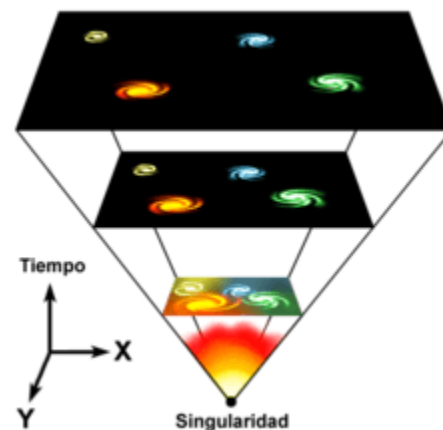


Big Bang

La teoría del **Big Bang** (también llamada **Gran explosión**^[nota 1]) es el modelo cosmológico predominante para los períodos conocidos más antiguos del universo y su posterior evolución a gran escala.^{[2][3][4]} Afirma que el universo estaba en un estado de muy alta densidad y luego se expandió.^{[5][6]} Si las leyes conocidas de la física se extrapolan más allá del punto donde son válidas, encontramos una singularidad. Mediciones modernas datan este momento aproximadamente 13 800 millones de años atrás, que sería por tanto la edad del universo.^[7] Después de la expansión inicial, el universo se enfrió lo suficiente para permitir la formación de las partículas subatómicas y más tarde simples átomos. Nubes gigantes de estos elementos primordiales se unieron más tarde debido a la gravedad, para formar estrellas y galaxias. A mediados del siglo XX, tres astrofísicos británicos, Stephen Hawking, George F. R. Ellis y Roger Penrose, prestaron atención a la teoría de la relatividad y sus implicaciones respecto a nuestras nociones del tiempo. En 1968 y 1979 publicaron artículos en que extendieron la teoría de la relatividad general de Einstein para incluir las mediciones del tiempo y el espacio.^{[8][9]} De acuerdo con sus cálculos, el tiempo y el espacio tuvieron un inicio finito que corresponde al origen de la materia y la energía.

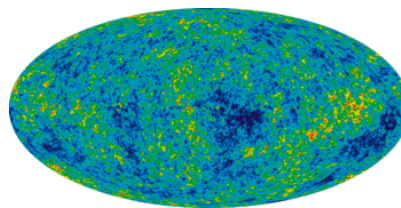
Desde que Georges Lemaître observó por primera vez, en 1927, que un universo en permanente expansión debería remontarse en el tiempo hasta un único punto de origen, los científicos se han basado en su idea de la expansión cósmica. Si bien la comunidad científica una vez estuvo dividida en partidarios de dos teorías diferentes sobre el universo en expansión, el *Big Bang* y la teoría del estado estacionario, la acumulación de evidencia observacional proporciona un fuerte apoyo para la primera.^[10]

En 1929, a partir del análisis de corrimiento al rojo de las galaxias, Edwin Hubble concluyó que las galaxias se estaban distanciando, una prueba observacional importante consistente con la hipótesis de un universo en expansión. En 1964 se descubrió la radiación de fondo cósmico de microondas, lo que es una prueba crucial en favor del modelo del *Big Bang*, ya que esta teoría predijo la existencia de la radiación de fondo en todo el universo antes de ser descubierta. Más recientemente, las mediciones del corrimiento al rojo de las supernovas indican que la expansión del universo se está acelerando, observación atribuida a la energía oscura.^[11] Las leyes físicas conocidas de la naturaleza pueden utilizarse para calcular las características en



De acuerdo con el modelo del *Big Bang*, el universo se expandió a partir de un estado extremadamente denso y caliente y continúa expandiéndose hasta el día de hoy.

Cosmología física



Radiación de fondo de microondas

Artículos

Universo primitivo

Teoría del Big Bang · Inflación cósmica · Nucleosíntesis primordial

Expansión

Expansión métrica del espacio · Expansión acelerada del Universo · Ley de Hubble · Corrimiento al rojo

Estructura

Forma del universo · Espacio-tiempo · Materia bariónica · Universo · Materia oscura · Energía oscura

Experimentos

Planck (satélite) · WMAP · COBE

detalle del universo del pasado en un estado inicial de extrema densidad y temperatura.^{[12][13][14]}

Introducción



Imagen proporcionada por el telescopio espacial Hubble del espacio lejano, cuando el universo era más caliente y más concentrado, de acuerdo con la teoría del *Big Bang*.

