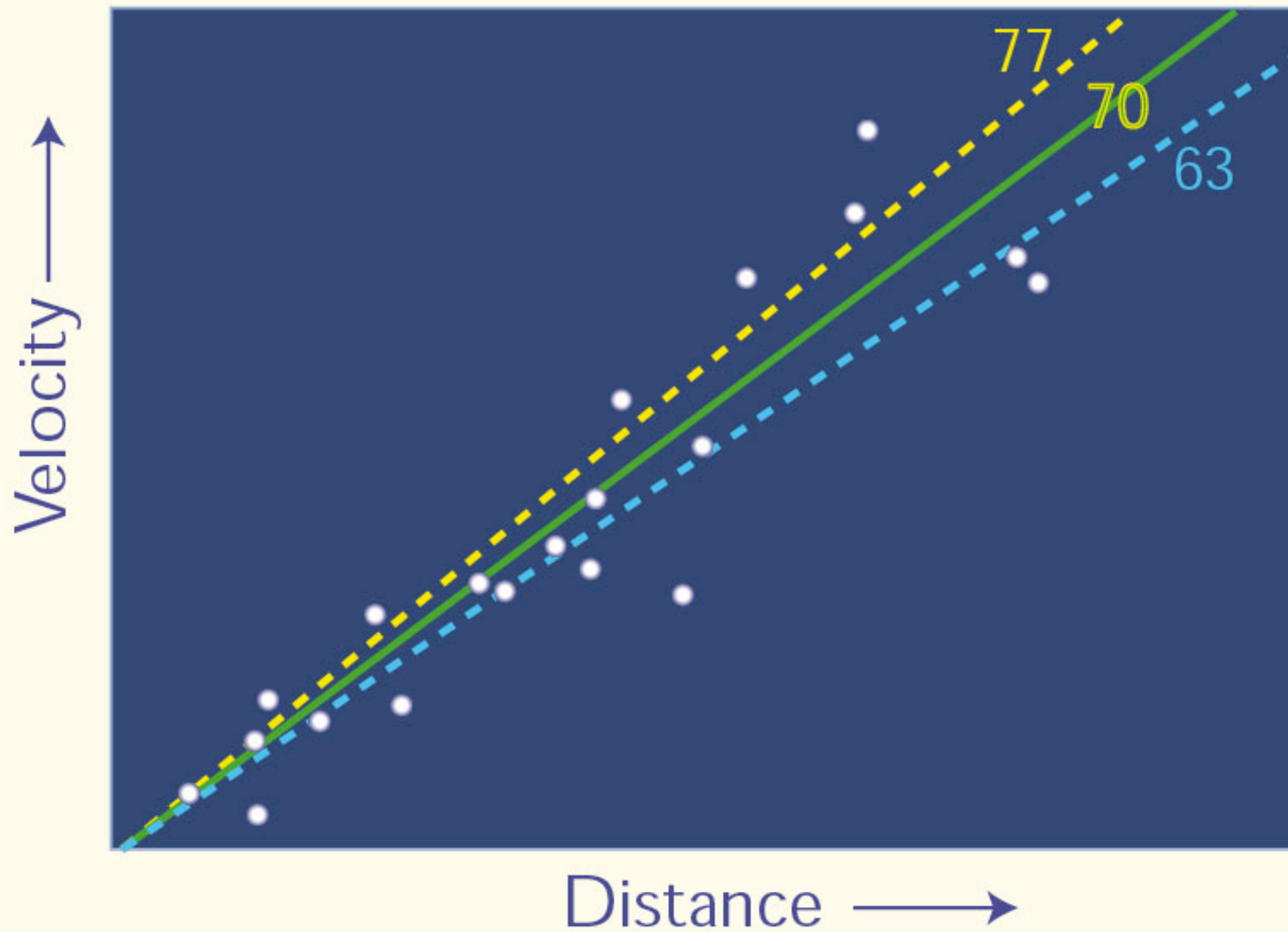


Galaxia elíptica:
agregado de $1E11$
estrellas viejas,
cercanas a 13 Gyr

PF95-07 · ST ScI OPO · January 1995 · W. Baum (U.WA), NASA

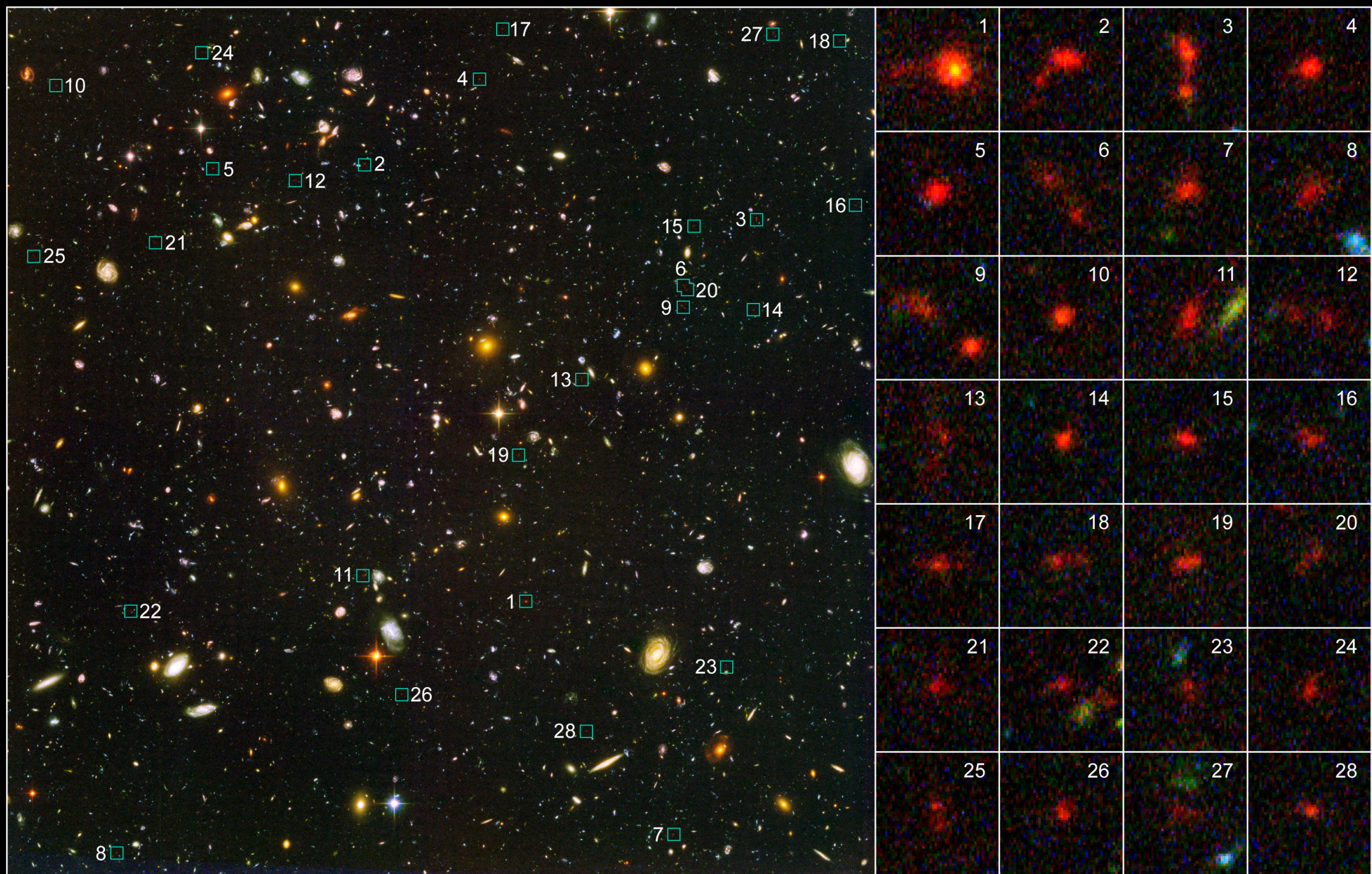
1/27/95 zgl

Hubble Diagram for Cepheids



El Universo como lo vemos hoy





Distant Galaxies in the Hubble Ultra Deep Field

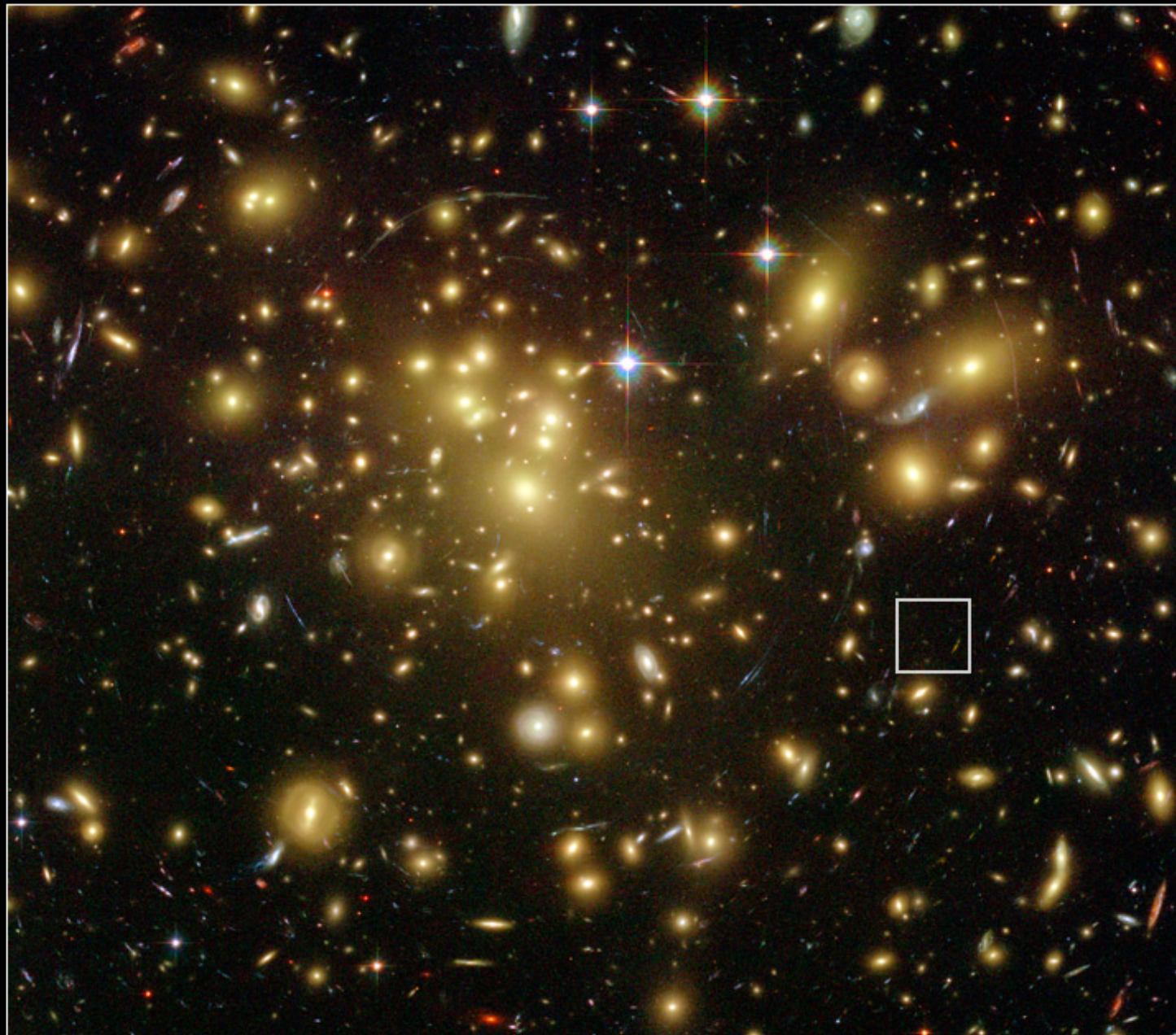
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

