

# **El origen y la evolución del universo**

***Julieta Fierro, Susana Deustua, Beatriz Garcia***

***International Astronomical Union***

***Universidad Nacional Autónoma de México, México***

***Space Telescope Science Institute, Estados Unidos***

***Universidad Tecnológica Nacional, Argentina***



# EL UNIVERSO ES TODO:

El espacio  
La materia  
La energía  
El tiempo



Está en continua evolución.

Cada objeto del universo cambia, lo mismo que nuestras ideas respecto de ellos.

Hace menos de un siglo contamos con suficientes observaciones para cuantificar al Universo y hacer ciencia al respecto.

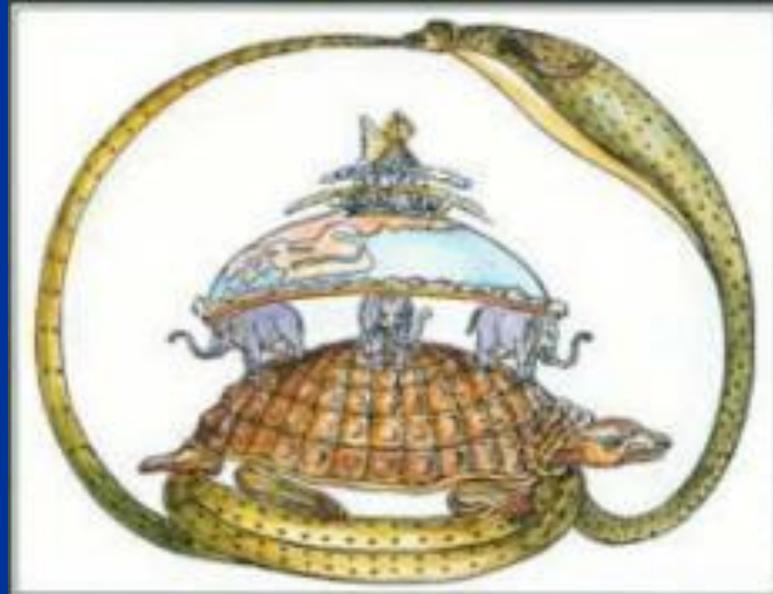


Hasta hace unos cuantos años tuvimos información sobre el universo para estudiarlo. Antes había sólo especulaciones.



Nuestra apreciación intuitiva del Universo no es el modelo estándar de la gran explosión.

Hístoricamente, las culturas intentan explicarse el universo. Por ejemplo, algunos pensaban que la Tierra era plana con ciertas elevaciones, sostenida por elefantes que a su vez se posaban sobre una tortuga que era rodeada por una serpiente. Si temblaba argumentaban que se debía al reacomodo de los elefantes.

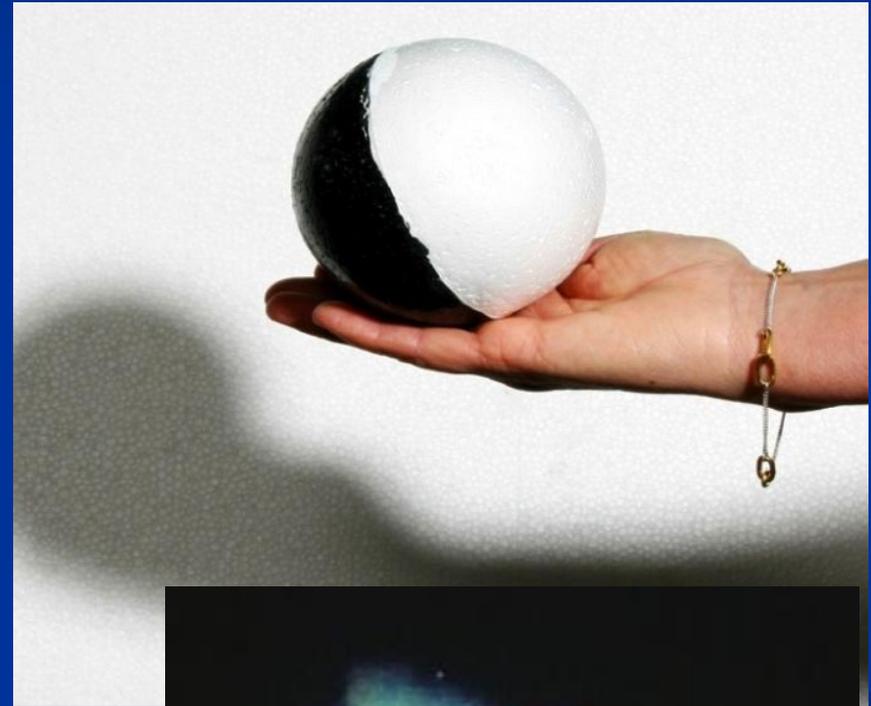


# Puesta a prueba del Modelo:

la sombra de un elefante y una tortuga, nunca se ve así la sombra de la Tierra sobre la Luna.



Sólo una esfera tiene siempre una sombra circular  
Se comprueba en un eclipse de luna



# La ciencia avanza

- Reflexionando
- Pensando en preguntas que hacerle a la naturaleza
- Experimentando
- Pensando sobre los resultados
- Socializando el nuevo conocimiento por medio de artículos
- Cuando otros pensadores comentan favorablemente sobre nuestras ideas el conocimiento se consolida.  
También cuando aprendemos de nuestros errores.



# Modelo Estándar de la Gran Explosión

- Este es el más sencillo y explica las modernas observaciones:
  - Expansión del Universo
  - Radiación de fondo
  - Abundancias químicas
  - Homogeneidad
- Hay otros modelos, descartados porque no explican los datos

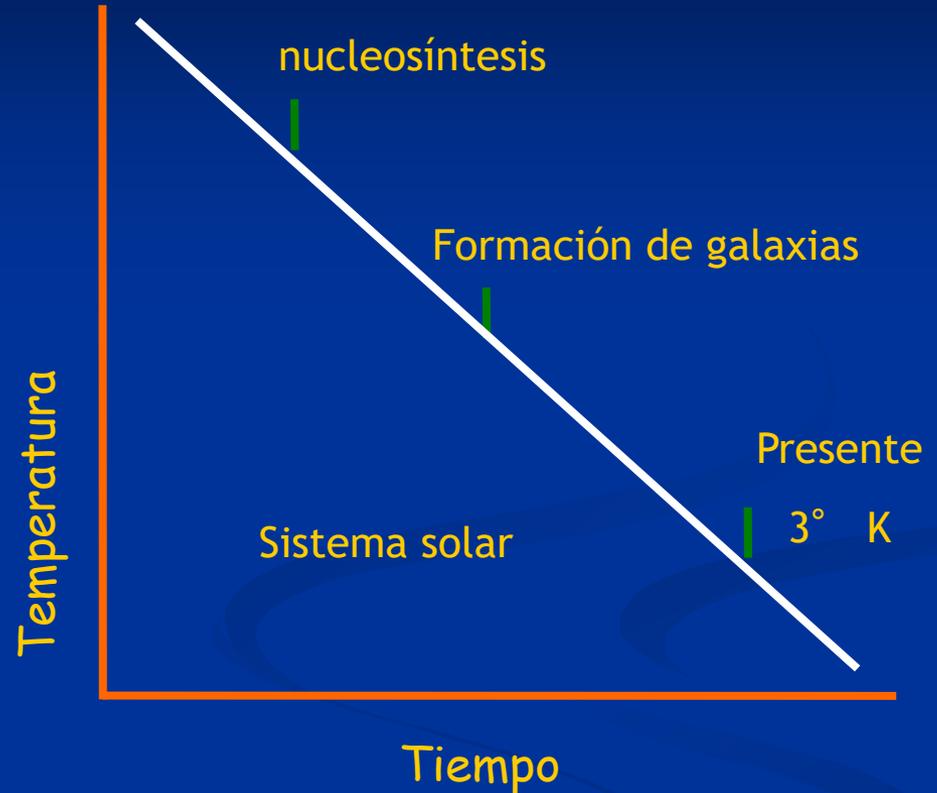


- La ciencia no pretende tener la verdad – es inalcanzable.



# Expansion del Universo

- ❑ Hace 14 000 millones de años se originó el universo.
- ❑ Se formó cuando hubo una liberación de energía del vacío.
- ❑ Al expanderse, se enfría
- ❑ Al enfriarse, esta energía se convierte en materia.



