

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 y CONICET, 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.



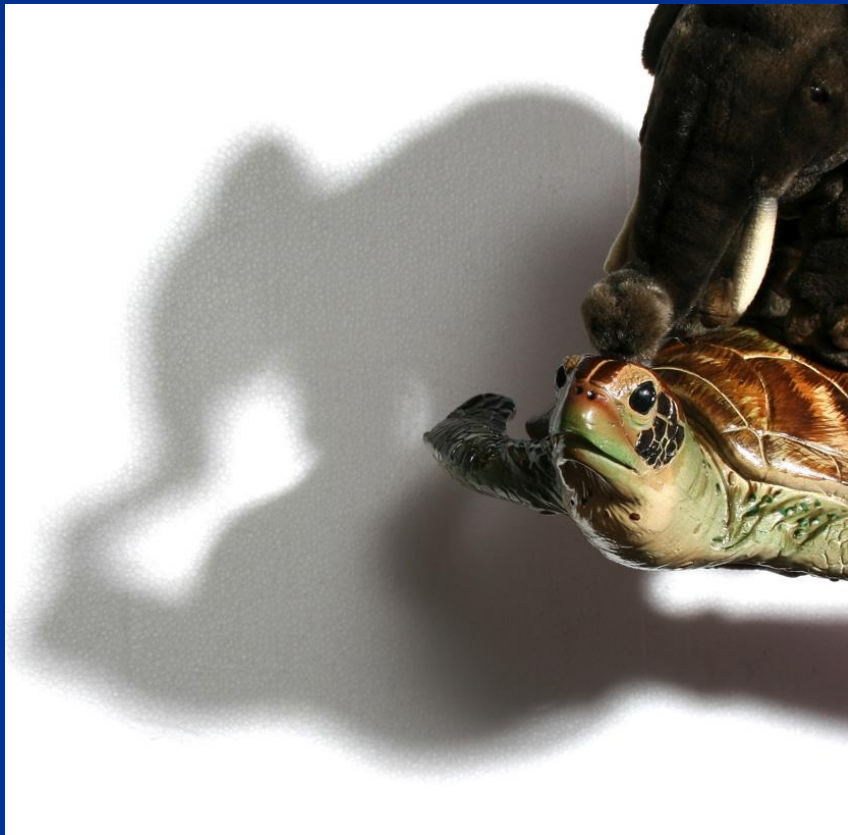
Nuestra apreciación intuitiva del universo no es el modelo estándar de la gran explosión.

Hístoricamente, las culturas intentan explicarse el universo. Por ejemplo, los babilonios 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.

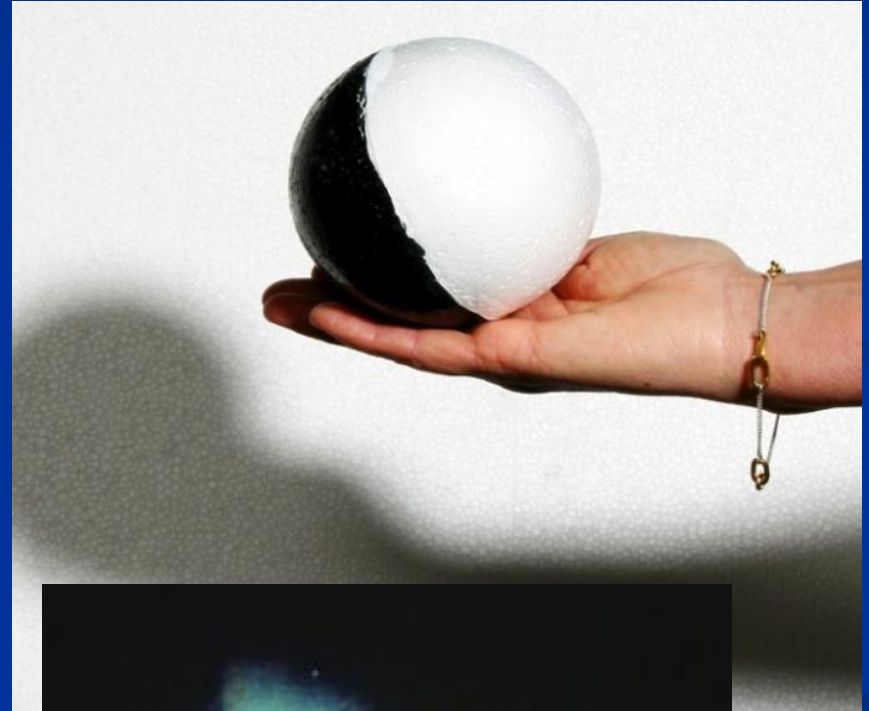


Puesta a prueba del Modelo

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. El modelo se comprueba en un eclipse de Luna



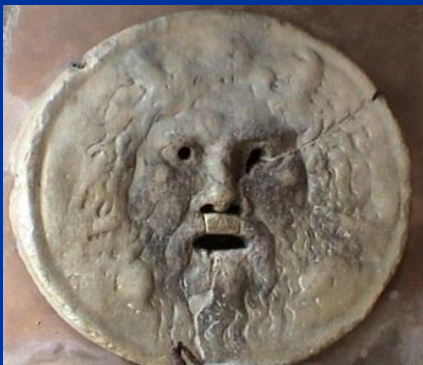
La ciencia avanza

- 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

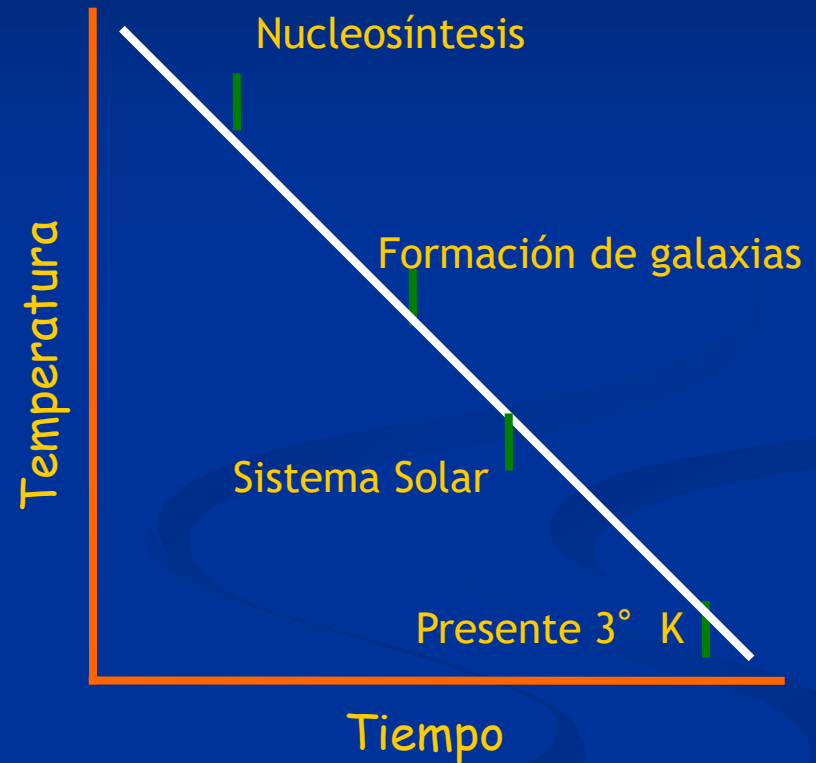
- Este es el más sencillo y explica las modernas observaciones:
 - Expansión del universo
 - Radiación de fondo
 - Abundancias químicas
 - Isotropía
- Hay otros modelos, descartados porque no explican las observaciones.



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

Expansión del universo

- ❑ Hace 14.000 millones de años se originó el universo.
- ❑ Se formó cuando hubo una liberación de energía del vacío.
- ❑ Al expandirse, se enfría.
- ❑ Al enfriarse, la energía se convierte en materia.