NASA, ESA, R. Bouwens and G. Illingworth (University of California, Santa Cruz)

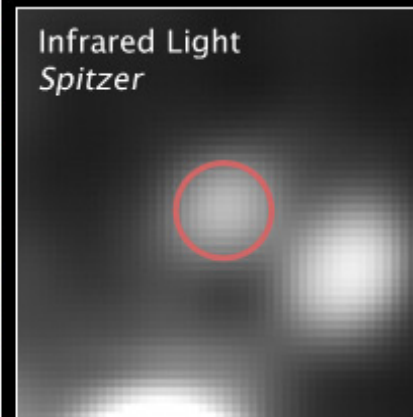
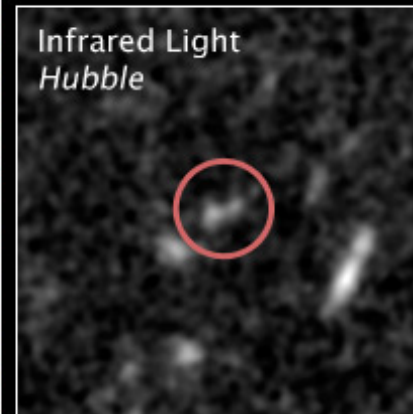
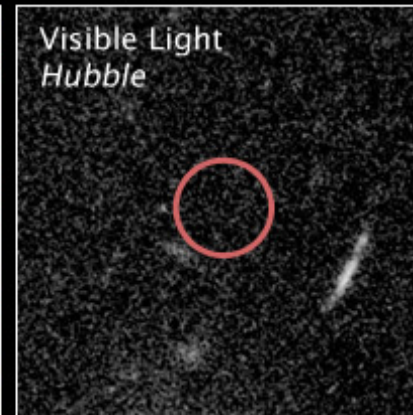
STScI-PRC06-12

Telescopios gravitacionales: nos permiten estudiar galaxias muy lejanas, presentes en el universo joven

Distant Gravitationally Lensed Galaxy
Galaxy Cluster Abell 1689



Hubble Space Telescope
ACS/WFC NICMOS



NASA, ESA, and L. Bradley (JHU), R. Bouwens (UCSC), H. Ford (JHU), and G. Illingworth (UCSC)

STScI-PRC08-08a

galaxia
formada
cuando el
universo
tenía 700
Maños,
hace 12.8
millardos de
años

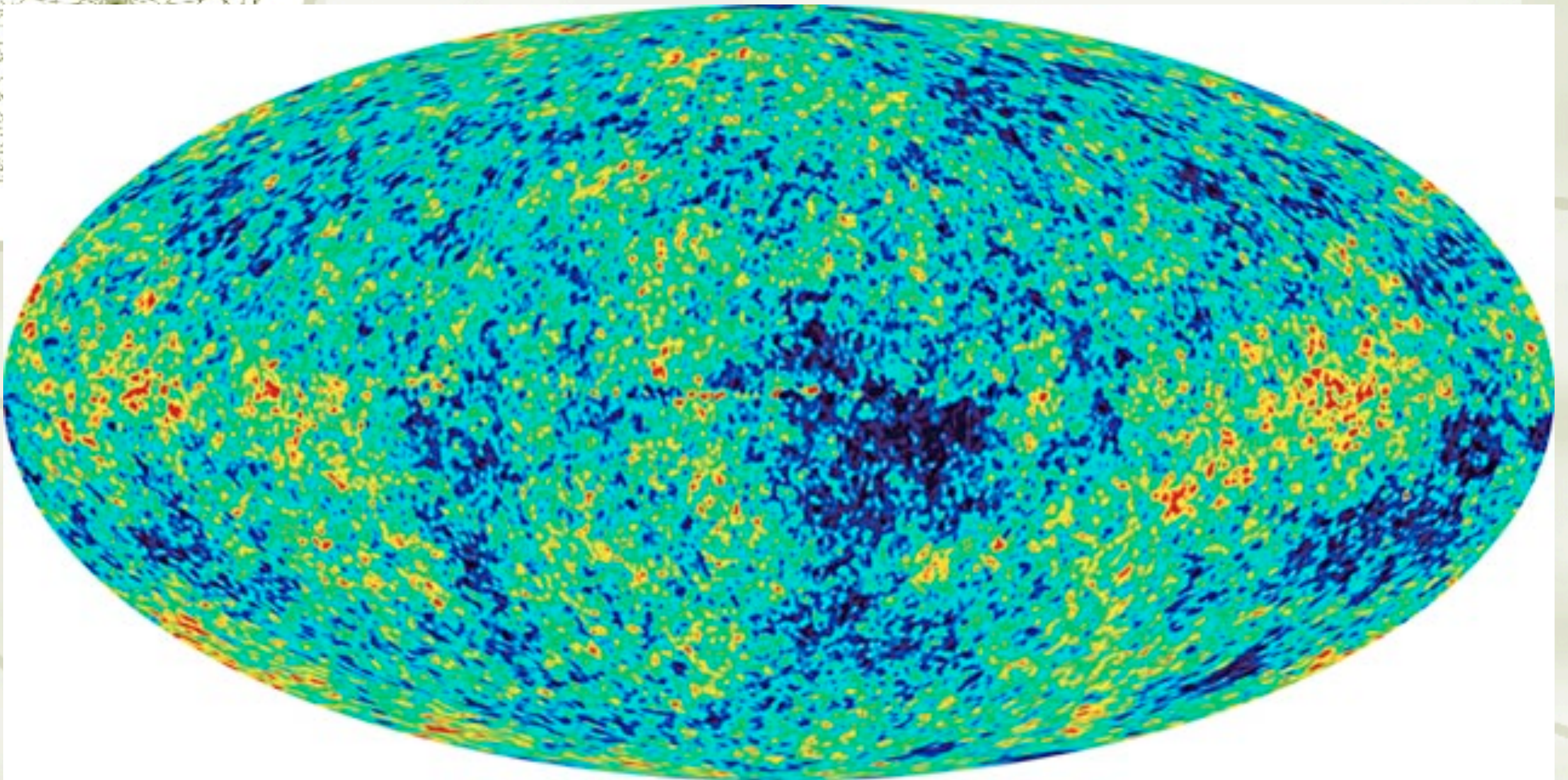
¿QUÉ MAS HEMOS APRENDIDO?

- En el universo joven = lejano
- Las galaxias eran mas pequeñas
- Predominantemente discos
- Todos muy azules (estrellas jóvenes)

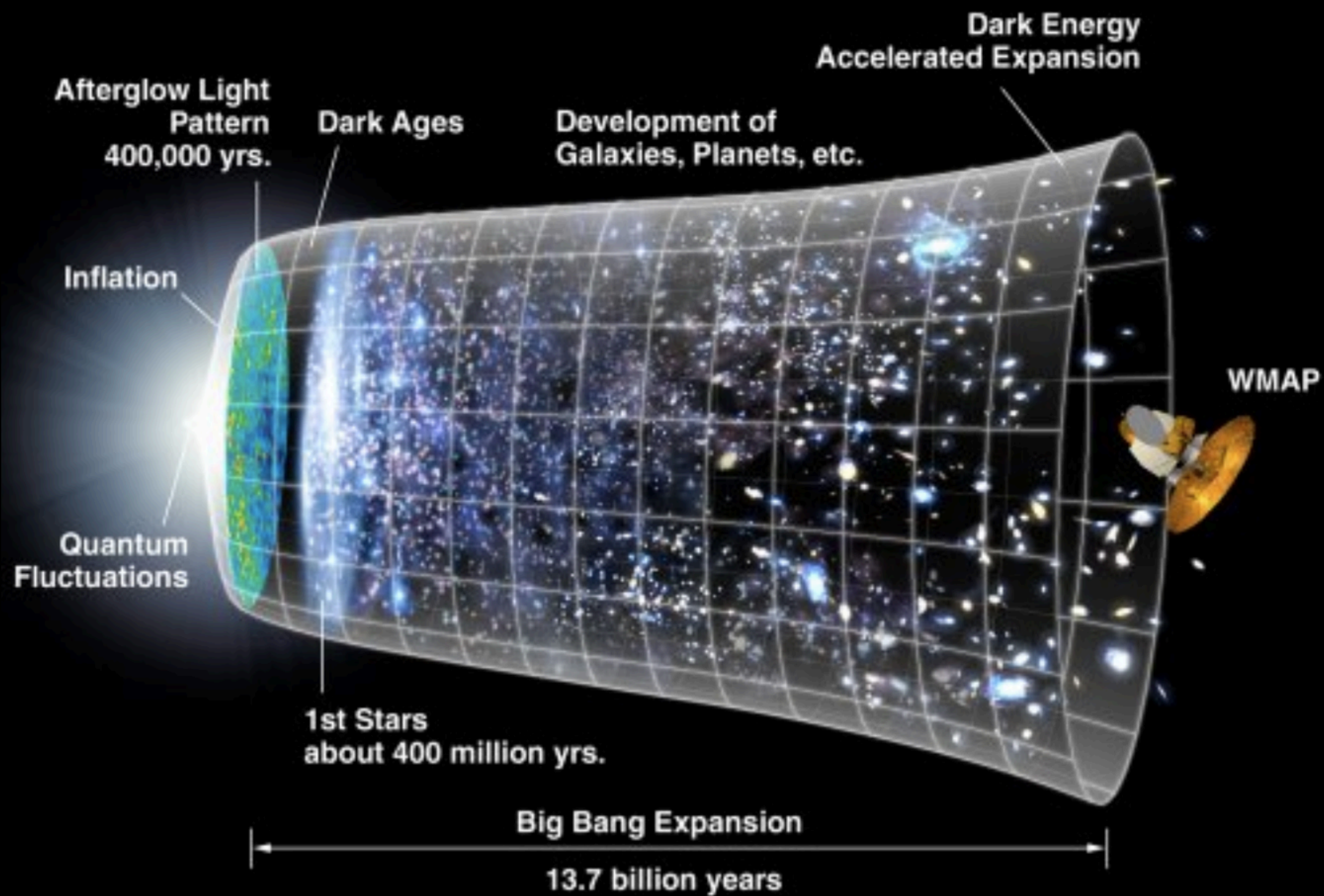
Las galaxias y sus estrellas envejecen con el universo

Para estudiar galaxias jóvenes hay que buscar galaxias muy lejanas

El universo cuando tenía 380.000 años... (WMAP)



