

Un paseo por el Universo: del Big Bang al origen de la vida

J. Miguel Mas Hesse *LAEFF-INTA*

Introducción a la Astronomía y Astrofísica CosmoCaixa

Galaxias y Cosmología

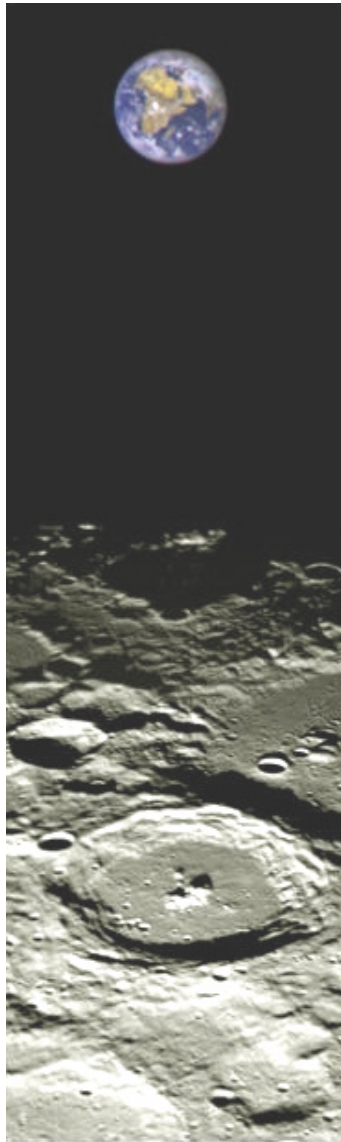
Un paseo por el Universo, del Big-Bang al origen de la vida

- ¿Cómo es nuestro Universo?
- El origen del Universo
- Evolución del Universo: desde el Big Bang hasta nuestros días

----- Descanso -----

- Propiedades generales de las galaxias
- Colisiones, cuasares, cúmulos,...
- La formación de la vida
- ¿Qué nos depara el futuro?

¿Cómo es nuestro Universo?



- Planetas
- Gas y polvo interestelar en movimiento
- Galaxias
- Cúmulos y supercúmulos de galaxias
- Filamentos intergalácticos
- ...bañados por la radiación cósmica de fondo
- *Y todo ello en continua expansión...*



Galaxias espirales como la nuestra...



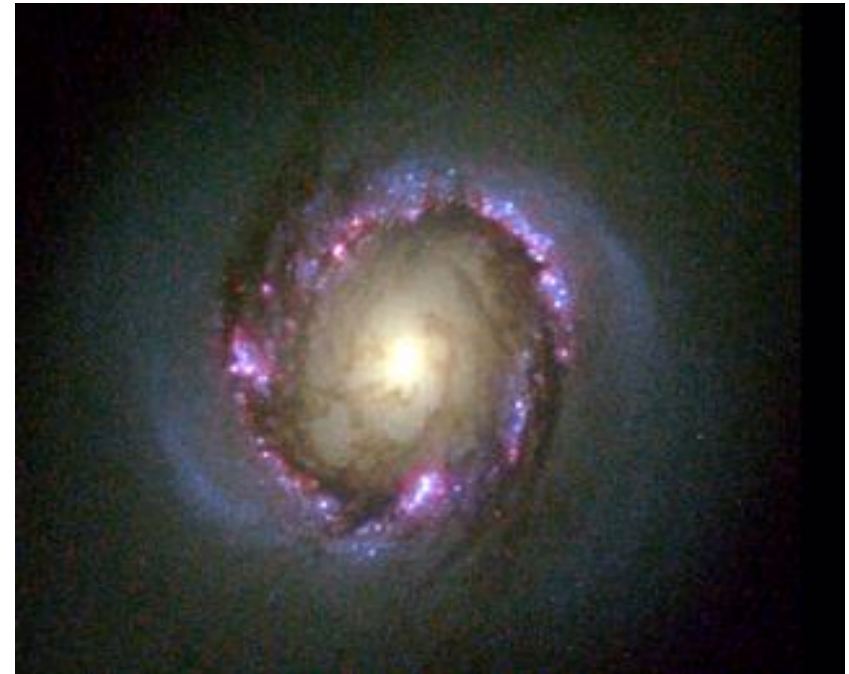
Spiral Galaxy Messier 83 (VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 41/99 (29 November 1999)

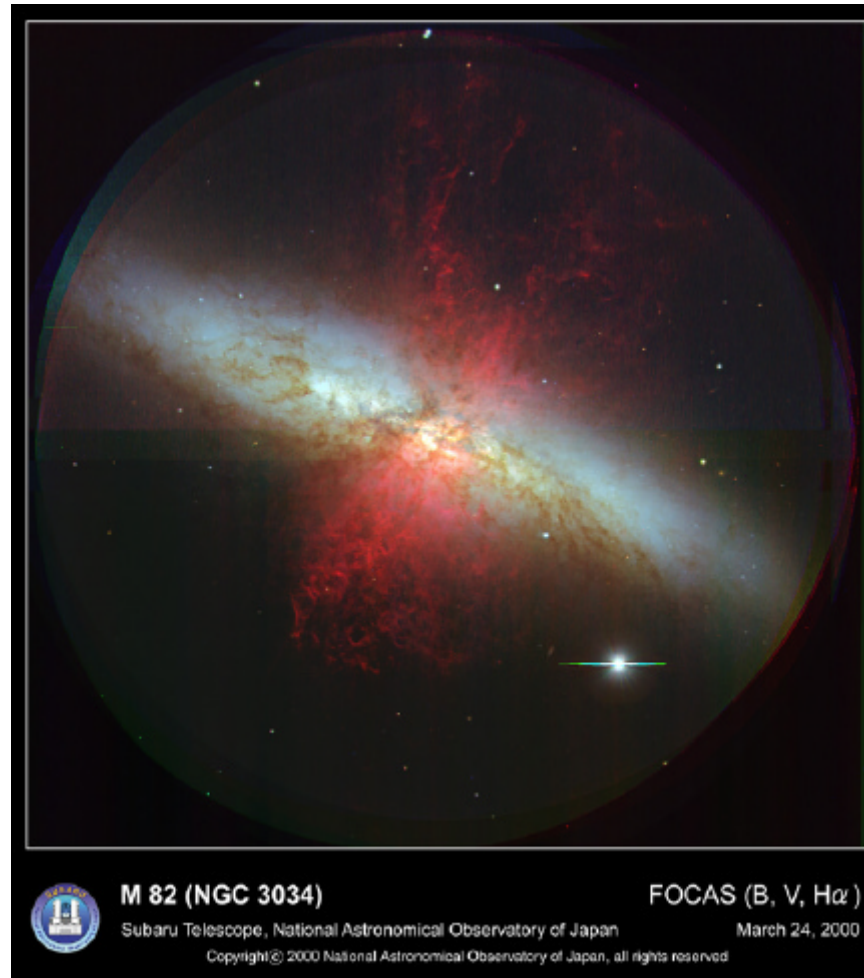
© European Southern Observatory



Polvo, gas, nuevas estrellas...



Chorros de gas y polvo...



Cúmulos de galaxias...

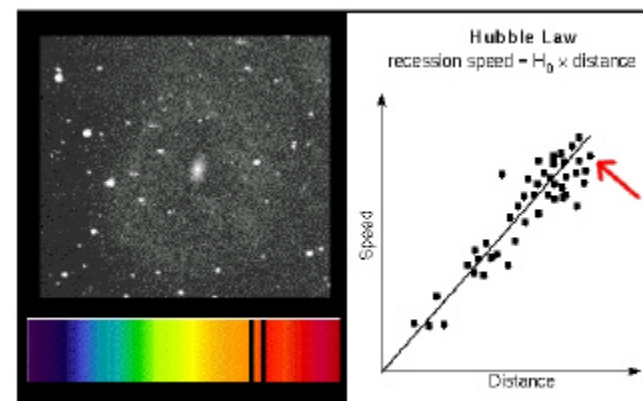
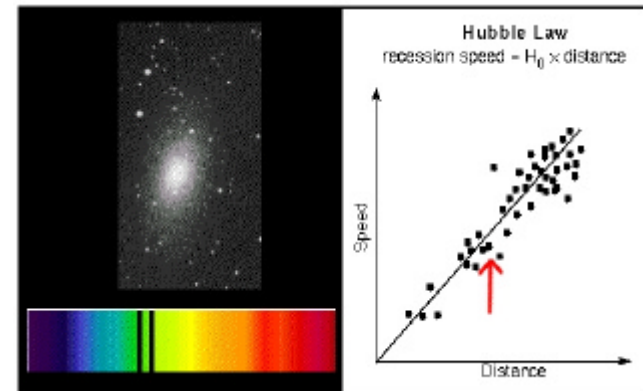
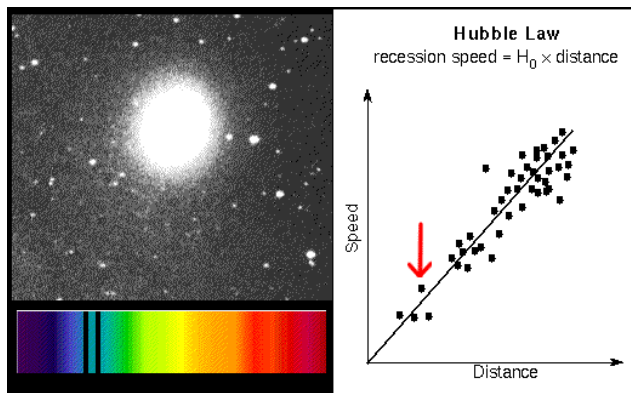


Galaxias en los confines del tiempo...



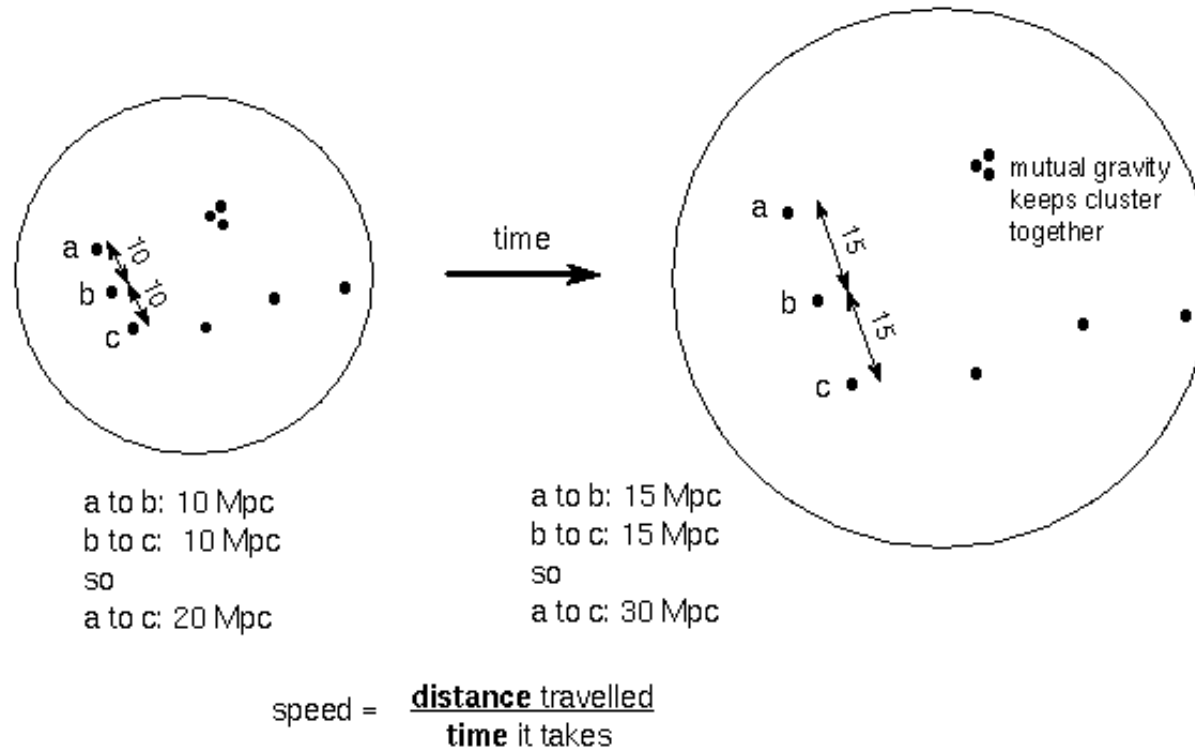
El origen del Universo

- Desde 1929 sabemos que el Universo está en expansión:
Todas las galaxias se alejan las unas de las otras.
- La expansión sigue la Ley de Hubble:
Cuanto más alejado se encuentra un objeto, más rápidamente se aleja de nosotros.



El origen del Universo

- La expansión implica que en el pasado todas las galaxias tenían que estar más próximas entre sí. Conociendo la velocidad a la que se alejan en la actualidad, podemos estimar cuándo comenzó la expansión:



® El Universo se formó hace unos 12.500 millones de años

El origen del Universo

¿Cómo era el Universo en sus primeros momentos?

- Hace unos 12.500 millones de años se produjo una gran explosión, el Big-Bang, a partir *“de la nada”*.
 - En el Big-Bang se crea el espacio, el tiempo, la materia y la energía que constituyen nuestro Universo.
 - No podemos hablar acerca de “antes del Big-Bang”, ni de “dónde”, ya que ni el tiempo ni el espacio existían.

El origen del Universo

- Durante los primeros 300.000 años, la densidad y temperaturas de la *“sopa cósmica”* eran enormes. La luz no podía desplazarse sin ser absorbida. La materia no podía existir. El Universo era opaco.
- En esta primera fase, en la primera fracción de segundo, se produjo una expansión súbita del Universo, que se enfrió bruscamente.
- Después de aproximadamente 300.000 años, la temperatura bajó lo suficiente como para que se formara la materia primordial. A partir de este momento, la luz pudo desplazarse sin ser apenas absorbida:
el Universo se hizo transparente.

¿Podríamos llegar a ver esta “bola de fuego” primordial?

El origen del Universo

- En los años 50 los Astrofísicos postularon que, si nuestra visión del Big-Bang era correcta, la luz que se produjo cuando el Universo se hizo transparente, a unos 300.000 años después de su formación, debería ser visible.
- Debido a la expansión del Universo, esta *Radiación Cósmica de Fondo* debería verse en la actualidad en el rango de las microondas.
- A mediados de los años 60, Penzias y Wilson descubrieron esta radiación por casualidad, con las mismas propiedades predichas por la teoría del Big-Bang

® *Podemos ver el Big-Bang!!!*

De hecho, lo deberíamos ver por igual independientemente de dónde miremos en el cielo...