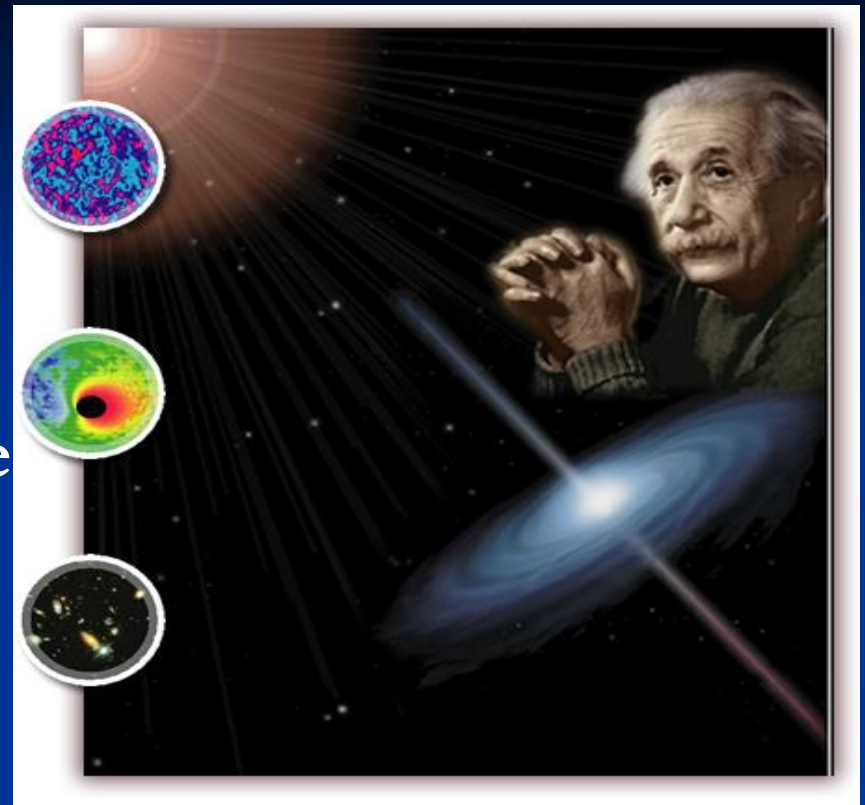


(El gráfico no está en escala)

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

$$E = mc^2$$

quarks , leptones

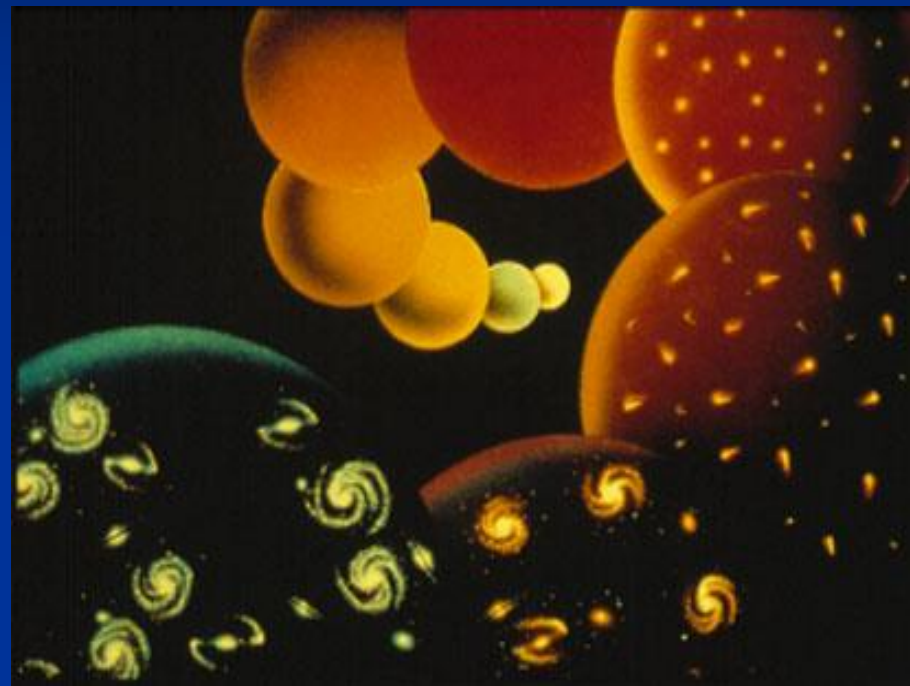
p^+ n e^-



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 + 2v + 2e⁺ + 2γ

- ✧ 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 producen en condiciones de extremadamente alta energía, en eventos de supernova o cuando estrellas de neutrones se fusionan.
- ✧ Miles de millones de años después de la gran explosión se formaron los elementos pesados 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	up	down	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

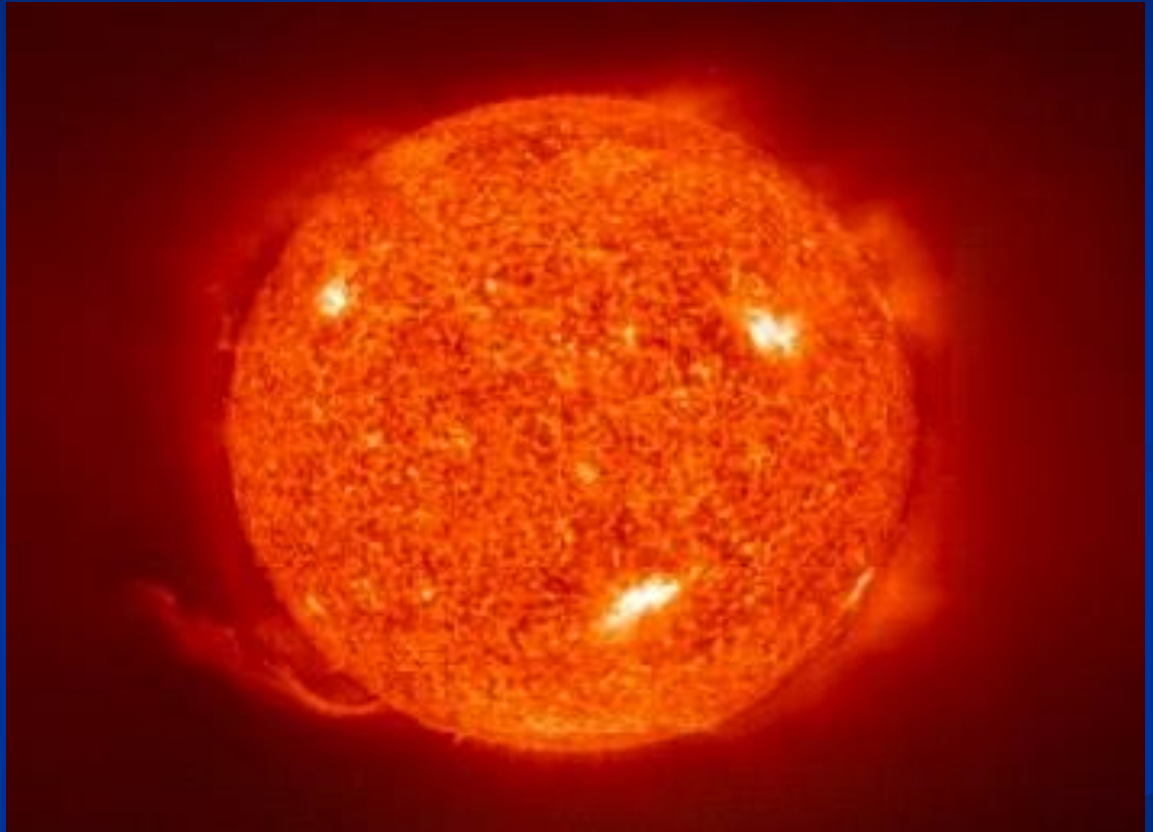
- Las propiedades físicas de los objetos celestiales
- Tamaños y distancias
- Tiempos y edades
- Tasa de expansión del universo
- Temperature de la radiación de fondo
- Abundancias químicas
- Estructura del universo
- Por que la noche es oscura
- La existencia de la materia oscura y de la energía oscura



El Sol

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 los elementos químicos creados en su interior.