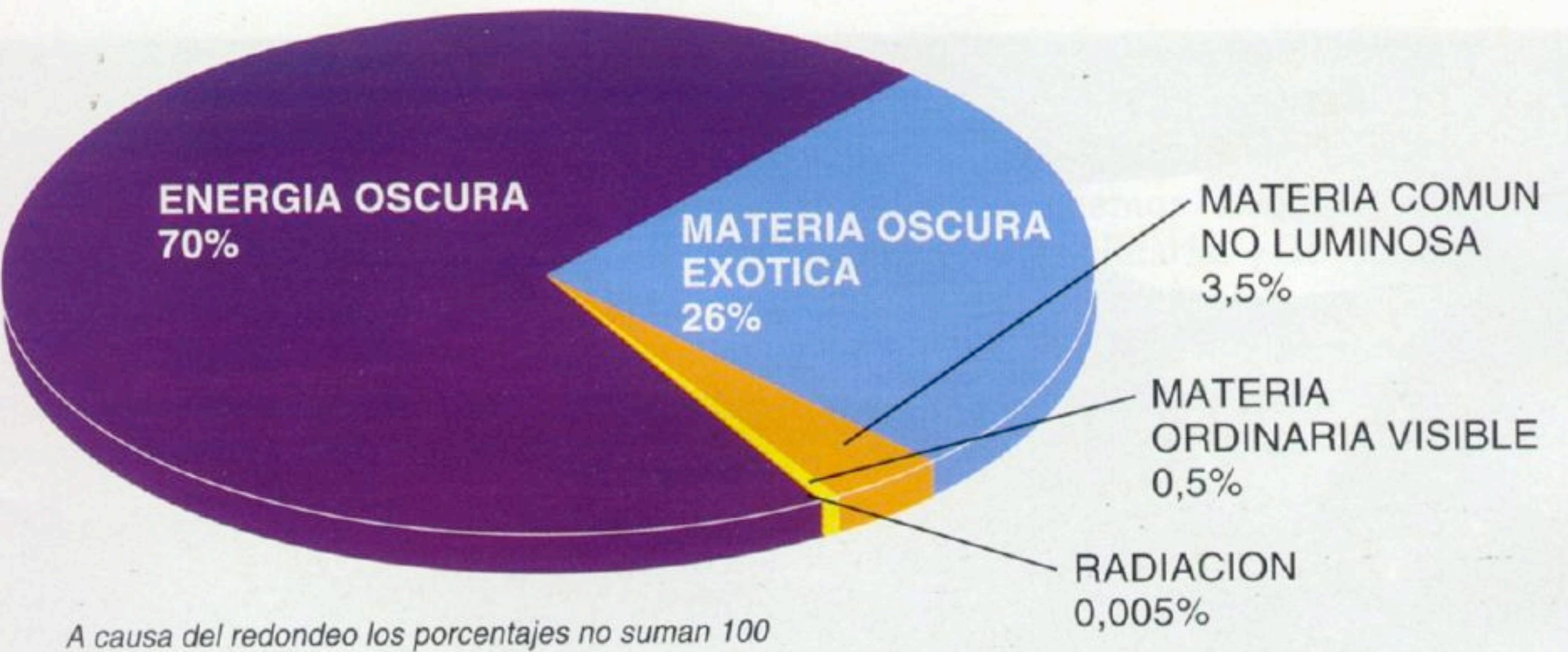
No había galaxias



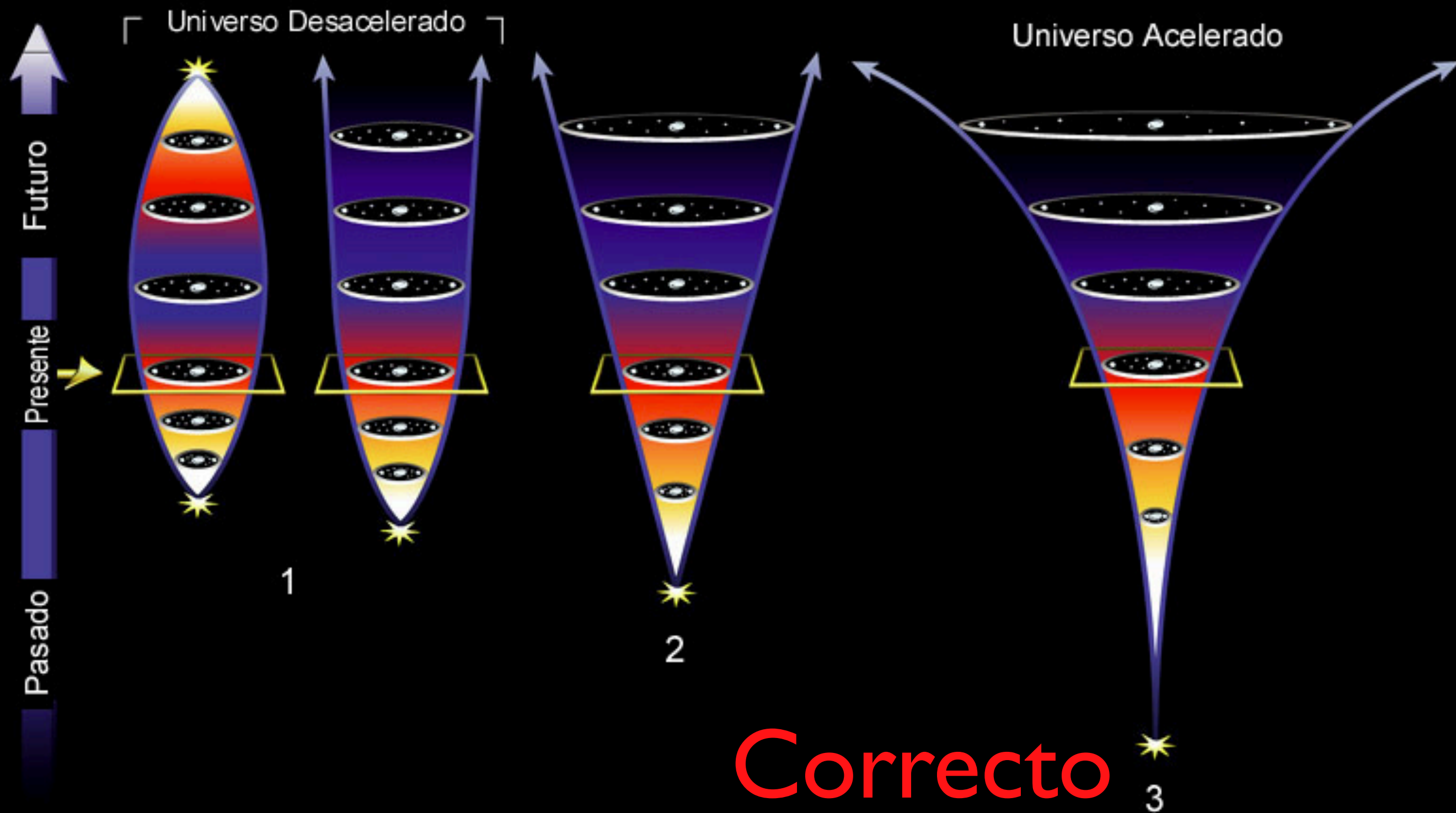
El modelo de universo después de WMAP:

- Edad: 13.7 millardos de años (1 % de error)
- Expansión: 71 km/sec/Mpc actualmente (5 % de error)
- $\Omega = 1$, distribuído así:
 - 4% = materia ordinaria bariónica
 - 23% = materia oscura fría
 - 73% = energía oscura
 - (i.e. sólo 15 % de la materia es bariónica)
- Ocurrió una etapa de expansión rápida (inflación)
- Se expandirá para siempre

- Desconocemos la naturaleza de la energía oscura (~70-73)% de la densidad de masa-energía del universo
- Cada vez sabemos mas de la naturaleza y distribución de la materia bariónica y la materia oscura fría



Modelos posibles del Universo en expansion

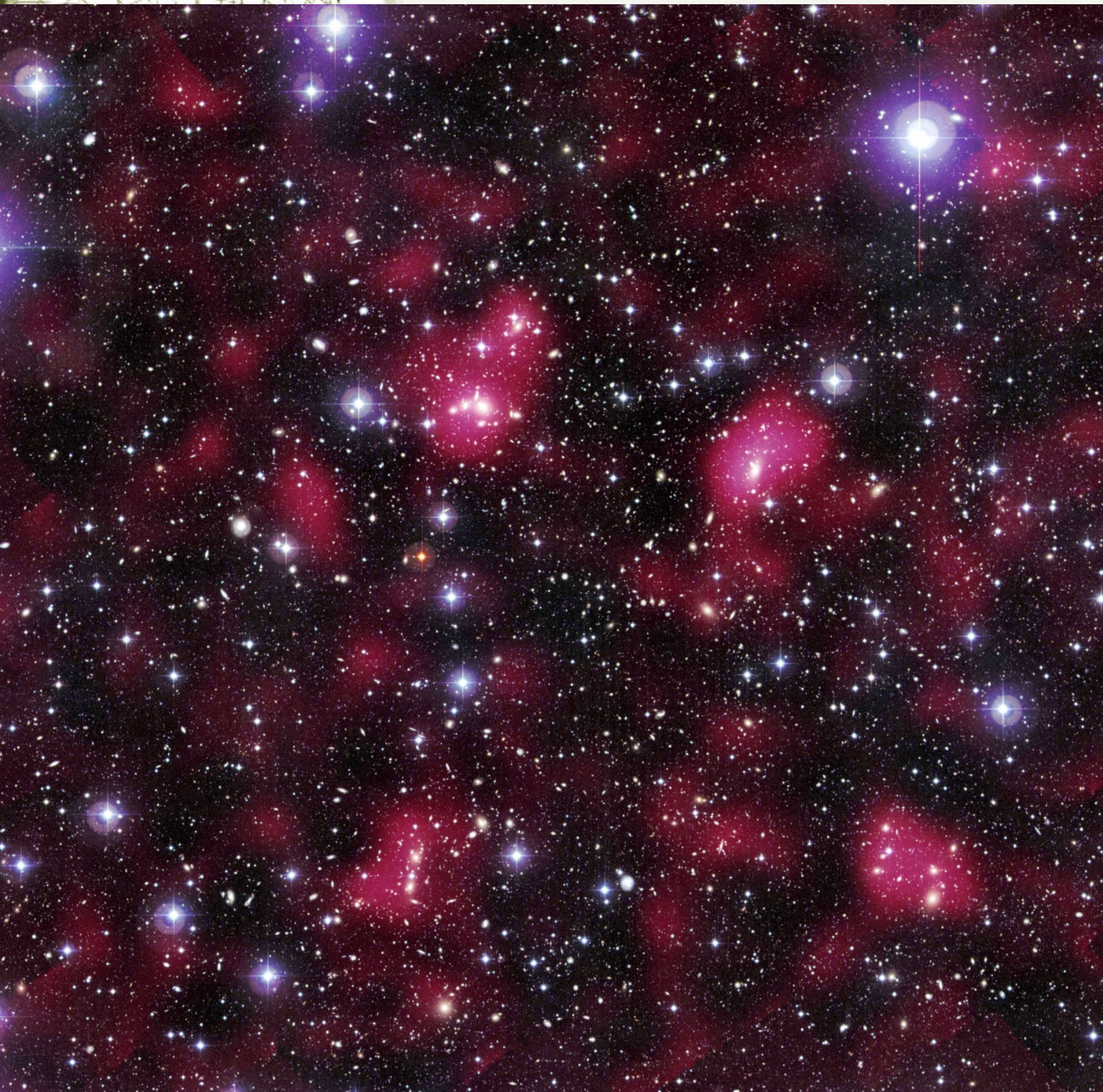




Distribución de la Materia Oscura

- Observaciones utilizando telescopios o lentes gravitacionales (única forma de **observar** la materia oscura)
- Simulaciones numéricas

