

El Modelo Estándar de Cosmología: la historia del Universo

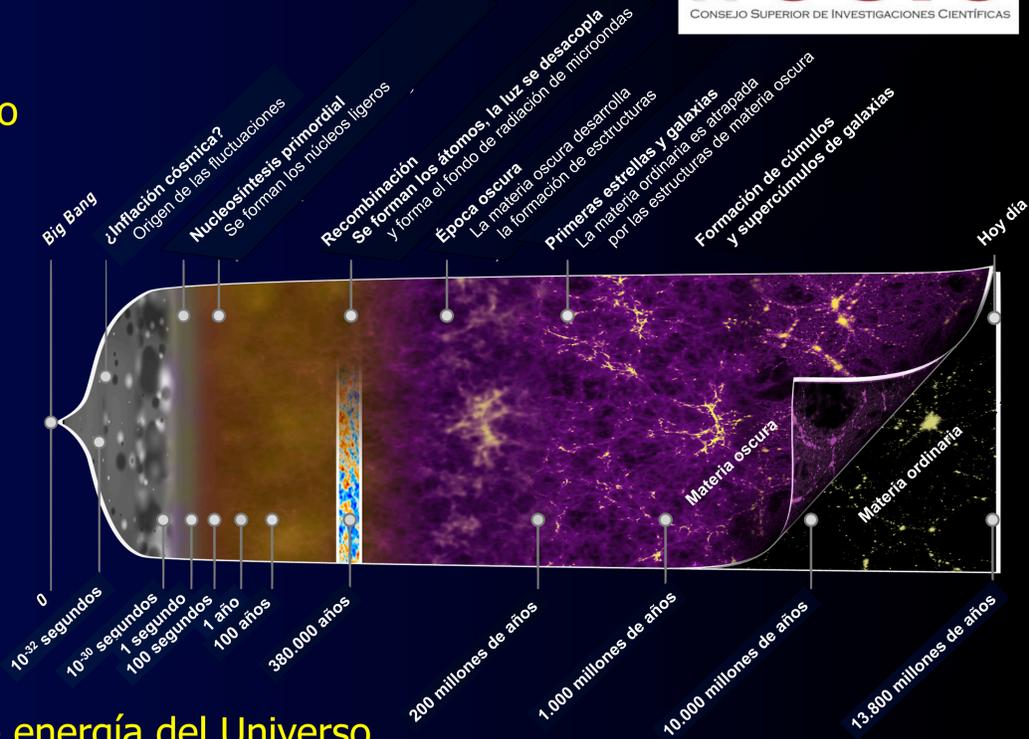
¿De dónde provienen las estrellas, galaxias y todos los objetos que pueblan el Universo?

El Universo se encuentra en **expansión** a partir de un estado de altísima temperatura y densidad, denominado **Big Bang**, hace aproximadamente 13.700 millones de años. En los primeros instantes, el Universo estaba dominado por un plasma de partículas elementales en continua interacción.

En los primeros minutos, la rápida expansión enfrió el plasma lo suficiente para que se formaran los núcleos atómicos más ligeros (**nucleosíntesis primordial**), principalmente hidrógeno y helio.

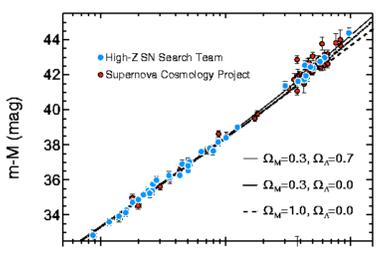
A los 380.000 años, los electrones y los núcleos se combinaron para formar átomos neutros. El Universo se volvió transparente a los fotones, que quedaron libres formando una radiación que llena el Universo desde entonces y es observable hoy día: el **fondo de radiación de microondas**.

A partir de las pequeñas inhomogeneidades presentes en el plasma primordial, la materia empezó a agruparse por atracción gravitacional, dando lugar a la **formación de estructuras a gran escala**. Nacieron las primeras estrellas, las galaxias, y progresivamente los cúmulos y supercúmulos de galaxias, hasta llegar al Universo hoy día.



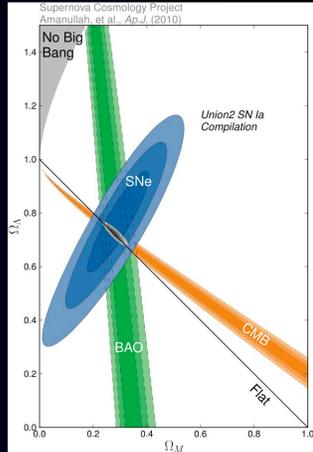
La Energía oscura es una componente de la densidad de energía del Universo, de naturaleza desconocida, y que causa una expansión acelerada del Universo

Las supernovas y el ritmo de expansión del Universo



El ritmo de expansión del Universo se puede determinar estudiando la proporción entre la velocidad de alejamiento entre galaxias con la distancia que las separa (**ley de Hubble**). La velocidad de alejamiento de las galaxias respecto a la Tierra se puede medir mediante el corrimiento al rojo de sus espectros atómicos, mientras que su distancia se puede determinar utilizando la magnitud aparente de "candelas estándar", como las supernovas de tipo I (explosiones de enanas blancas detonadas por la acreción de material de una estrella compañera).