El origen del Universo

- La luz viaja siempre a la misma velocidad ($c \approx 300.000 \text{ km/s}$). Por lo tanto tarda un tiempo finito en recorrer un espacio determinado.
- Cuanto más alejado esté un objeto, la luz que vemos habrá necesitado más tiempo para llegar a nosotros.
 - La luz del Sol tarda unos 8 minutos en llegar a la Tierra, y más de media hora en llegar a Júpiter.
 - Las galaxias más lejanas que llegamos a ver emitieron su luz hace miles de millones de años, cuando el Universo era mucho más joven.
- Observando objetos cada vez más lejanos, nos movemos hacia atrás en el tiempo.

® Podemos observar el Universo tal y como es en la actualidad, y tal y como ha ido siendo a lo largo de su historia.

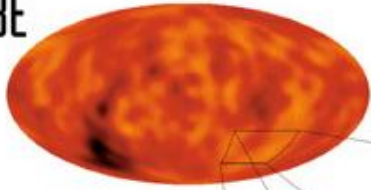
El origen del Universo

- La estructura espacio-temporal del Universo observable tiene curiosas consecuencias:
 - Debido al efecto Doppler causado por la expansión del Universo, la luz se enrojece cada vez más cuanto más lejos vayamos (en el tiempo o en el espacio).
Una galaxia que veamos con nuestros ojos en la actualidad, sólo la veríamos en el infrarrojo si estuviera muy alejada.
 - Cuanto más nos alejamos en el tiempo, el Universo era más pequeño, por lo que podemos ver una mayor fracción de él.
En el límite, lo podríamos ver “entero”.
 - Independientemente de la dirección en que miremos, siempre acabaríamos en el mismo punto del espacio-tiempo: el Big-Bang.
No obstante, existe un límite. Antes de 300.000 años el Universo era opaco.

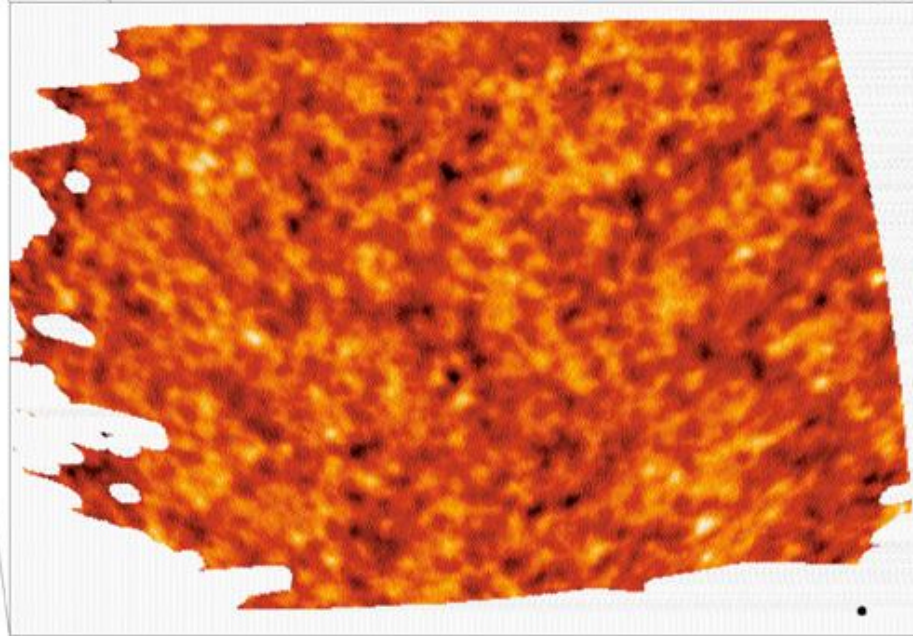
® En cualquier dirección del cielo a la que miremos, al final del todo tenemos que ver la “bola de fuego” del Big-Bang.

El origen del Universo

COBE



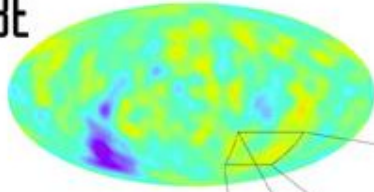
Así era el Universo al terminar el Big-Bang.



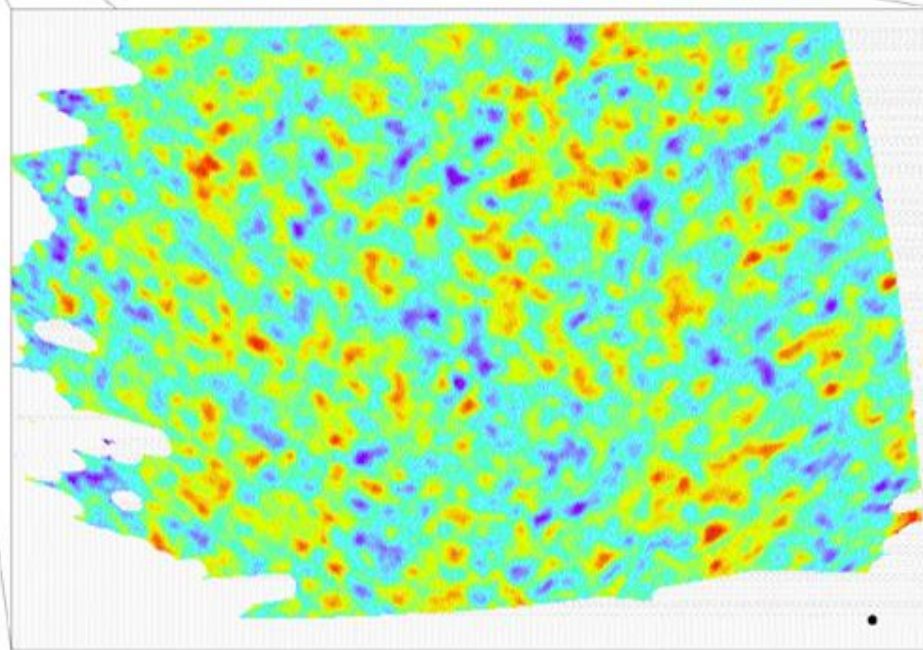
Boomerang

El origen del Universo

COBE



Los puntos rojos son regiones de mayor densidad: estamos viendo las semillas de las que nacerían las galaxias!!



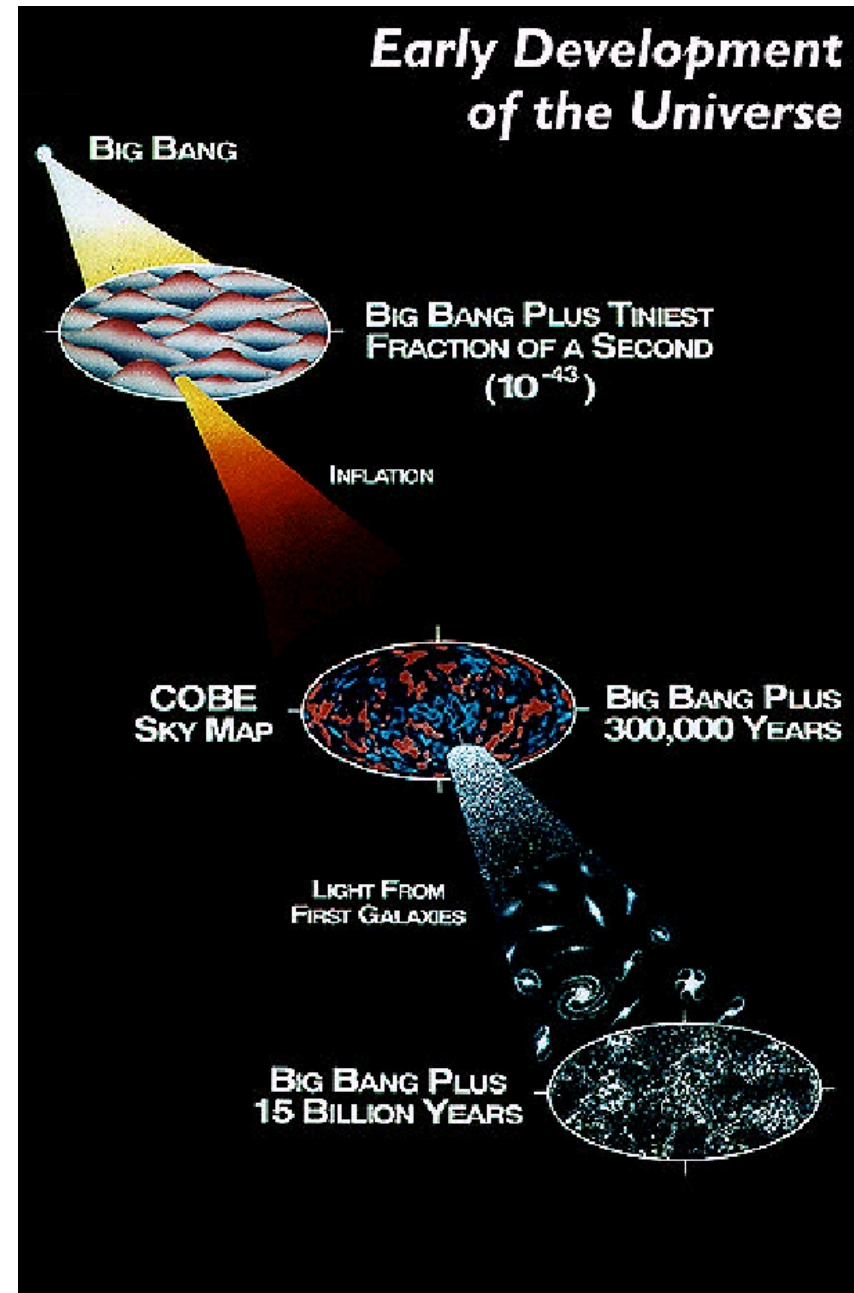
Evolución del Universo

- $t \approx 300.000$ años: el medio se enfrió lo suficiente.
 - Se condensaron la materia en forma de protones y electrones (*en número, 99% Hidrógeno, 1% Helio, algo de Litio*).
 - Los fotones quedaron libres dispersándose por el naciente Universo sin apenas interacción.
 - Ya había pequeñas fluctuaciones de densidad y temperatura.
- $t \approx 1.000$ millones de años: agrupamiento del gas en forma de nubes gigantescas.
 - Las nubes se fragmentan repetidamente, y se condensan en torno a las regiones con mayor densidad inicial. La fragmentación acaba en nubes relativamente pequeñas, con la masa de una estrella individual.
 - Al superar cierta densidad, la temperatura es muy elevada y comienzan las reacciones nucleares: *nacen las primeras estrellas*.

Evolución del Universo

- $t > 1.000$ millones de años: las estrellas comienzan a contaminar el medio interestelar.
 - Con los restos de las primeras estrellas se forman nuevas estrellas de composición química más compleja.
 - A partir de los metales liberados por estas primeras estrellas *aparecen los primeros planetas.*
- A partir de entonces y hasta nuestros días:
 - Se producen numerosas generaciones de estrellas.
 - Las galaxias evolucionan, interactúan, colisionan,....
 - El medio interestelar se enriquece con todo tipo de elementos.
 - Se forma el Sistema Solar *y la vida surge en él.*

Evolución del Universo

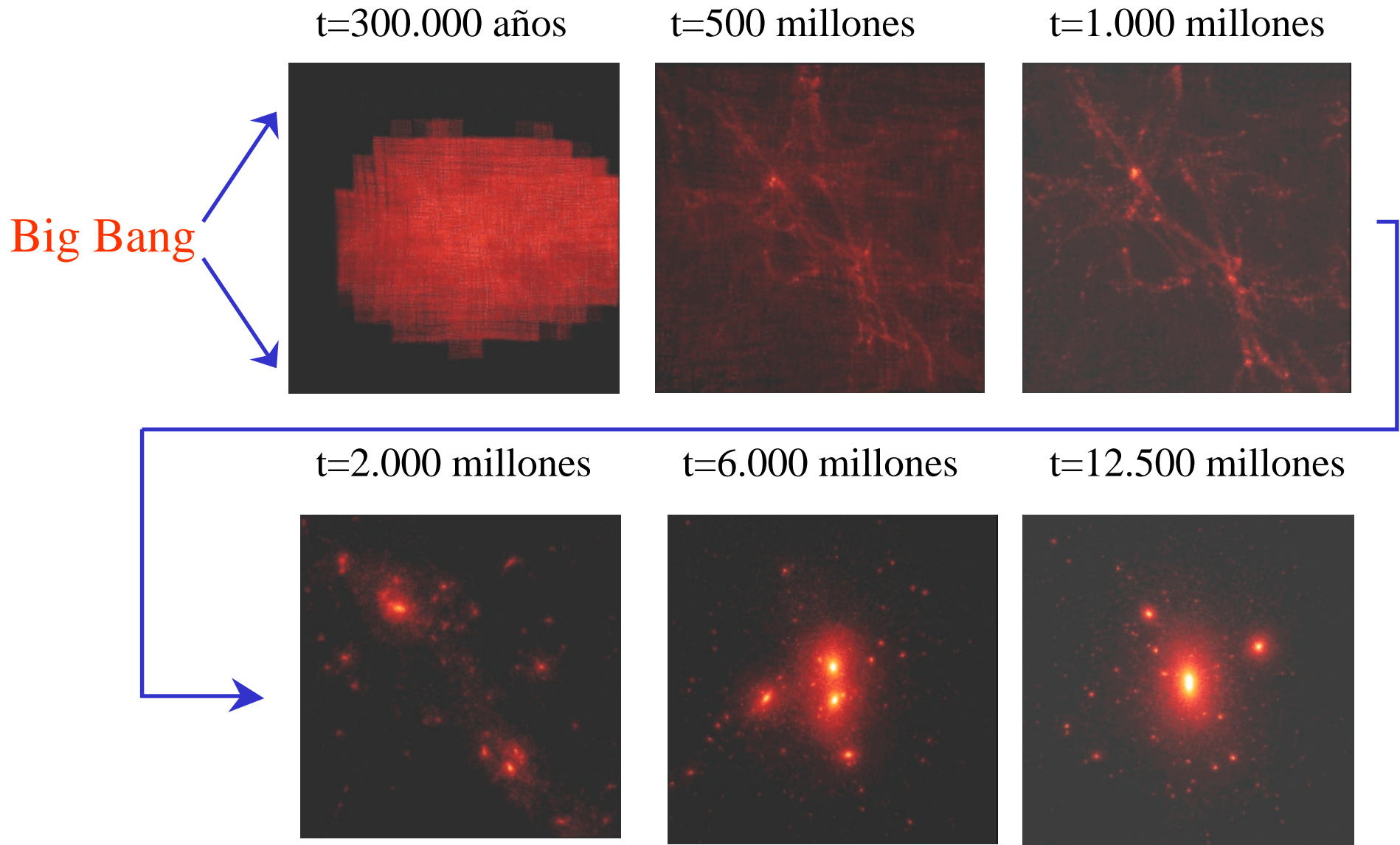


Evolución del Universo

Simulación teórica de la evolución de las nubes de gas primordial desde el Big Bang hasta nuestros días