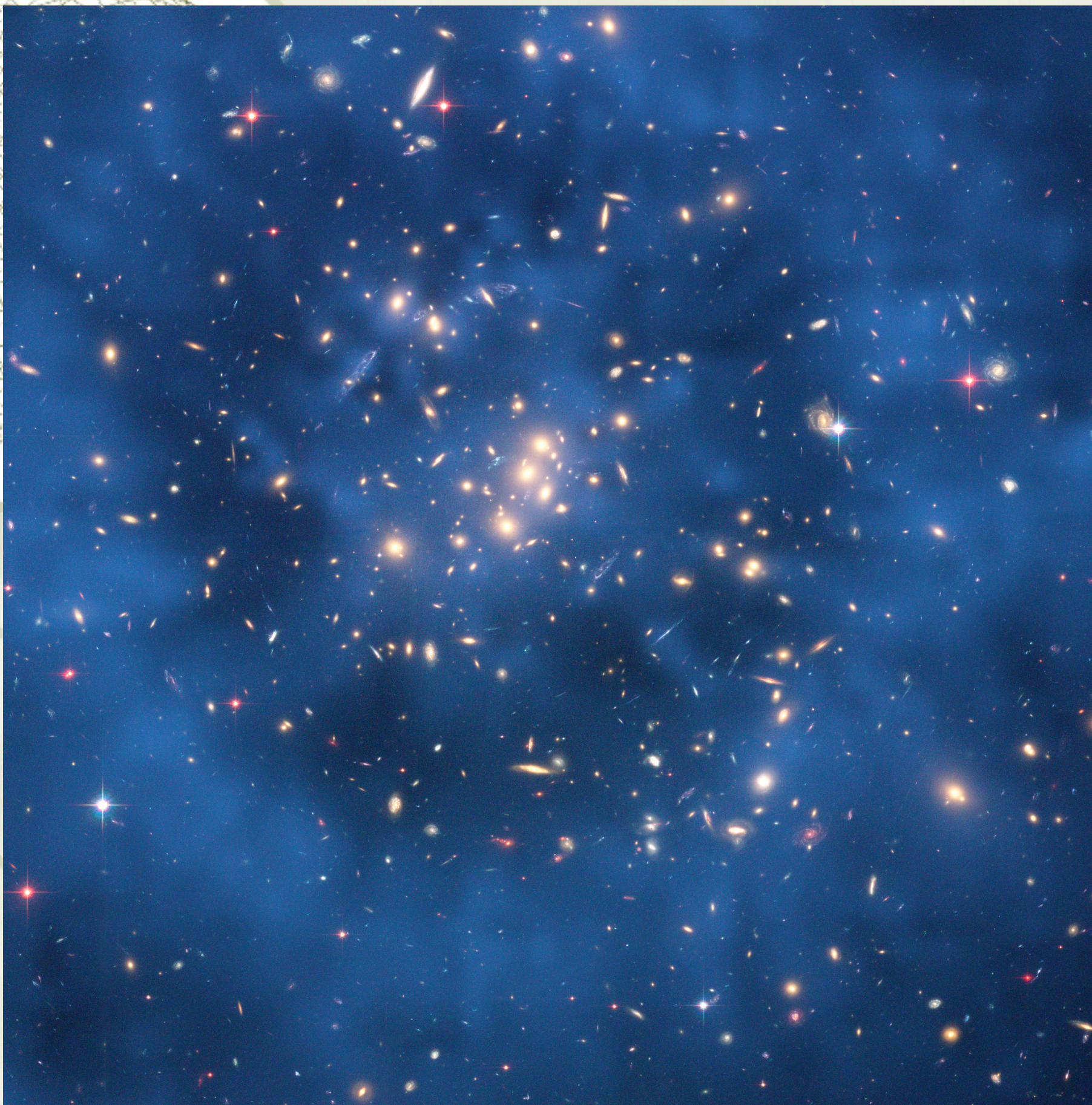
Materia oscura en un cúmulo de galaxias



- Distribución de materia oscura (en morado) en el super cúmulo de galaxias Abell 901/902 (Heymans et al. 2008).

- Las galaxias del cúmulo se concentran en los máximos de materia oscura

- La materia oscura fue observada indirectamente por su efecto de lente gravitacional en mas de 60.000 galaxias ubicadas detrás de este cúmulo.



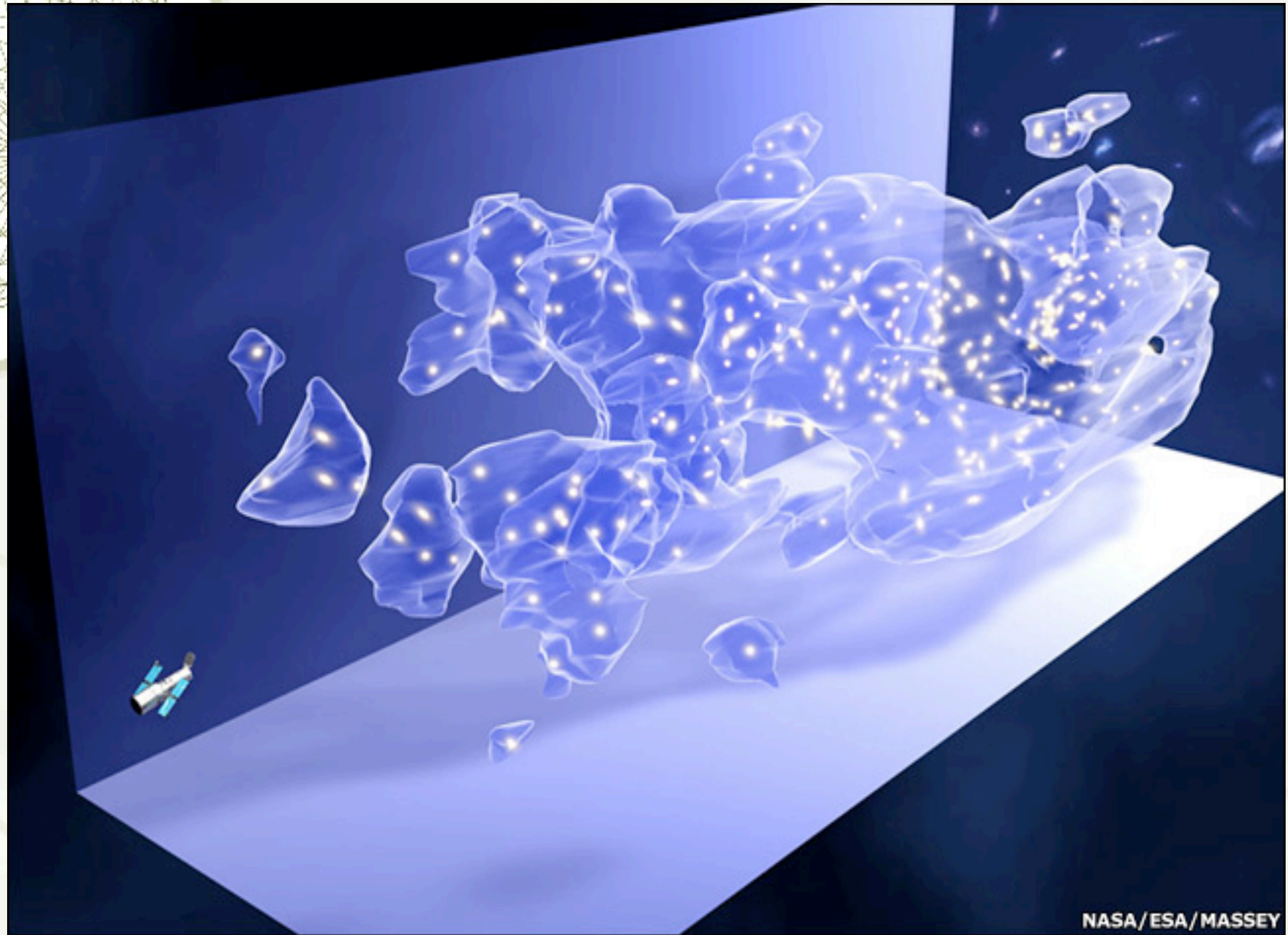
Reconstrucción
de la
distribución de
materia oscura
en el cúmulo,
CL0024+17
representada
digitalmente
como una
nubosidad de
color azul. Se
observa forma
de anillo.

Mapa 3D de la materia oscura

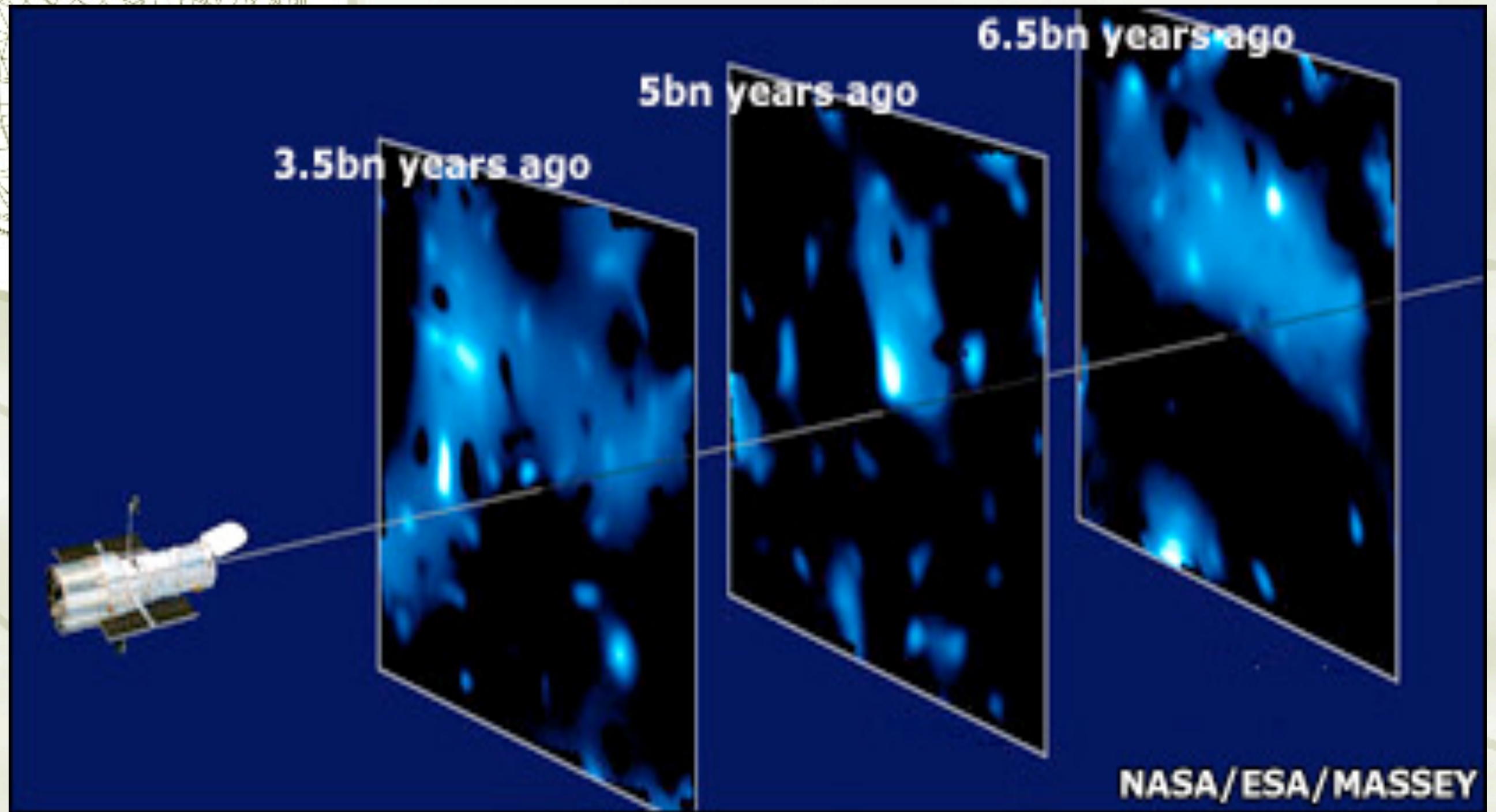
Massey et al. (2007)

- 1.000 horas de tiempo de observación en el HST en un lapso de 2 años como parte de COSMOS (Cosmic Evolution Survey). Se obtuvieron 575 imágenes que cubren un área del cielo de 2 grados cuadrados (9 veces mas grande que cualquier sondeo previo con el HST).
- Se analizaron las distorsiones (1 a 2%) en la forma de las galaxias debido a al efecto gravitacional de la materia oscura a lo largo de los rayos de luz.
- Comparando con la distribución de las formas de estas galaxias esperada sin la deformación gravitacional se puede derivar la distribución de la materia oscura.
- Utilizando galaxias a diferente z (fotométrico) se puede conocer la distribución en 3D de la materia oscura.