# Un gas al expandirse se enfría

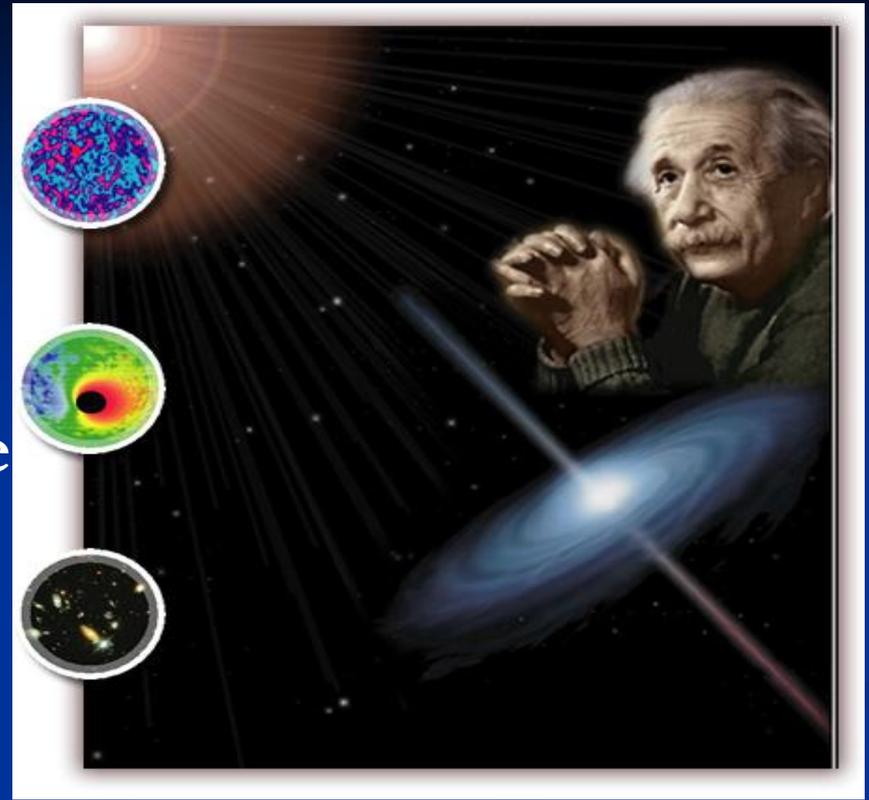
- Si se suelta vaho en la mano se siente tibio.
- Si se sopla sobre la mano el aire se siente caliente.



La física que se ha estudiado en la Tierra aplicada al resto del universo es astrofísica.

Albert Einstein descubrió que la energía se puede transformar en materia y viceversa. Al inicio del Universo la energía del vacío se convirtió en materia.

En el interior de las estrellas se transforma materia en energía, por eso brillan.



Equivalencia entre materia y energía

$$E = mc^2$$

q , leptones

p<sup>+</sup> n e<sup>-</sup>



# Al principio la materia estaba ionizada.

Más tarde se recombinó  
para formar átomos neutros

Los átomos formaron nubes  
y dentro, las primeras  
galaxias con las primeras  
estrellas.

Mucho más tarde, se  
integraron los planetas  
rocosos, como la Tierra y  
más adelante surgió la vida.



# Evolución química

Durante el primer minuto de existencia del Universo se formaron los protones, neutrones y electrones. Estos a su vez conformaron los átomos más simples, H y He.

$$E = mc^2$$

H formado por un protón  $p^+$

4 H se transforman en He,  $2p^+ + 2n$

- ✧ El resto de los elementos surgieron dentro de las estrellas a partir de las reacciones termonucleares.
- ✧ Los átomos más pesados, como la plata y el uranio, se produce cuando estallan las estrellas y arrojan sustancias que chocan entre sí formando nuevos elementos.
- ✧ Miles de millones de años después de la gran explosión se formaron los otros elementos o a partir de la evolución estelar.



# La física y la cosmología

Para explicar la materia de la vida diaria basta con quarks, constituyentes de protones y neutrones, de leptones, uno de los más conocidos es el electrón y de sus interacciones, como el electromagnetismo.

Familia			Interacción
lepton	electrón	neutrino	electromagnetismo
quarks	top	bottom	fuerza fuerte
barion	protón	neutrón	fuerza debil, fuerza fuerte

Esta relativa sencillez del modelo físico ayuda a comprender cómo debe haber sido el Universo recién formado, donde la energía se transformaba en materia y ésta en energía.



# Por medio de observaciones se aprende

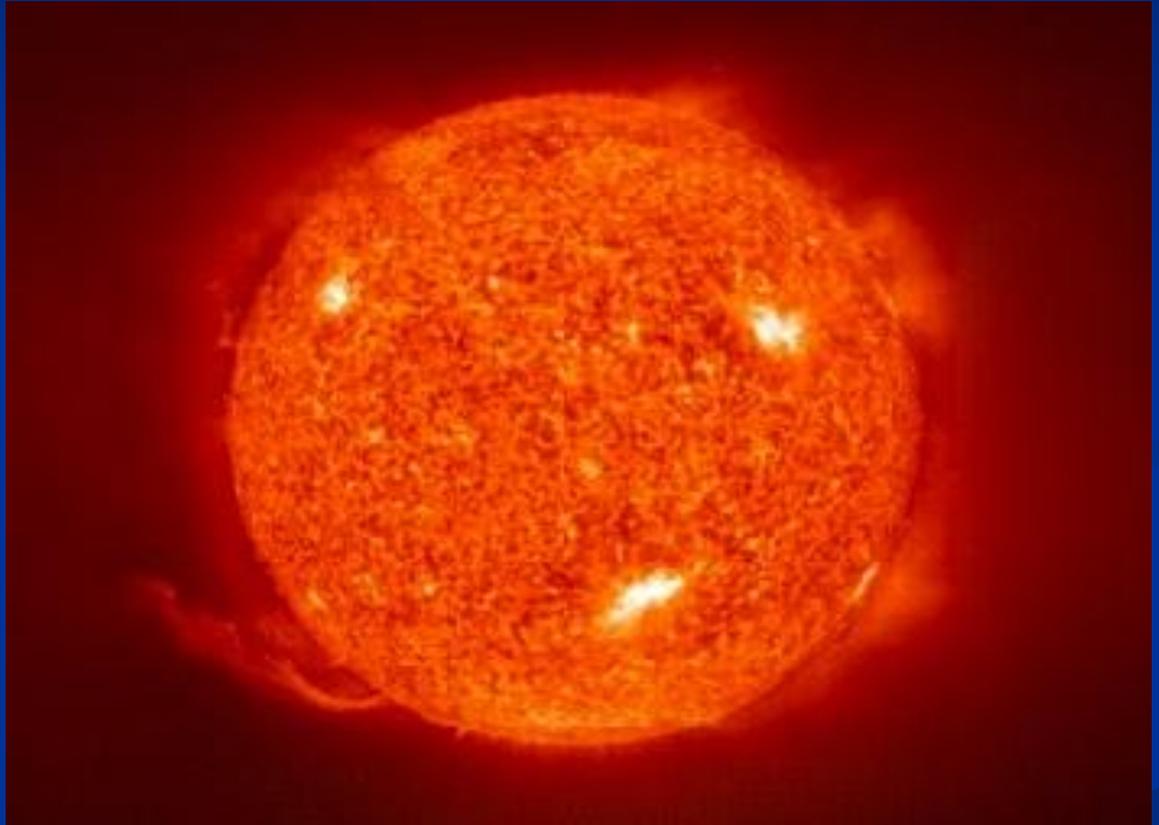
- Las propiedades físicas de los objetos celestiales
- Tamaños y distancias
- Tiempos y edades
- Tasa de expansión del universo
- Temperature de la radiación de fondo
- Abundancias químicas
- Estructura del universo
- Por que la noche es oscura
- La existencia de la materia oscura y de la energía oscura



# El Sol y Las Estrellas

Los objetos más estudiados son los más brillantes, por la facilidad de hacerlo.

El Sol y el resto de las estrellas son los objetos mejor conocidos.



# Planetas extra solares



Además de estrellas se han descubierto miles de planetas en los últimos años, no porque emitan luz, sino porque perturban a las órbitas estelares.

# Vida



Otra propiedad del Universo es la vida. Todavía no hemos descubierto vida fuera de la Tierra.

Pensamos que requiere de agua para florecer porque esta facilita el intercambio de sustancias y la formación de moléculas complejas.



# Materia interestelar

El espacio entre estrellas no está vacío, está lleno de materia interestelar. A partir de esta sustancia se forman las nuevas estrellas.

Las estrellas nacen dentro de nubes de gas y de polvo. Las nubes se comprimen formando nuevas estrellas que pasan la mayor parte de su existencia transformando el hidrógeno de su núcleo en helio y energía.



Posteriormente se produce carbono, nitrógeno y oxígeno; los elementos de los que estamos formados.