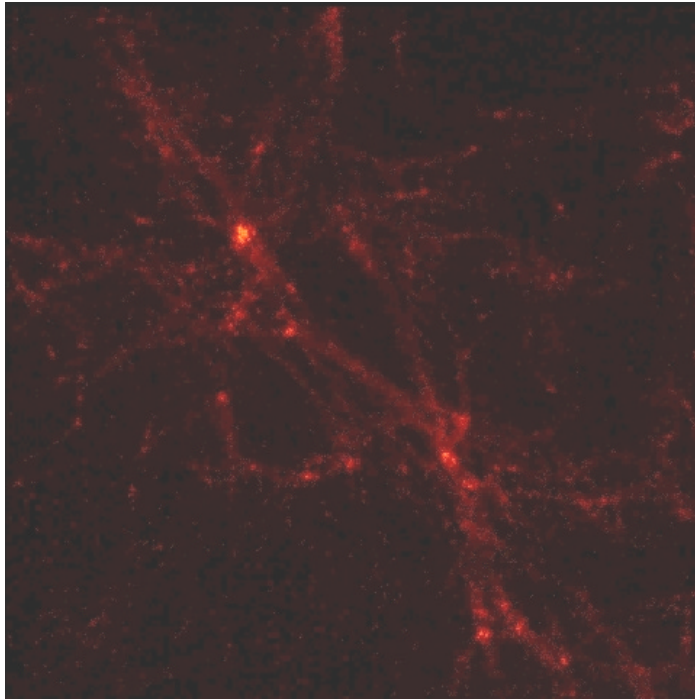


Evolución del Universo

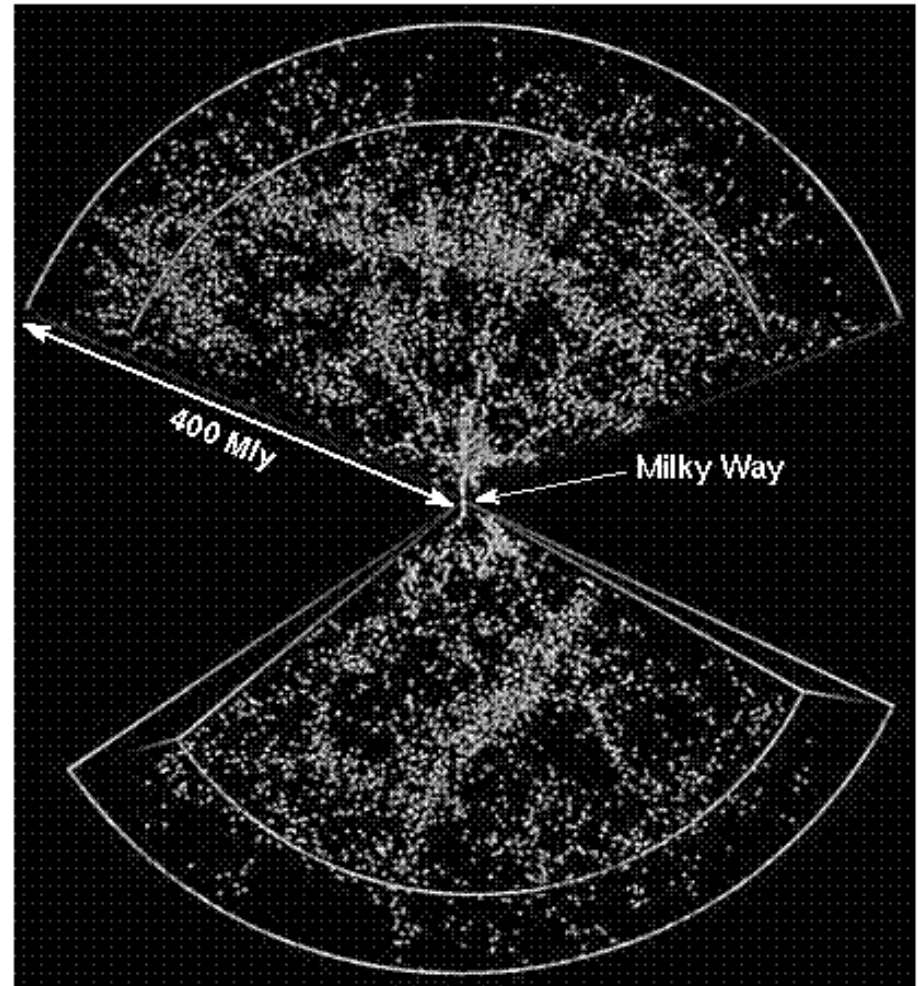


Evolución del Universo

Las galaxias se agrupan en forma de filamentos



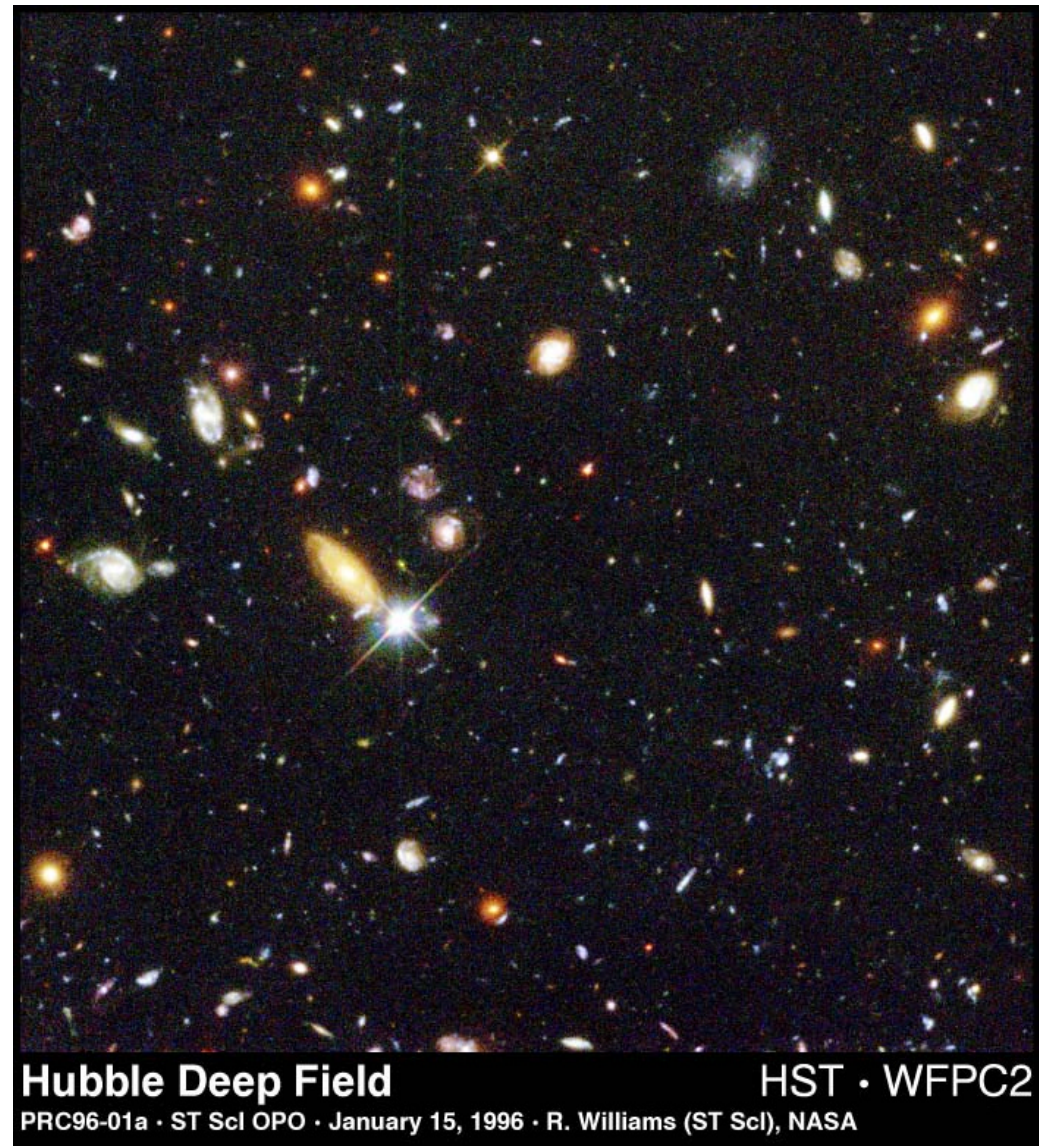
Simulación



Observaciones

Evolución del Universo

Galaxias en los confines del Universo, cuando éste tenía sólo pocos miles de millones de años de edad.



DESCANSO



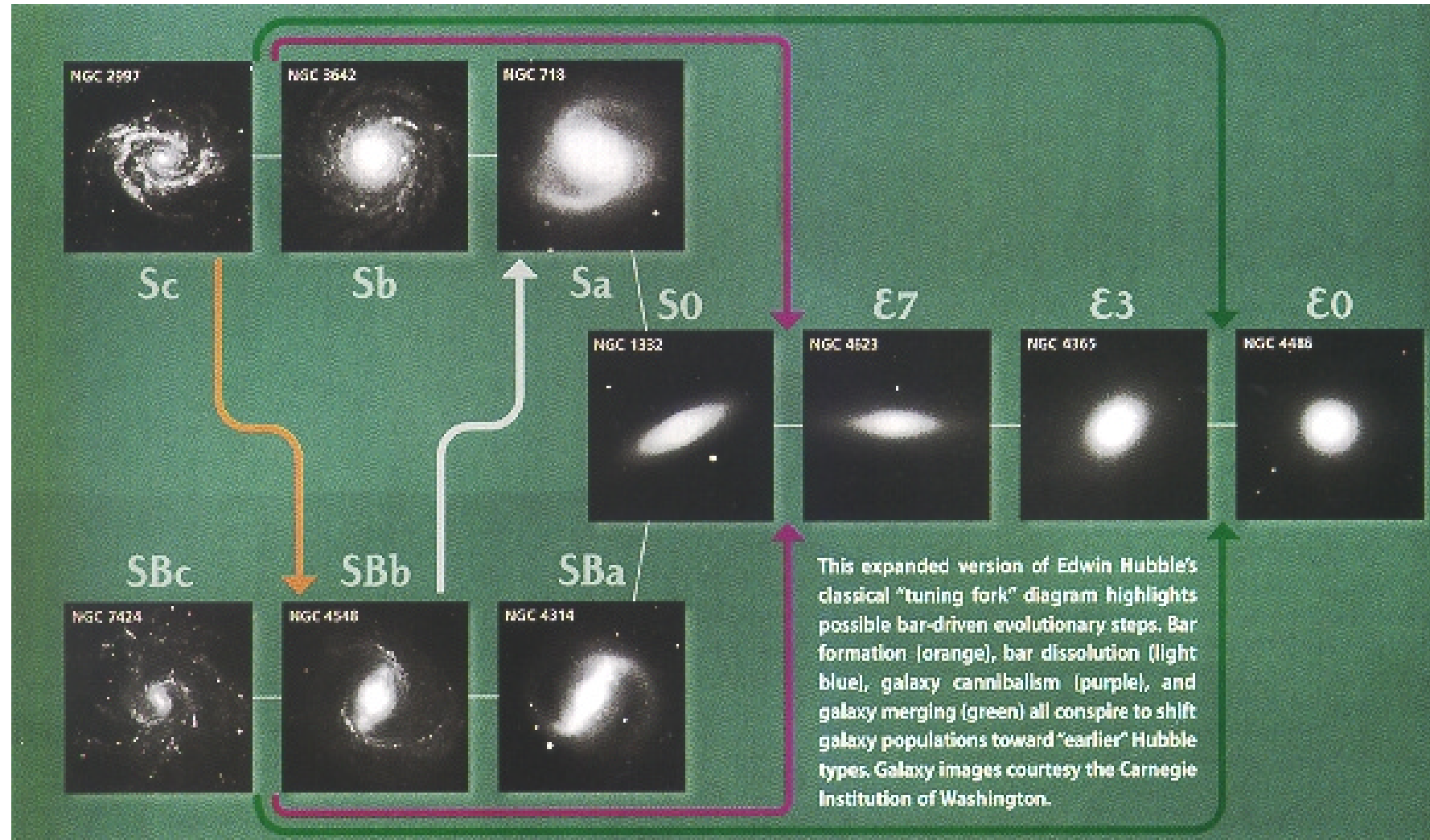
Galaxias: propiedades generales

- Las galaxias están formadas por:
 - Gran cantidad de estrellas.
La Vía Láctea posee » 10^{11} estrellas
 - Gas y polvo interestelar, rotando alrededor del núcleo.
El Sol da una vuelta alrededor del núcleo de la Vía Láctea cada 250 millones de años.
 - Posiblemente, un agujero negro en el centro.
- Pero no todas las galaxias son iguales.....
 - Espirales
 - Elípticas
 - Esferoidales
 - Irregulares
 - *Peculiares*