Conforme se suceden las generaciones estelares el medio interestelar – donde nacen nuevas estrellas -se enriquece más con 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

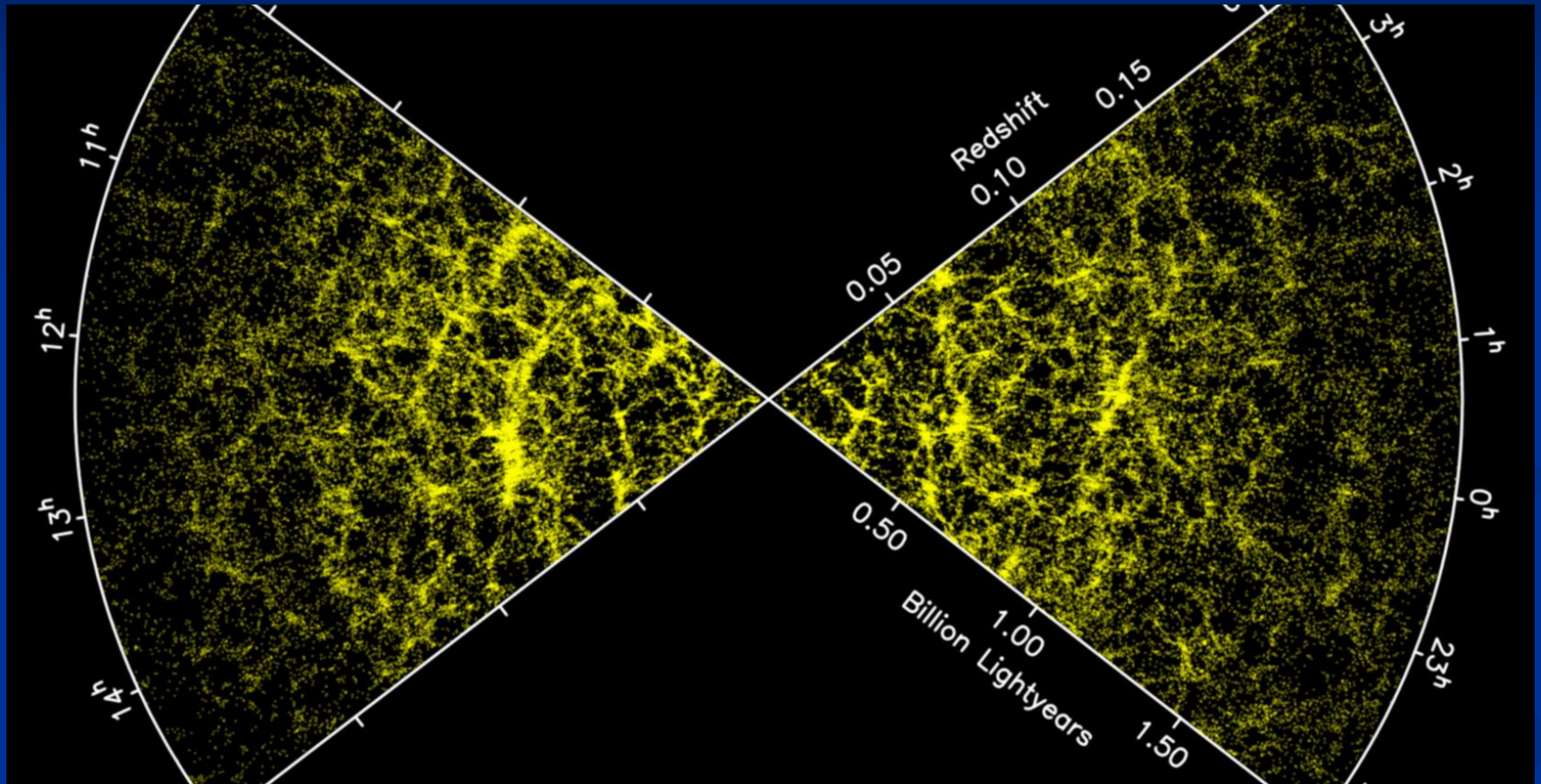
Los conglomerados por excelencia son las galaxias, las espirales como la nuestra, poseen unos cien mil millones de estrellas, cada una con sus planetas, satélites y cometas, gas, polvo y la mayor parte de la materia llamada oscura.

Galaxia Whirlpool

Fuente: Hubble Space Telescope



Estructura del universo



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





Podríamos pensar que el universo es un baño de burbujas donde la materia rodea espacio carente de galaxias y entre más pasa el tiempo aumenta el volumen care



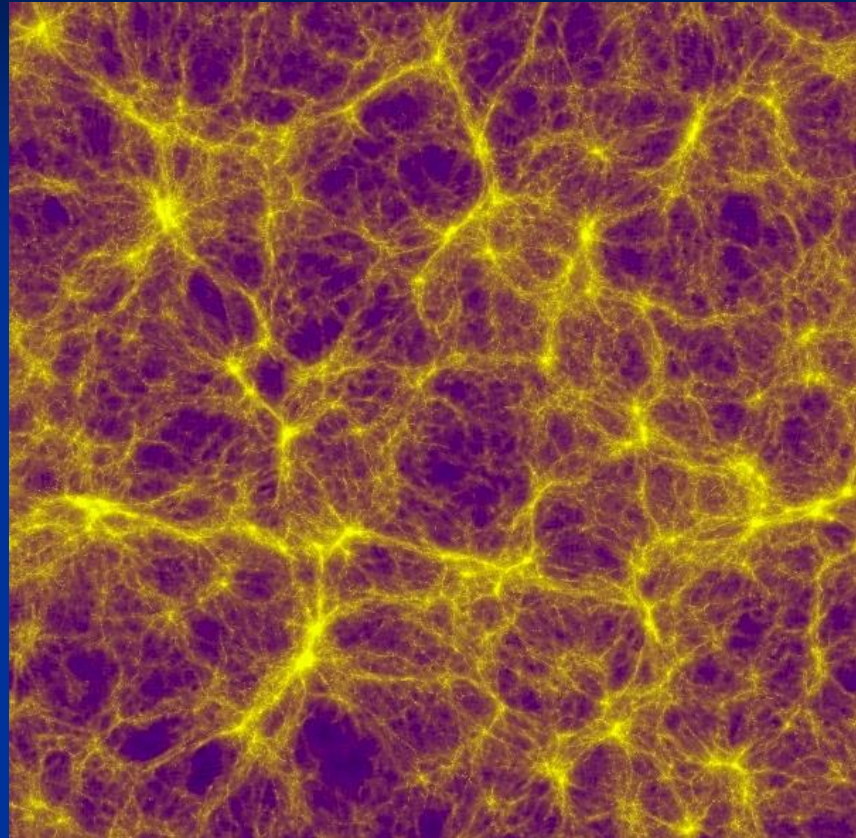
Conforme se expande el universo los espacios entre los cúmulos de galaxias aumenta y el universo se disuelve más



Modelo del universo filamentario

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

Los modelos muestran lo mismo que las observaciones.



Fuente: Millennium Project del Max Planck Institute, Alemania



²⁴Estructura del universo: síntesis

- Las estrellas se encuentran en cúmulos.
- Los cúmulos de estrellas están en galaxias.
- Las galaxias se encuentran formando cúmulos desde 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.