# Ciclo de Vida de una estrella



- Cuando las estrella agotan sus combustibles arrojan al espacio estos elementos creados en su interior.
- Conforme se suceden las generaciones estelares el medio interestelar – donde nacen nuevas estrellas -se enriquece más de estos elementos.

# Cúmulos de Estrellas

Muchas estrellas están aglomeradas en cúmulos que contienen entre 100 a 1 000 000 de estrellas



La Caja de Joyas, un cúmulo abierto



Omega Centauri, un cúmulo globular





# Galaxias

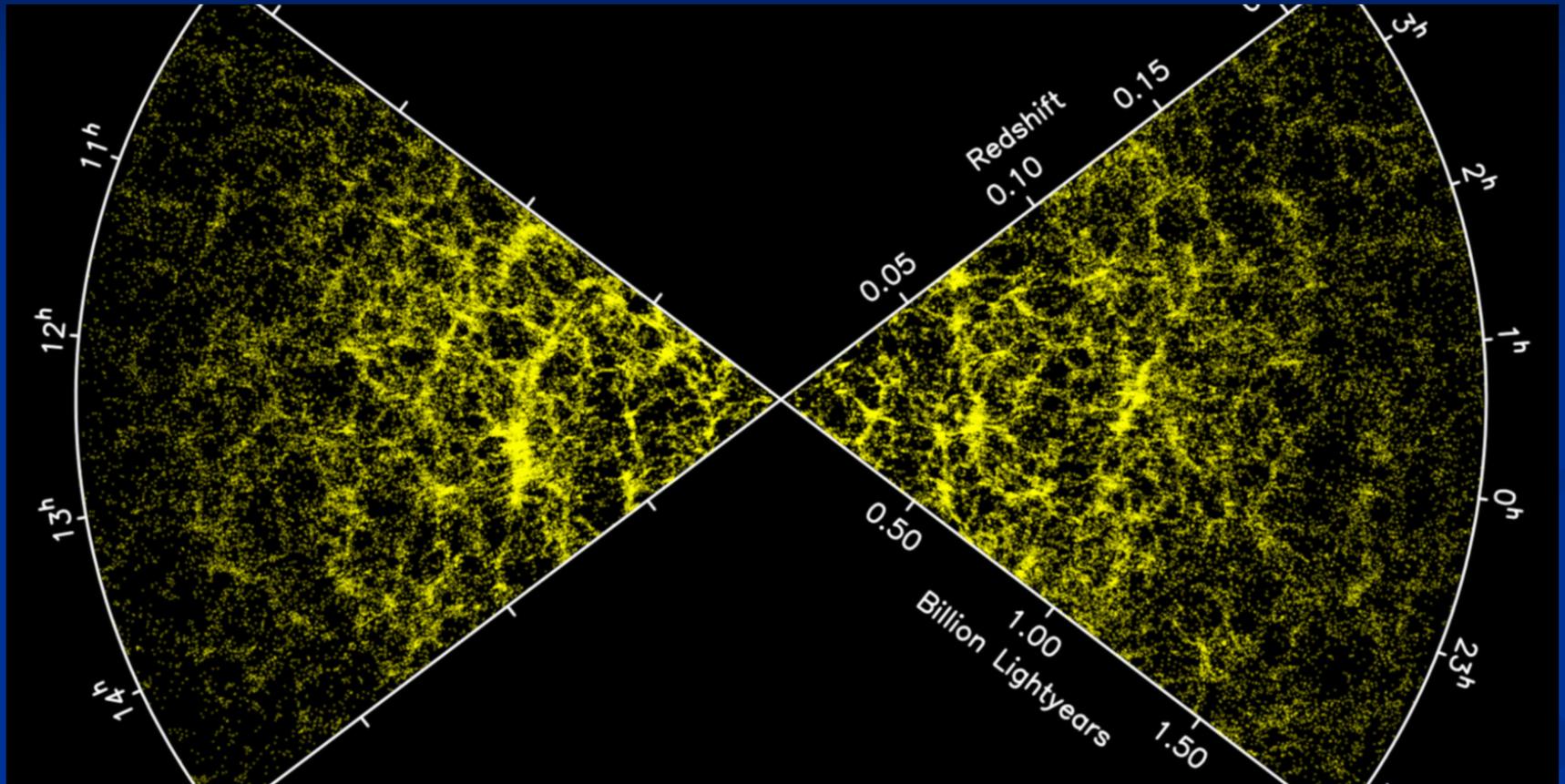
Los conglomerados por excelencia son las galaxias, las espirales como la nuestra, poseen cien mil millones de estrellas, cada una con sus planetas, satélites y cometas, gas, polvo y la mayor parte de la materia llamada oscura

Galaxia Whirlpool

Fuente: Hubble Space Telescope



# Estructura del universo



Los grupos de galaxias están acomodados en lo que se llama el Universo filamentario





Es como si el Universo fuera un baño de burbujas donde la materia rodea espacio carente de galaxias y entre más pasa el tiempo aumenta el volumen carente de materia

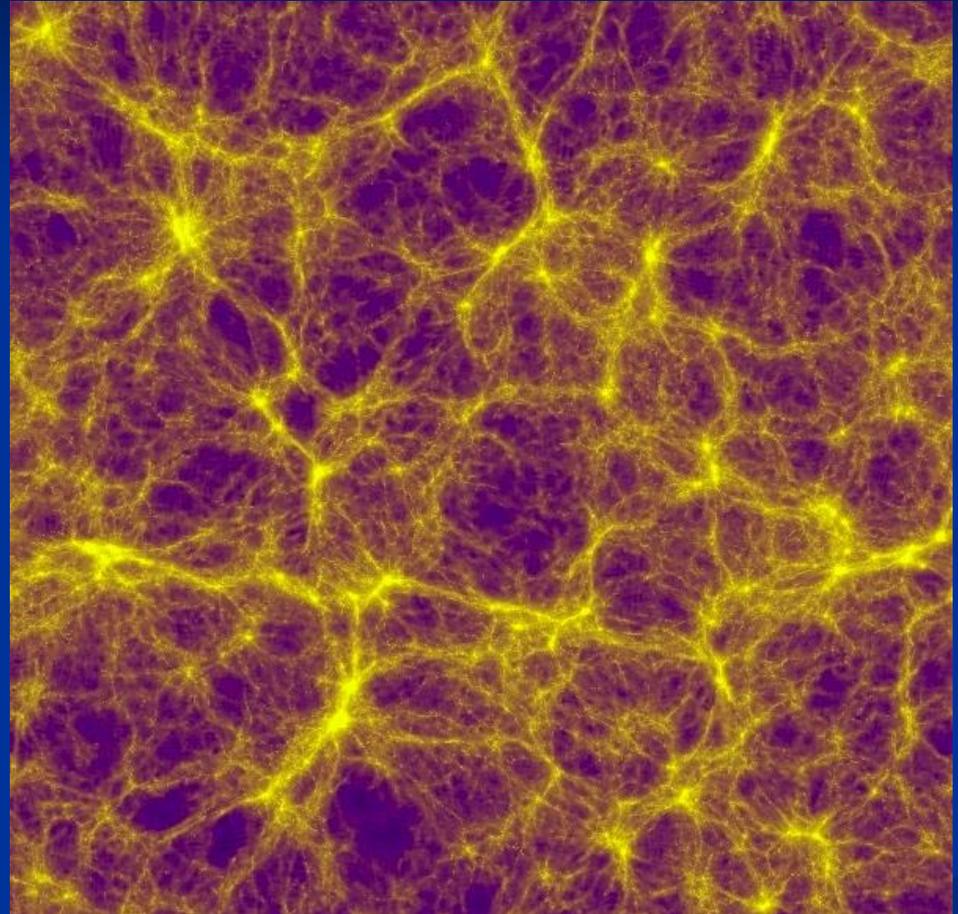


Conforme se expande el Universo los espacios entre los cúmulos de galaxias aumenta y el Universo se disuelve más



# Modelo del Universo filamentario

Los cumulos y supercumulos de galaxias se encuentran en los filamentos, tal como en la superficie de una burbuja.



Fuente: Millenium Project del Max Planck Institute, Alemania



# 25 Estructura del Universo: síntesis

- Las estrellas se encuentran en cúmulos.
- Los cumulos de estrellas están en Galaxias.
- Las galaxias se encuentran formando cúmulos de pocas galaxias hasta de miles de ellas.
- La más grandes estructuras del Universo son los filamentos, compuestos de cúmulos y supercúmulos de galaxias.



# Distancia en el Cosmos

Podemos estimar lo que mide un metro, como un niño y también una unidad mil veces mayor, un kilómetro...