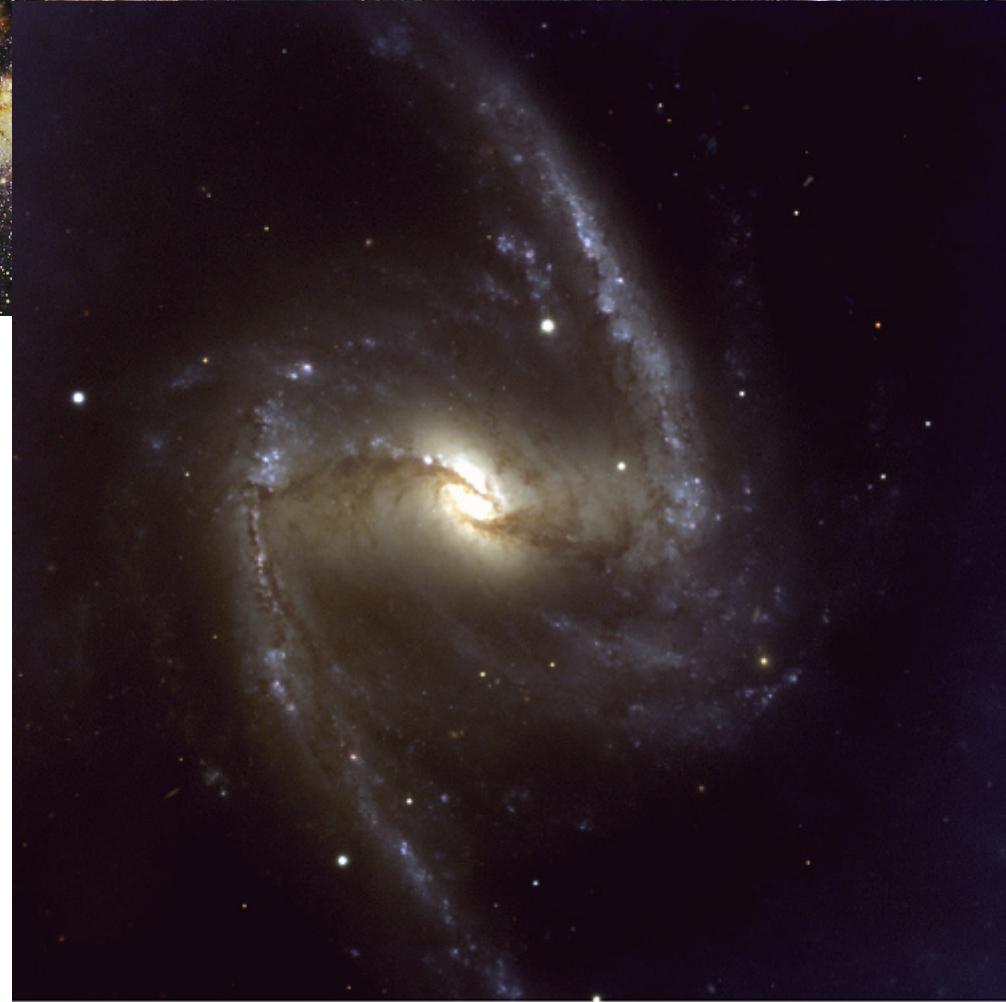
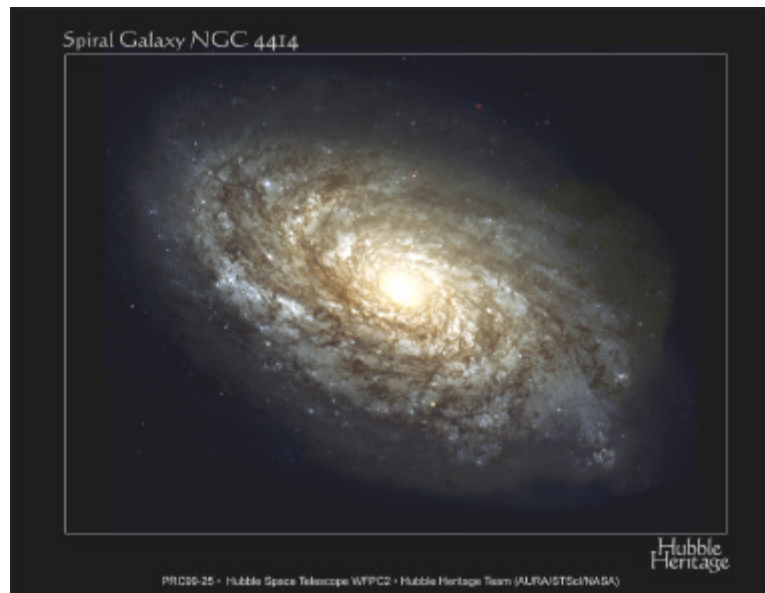
... de hecho pueden clasificarse de acuerdo a la Secuencia de Hubble:

Galaxias: propiedades generales

Secuencia de Hubble

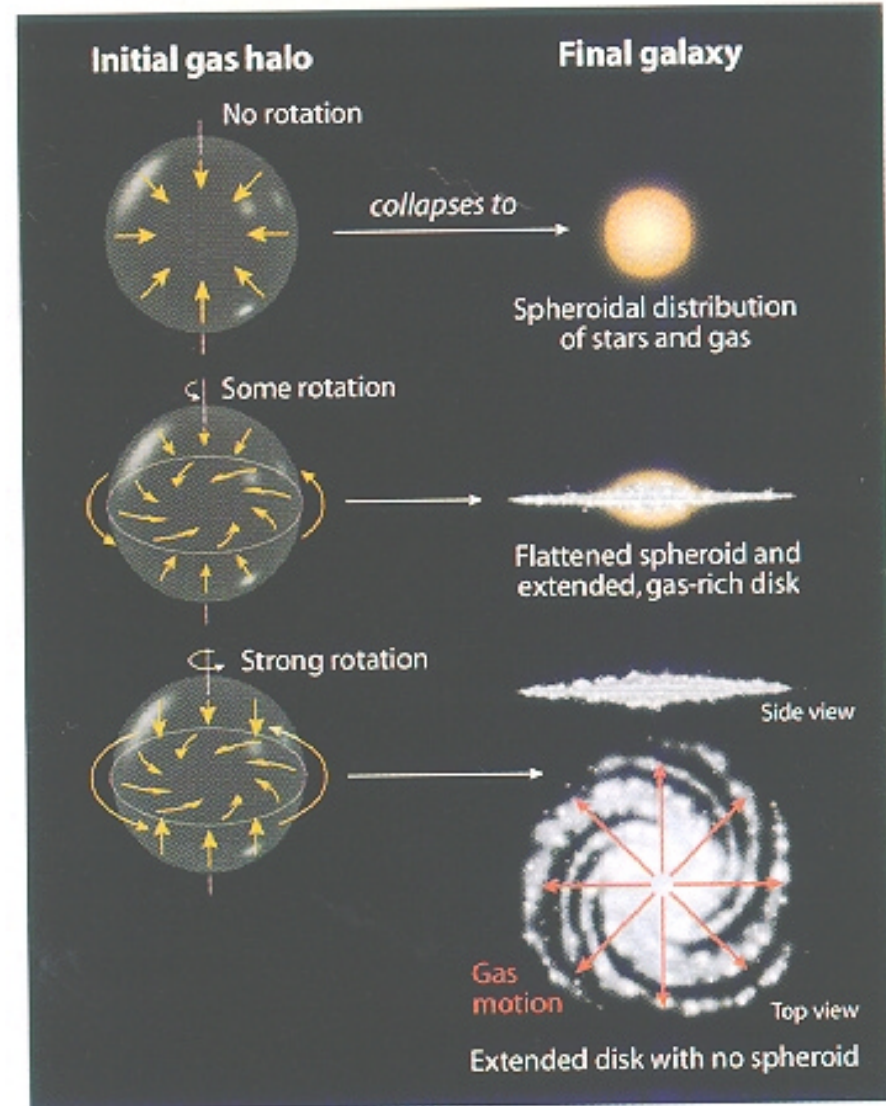


Galaxias: propiedades generales



Galaxias: formación

- Las galaxias se formaron en los primeros tiempos del Universo al fragmentarse las nubes de gas formadas tras el Big-Bang.
- Dentro de estas nubes primordiales, la fragmentación continuó hasta la formación de estrellas individuales.
- Las nubes con poca rotación dieron lugar a galaxias esferoidales, con poca estructura.
- Cuando la rotación era muy fuerte, se formaron galaxias con enormes brazos espirales, semejantes a gigantescos remolinos cósmicos .



Galaxias: formación de estrellas

- La fragmentación de las nubes de gas dentro de las galaxias continúa hoy en día.
- Si existe alguna perturbación que aumente la densidad del gas, estas nubes comienzan a contraerse y acaban formando estrellas.
- En las galaxias elípticas apenas queda gas libre, por lo que no se forman estrellas jóvenes. Su luz proviene de estrellas antiguas, de baja masa, y frías: *son galaxias anarajandas*.
- Lo mismo sucede en el bulbo de las galaxias espirales.



Galaxias: formación de estrellas

- Sin embargo, las galaxias espirales son muy ricas en gas en sus brazos.
- Las ondas de densidad en los brazos espirales generan continuamente nuevas estrellas.
- Algunas de ellas son muy masivas, y de muy corta vida (pocos millones de años).
- Estas estrellas masivas son muy calientes, *y tienen un color muy azulado*.
- A su vez, las estrellas generan polvo y contaminan el gas de los brazos...



Galaxias: formación de estrellas



Spiral Galaxy Messier 83 (VLT ANTU + FORS1)



ESO PR Photo 41/99 (29 November 1999)

© European Southern Observatory



ellias



Galaxy (VLT ANTU + FORS1)

© European Southern Observatory



G



Centaurus A Radio Galax

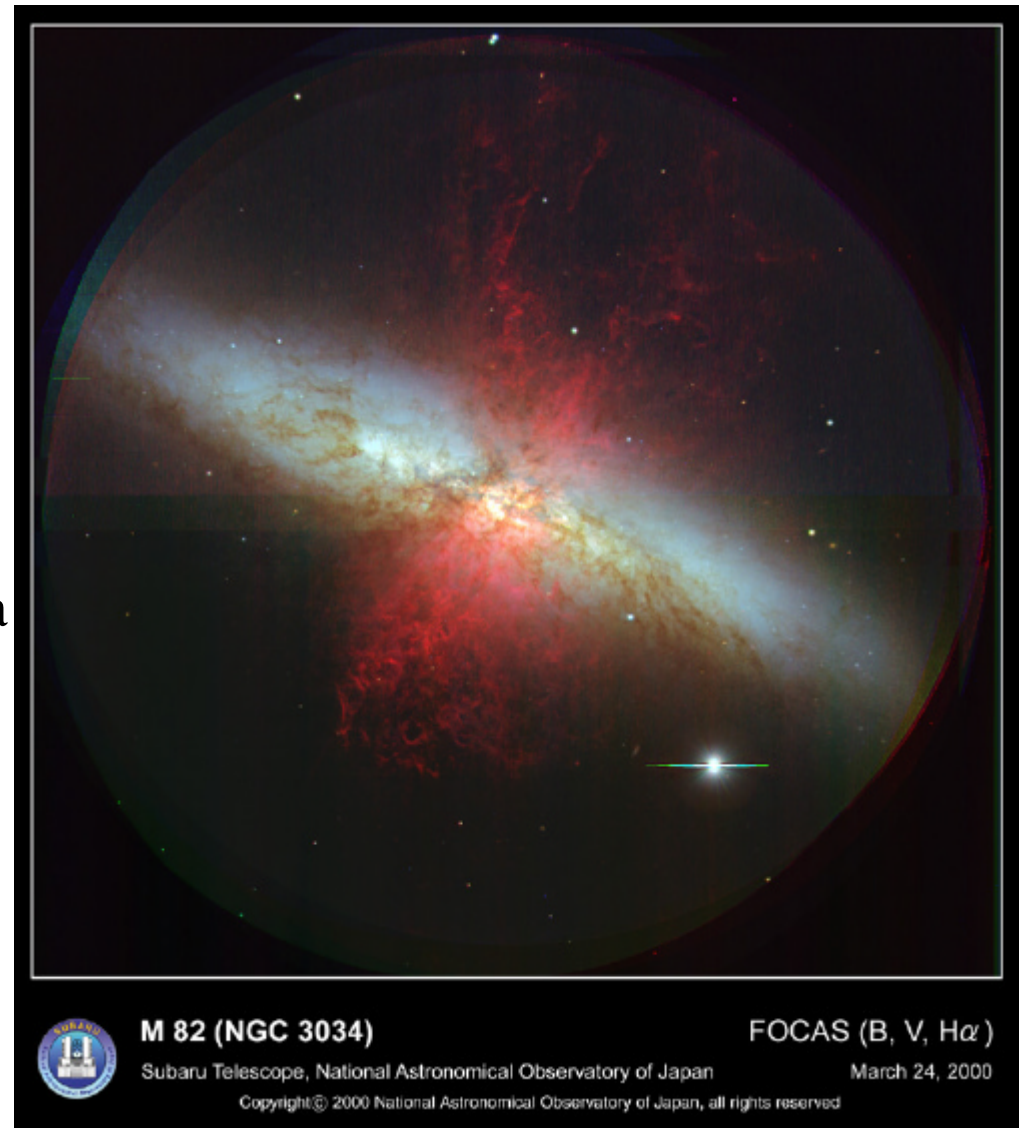
ESO PR Photo 051b/00 (8 February 2000)

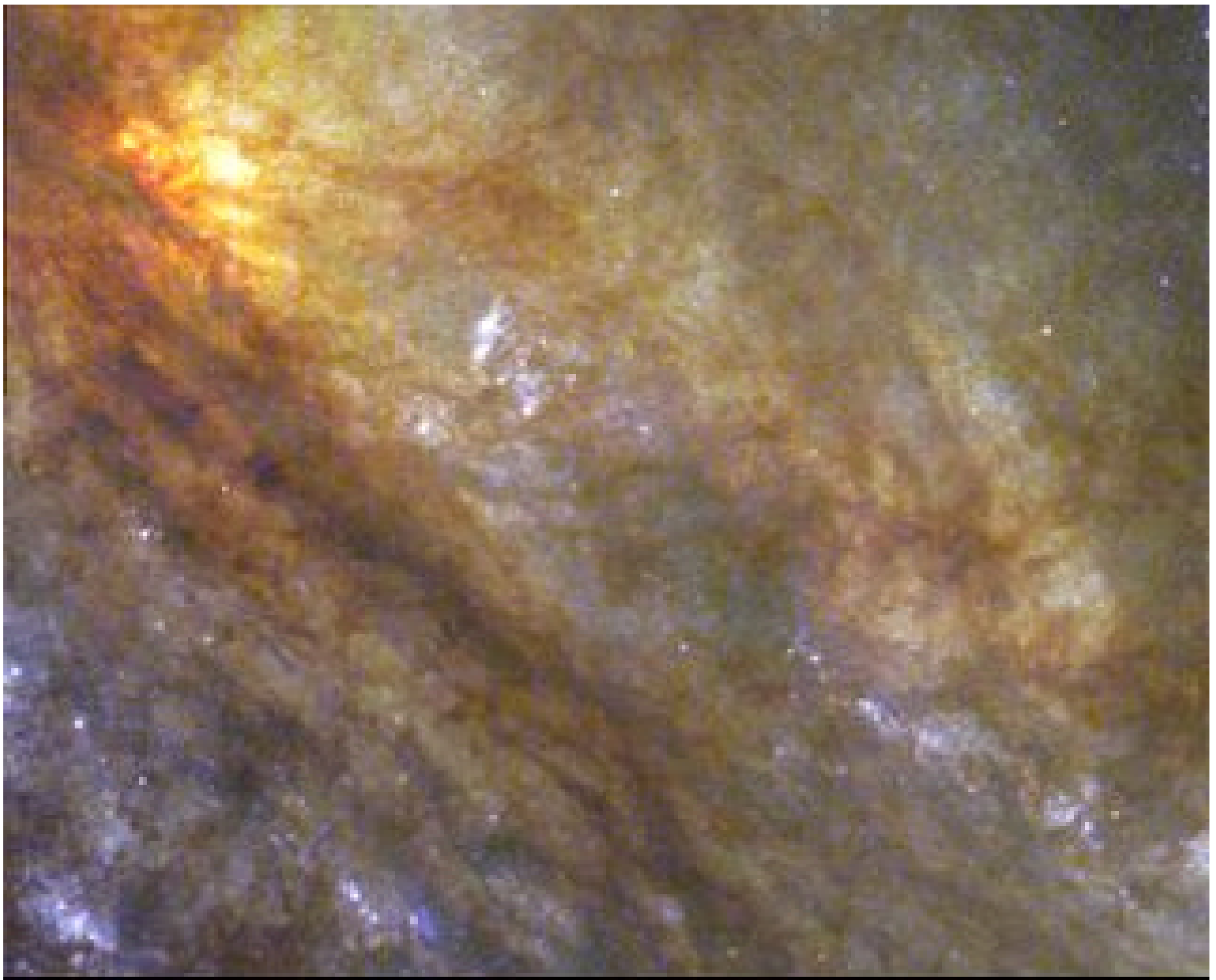
Introducci6



Galaxias: starbursts

- En algunas galaxias, el ritmo de formación de estrellas es extraordinariamente alto:
galaxias tipo starburst
- Algunas de estas galaxias han generado recientemente varios millones de estrellas, a veces en regiones muy pequeñas.
- Estos “starbursts” pueden llegar a producir vientos galácticos que liberan todo tipo de metales al medio intergaláctico.