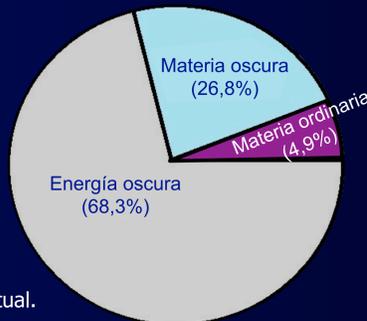
Estos datos revelan el ritmo de expansión del Universo a lo largo de su historia, y muestran que, tras una época de expansión decelerada, ha pasado a una fase de **expansión acelerada**. Este descubrimiento, realizado en 1998, conmovió a la comunidad científica y fue merecedor del Premio Nobel de Física 2011.



La Energía oscura representa aproximadamente el 70% de la densidad de energía del Universo

La distribución de densidad de energía en el Universo, determinada y confirmada mediante distintos métodos, corresponde a:

- un **4,9% de materia ordinaria o bariónica** (estrellas, nubes de gas, etc),
- un **26,8% de materia oscura** (fluido de partículas pesadas que no emite luz),
- un **68,3% de energía oscura**, que domina la expansión del Universo en su estado actual.



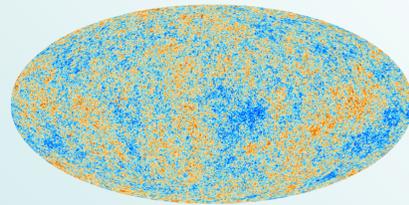
La sorprendente cuantía de energía oscura en el Universo, está confirmada independientemente por los datos del **ritmo de alejamiento de supernovas**, el análisis de las **inhomogeneidades del fondo de radiación de microondas**, y el estudio de las **oscilaciones acústicas de materia bariónica (baryonic acoustic oscillations, BAO)**.

Los distintos métodos de observación de la abundancia de energía oscura muestran un excelente acuerdo.

El fondo de radiación de microondas

El **fondo de radiación de microondas (Cosmic Microwave Background, CMB)** es una radiación electromagnética que llena el Universo. Tiene un espectro de cuerpo negro con una temperatura promedio de 2,7K, con pequeñas inhomogeneidades de 1 parte en 100.000. El CMB es una reliquia del desacople de los fotones debido a la formación de átomos cuando el Universo tenía aproximadamente 380.000 años, y constituye una prueba incuestionable de la Teoría del Big Bang.

El análisis de sus inhomogeneidades, descubiertas por el satélite COBE, y analizadas por los satélites WMAP y Planck, proporciona información muy precisa sobre el Universo primitivo, su contenido energético, y sobre su evolución y ritmo de expansión desde entonces.



Explorando las propiedades de la energía oscura



Uno de los objetivos actuales en la investigación en Cosmología es aclarar la naturaleza de la energía oscura y determinar sus propiedades, como su ecuación de estado.

Se espera multitud de nuevos datos observacionales al respecto con la puesta en marcha de nuevos proyectos basados en observatorios terrestres, como DES (**Dark Energy Survey**), PAU (**Physics of the Accelerating Universe**), o BigBOSS (extensión del actual BOSS, **Baryon Oscillation Spectroscopy Survey**), que extienden el rango de objetos observados, y mejoran la precisión de medidas anteriores, por ejemplo de supernovas y oscilaciones acústicas de materia bariónica (BAOs).



PAU Physics of the Accelerating Universe



BigBOSS

Oscilaciones acústicas de bariones

Las **oscilaciones acústicas de bariones (Baryon Acoustic Oscillations, BAOs)** son patrones o correlaciones en la distribución de materia visible (bariónica) en el Universo, asociadas a las oscilaciones del plasma de partículas primigenio, que quedaron "congeladas" en el momento del desacople de los fotones. El tamaño característico de las BAO permite definir una "regla estándar" con la que medir distancias en el Universo, y estudiar su ritmo de expansión a lo largo de su historia.

La observación de las BAO se lleva a cabo mediante **catálogos de distribución de galaxias**, como el SDSS (**Sloan Digital Sky Survey**), 2dFGRS (**2dF Galaxy Redshift Survey**), más recientemente, BOSS (**Baryon Oscillation Spectroscopic Survey**), entre otros.



Misterios por resolver

Inflación

La inflación propone que en los primeros instantes el Universo sufrió una expansión exponencialmente acelerada, inducida por una enorme densidad de energía oscura asociada a un campo escalar, el inflatón. ¿Qué es el inflatón y cual es su física?

Constante cosmológica

Si la energía oscura es la constante cosmológica introducida por Einstein, su valor es muchos órdenes de magnitud menor que otras escalas de la naturaleza. ¿Cuál es el mecanismo responsable de esta enorme diferencia?

Alternativas

Existen muchas propuestas sobre la naturaleza de la energía oscura: Energía potencial de campos escalares (quintaesencia), gravedad modificada a grandes escalas, ... ¿Cuál es la naturaleza de la energía oscura?

Futuro del Universo

El futuro del Universo depende de si la densidad de energía oscura decrece, crece o se mantiene constante. Llevarían a un Gran Colapso (**Big Crunch**), un Gran Desgarramiento (**Big Rip**), o una Gran Congelación (**Big Freeze**), respectivamente.