Mapa 3D de la materia oscura (Massey et al. 2007)



Mapa 3D de la materia oscura (Massey et al. 2007)





The Millennium Simulation Project

(Springel et al. 2005)

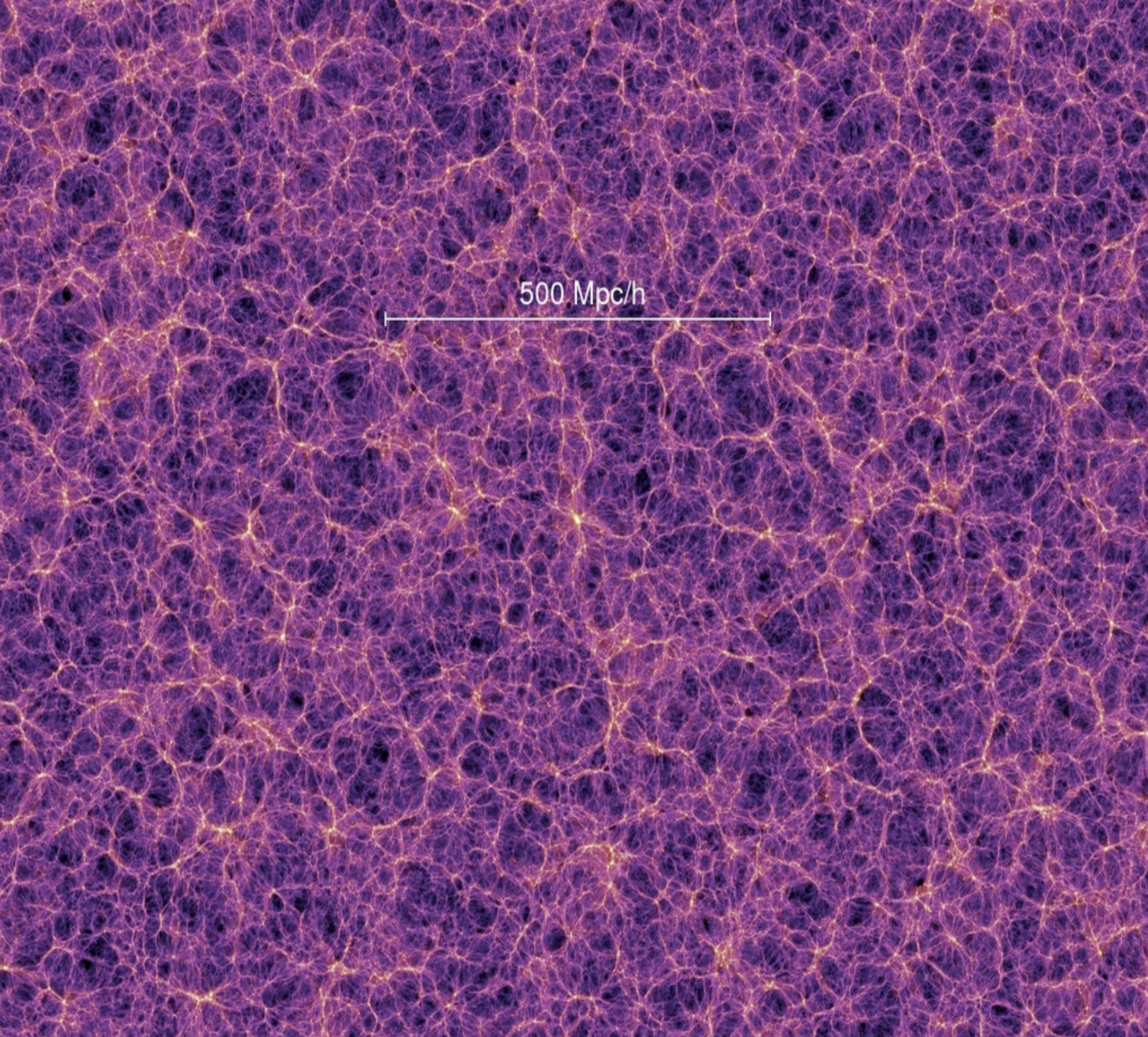
- Se utilizaron mas de 10^{10} partículas en un código de N cuerpos para seguir la evolución de la distribución de materia en un cubo de universo de arista unos 700 Mpc (2.000 Mly)
- Se sigue la evolución dinámica y fotométrica de cerca de los 20 millones de galaxias que pueblan este volumen.
- Comparando con las observaciones se pueden mejorar recipes evolutivos

$z = 0,$

$t = 13.6 \text{ Gyr}$

HOY

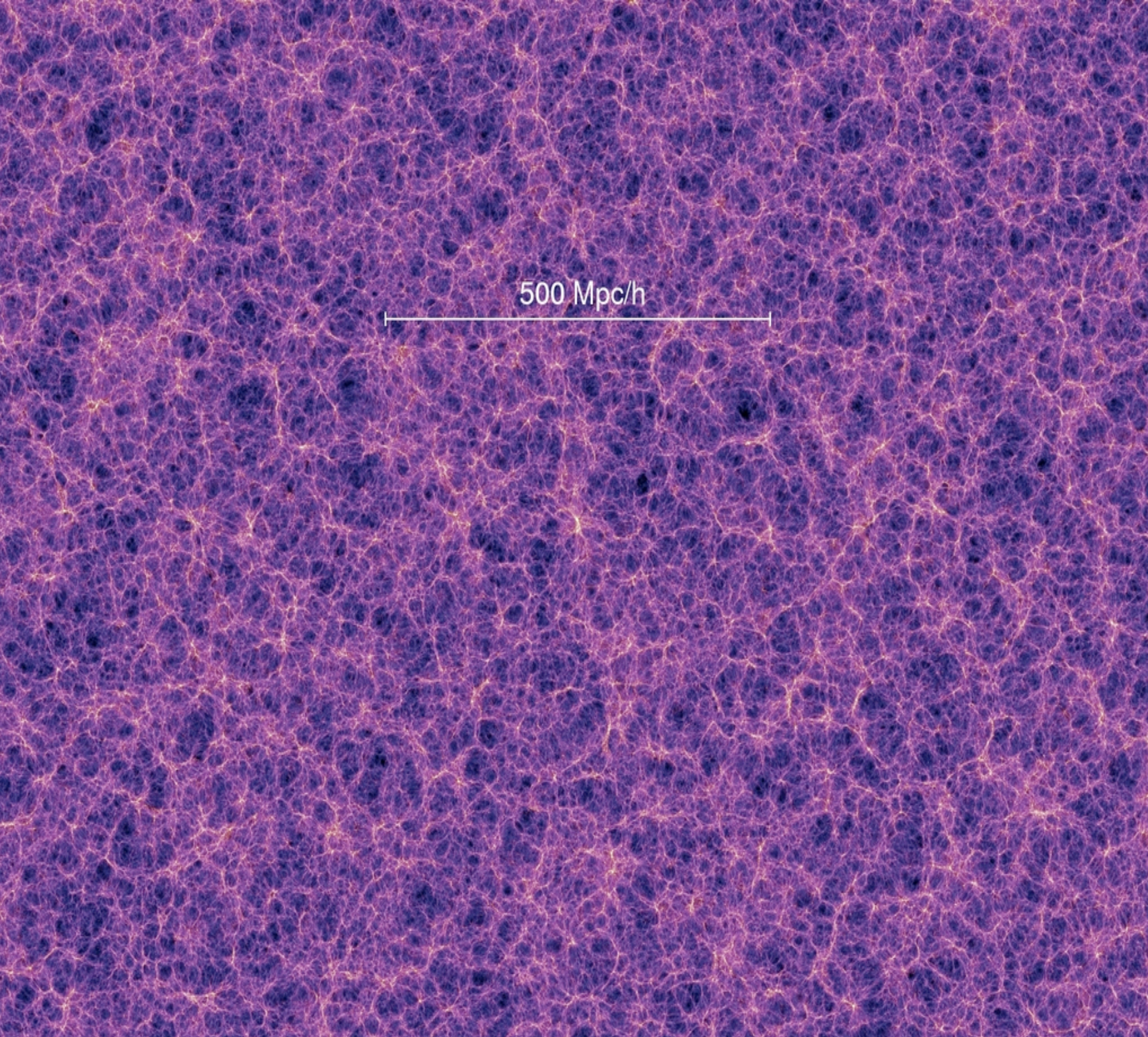
500 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at redshift z=0, showing the distribution of dark matter filaments and galaxy clusters. The image displays a complex, interconnected network of filaments and nodes, with a color gradient from dark purple to bright yellow. A scale bar in the center indicates a distance of 500 Mpc/h.

$z = 1.4,$

$t = 4.7 \text{ Gyr}$

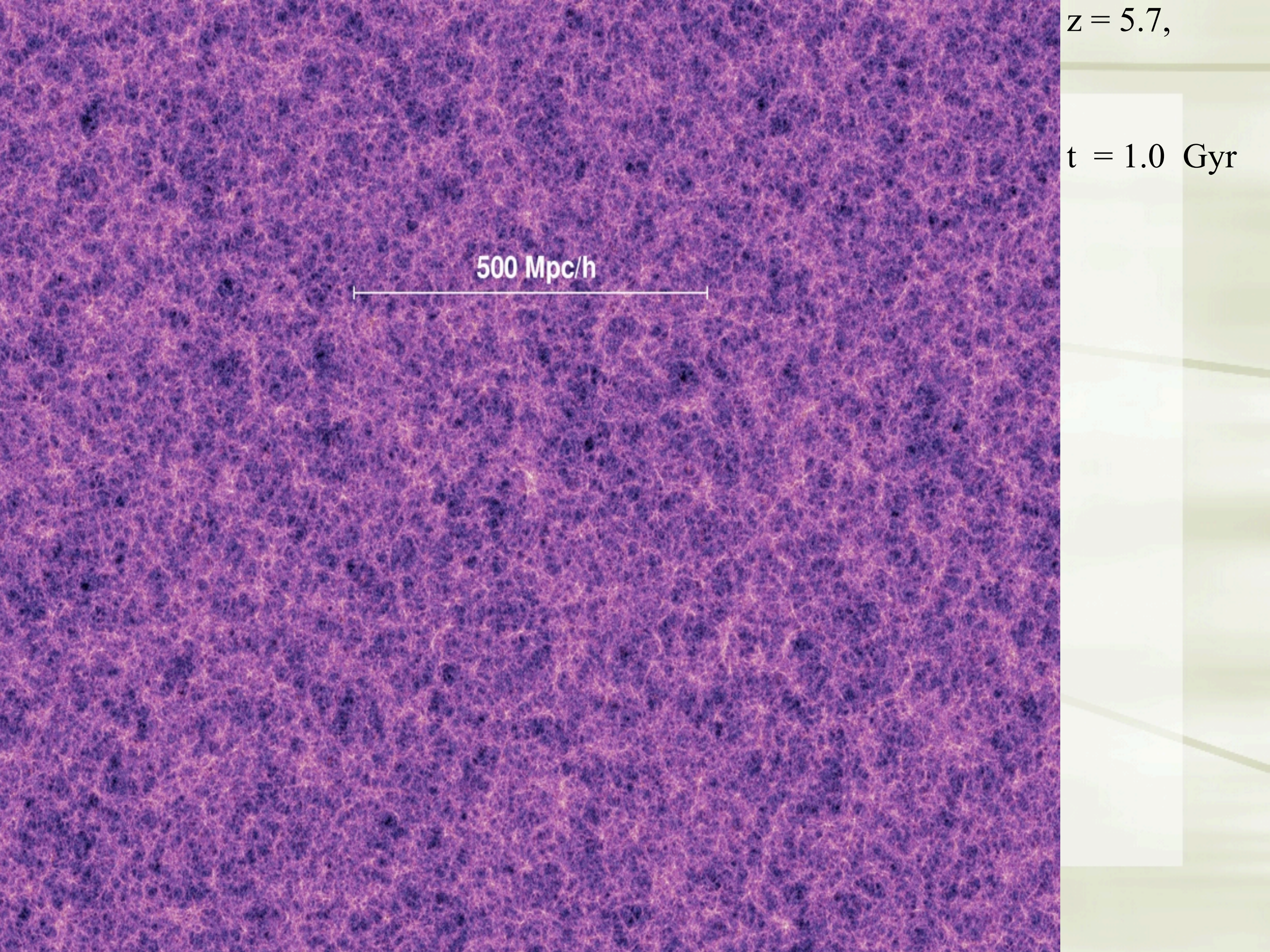
500 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at redshift $z = 1.4$ and time $t = 4.7 \text{ Gyr}$. The image shows a dense network of filaments and nodes, with a color scale ranging from dark blue (low density) to yellow (high density). A horizontal scale bar in the center indicates a distance of 500 Mpc/h.