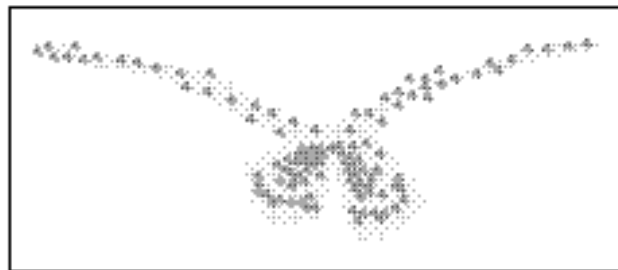
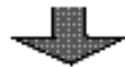
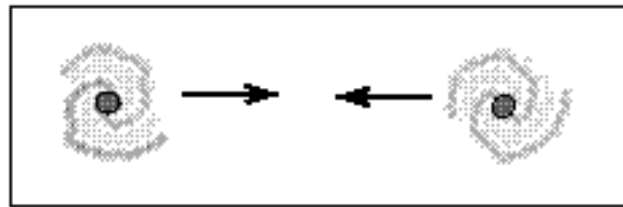




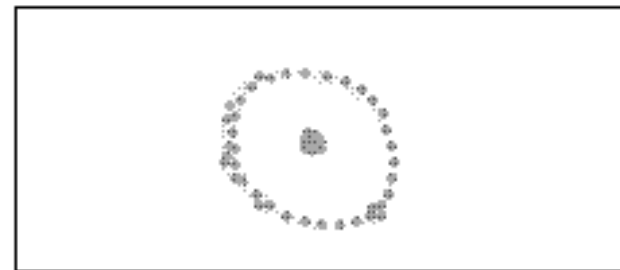
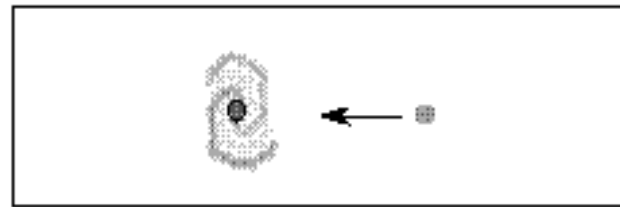
Galaxias peculiares

A lo largo de su evolución, las galaxias interactúan y chocan, dando lugar a violentos cataclísmicos cósmicos.

Como consecuencia de las colisiones, las galaxias se distorsionan, dando lugar a la formación de “antenas” y anillos.



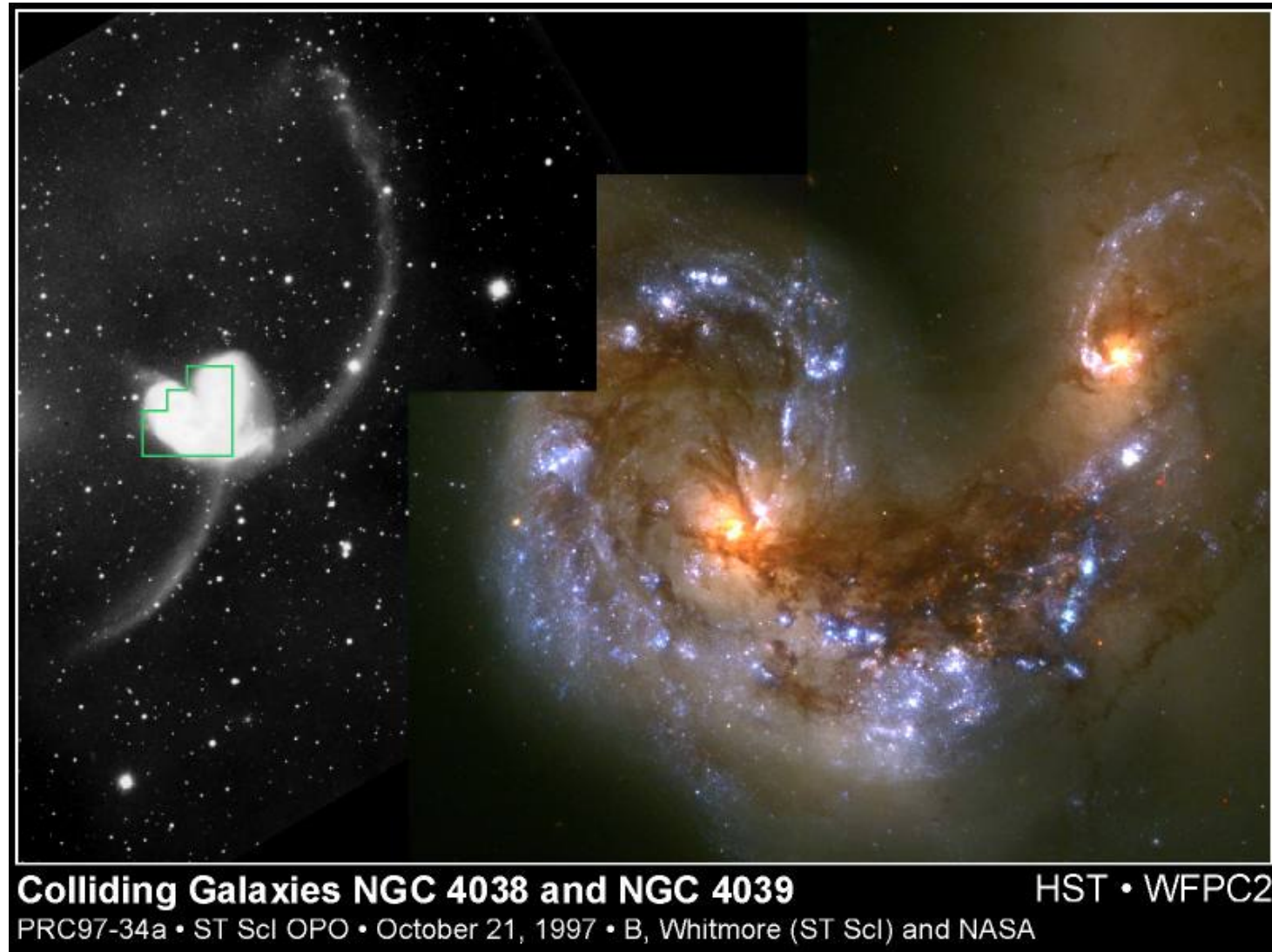
Two galaxies collide to produce long “tails”



Small galaxy hits a large disk galaxy head-on to produce a ring galaxy.

Galaxias peculiares

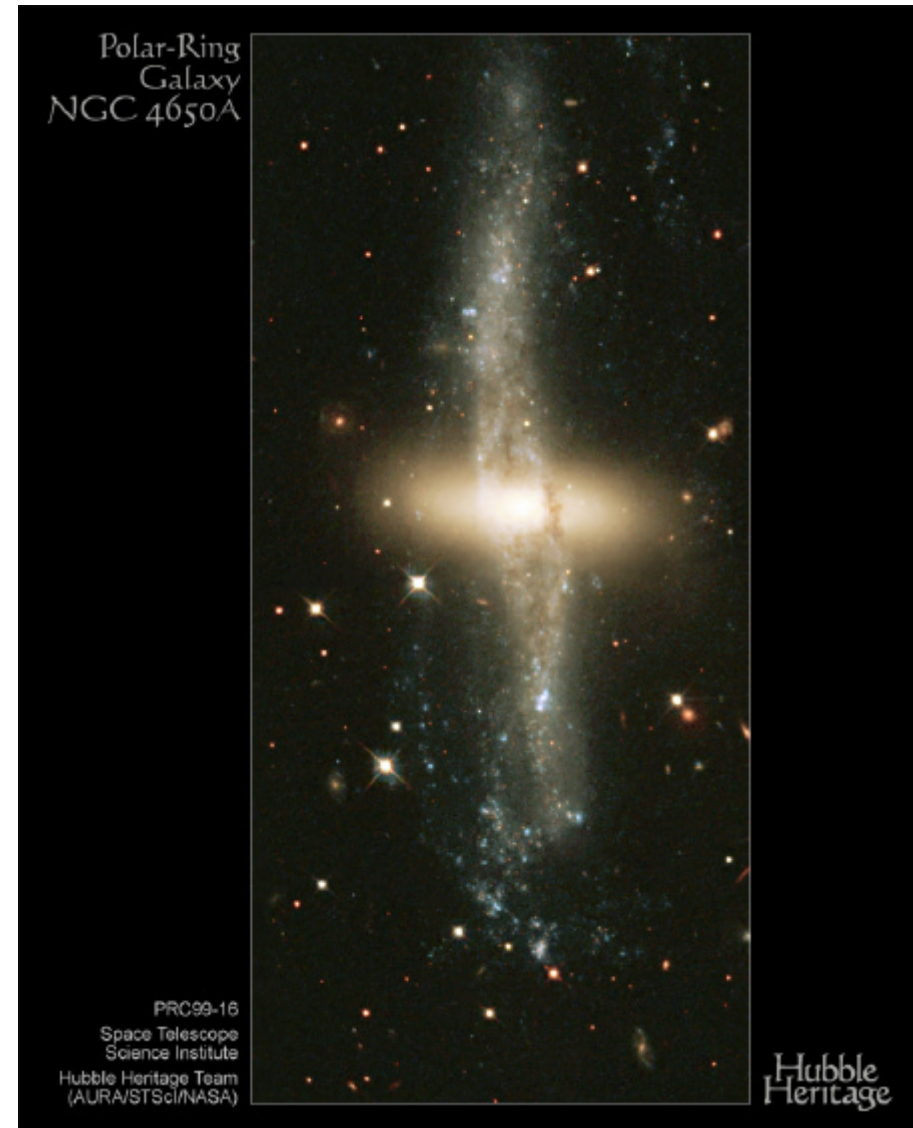
Las “Antenas”



Galaxias: formación de estrellas



Los anillos se forman normalmente en el mismo plano de la galaxia, pero en ocasiones pueden generarse en el plano perpendicular.



Galaxias peculiares

Las colisiones pueden afectar a galaxias de tamaños enormes, que resultan completamente distorsionadas.

Galaxies NGC 2207 and IC 2163



Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI) • Hubble Space Telescope WFC2 • STScI-PRC99-41

Galaxias peculiares



Giant Interacting Galaxies NGC 6872 / IC 4970
(VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 21b/99 (30 April 1999)

© European Southern Observatory



IR/Optical Colour Composite of
Center of Merging Galaxy System ESO202-G23 (VLT UT1 + ISAAC)

ESO PR Photo 46c/98 (26 November 1998)

© European Southern Observatory



Galaxias peculiares

Pero no siempre las cosas son lo que parecen.

En este caso, no hay ninguna conexión entre las dos galaxias, simplemente una está delante de la otra.

Spiral Galaxy Pair NGC 3314



Hubble
Heritage

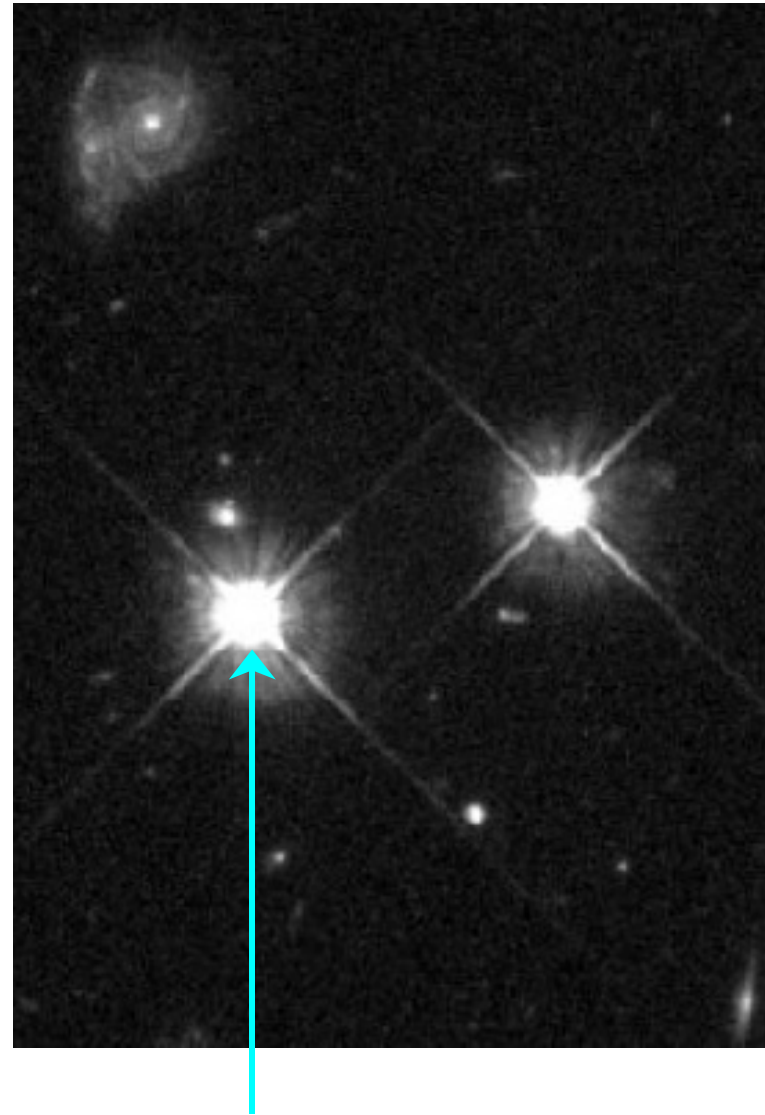
PRC00-14 • Space Telescope Science Institute • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Galaxias: Quasares y agujeros negros

¿Qué son los quasares?