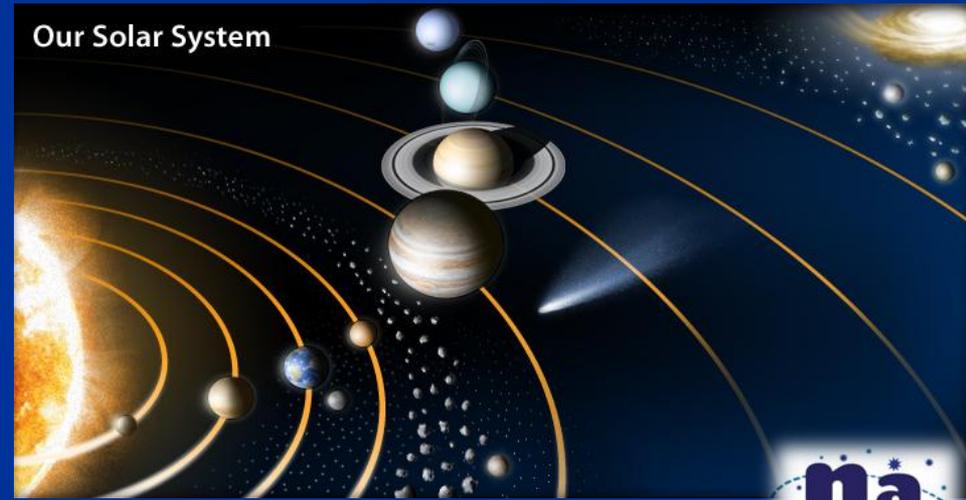


... una distancia mil veces mayor, mil kilómetros, se recorre en un avión en un par de horas.



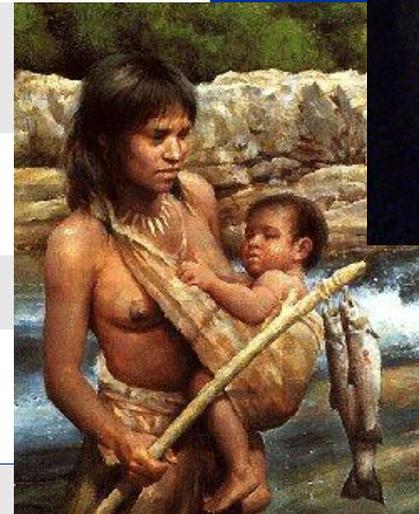
Para llegar a la Luna necesitamos tres días y para recorrer la distancia entre el Sol y Júpiter varios años.

La distancia a las estrellas cercanas es mil veces mayor



# Tiempo en el Cosmos en años

Gran explosión	14 000 000 000
Formación de las galaxias	13 000 000 000
Formación del sistema solar	4 600 000 000
Aparición de la vida en la tierra	3 800 000 000
Aparición de la vida compleja	500 000 000
Aparición de los dinosaurios	350 000 000
Extinción del cretácico	65 000 000
Aparición del hombre moderno	120 000



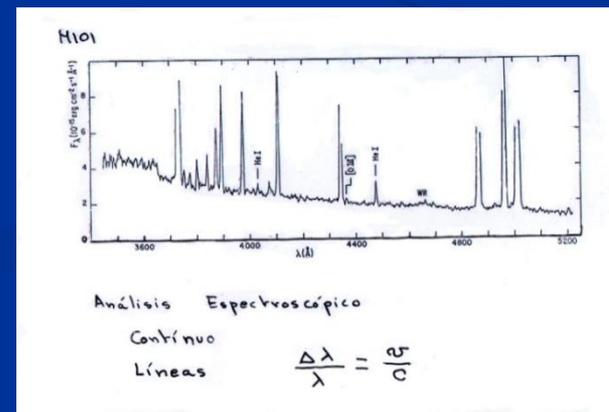
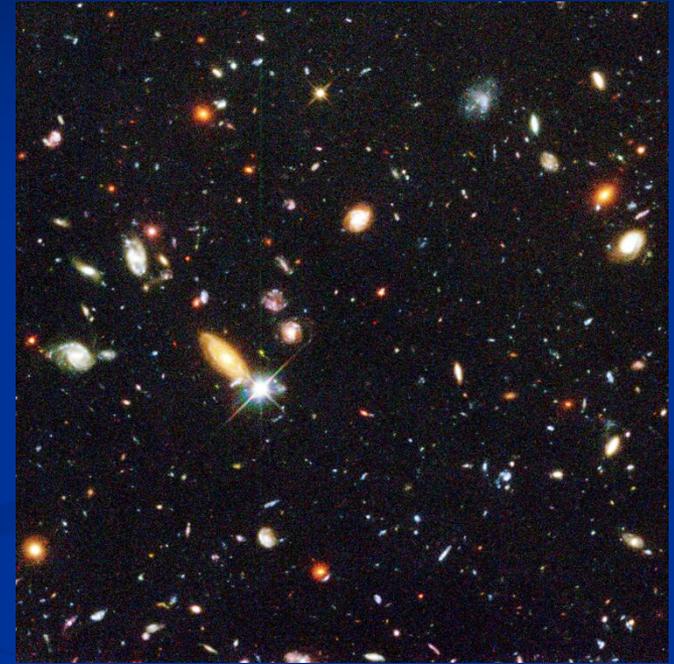
**La aparición del Hombre es muy reciente**

# Observando el Universo

Analizando la radiación que emiten, reflejan o absorben los astros, conocemos su naturaleza.

Las imágenes nos permiten determinar la posición, el aspecto, la cantidad de luz que emite un astro.

El espectro nos permiten conocer su composición química, temperatura, densidad y velocidad (efecto Doppler).



# Pilares del Modelo Standard

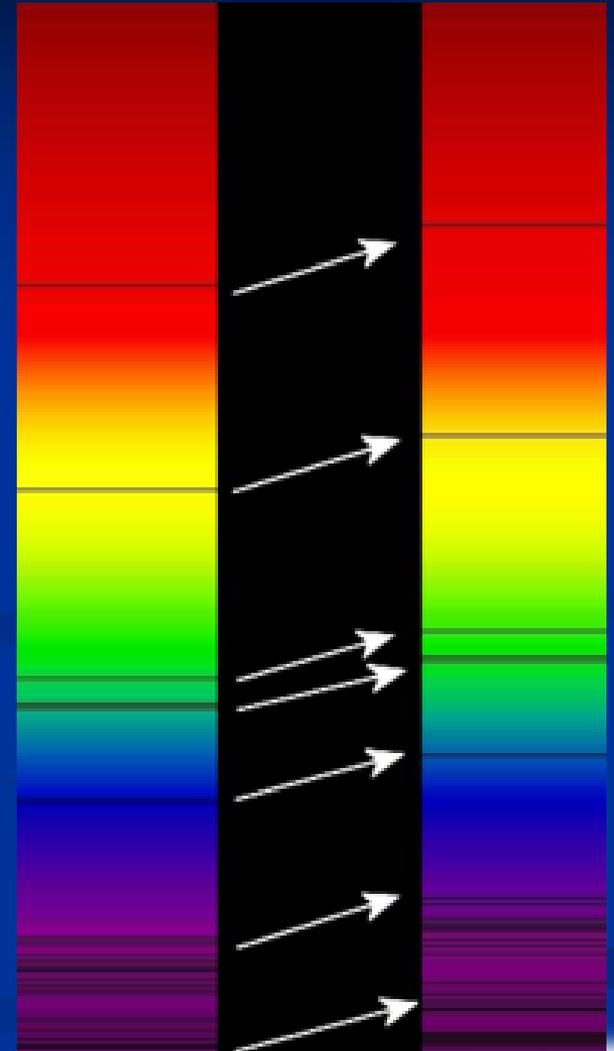
## 1. Expansión del Universo

El corrimiento al rojo de las líneas espectrales demuestra la expansión. La luz de los astros que se acercan al observador ve más azul y más rojo cuando se alejan).