$z = 5.7,$

$t = 1.0 \text{ Gyr}$

500 Mpc/h

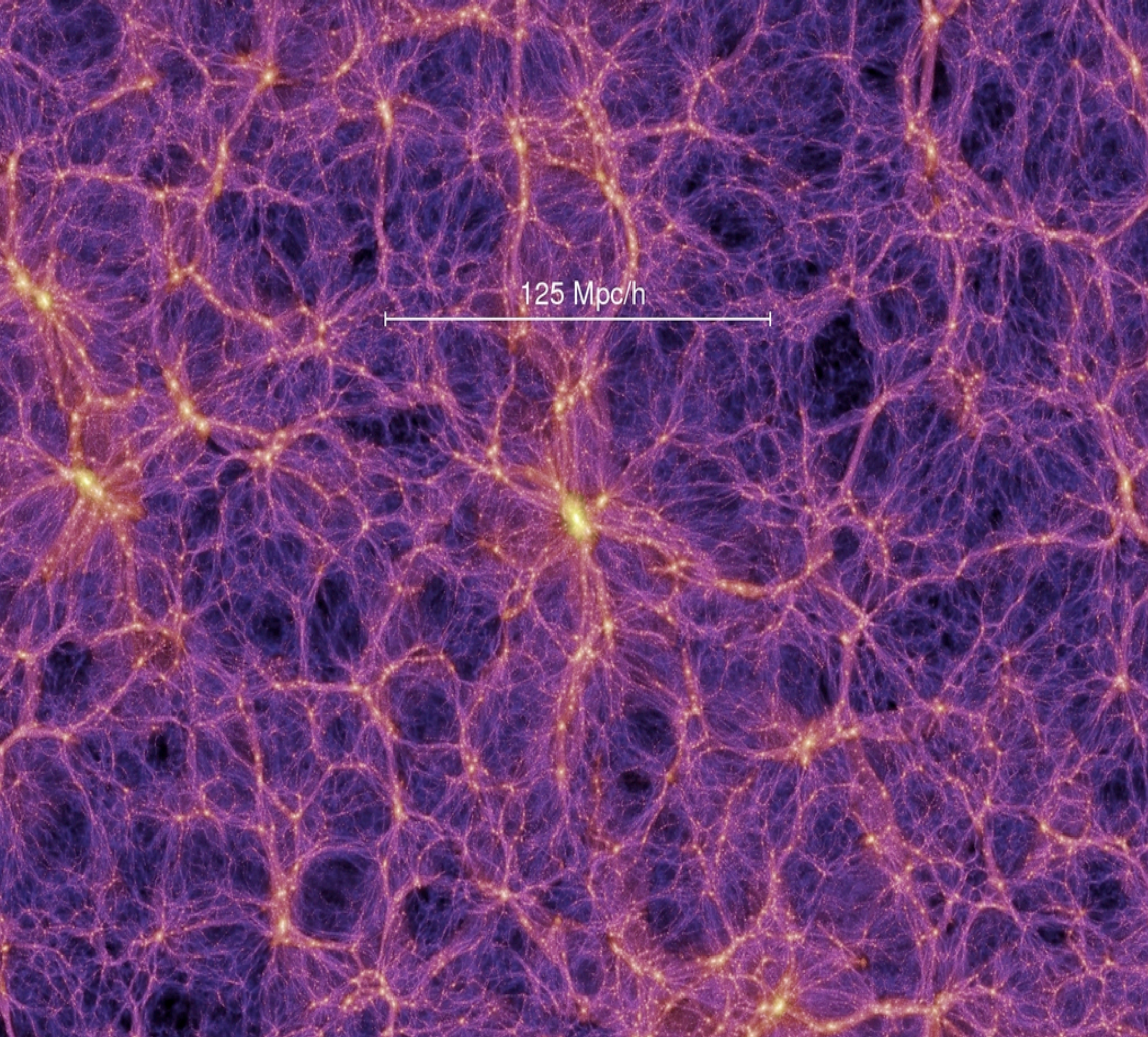
A visualization of the cosmic web at redshift $z = 5.7$ and time $t = 1.0 \text{ Gyr}$. The image shows a dense, interconnected network of filaments and nodes, representing the distribution of matter in the universe. The color scale ranges from dark purple (low density) to bright yellow (high density). A horizontal scale bar in the center indicates a distance of 500 Mpc/h.