La expresión *big bang* proviene del astrofísico inglés Fred Hoyle, uno de los detractores

de esta teoría y, a su vez, uno de los principales defensores de la teoría del estado estacionario, quien dijo, para explicar mejor el fenómeno, que el modelo descrito era simplemente un *big bang* (gran explosión).^[15] En el inicio del universo ni hubo explosión ni fue grande, pues en rigor surgió de una «singularidad» infinitamente pequeña, seguida de la expansión del propio espacio.^[16] Recientes ingenios espaciales puestos en órbita (COBE) han conseguido observar evidencias de la expansión primigenia.

La idea central del *Big Bang* es que la teoría de la relatividad general puede combinarse con las observaciones de isotropía y homogeneidad a gran escala de la distribución de galaxias y los cambios de posición entre ellas, permitiendo extrapolar las condiciones del universo antes o después en el tiempo.

Una consecuencia de todos los modelos de *big bang* es que, en el pasado, el universo tenía una temperatura más alta y mayor densidad y, por tanto, las condiciones del actual son muy diferentes de las condiciones del universo en el pasado. A partir de este modelo, George Gamow en 1948 predecía que habría evidencias de un fenómeno que más tarde sería bautizado como radiación de fondo de microondas.

Historia de su desarrollo teórico

Para llegar al modelo del *Big Bang*, muchos científicos, con diversos estudios, han ido construyendo el camino que lleva a la génesis de esta explicación. Los trabajos de Alexander Friedman, del año 1922, y de Georges Lemaître, de 1927, utilizaron la teoría de la relatividad para demostrar que el universo estaba en movimiento constante. Poco después, en 1929, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble (1889-1953) descubrió galaxias más allá de la Vía Láctea que se alejaban de nosotros, como si el universo se expandiera constantemente. En 1948, el físico ucraniano nacionalizado estadounidense George Gamow (1904-1968) planteó que el universo se creó a partir de una gran explosión (*big bang*). Recientemente, ingenios espaciales puestos en órbita (COBE) han conseguido "oír" los vestigios de esta gigantesca explosión primigenia.

De acuerdo con la teoría, un universo homogéneo e isótropo lleno de materia ordinaria podría expandirse indefinidamente o frenar su expansión lentamente, hasta producirse una contracción universal. El fin de esa contracción se conoce con un término contrario al *Big Bang*: el Big Crunch o 'Gran Colapso' o un Big Rip o *Gran desgarro*. Si el universo se encuentra en un punto crítico, puede mantenerse estable ad eternum. Muy recientemente se ha comprobado que actualmente existe una expansión acelerada del universo, hecho no previsto originalmente en la teoría y que ha llevado a la introducción de la hipótesis adicional de la energía oscura, responsable de este fenómeno.

Científicos

Albert Einstein · Edw in Hubble
· Georges Lemaître · Stephen Hawking · George Gamow

Portales

Principal

Cosmología

Otros

Física · Astronomía ·
Exploración espacial · Sistema Solar

La teoría del *Big Bang* se desarrolló a partir de observaciones y avances teóricos. Por medio de observaciones, en la década de 1910, el astrónomo estadounidense Vesto Slipher y, después de él, Carl Wilhelm Wirtz, de Estrasburgo, determinaron que la mayor parte de las nebulosas espirales se alejan de la Tierra; pero no llegaron a darse cuenta de las implicaciones cosmológicas de esta observación, ni tampoco del hecho de que las supuestas nebulosas eran en realidad galaxias exteriores a nuestra Vía Láctea.

Además, la teoría de Albert Einstein sobre la relatividad general (segunda década del siglo XX) no admite soluciones estáticas (es decir, el universo debe estar en expansión o en contracción), resultado que él mismo consideró equivocado, y trató de corregirlo agregando la constante cosmológica. El primero en aplicar formalmente la relatividad a la cosmología, sin considerar la constante cosmológica, fue Alexander Friedman, cuyas ecuaciones describen el universo Friedman-Lemaître-Robertson-Walker, que puede expandirse o contraerse.

Entre 1927 y 1930, el sacerdote belga Georges Lemaître^[17] obtuvo independientemente las ecuaciones Friedman-Lemaître-Robertson-Walker y propuso, sobre la base de la recesión de las nebulosas espirales, que el universo se inició con la expansión de un átomo primigenio, lo que más tarde se denominó "*Big Bang*".