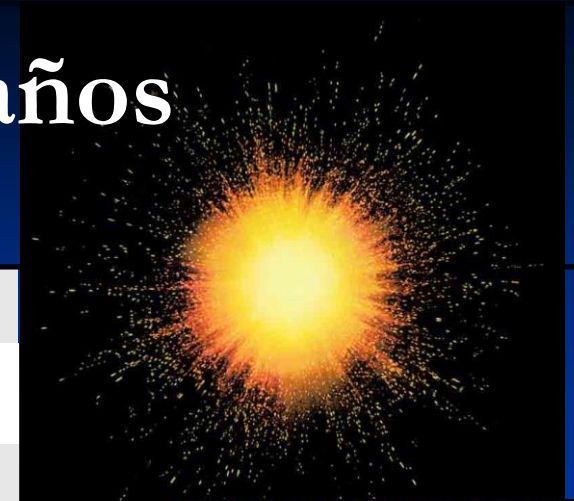
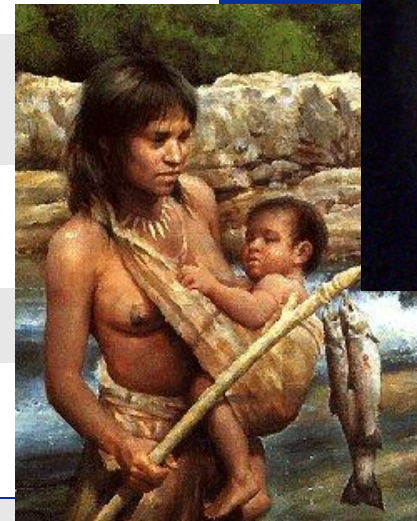
Para llegar a la Luna necesitamos tres días y para recorrer la distancia entre el Sol y Júpiter varios años.

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



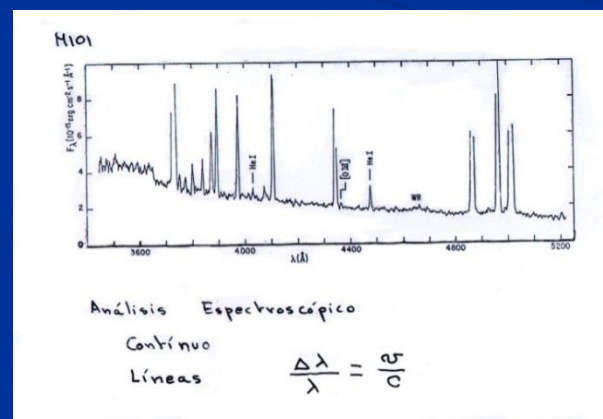
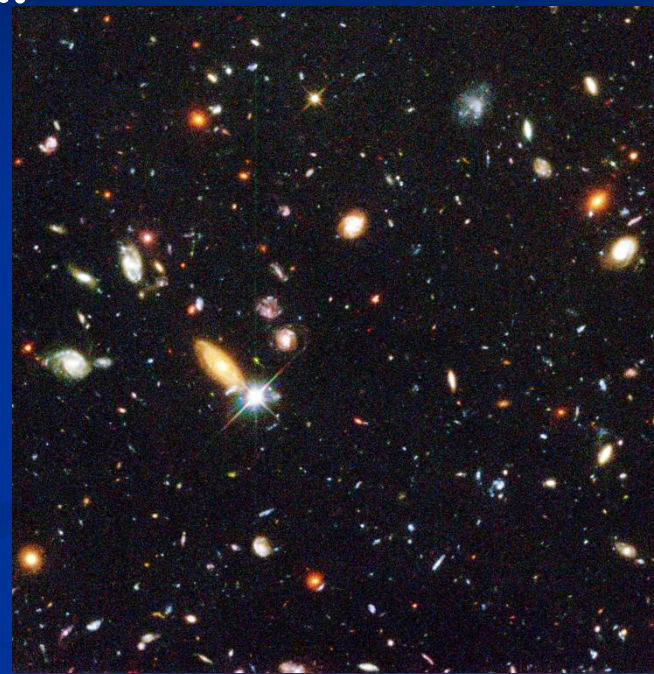
La aparición del Hombre es muy reciente

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

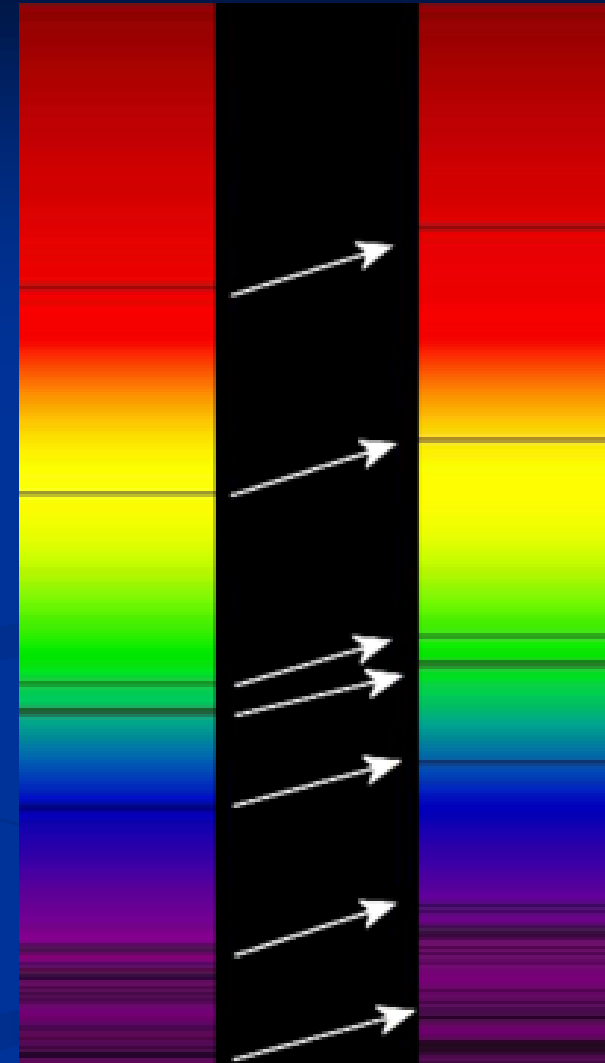
Expansión del universo

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 roja cuando se alejan).

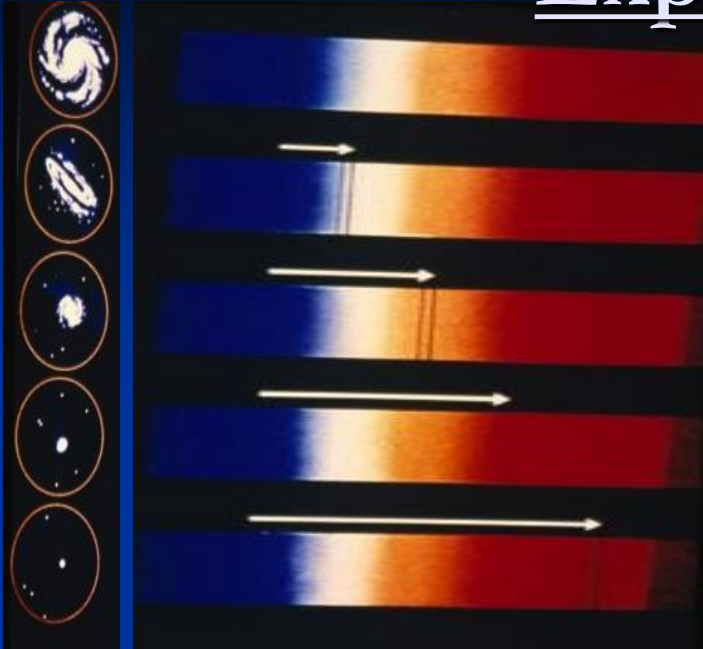
Los grupos de galaxias se alejan unos de otros y entre más alejados estén se alejan a mayor velocidad

Abundancias químicas del Universo.