En los años 60 se descubrieron objetos que parecían estrellas, pero que en realidad se encontraban a grandes distancias, más alejados que las galaxias más lejanas conocidas por entonces, y que además emitían una cantidad de energía descomunal.

Se les denominó “quasares” (quasi-stellar-objects).



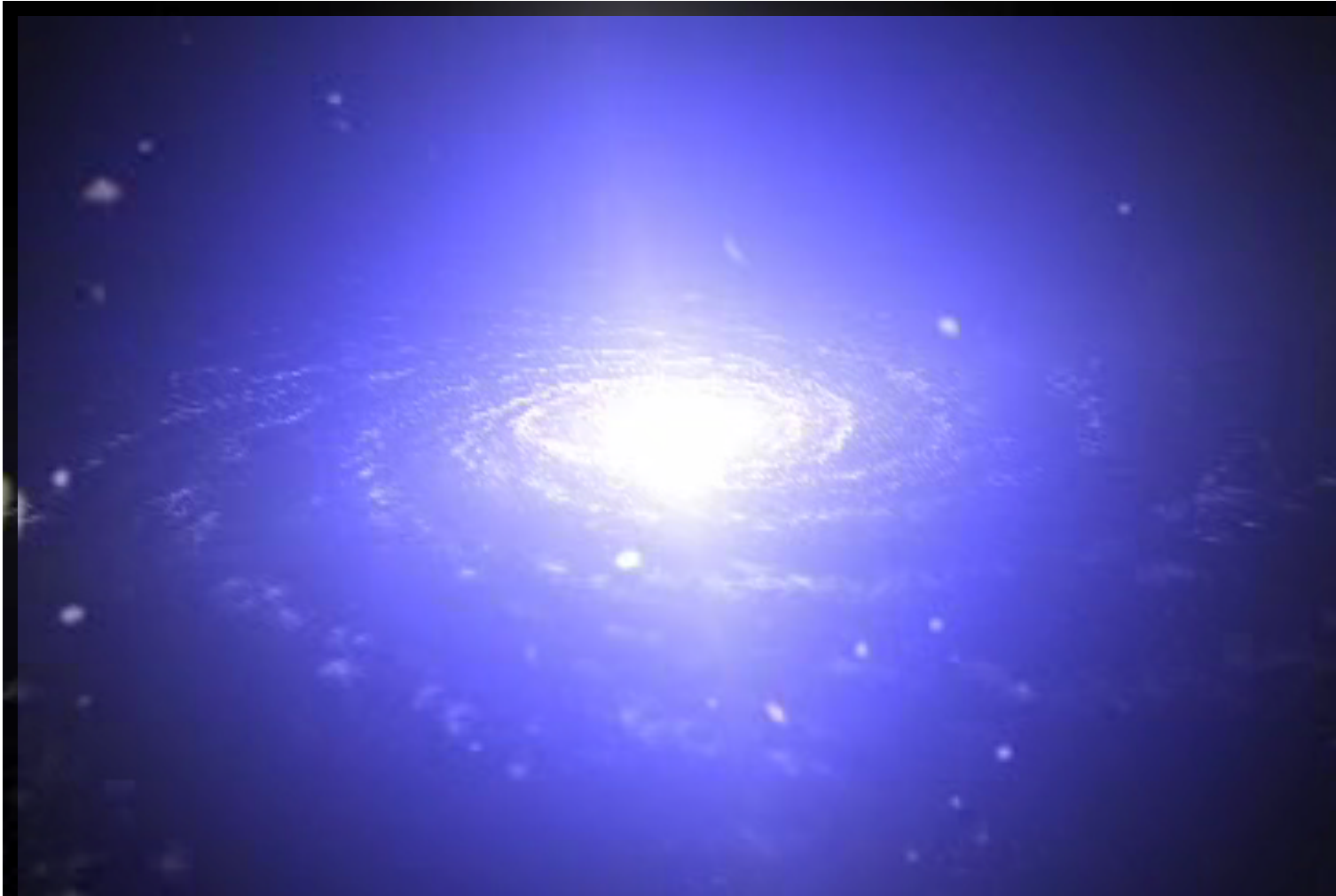
Galaxias: Quasares y agujeros negros

- En la actualidad sabemos que los quásares, y, en general, todo tipo de *galaxias activas*, albergan un *agujero negro* muy masivo en su núcleo (*más de 1 millón de masas solares concentradas en un volumen más pequeño que la órbita de la Tierra...*) .
- Este agujero negro se formó al concentrarse gran cantidad de materia en el centro de la nube de gas primordial.
- Si existe material alrededor, el potentísimo campo gravitatorio hace que el gas gire a muy alta velocidad.

Galaxias: Quasares y agujeros negros

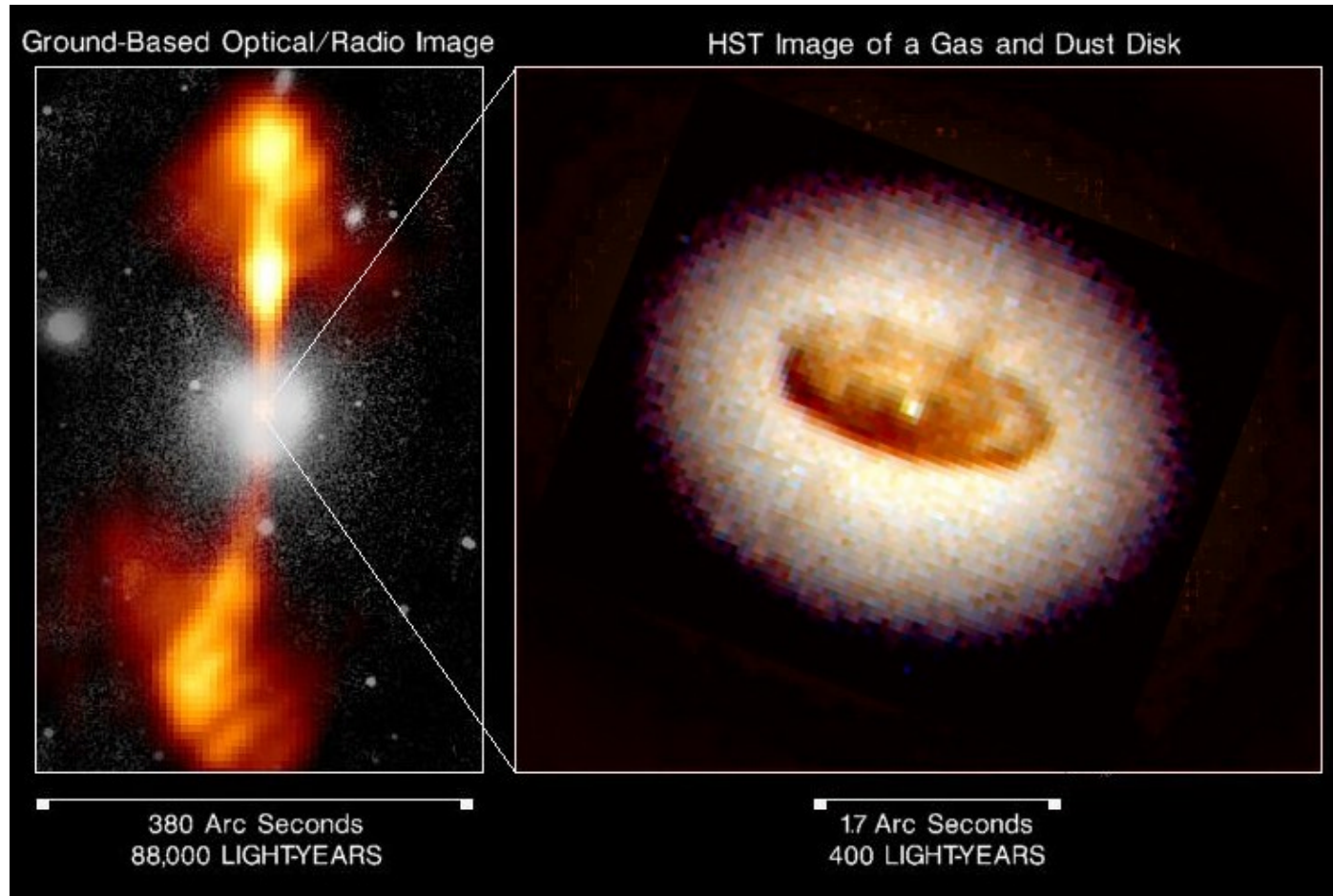
- Al chocar a alta velocidad, las partículas se calientan a millones de grados.
- De manera irregular, la materia acaba cayendo dentro del agujero negro, liberando una gran cantidad de energía en forma de estallido.
- En el proceso de acrecimiento del material, se generan dos chorros de materia saliendo por los polos casi a la velocidad de la luz.
- Éste es uno de los mecanismos mas eficientes de producción de energía.

Galaxias: Quasares y agujeros negros

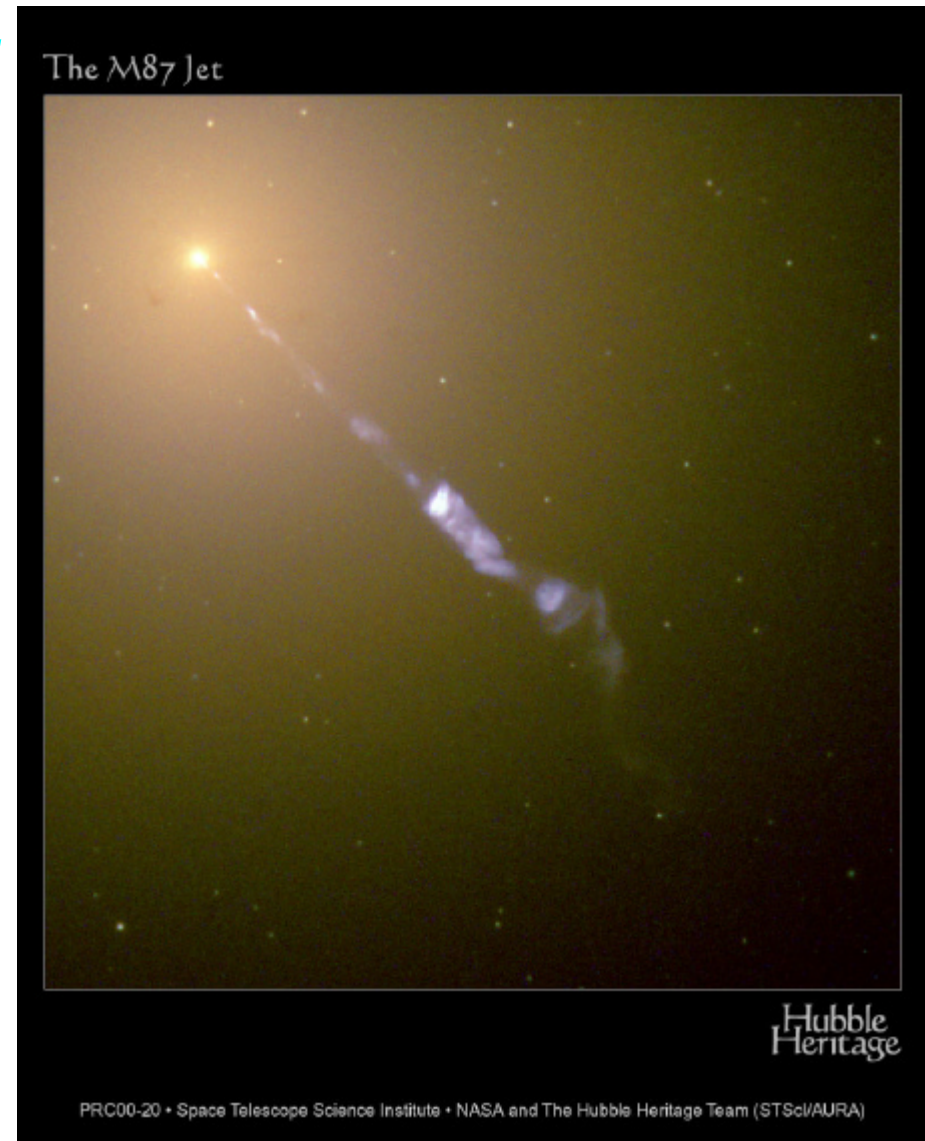


Galaxias: Quasares y agujeros negros

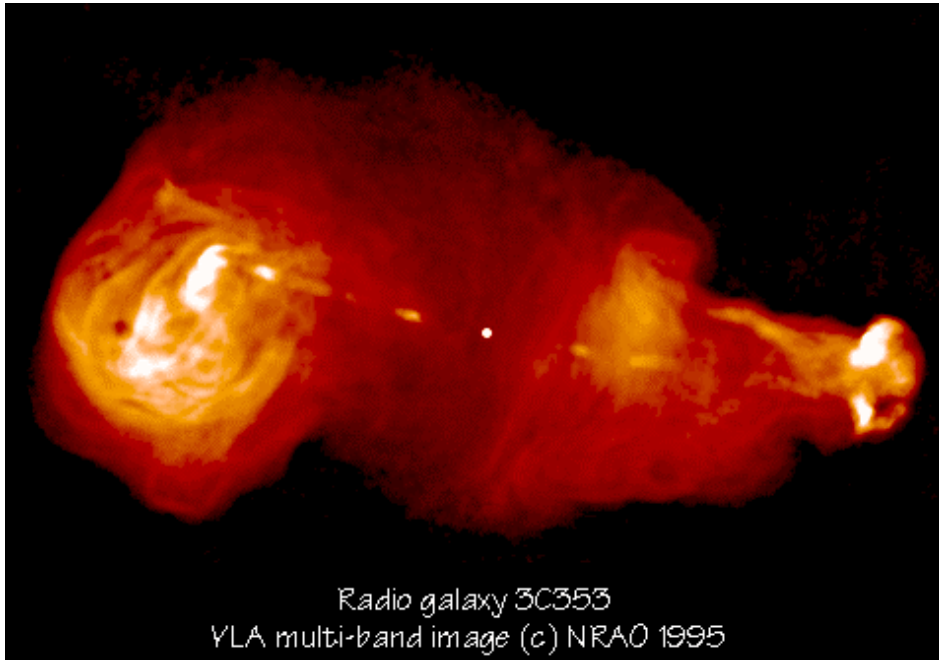
En los últimos años estamos empezando a ver los discos de material alrededor de los agujeros negros nucleares, así como los chorros de material que se generan.