En 1929, Edwin Hubble realizó observaciones que sirvieron de fundamento para comprobar la teoría de Lemaître. Hubble probó que las nebulosas espirales son galaxias y midió sus distancias observando las estrellas variables cefeidas en galaxias distantes. Descubrió que las galaxias se alejan unas de otras a velocidades (relativas a la Tierra) directamente proporcionales a su distancia. Este hecho se conoce ahora como la ley de Hubble (véase *Edwin Hubble: Marinero de las nebulosas*, texto escrito por Edward Christianson).

Según el principio cosmológico, el alejamiento de las galaxias sugería que el universo está en expansión. Esta idea originó dos hipótesis opuestas. La primera era la teoría *Big Bang* de Lemaître, apoyada y desarrollada por George Gamow. La segunda posibilidad era el modelo de la teoría del estado estacionario de Fred Hoyle, según la cual se genera nueva materia mientras las galaxias se alejan entre sí. En este modelo, el universo es básicamente el mismo en un momento dado en el tiempo. Durante muchos años hubo un número de adeptos similar para cada teoría.

Con el pasar de los años, las evidencias observacionales apoyaron la idea de que el universo evolucionó a partir de un estado denso y caliente. Desde el descubrimiento de la radiación de fondo de microondas, en 1965, esta ha sido considerada la mejor teoría para explicar la evolución del cosmos. Antes de finales de los años sesenta, muchos cosmólogos pensaban que la singularidad infinitamente densa del tiempo inicial en el modelo cosmológico de Friedman era una sobreidealización, y que el universo se contraería antes de empezar a expandirse nuevamente. Esta es la teoría de Richard Tolman de un universo oscilante. En los años 1960, Stephen Hawking y otros demostraron que esta idea no era factible, y que la singularidad es un componente esencial de la gravedad de Einstein. Esto llevó a la mayoría de los cosmólogos a aceptar la teoría del *Big Bang*, según la cual el universo que observamos se inició hace un tiempo finito.

Prácticamente todos los trabajos teóricos actuales en cosmología tratan de ampliar o concretar aspectos de la teoría del *Big Bang*. Gran parte del trabajo actual en cosmología trata de entender cómo se formaron las galaxias en el contexto del *Big Bang*, comprender lo que allí ocurrió y cotejar nuevas observaciones con la teoría fundamental.

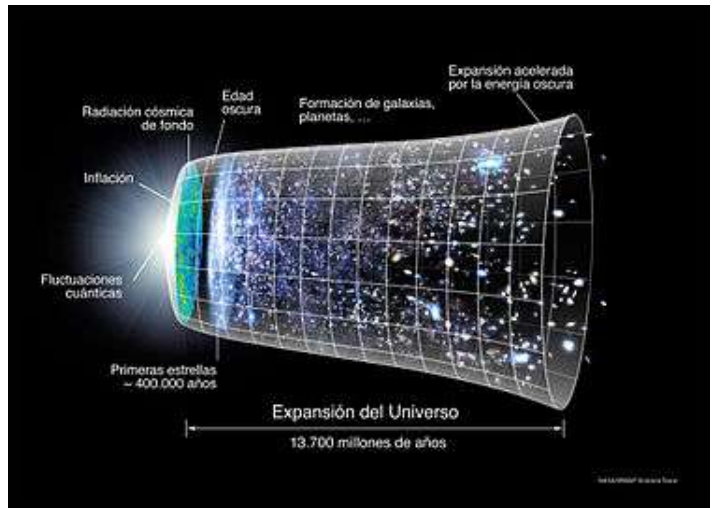
A finales de los años 1990 y principios del siglo XXI, se lograron grandes avances en la cosmología del *Big Bang* como resultado de importantes adelantos en telescopía, en combinación con grandes cantidades de datos satelitales de COBE, el telescopio espacial Hubble y WMAP. Estos datos han permitido a los cosmólogos calcular muchos de los parámetros del *Big Bang* hasta un nuevo nivel de precisión, y han conducido al descubrimiento inesperado de que la expansión del universo está en aceleración.

Visión general

Descripción del *Big Bang*

Michio Kaku ha señalado cierta paradoja en la denominación *big bang* (gran explosión): en cierto modo no puede haber sido grande ya que se produjo exactamente antes del surgimiento del espacio-tiempo. Habría sido el mismo *big bang* lo que habría generado las dimensiones desde una singularidad; tampoco es exactamente una explosión en el sentido propio del término, ya que no se propagó fuera de sí mismo.