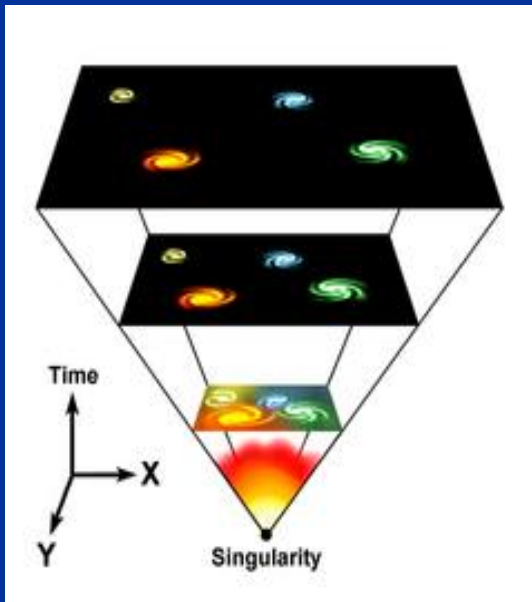
En los primeros minutos del Cosmos, sólo se pudieron formar H y He; la expansión frenó la producción: la radiación perdió energía y ya no se pudo convertir en protones y neutrones. C, N y O se formaron en el interior de las estrellas y se mezclaron con el medio interestelar cuando éstas murieron.



Expansión cósmica



El espacio se dilató, también los fotones se expandieron. Los que fueron rayos gamma de longitud de onda minúscula ahora son ondas de radio.

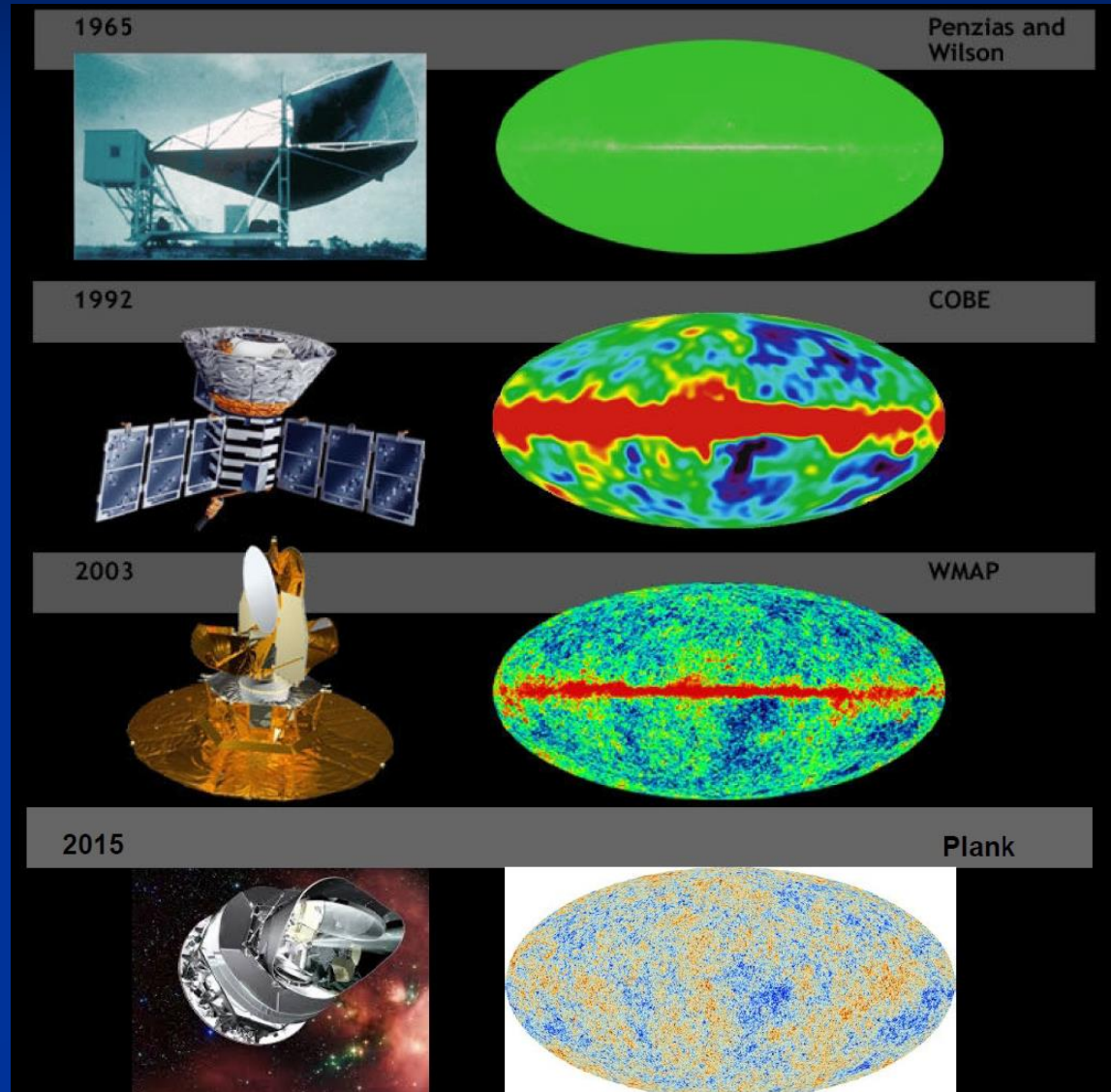


Midiendo la expansión cósmica se puede calcular la edad del universo, 14.000 millones de años. Ésta determinación es superior a la edad de los astros más antiguos



Radiación cósmica de fondo de microondas (CMB)

Las misiones COBE, WMAP y PLANCK crearon un mapa del cielo de la radiación cósmica de fondo, cada vez con mayor detalle, detectando pequeñas fluctuaciones: huellas de cúmulos de materia a partir de los cuales comenzaron a formarse las galaxias.



¿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 a partir de la gran explosión, compensa a la gravedad.

El universo se está acelerando, pero se desconoce la fuente de energía que produce este hecho.



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



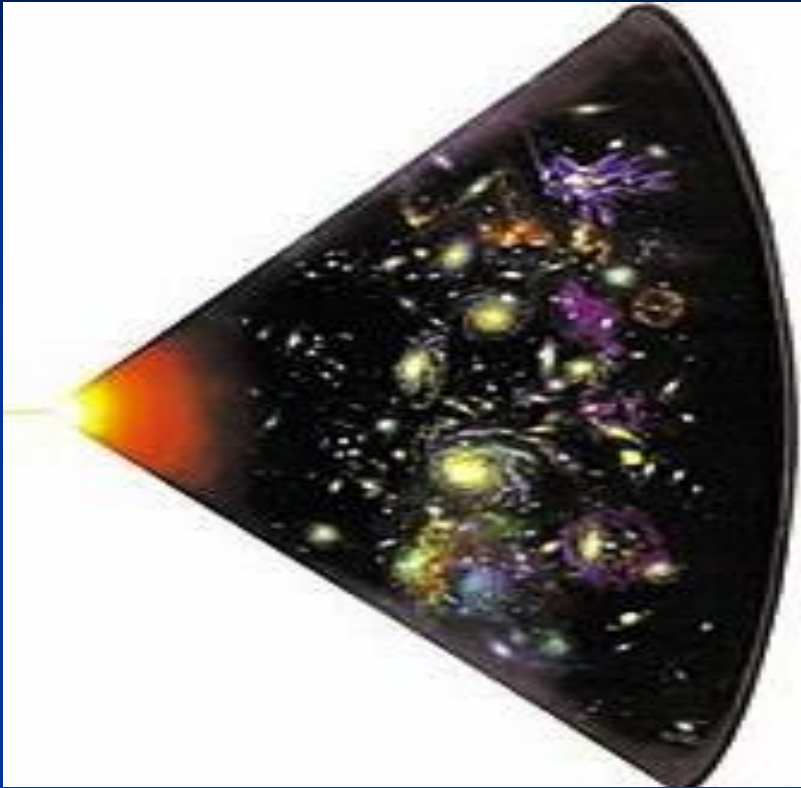
Galaxia espiral cercana



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

La parte INVISIBLE del universo, 95% de materia oscura y energía oscura, se detecta debido a su acción sobre los objetos VISIBLES.