Galaxias: Quasares y agujeros negros

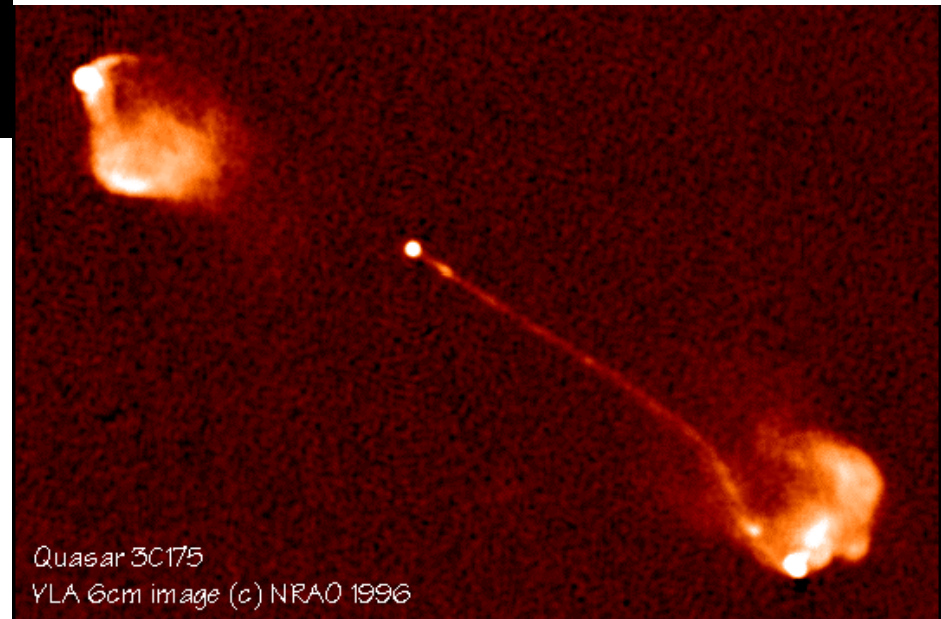


Galaxias: Quasares y agujeros negros



Estos chorros expulsan el material a velocidades muy próximas a las de la luz.

Al chocar con el medio circundante, se calientan y emiten gran cantidad de energía.



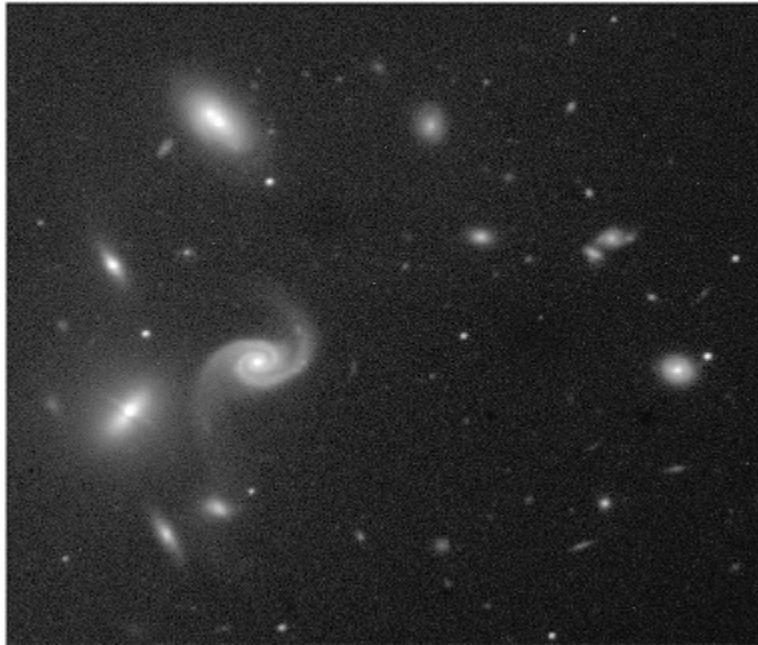
Galaxias: Quasares y agujeros negros

- El motor gravitacional de un cuasar es tan potente que emite la misma intensidad de energía que toda una galaxia como la Vía Láctea, todo ello concentrado en un volumen tan pequeño como el Sistema Solar.
- La intensidad de las galaxias activas permite detectarlas a grandes distancias, tanto en el espacio como en el tiempo.

® Constituyen un excelente trazador de las propiedades del Universo primordial

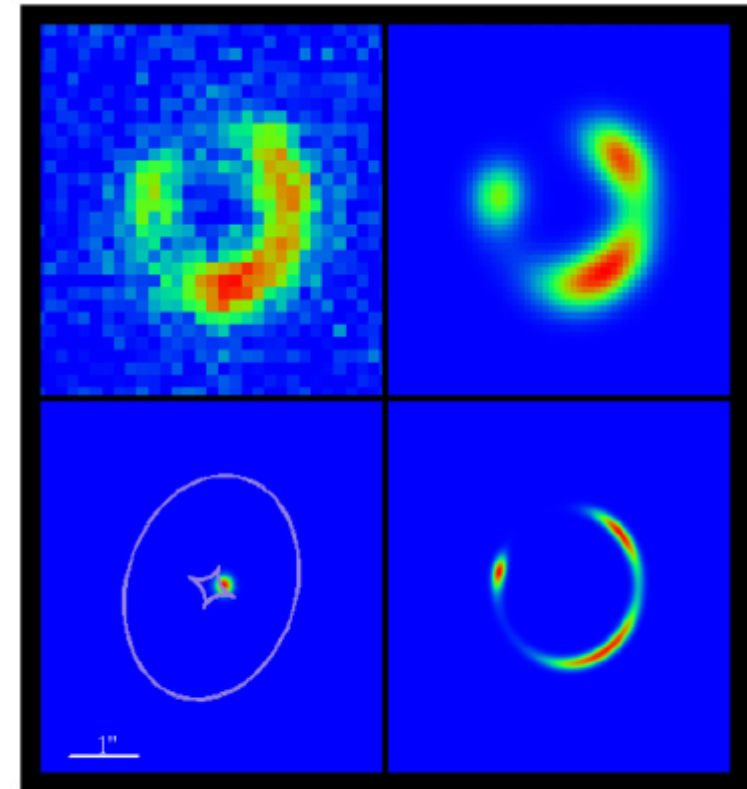
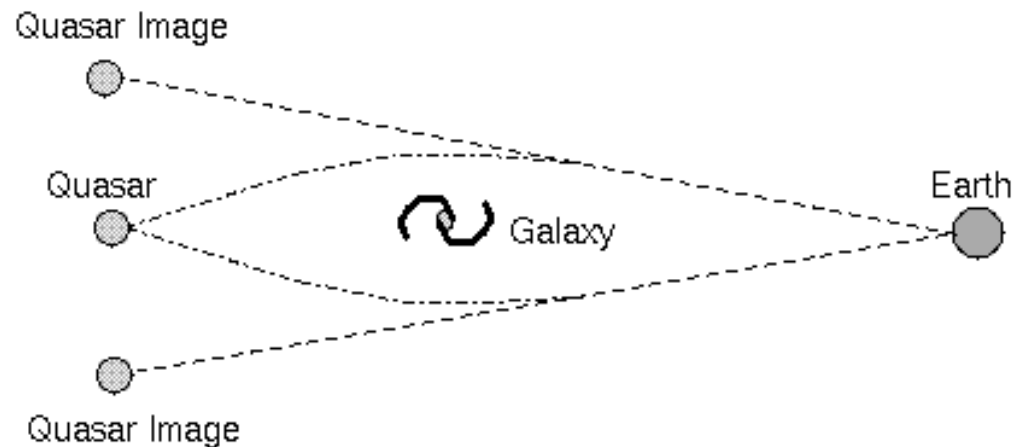
Galaxias: cúmulos y lentes gravitacionales

- Al fragmentarse las nubes primordiales, las galaxias quedaron agrupadas en forma de cúmulos.
- El espacio entre estas galaxias está lleno de un gas muy tenue, pero muy caliente ($T > 1$ millón de grados).



Galaxias: cúmulos y lentes gravitacionales

- La materia de estos cúmulos desvía la luz de las galaxias que están detrás.
- En determinadas condiciones se produce el efecto de “*lente gravitacional*”, que amplifica la imagen de galaxias muy lejanas.



A Gravitational Einstein Ring

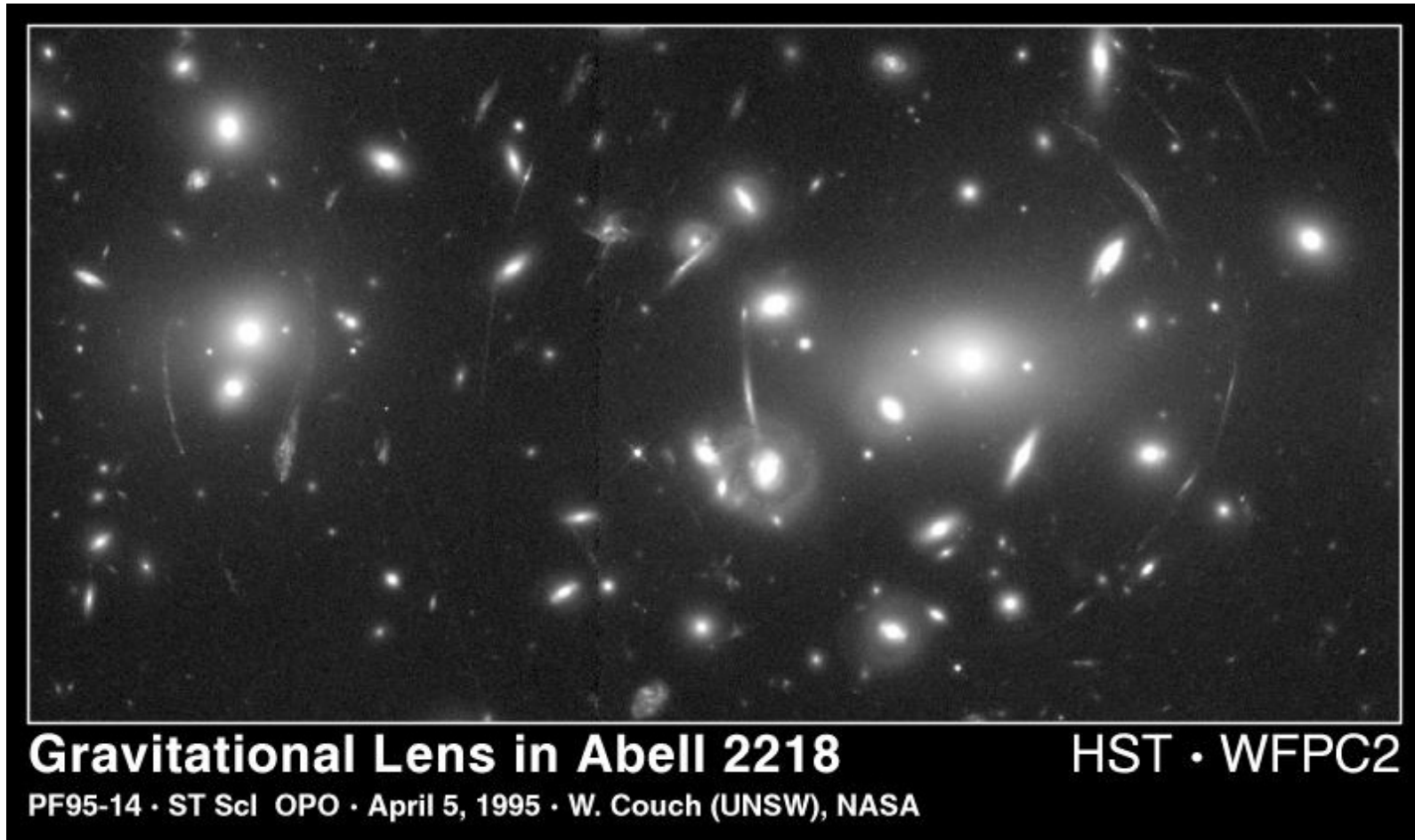
ESO PR Photo 48c/98 (26 November 1998)

©European Southern Observatory



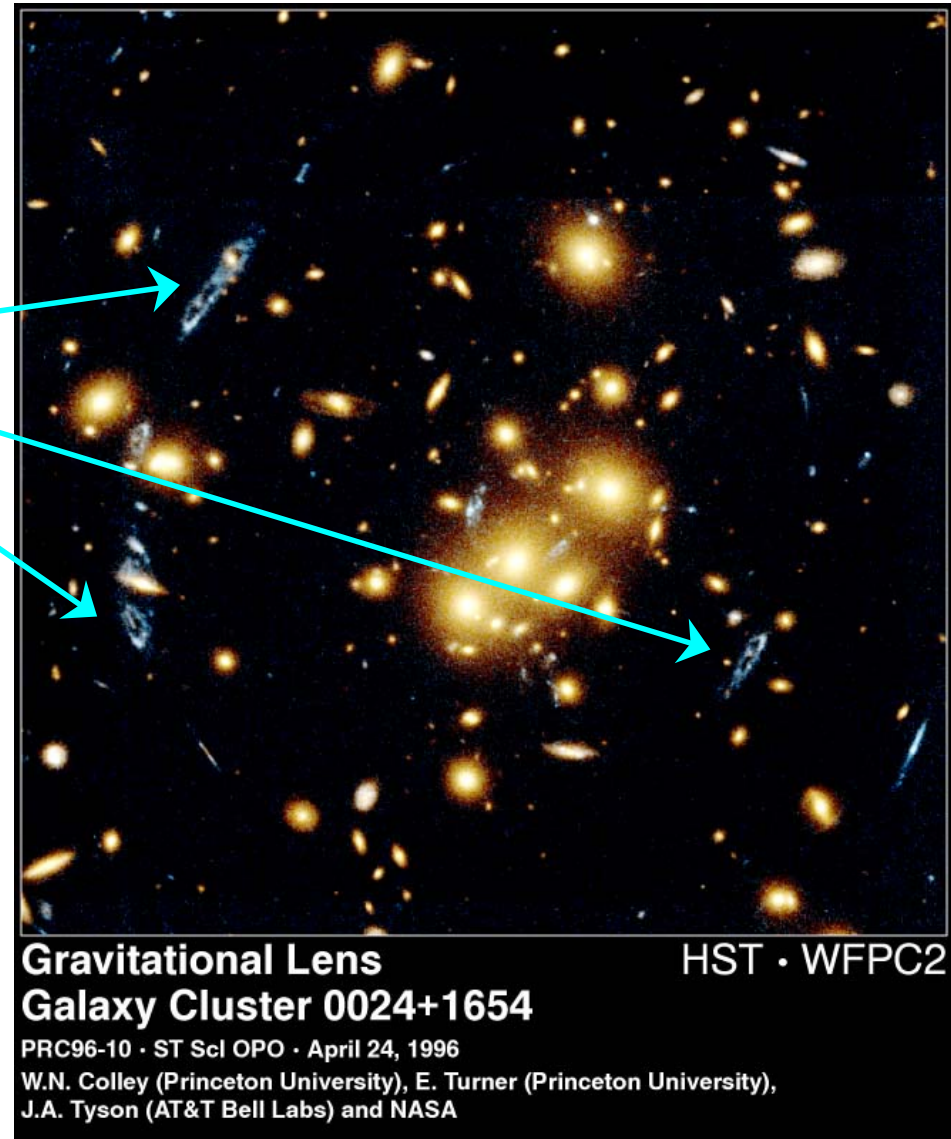
Galaxias: cúmulos y lentes gravitacionales

En este caso, se identifican numerosas imágenes amplificadas y distorsionadas de galaxias que se encuentran detrás del cúmulo.