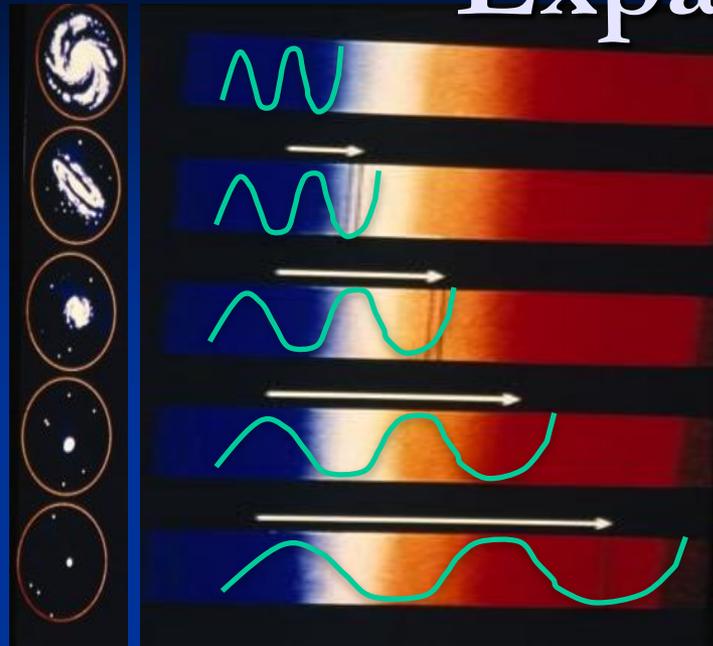
Los grupos de galaxias se alejan unos de otros y entre más alejados estén se alejan a mayor velocidad

## 2. Abundancias químicas del Universo.

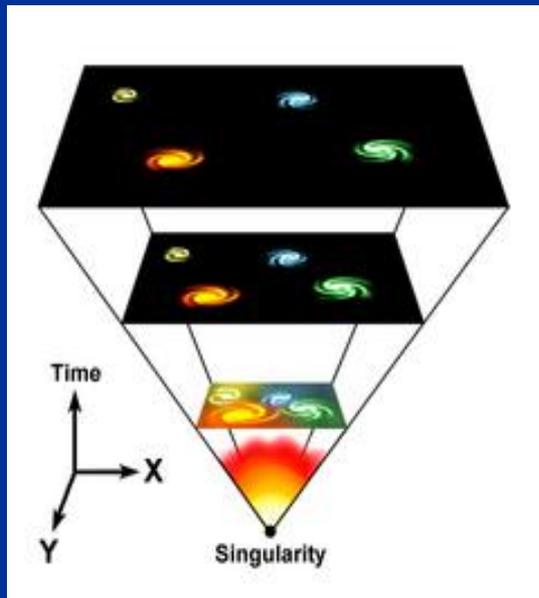
En los primeros minutos del Cosmos, sólo se pudieron formar H y He; la expansión frenó la producción: la radiación perdió energía y ya no se pudo convertir en protones y neutrones. C, N y O se formaron en el interior de las estrellas y se mezclaron con el medio interestelar cuando éstas murieron.



# Expansión cósmica



El espacio es el que se dilata, también los fotones de radiación se expanden. Lo que fueron rayos gamma de longitud de onda minúscula ahora son ondas de radio, fotones de radio que nos llegan de todas direcciones y que forman la radiación de fondo



Midiendo la expansión cósmica se puede calcular la edad del Universo, 14.000 millones de años. Ésta determinación es superior a la edad de los astros más antiguos



# ¿Tiene orilla el Universo?



Una condición necesaria para la estabilidad del Universo es que esté en continua expansión. De otra manera dejaría de existir como lo observamos ahora. La expansión del Universo es otro de los pilares del modelo estándar de la Gran Explosión

Pero...no hay centro de la expansión



# ¿La gravedad domina al Universo?



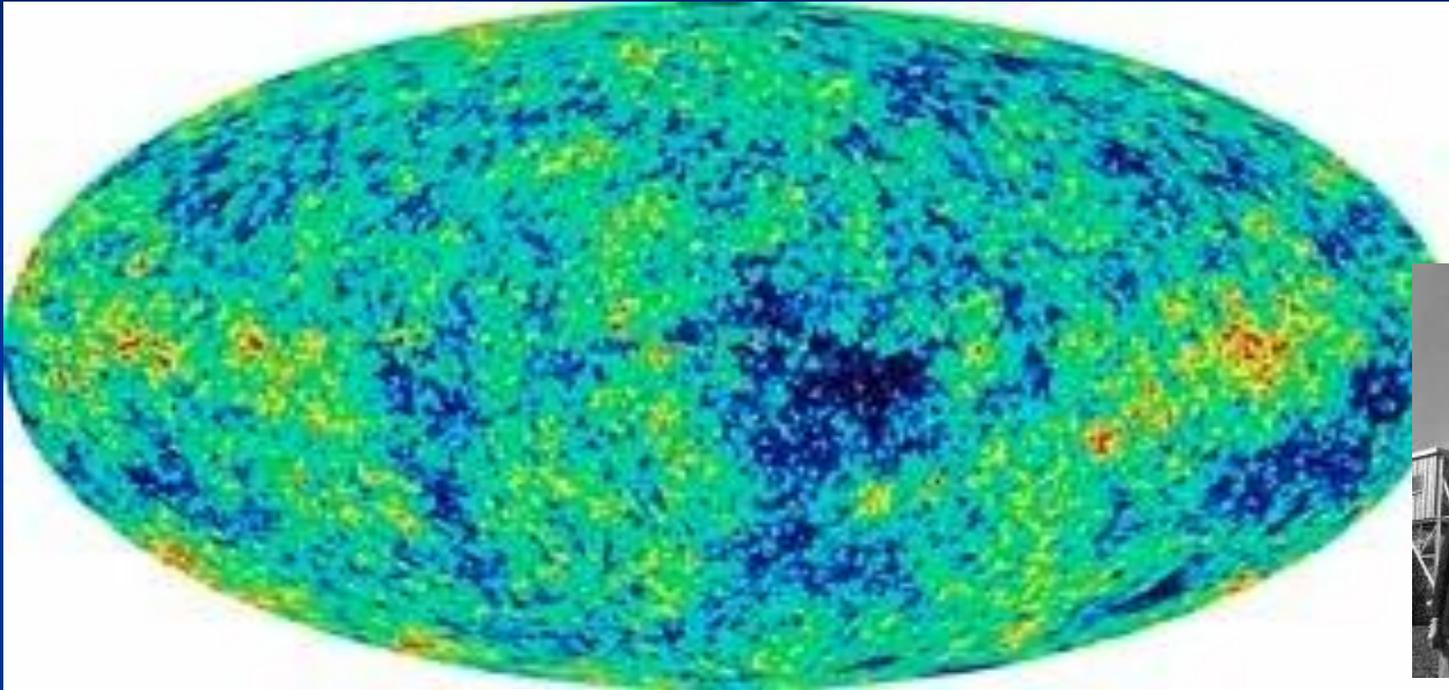
El Universo contiene masa, entonces tiene una fuerza de gravedad enorme. La gravedad atrae.

La expansión de la gran explosión compensa a la gravedad.

Pero el Universo se está acelerando y se desconoce la fuente de energía que lo produce.



# Radiación de fondo

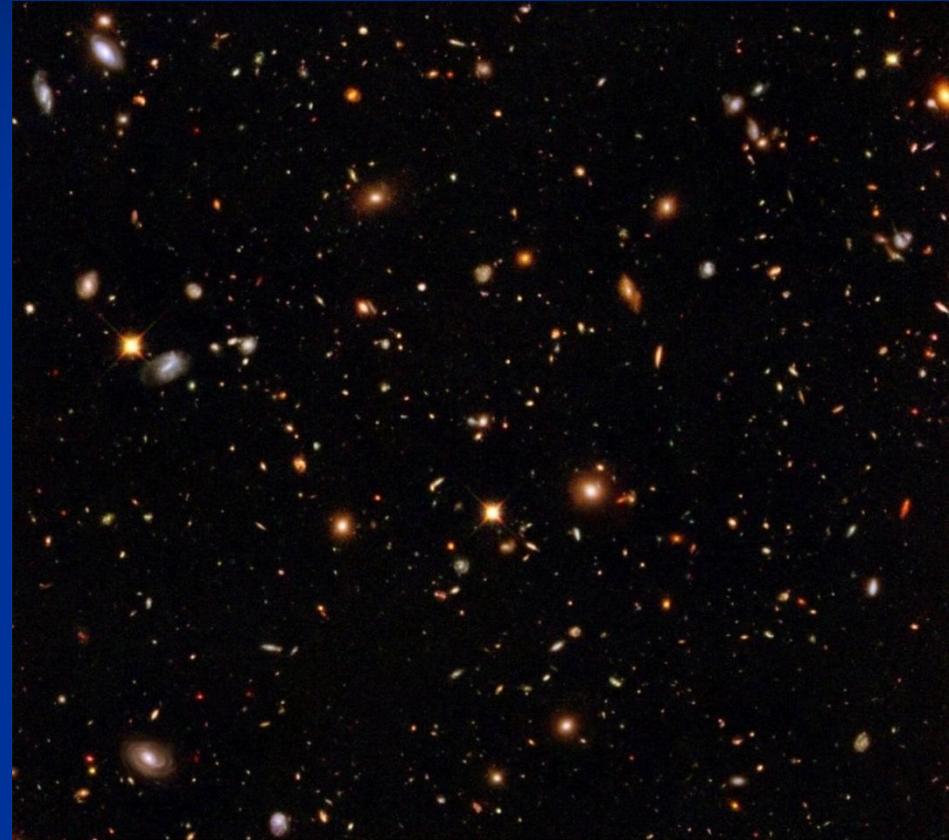


La radiación de fondo cósmico en microondas es el remanente fósil del Big Bang y la prueba de la expansión del Universo, fue descubierta por Penzias y Wilson.