Se desconoce de qué tipo de materia está constituida



Superficie del mar



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

Fondo del mar



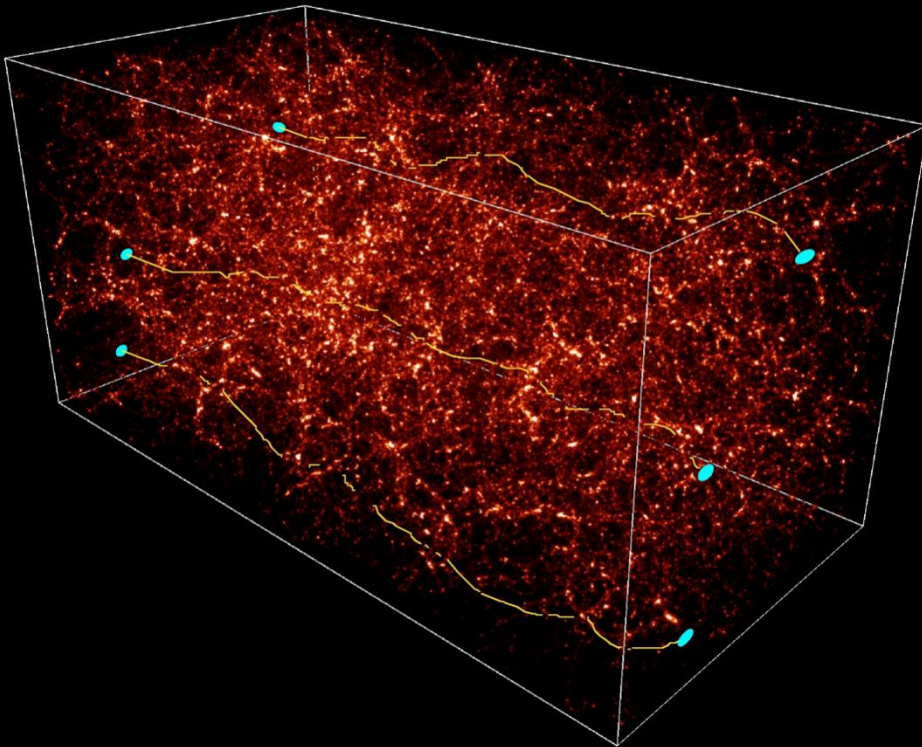
Al asomarnos descubriríamos una gran diversidad



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.

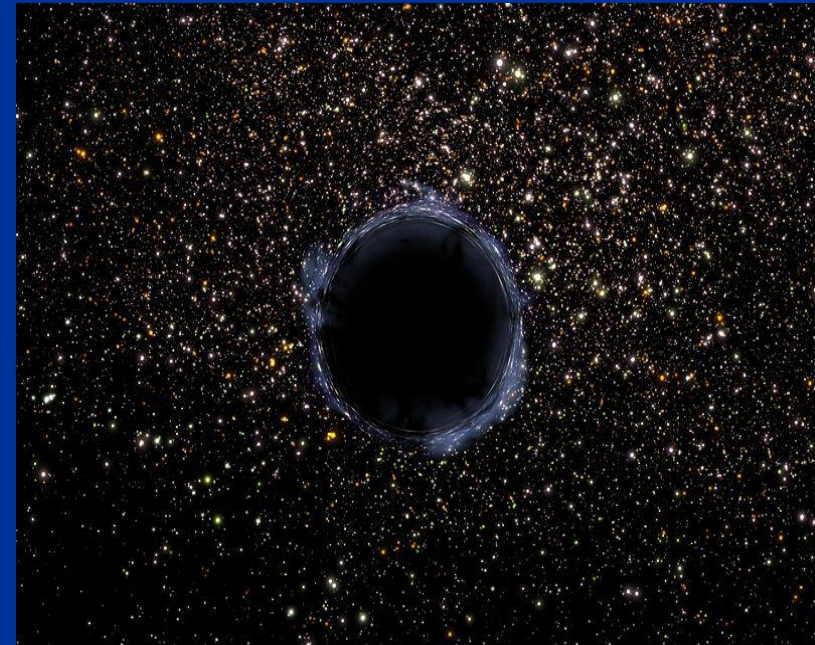
Se piensa que la materia oscura se distribuye de forma filamentaria. Las formas azules son galaxias lejanas . Las líneas amarillas son los senderos de luz emitida por las galaxias: sin materia oscura estas serían rectas.



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.



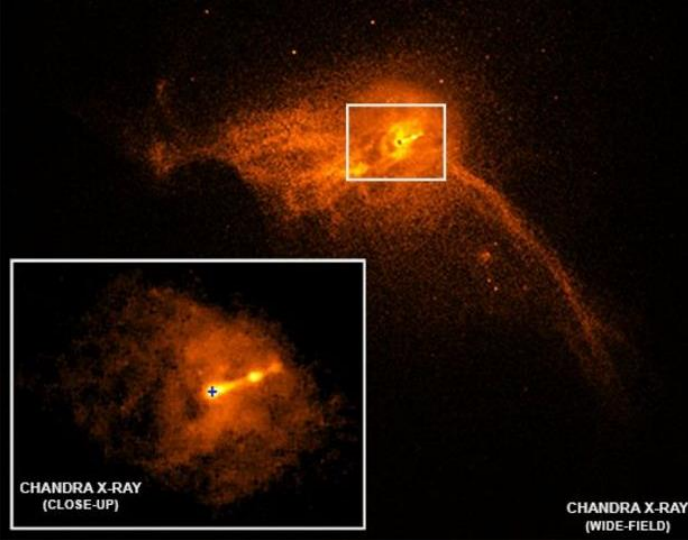
La materia oscura no se ve pero se siente: se detecta por medio de la fuerza de gravedad



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



Un consorcio de más de 200 científicos y 60 instituciones en 18 países de 6 continentes son parte del Telescopio Event Horizon: 8 radiotelescopios en todo el planeta.

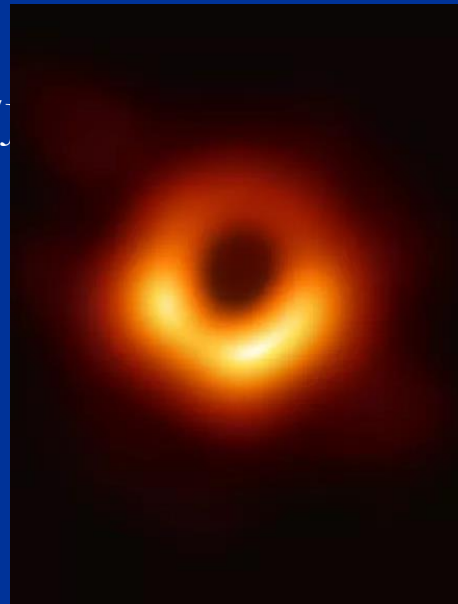


Centro de M87, distante 53,5 millones de a.l. del Sol.

(crédito: NASA/CXC/Villanova University/)

"Sombra" y el horizonte de evento del agujero negro supermasivo en el centro de M87, 6.500 millones de veces más masivo que nuestro Sol

(crédito: Event Horizon Telescope)



La primera imagen tomada de un agujero negro supermasivo, se presentó en una conferencia de prensa el 10 de abril de 2019.

Evolución del universo

En el largo plazo el 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.

Después de unos 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.

El universo será inmenso, poblado con materia exótica y ondas de radio de poca energía.