$z = 18.3,$

$t = 0.2 \text{ Gyr}$

500 Mpc/h





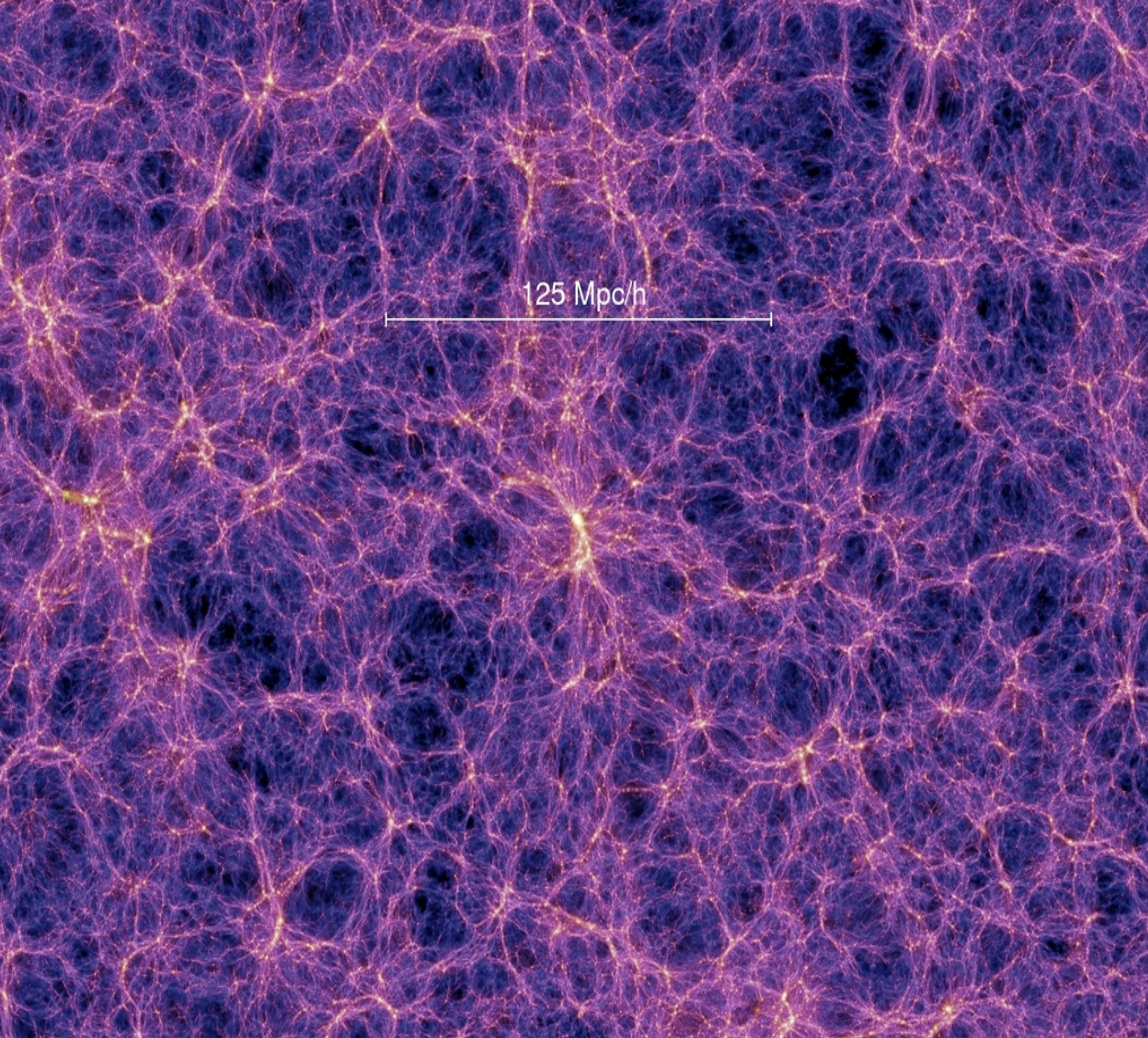
$z = 0,$

$t = 13.6$ Gyr

HOY

$z = 1.4,$

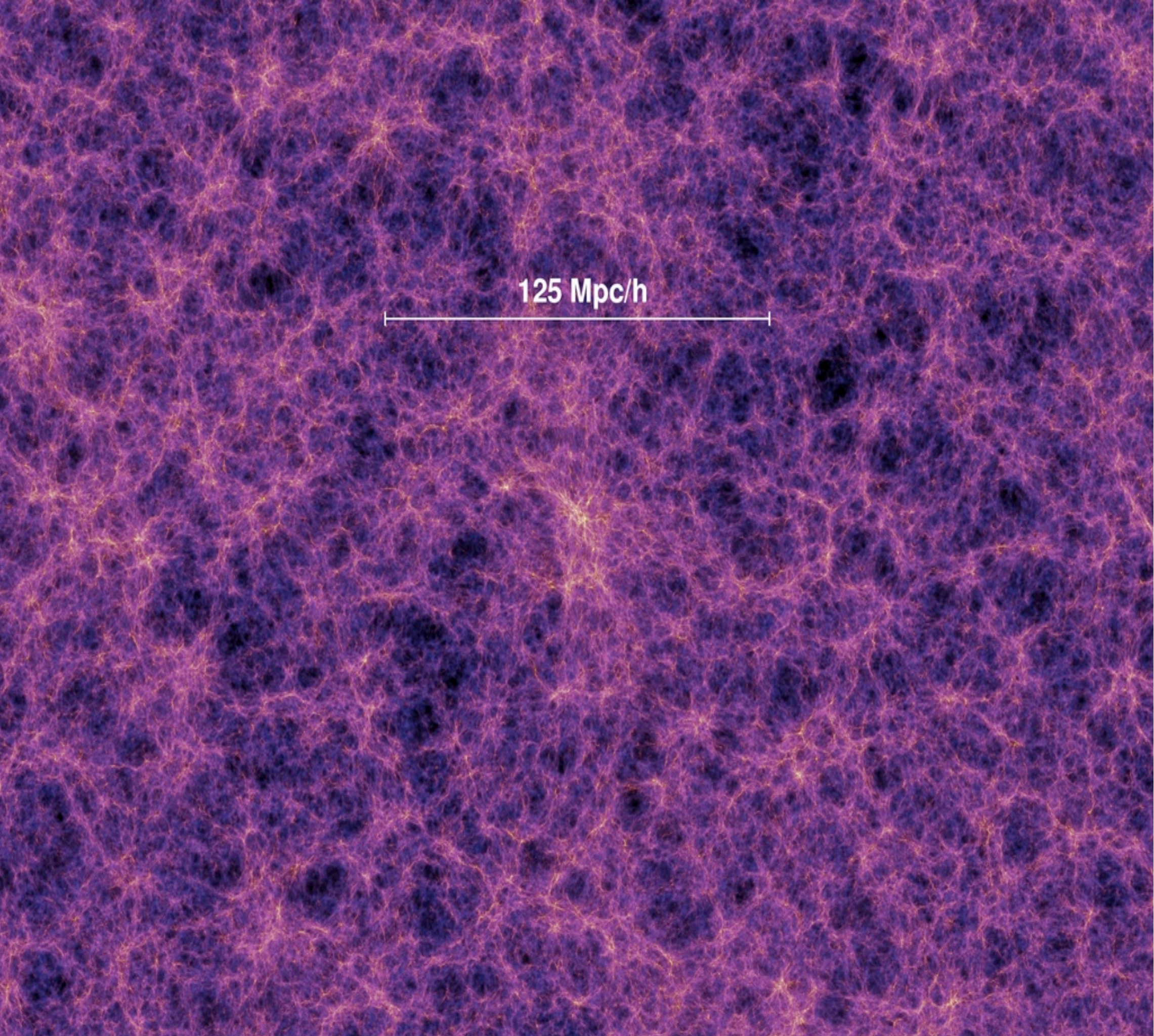
$t = 4.7 \text{ Gyr}$



$z = 5.7,$

$t = 1.0 \text{ Gyr}$

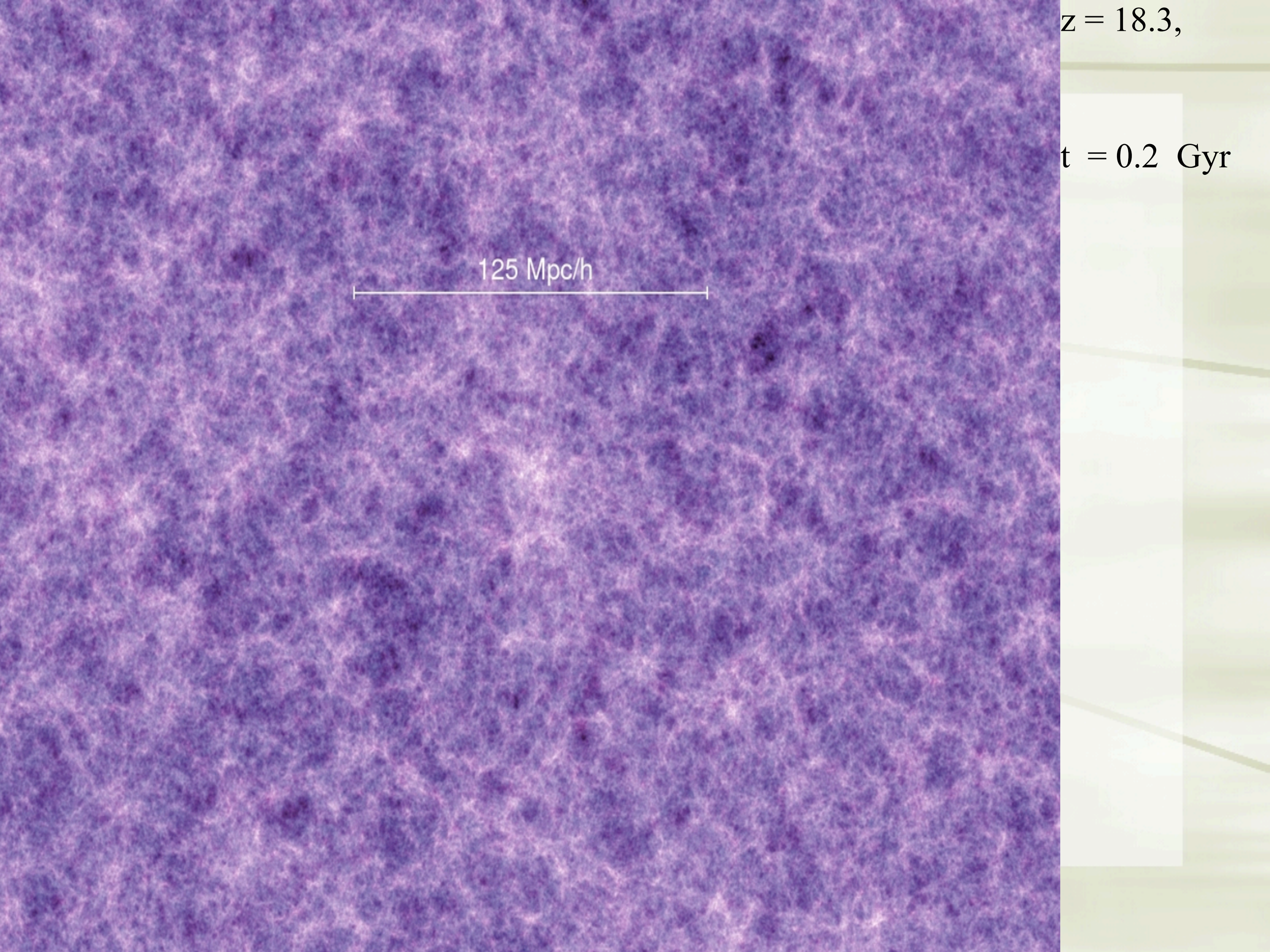
125 Mpc/h

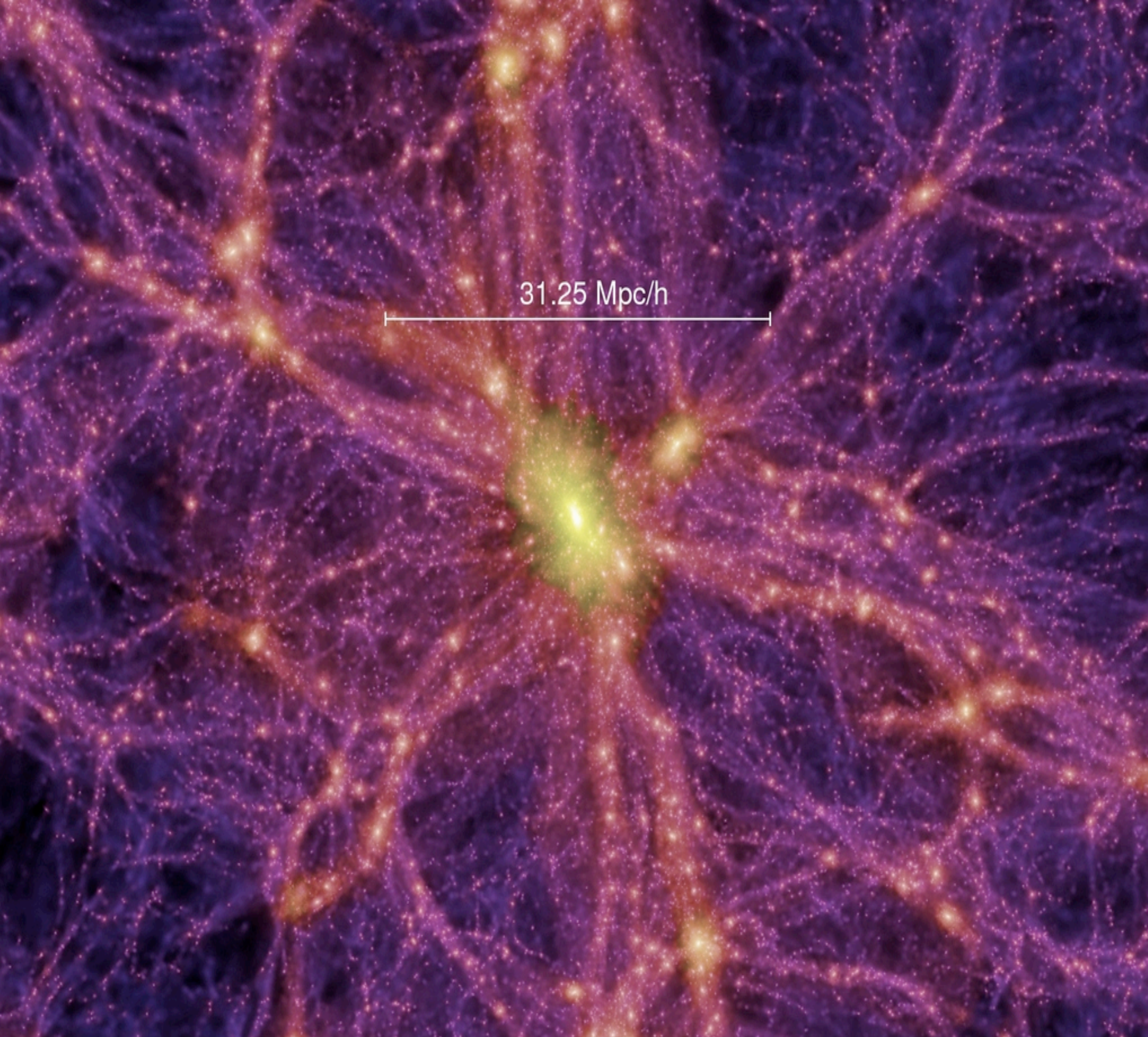
A visualization of the cosmic web at redshift $z = 5.7$ and time $t = 1.0 \text{ Gyr}$. The image shows a dense network of filaments and nodes, with a color gradient from dark purple to bright yellow. A horizontal scale bar with vertical end-caps is positioned in the upper-middle section, labeled "125 Mpc/h".