Galaxias: cúmulos y lentes gravitacionales

Las lentes gravitacionales nos permiten amplificar y detectar la señal de galaxias formadas en la infancia del Universo.



La formación de la vida

Hitos fundamentales

- $t \approx 5.000$ millones de años: el medio interestelar es rico en elementos pesados (en número, 90% H, 9% He, 1% otros elementos).
 - $t \approx 8.000$ millones de años: explota una supernova y enriquece y provoca el colapso de una nube de la que se formará el Sistema Solar.
 - El Sol se “enciende” hace 4.600 millones de años.
 - Los elementos pesados de la nube “contaminada” forman un disco que acabará fragmentándose en los planetas que hoy conocemos.
 - En una zona templada se forma un planeta rico en metales, Oxígeno e Hidrógeno.
-

La formación de la vida



Restos de la supernova del año 1054

La formación de la vida

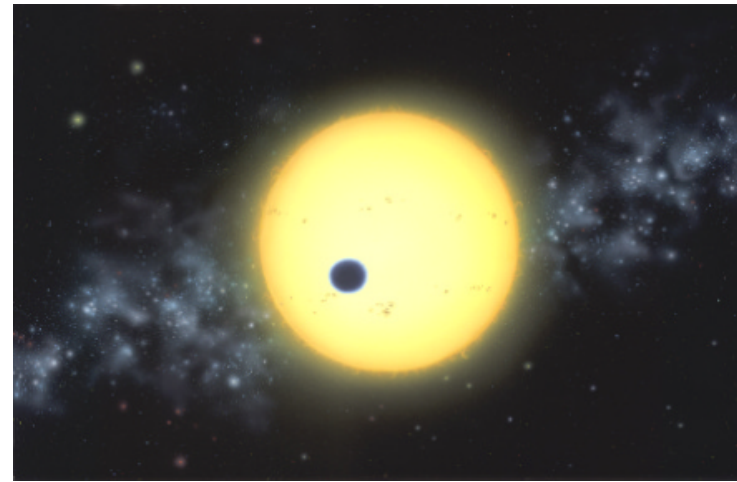
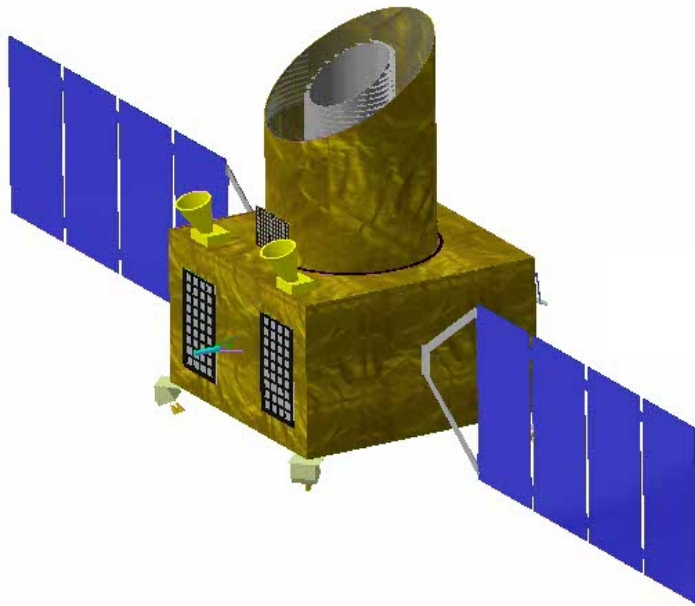
- Estos elementos se combinan espontáneamente formando cadenas cada vez más complicadas.
- Hace ≈ 3.200 millones de años, *estructuras autorreplicantes* se desarrollan en los océanos. Su metabolismo comienza a generar desechos (CO_2 , O_3 , ...).
- En los siguientes 3.000 millones de años, sucesivas mutaciones dan lugar a seres vivos cada vez más complejos, pero con redes neuronales simples.
- Hace ≈ 200.000 años, la última mutación produce el *homo sapiens*, con una red neuronal suficientemente compleja para adquirir consciencia de su existencia.

® *La mente humana se comienza a preguntar por su origen, su futuro y la razón de su existencia.*

La formación de la vida

- Durante 200.000 años el hombre ha observado el Universo que le rodea tratando de conocerlo y comprenderlo.
 - En los últimos 5.000 años ha comenzado a dominar el entorno, desarrollando tecnología.
 - En los últimos 500 años ha comenzado a comprender su funcionamiento.
 - En los últimos 70 años ha comenzado a atisbar el origen y la estructura del Universo.
 - En los últimos 10 años ha encontrado numerosos planetas en otras estrellas (*más de 80 en la actualidad*).
- *En los próximos 10 años encontraremos planetas como la Tierra y buscaremos otras vidas en ellos.*

La formación de la vida

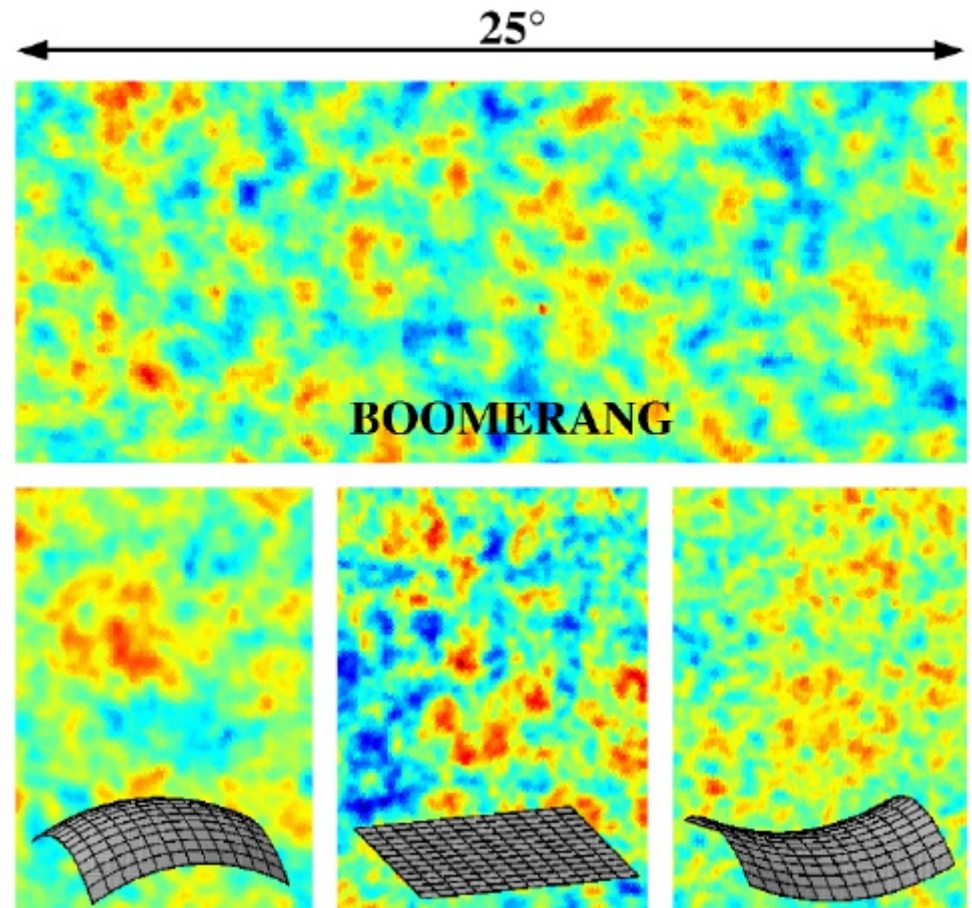


La Misión Eddington: a la búsqueda de otros planetas como la Tierra, orbitando en torno a estrellas como el Sol.

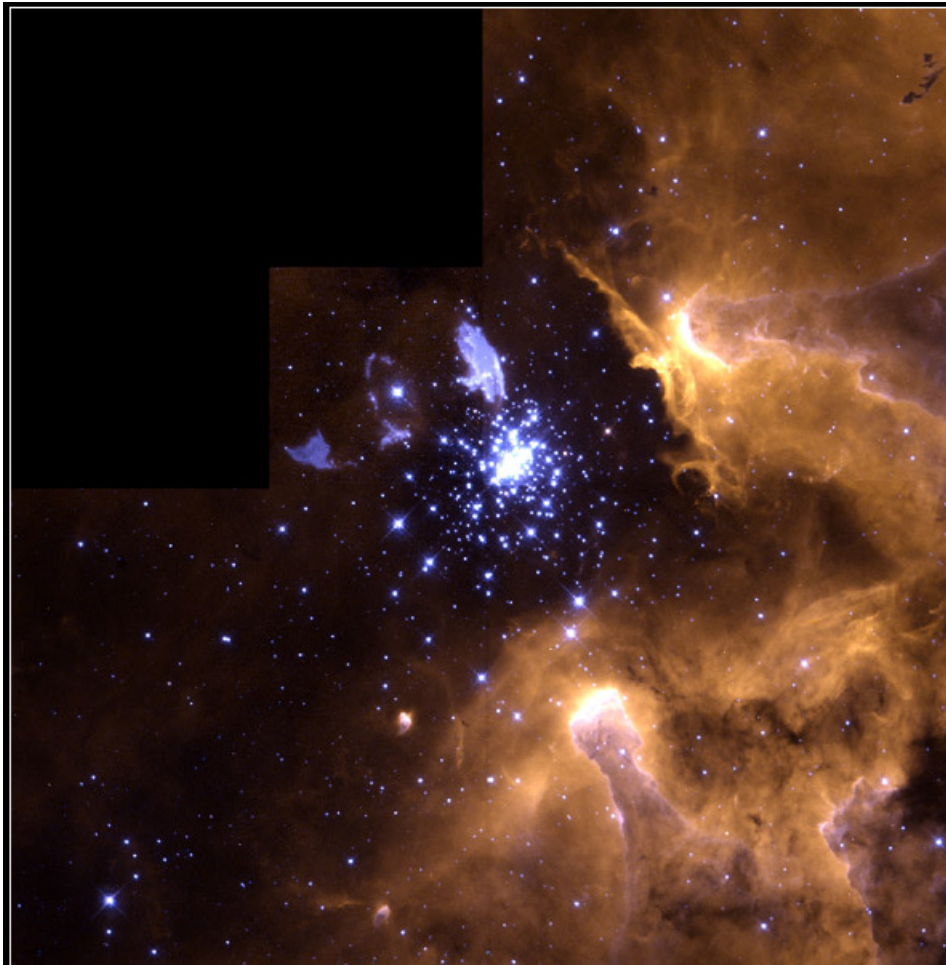
¿Qué nos depara el futuro?

- Densidad mayor que la crítica:
el Universo colapsará
- Densidad menor que la crítica:
el Universo se expandirá eternamente y acabará en “muerte térmica”

® *Las observaciones indican que la densidad del Universo es muy próxima al valor crítico!!*



... y entretanto, el ciclo de la vida continúa



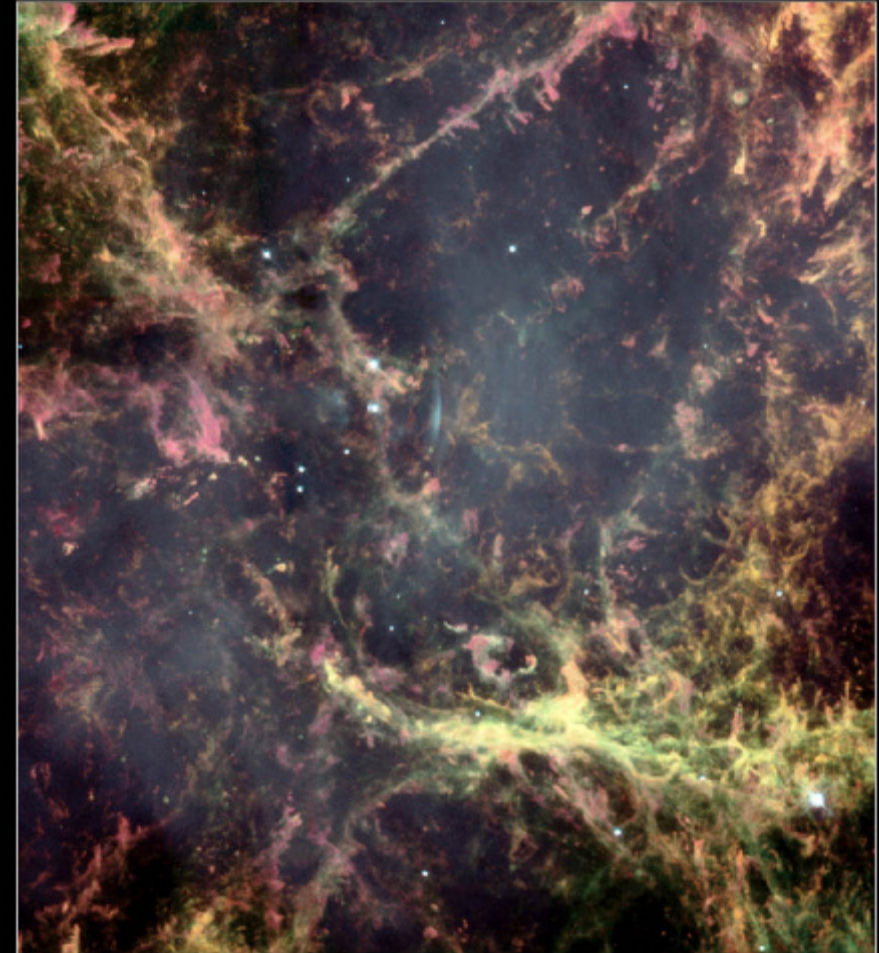
NGC 3603

HST • WFPC2

PRC99-20 • STScI OPO • June 1, 1999

Wolfgang Brandner (JPL/IPAC), Eva K. Grebel (Univ. Washington),
You-Hua Chu (Univ. Illinois, Urbana-Champaign) and NASA

Crab Nebula



Hubble
Heritage

PRC00-15 • Space Telescope Science Institute • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)