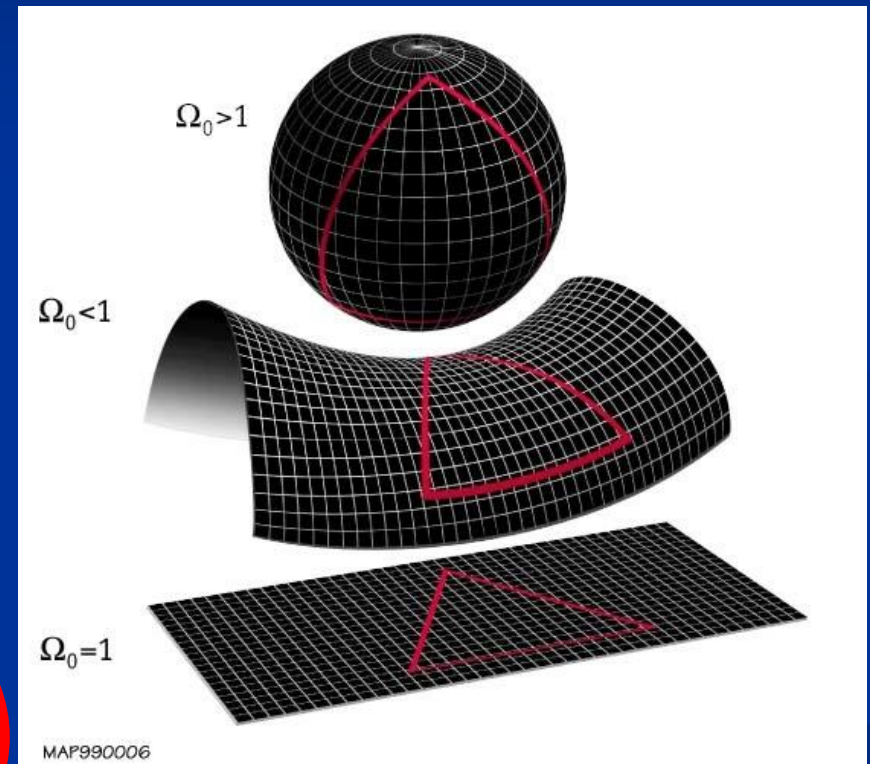
La geometría del universo depende de la constante cosmológica

Cerrado $\rightarrow \Omega > 1$

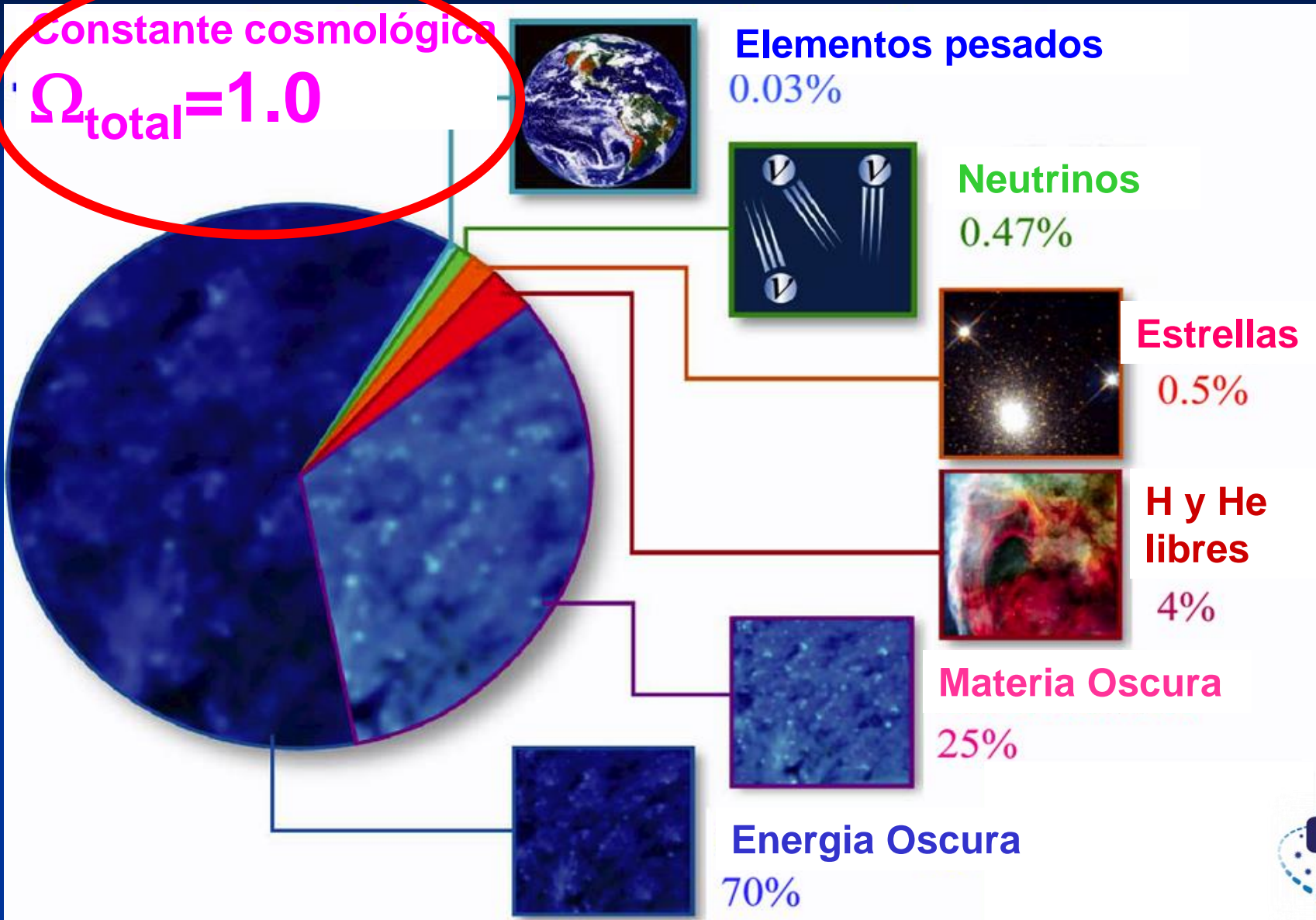
Abierto $\rightarrow \Omega < 1$

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 1965 por A. Pencias y R. Wilson.