$z = 18.3,$

$t = 0.2 \text{ Gyr}$

125 Mpc/h

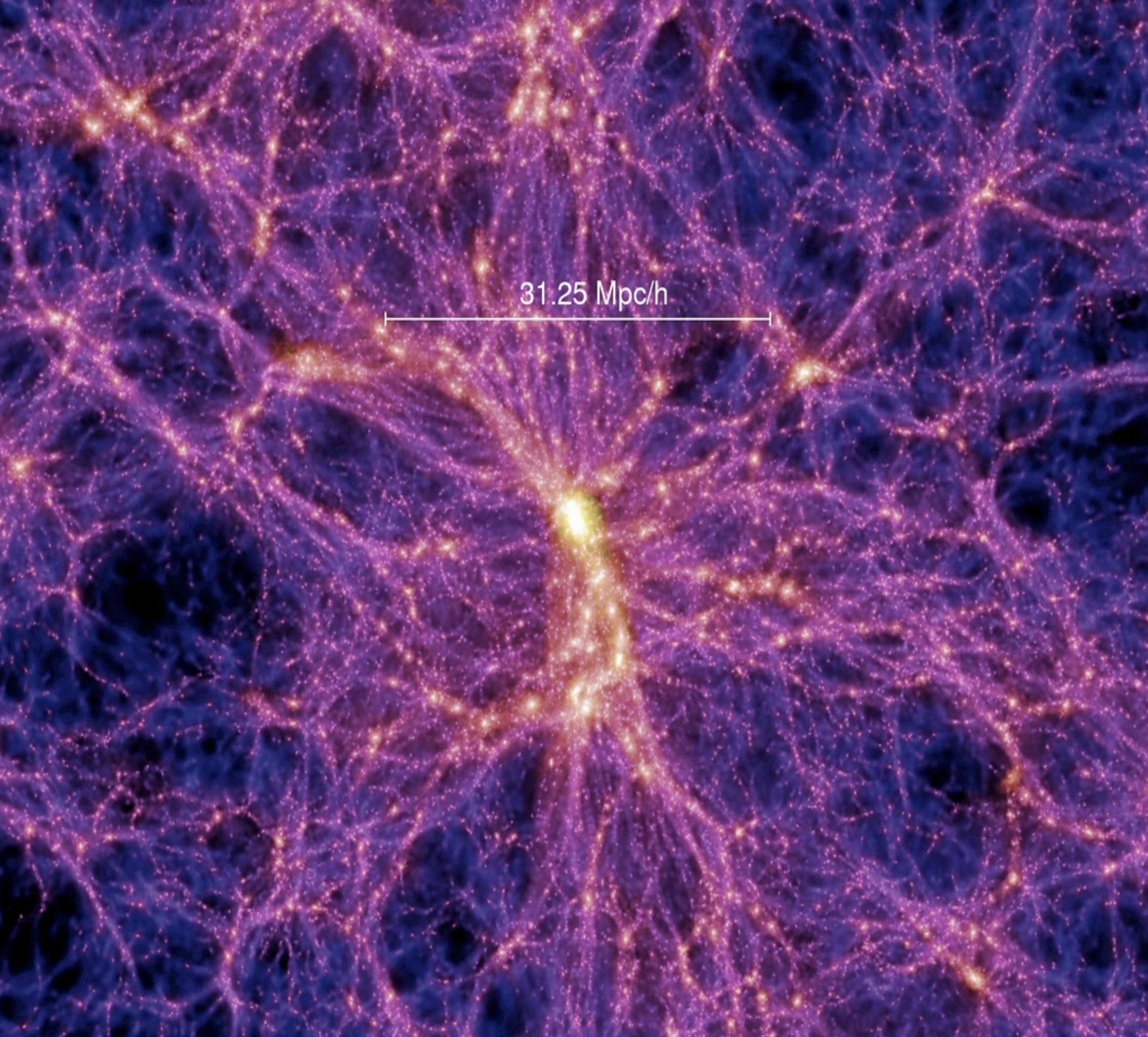
A visualization of the cosmic web at a high redshift of $z = 18.3$, corresponding to a time of $t = 0.2 \text{ Gyr}$. The image shows a dense, complex network of filaments and nodes, rendered in shades of purple and blue. A horizontal scale bar in the center indicates a distance of 125 Mpc/h.



$z = 0,$

$t = 13.6$ Gyr

HOY



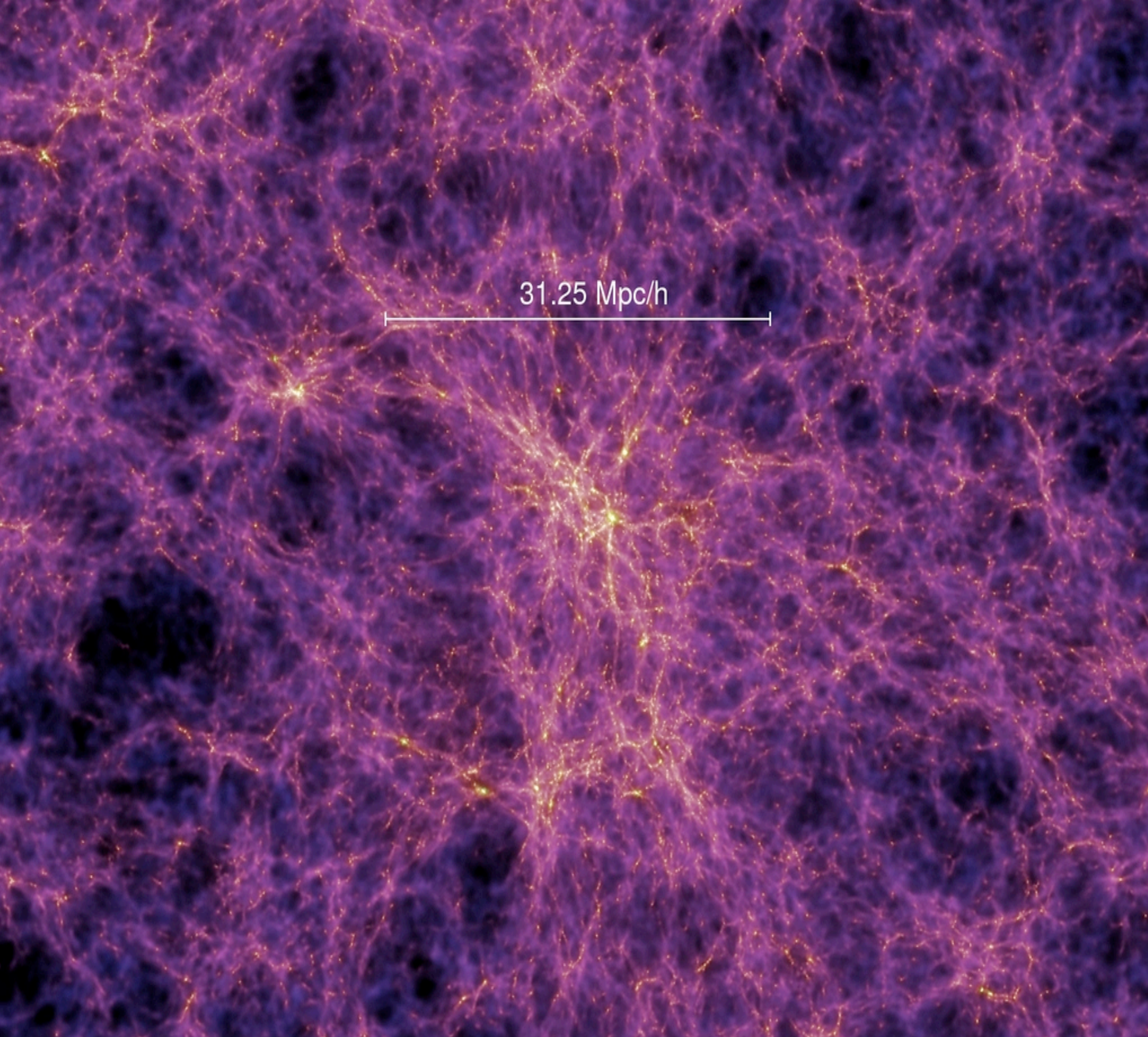
$z = 1.4,$

$t = 4.7 \text{ Gyr}$

$z = 5.7,$

$t = 1.0 \text{ Gyr}$

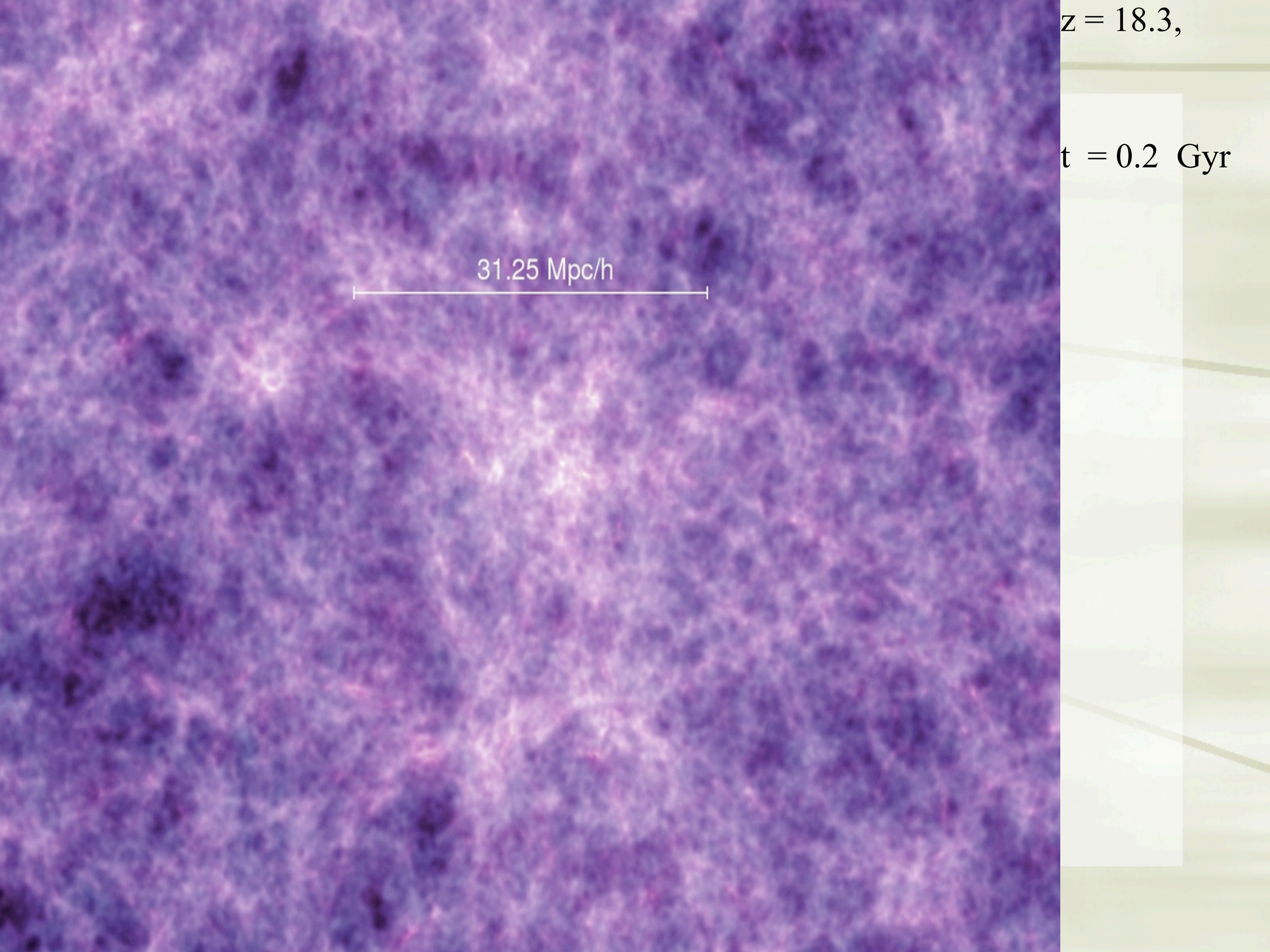
31.25 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at redshift $z = 5.7$ and time $t = 1.0 \text{ Gyr}$. The image shows a dense network of purple filaments and yellow-orange nodes against a black background. A horizontal scale bar with vertical end-caps is positioned in the upper-middle section, labeled "31.25 Mpc/h".

$z = 18.3,$

$t = 0.2 \text{ Gyr}$

31.25 Mpc/h

A visualization of the cosmic web at redshift $z = 18.3$ and time $t = 0.2 \text{ Gyr}$. The image shows a complex network of dark blue and purple filaments and nodes, representing the distribution of matter in the universe. A horizontal scale bar in the center indicates a distance of 31.25 Mpc/h.

The background of the image is a deep space scene. It features a vast field of stars of various sizes and colors, including white, yellow, and blue. A large, diffuse nebula with a reddish-pink hue is visible, particularly in the upper and lower right portions of the frame. The overall composition is centered around the word "FIN".

FIN