Cuanto más lejos están los objetos, los veo más como fueron en antaño. Es decir que las galaxias cercanas son distintas a las lejanas



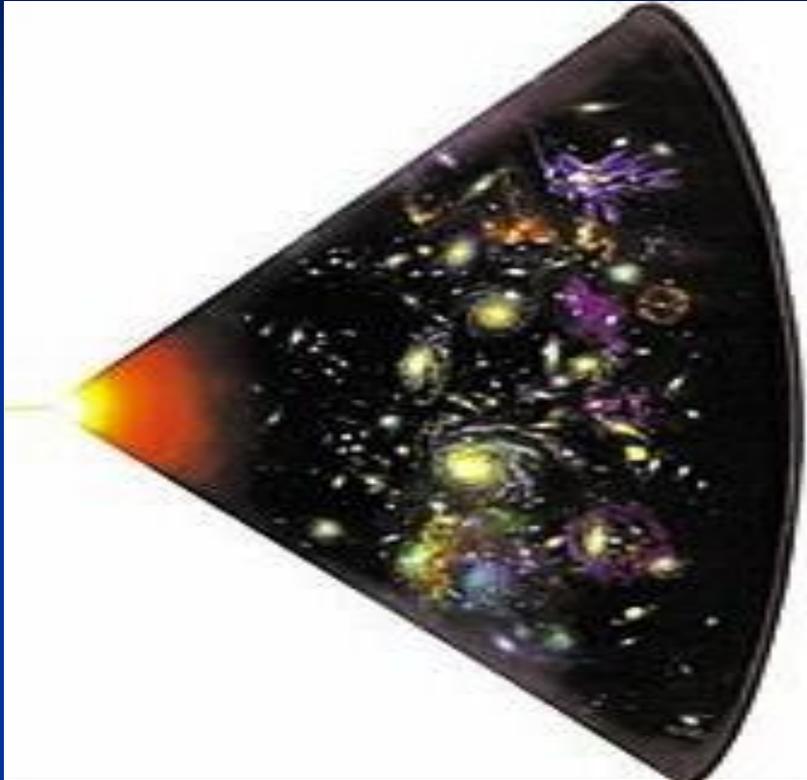
Galaxia espiral cercana



Las galaxias lejanas son amorfas y pequeñas



# Evolución



Hay un límite más allá del cual no tenemos información acerca del Cosmos.

Es decir que no podemos ver a los astros cuya luz tarda más de catorce mil millones de años en llegar

Si nuestro Universo fuera pequeño sólo tendríamos información de una pequeña sección, y si fuera infinito sería mínima



**EL 98% DEL UNIVERSO SÓLO  
SE DETECTA POR LA FUERZA  
DE GRAVEDAD QUE EJERCE  
SOBRE LOS OBJETOS VISIBLES**

**Se desconoce de qué tipo de  
materia está constituido**



## Superficie del mar



Es como si fuésemos biólogos marinos y sólo pudiésemos ver la superficie del mar

## Fondo del mar



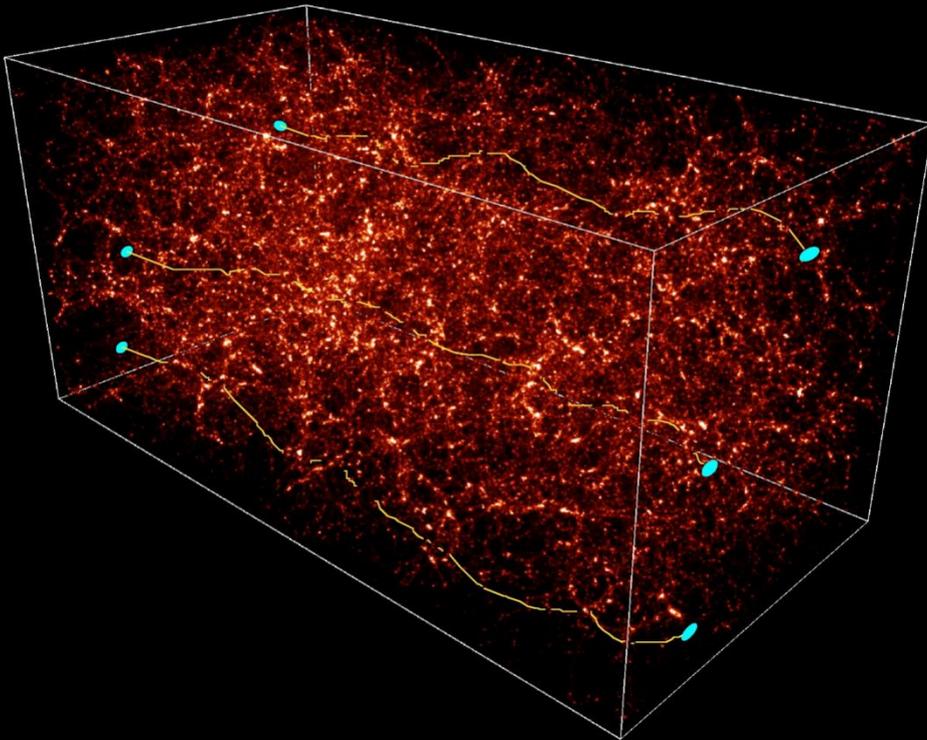
Al asomarnos descubriríamos una vastedad o una extensión diversa muy interesante



# La materia oscura

Sabemos que existe materia que no es visible, tan sólo se conoce por la fuerza de gravedad que ejerce sobre la materia visible – los astro, galaxies.

DEFLECTION OF LIGHT RAYS CROSSING THE UNIVERSE, EMITTED BY DISTANT GALAXIES



SIMULATION: COURTESY NIC GROUP, S. COLOMBI, IAP.

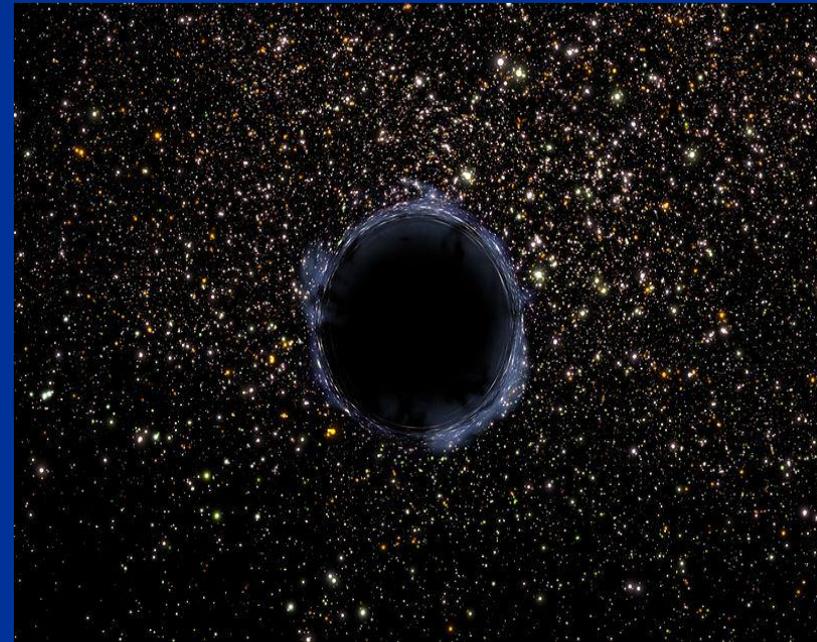
Se piensa que la materia oscura se distribuye de forma filamentaria. Las formas azules son galaxies lejanas . Las lineas amarillas son los senderos de luz emitida por las galaxias. Sin materia oscura estas serían rectas.



Las estrellas giran en torno al centro de la galaxia porque su masa las atrae. Los cúmulos de galaxias se mantienen ligados debido a la fuerza de gravedad del conjunto.