Basándose en medidas de la expansión del universo utilizando observaciones de las supernovas tipo 1a, en función de la variación de la temperatura en diferentes escalas en la radiación de fondo de microondas y en función de la correlación de las galaxias, la edad del universo es de aproximadamente $13,7 \pm 0,2$ miles de millones de años. Es notable el hecho de que tres mediciones independientes sean coincidentes, por lo que se considera una fuerte evidencia del llamado modelo de concordancia que describe la naturaleza detallada del universo.



El universo ilustrado en tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal.

El universo en sus primeros momentos estaba lleno homogénea e isotrópamente de una energía muy densa y tenía una temperatura y presión concomitantes. Se expandió y se enfrió, experimentando cambios de fase análogos a la condensación del vapor o a la congelación del agua, pero relacionados con las partículas elementales.

Aproximadamente 10^{-35} segundos después del tiempo de Planck un cambio de fase causó que el universo se expandiese de forma exponencial durante un período llamado inflación cósmica. Al terminar la inflación, los componentes materiales del universo quedaron en la forma de un plasma de quarks-gluones, en donde todas las partes que lo formaban estaban en movimiento en forma relativista. Con el crecimiento en tamaño del universo, la temperatura descendió, y debido a un cambio aún desconocido denominado bariogénesis, los quarks y los gluones se combinaron en bariones tales como el protón y el neutrón, produciendo de alguna manera la asimetría observada actualmente entre la materia y la antimateria. Las temperaturas aún más bajas condujeron a nuevos cambios de fase, que rompieron la simetría, así que les dieron su forma actual a las fuerzas fundamentales de la física y a las partículas elementales. Más tarde, protones y neutrones se combinaron para formar los núcleos de deuterio y de helio, en un proceso llamado nucleosíntesis primordial. Al enfriarse el universo, la materia gradualmente dejó de moverse de forma relativista y su densidad de energía comenzó a dominar gravitacionalmente sobre la radiación. Pasados 300 000 años, los electrones y los núcleos se combinaron para formar los átomos (mayoritariamente de hidrógeno). Por eso, la radiación se desacopló de los átomos y continuó por el espacio prácticamente sin obstáculos. Esta es la radiación de fondo de microondas.

Al pasar el tiempo, algunas regiones ligeramente más densas de la materia casi uniformemente distribuida crecieron gravitacionalmente, haciéndose más densas, formando nubes, estrellas, galaxias y el resto de las estructuras astronómicas que actualmente se observan. Los detalles de este proceso dependen de la cantidad y tipo de materia que hay en el universo. Los tres tipos posibles se denominan materia oscura fría, materia oscura caliente y materia bariónica. Las

mejores medidas disponibles (provenientes del WMAP) muestran que la forma más común de materia en el universo es la materia oscura fría. Los otros dos tipos de materia solo representarían el 20 por ciento de la materia del universo.

El universo actual parece estar dominado por una forma misteriosa de energía conocida como energía oscura. Aproximadamente el 70 por ciento de la densidad de energía del universo actual está en esa forma. Una de las propiedades características de este componente del universo es el hecho de que provoca que la expansión del universo varíe de una relación lineal entre velocidad y distancia, haciendo que el espacio-tiempo se expanda más rápidamente que lo esperado a grandes distancias. La energía oscura toma la forma de una constante cosmológica en las ecuaciones de campo de Einstein de la relatividad general, pero los detalles de esta ecuación de estado y su relación con el modelo estándar de la física de partículas continúan siendo investigados tanto en el ámbito de la física teórica como por medio de observaciones.

Más misterios aparecen cuando se investiga más cerca del principio, cuando las energías de las partículas eran más altas de lo que ahora se puede estudiar mediante experimentos. No hay ningún modelo físico convincente para el primer 10^{-33} segundo del universo, antes del cambio de fase que forma parte de la teoría de la gran unificación. En el "primer instante", la teoría gravitacional de Einstein predice una singularidad en donde las densidades son infinitas. Para resolver esta paradoja física, hace falta una teoría de la gravedad cuántica. La comprensión de este período de la historia del universo figura entre los mayores problemas no resueltos de la física.