- **Abundancia de elementos ligeros:**

demostrada a mediados del siglo XX

- **Estructura a gran escala:**

descubierta a fines del siglo XX



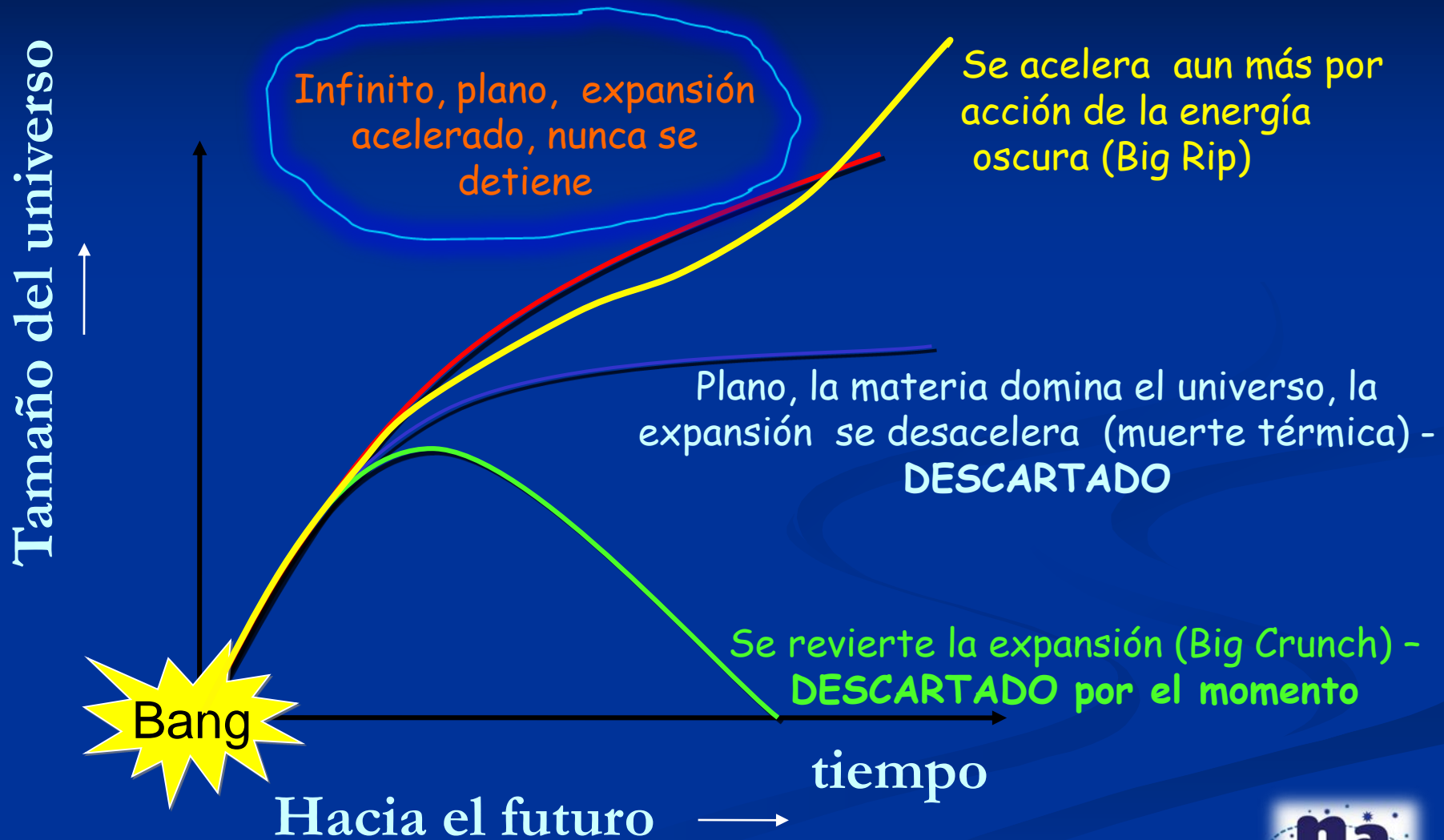
Destino final del universo (escenarios posibles)

- 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)

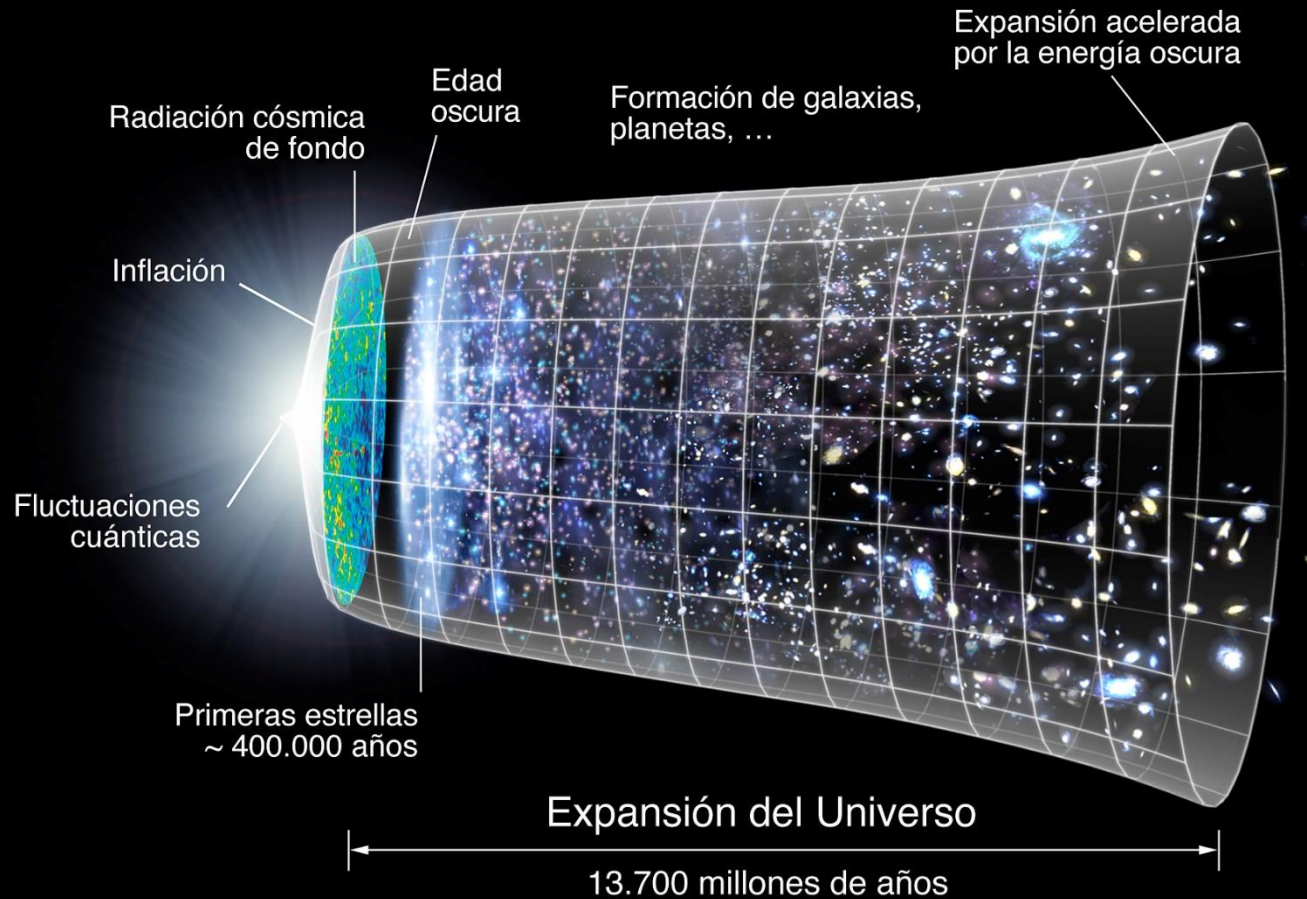
El futuro del universo depende de lo que contenga, de la masa crítica y de la existencia de la energía oscura.



Forma y Destino del universo

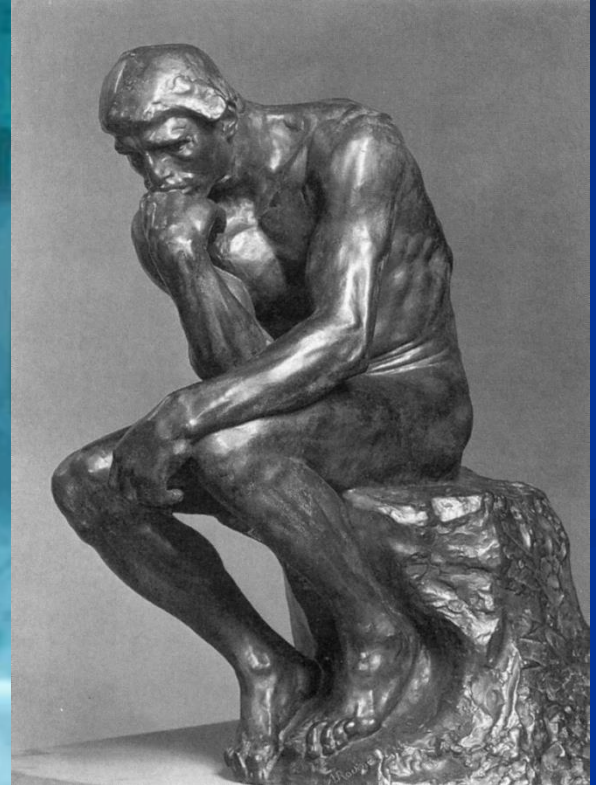


Historia del universo



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!