La materia oscura no se ve pero se siente: se detecta por medio de la fuerza de gravedad



Existen objetos que giran en torno a otros que no vemos. Por ejemplo existen grupos estelares que se trasladan en torno de hoyos o agujeros negros



# Evolución de nuestro Universo

En el largo plazo nuestro Universo se seguirá expandiendo. La velocidad de expansión aumenta con el tiempo, es acelerada. No se sabe qué energía la produce, se la llama energía oscura.

Conforme se sucedan los trillones de años se consumirá toda la materia interestelar y ya no habrá formación de nuevas estrellas.

Los protones se desintegrarán y los agujeros negros se evaporarán.

Nuestro Universo será inmenso, poblado con materia exótica y ondas de radio de poca energía.



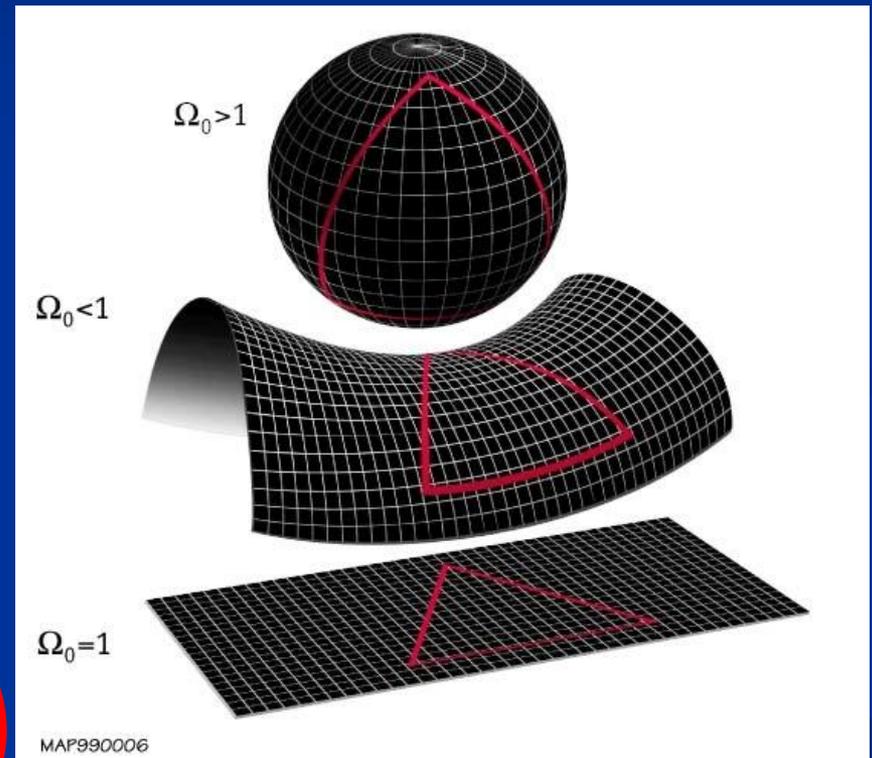
# La geometría del Universo depende de la constante cosmológica

Cerrado  $\rightarrow \Omega > 1$

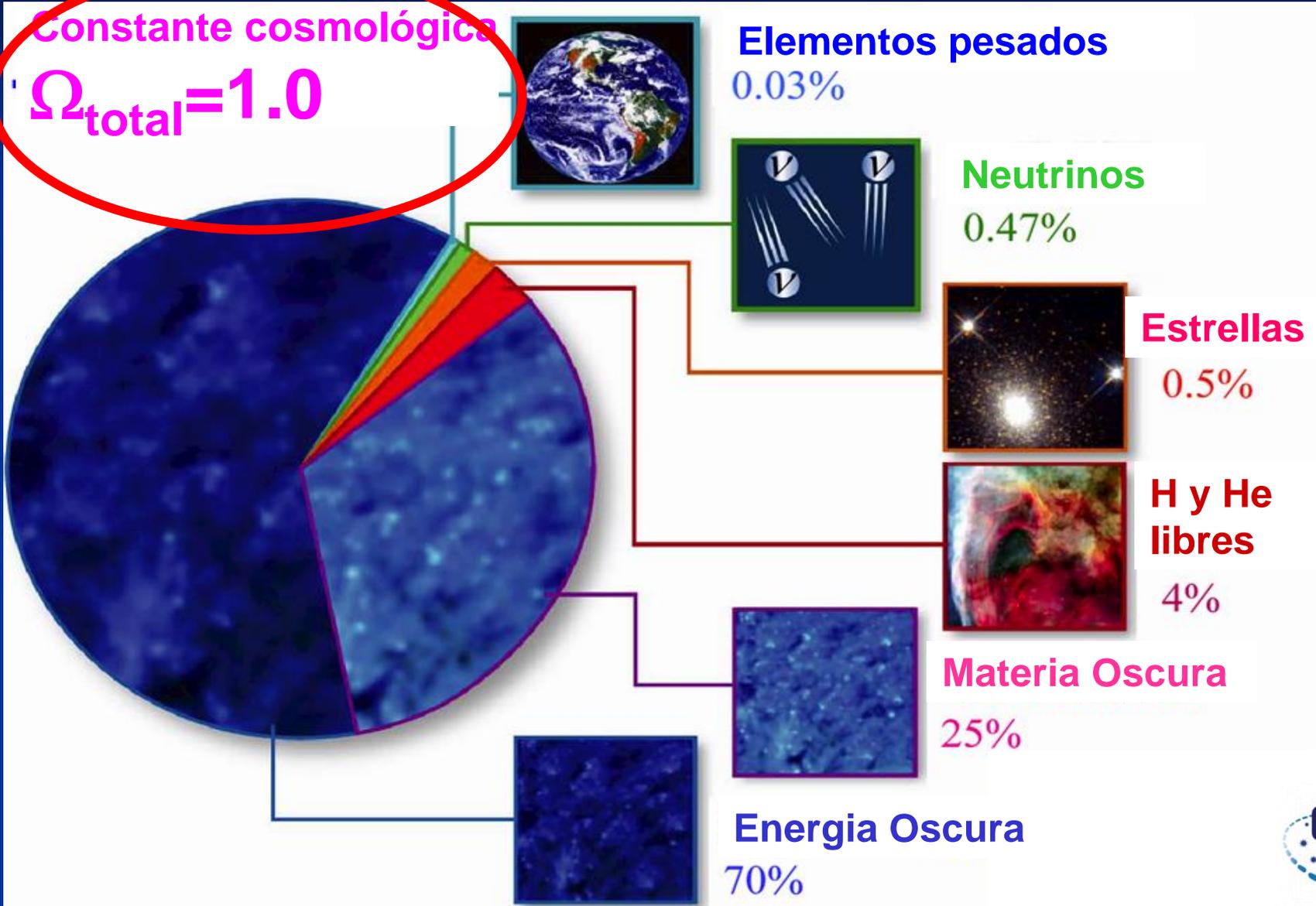
Abierto  $\rightarrow \Omega < 1$

Plano  $\rightarrow \Omega = 1$

(predicha por la teoría  
Inflacionaria y coincidente  
con las observaciones)



# La evolución depende de qué este hecho el Universo



# Éxitos del Modelo del Big Bang

(predicciones-verificación)

- **Expansión:**

descubierta en 1936 por E. Hubble.

- **Radiación de fondo cósmico:**

descubierta en 1964 por Pecias y Wilson.

- **Abundancia de elementos ligeros:**

demostrada a mediados del siglo XX

- **Estructura a gran escala:**

descubierta a fines del siglo XX

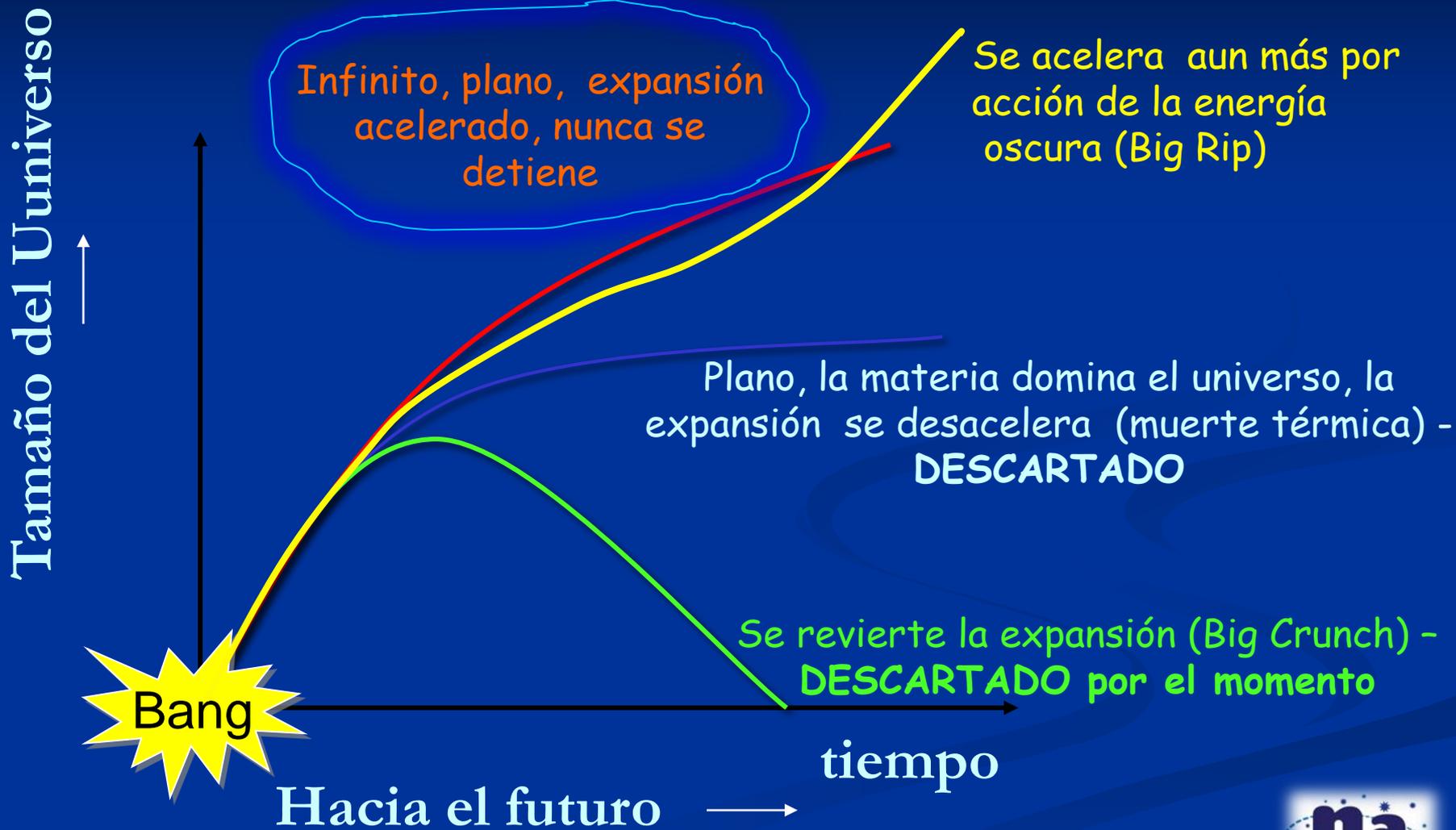


# Destino final del Universo (escenarios posibles)

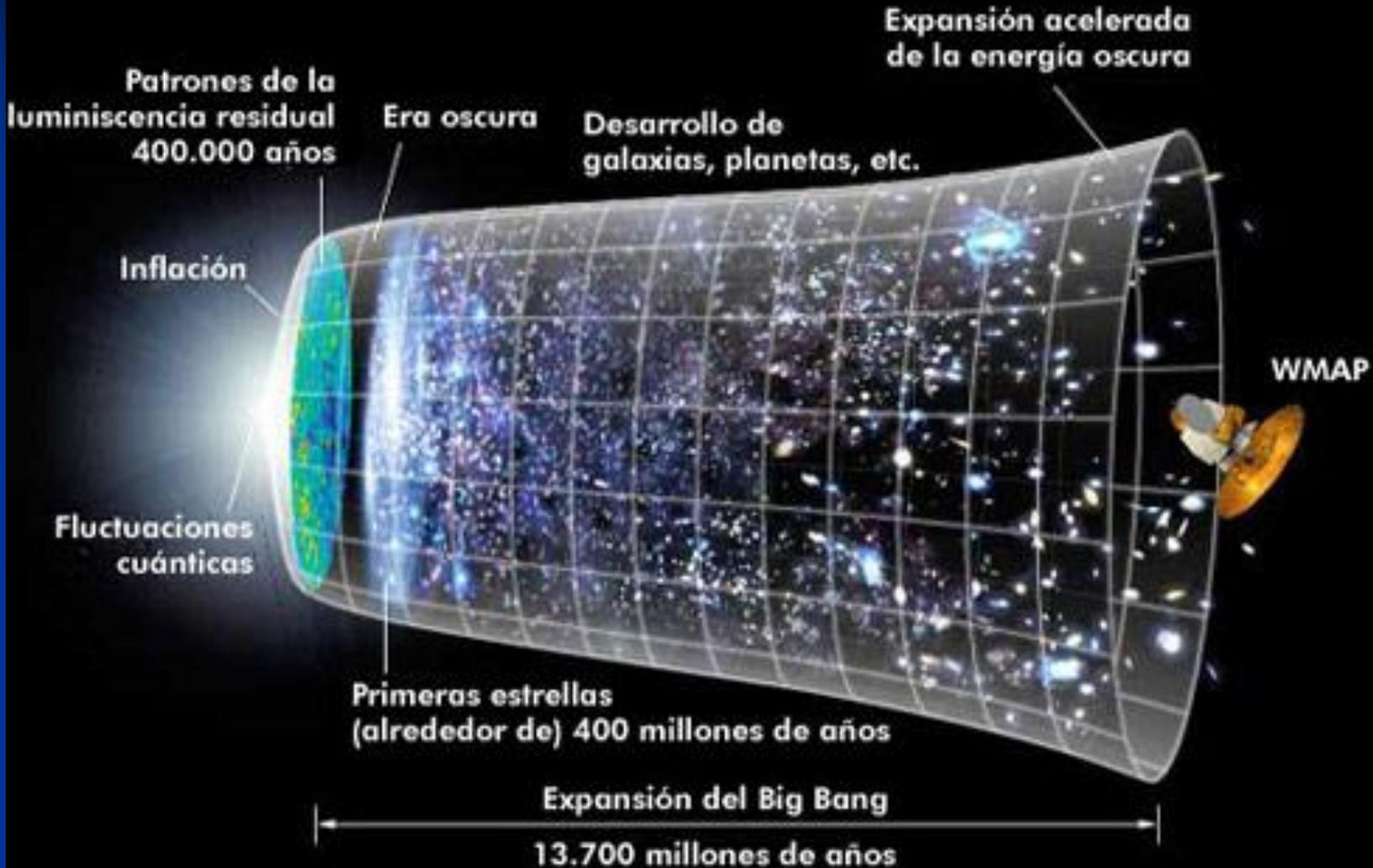
- Big Crunch (reversión de la expansión)
- Plano, Muerte térmica (Detención de la expansión)
- Infinito, plano, en expansión permanente  
(este es el escenario aceptado hoy)
- Big Rip (Gran desgarramiento)

El Futuro del Universo depende de lo que contenga, de la masa crítica y de la existencia de la energía oscura.

# Forma y Destino del Universo

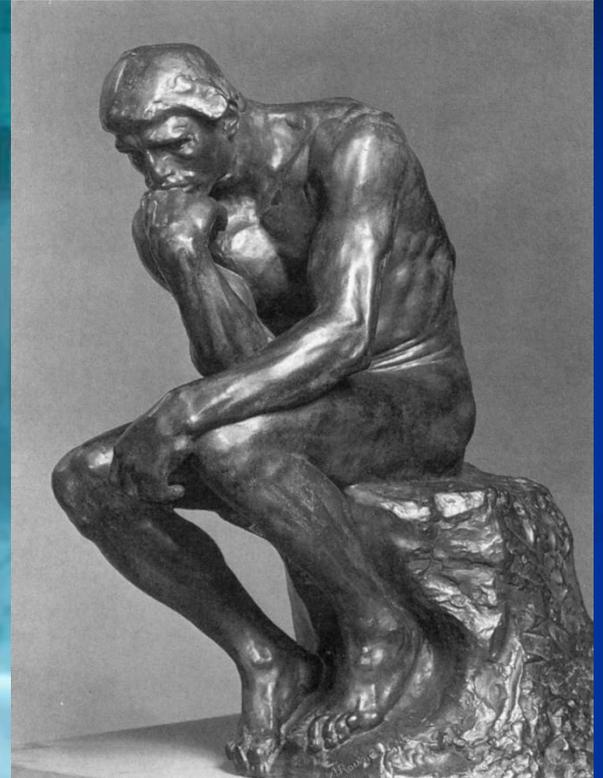


# Historia del Universo



# Epílogo

Vivimos en una época extraordinaria en la cual podemos pensar en el Universo con fundamentos físicos



Es probable que nuestras ideas al respecto se modifiquen, pero así es la ciencia

**¡Muchas Gracias  
por su atención!**