Base teórica

En su forma actual, la teoría del *Big Bang* depende de tres suposiciones:

1. La universalidad de las leyes de la física, en particular de la teoría de la relatividad general
2. El principio cosmológico
3. El principio de Copérnico

Inicialmente, estas tres ideas fueron tomadas como postulados, pero actualmente se intenta verificar cada una de ellas. La universalidad de las leyes de la física ha sido verificada al nivel de las más grandes constantes físicas, llevando su margen de error hasta el orden de 10^{-5} . La isotropía del universo que define el principio cosmológico ha sido verificada hasta un orden de 10^{-5} . Actualmente se intenta verificar el principio de Copérnico observando la interacción entre grupos de galaxias y el CMB por medio del efecto Siunýáiev-Zeldóvich con un nivel de exactitud del 1 por ciento.

La teoría del *Big Bang* utiliza el postulado de Weyl para medir sin ambigüedad el tiempo en cualquier momento en el pasado a partir de la época de Planck. Las medidas en este sistema dependen de coordenadas conformales, en las cuales las llamadas distancias codesplazantes y los tiempos conformales permiten no considerar la expansión del universo para las medidas de espacio-tiempo. En ese sistema de coordenadas, los objetos que se mueven con el flujo cosmológico mantienen siempre la misma distancia codesplazante, y el horizonte o límite del universo se fija por el tiempo codesplazante.

Visto así, el *Big Bang* no es una explosión de materia que se aleja para llenar un universo vacío; es el espacio-tiempo el que se extiende. Y es su expansión la que causa el incremento de la distancia física entre dos puntos fijos en nuestro universo. Cuando los objetos están ligados entre ellos (por ejemplo, por una galaxia), no se alejan con la expansión del espacio-tiempo, debido a que se asume que las leyes de la física que los gobiernan son uniformes e independientes del espacio métrico. Más aún, la expansión del universo en las escalas actuales locales es tan pequeña que cualquier dependencia de las leyes de la física en la expansión no sería medible con las técnicas actuales.

Evidencias

En general, se consideran tres las evidencias empíricas que apoyan la teoría cosmológica del *Big Bang*. Estas son: la expansión del universo que se expresa en la ley de Hubble y que se puede apreciar en el corrimiento hacia el rojo de las galaxias, las medidas detalladas del fondo cósmico de microondas, y la abundancia de elementos ligeros. Además, la función de correlación de la estructura a gran escala del universo encaja con la teoría del *Big Bang*.

Expansión expresada en la ley de Hubble

De la observación de galaxias y cuasares lejanos se desprende la idea de que estos objetos experimentan un corrimiento hacia el rojo, lo que quiere decir que la luz que emiten se ha desplazado proporcionalmente hacia longitudes de onda más largas. Esto se comprueba tomando el espectro de los objetos y comparando, después, el patrón espectroscópico de las líneas de emisión o absorción correspondientes a átomos de los elementos que interactúan con la radiación. En este análisis se puede apreciar cierto corrimiento hacia el rojo, lo que se explica por una velocidad recesional correspondiente al efecto Doppler en la radiación. Al representar estas velocidades recesionales frente a las distancias respecto a los objetos, se observa que guardan una relación lineal, conocida como ley de Hubble:

$$v = H_0 \cdot D ,$$

donde v es la velocidad recesional, D es la distancia al objeto y H_0 es la constante de Hubble, que el satélite WMAP estimó en 71 ± 4 km/s/Mpc.

Radiación cósmica de fondo

Una de las predicciones de la teoría del *Big Bang* es la existencia de la radiación cósmica de fondo, radiación de fondo de microondas o CMB (*Cosmic microwave background*). El universo temprano, debido a su alta temperatura, se habría llenado de luz emitida por sus otros componentes. Mientras el universo se enfriaba debido a la expansión, su temperatura habría caído por debajo de 3000 K. Por encima de esta temperatura, los electrones y protones están separados, haciendo el universo opaco a la luz. Por debajo de los 3000 K se forman los átomos, permitiendo el paso de la luz a través del gas del universo. Esto es lo que se conoce como disociación de fotones.

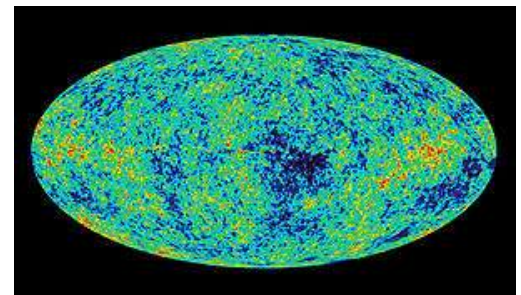


Imagen de la radiación de fondo de microondas.

La radiación en este momento habría tenido el espectro del cuerpo negro y habría viajado libremente durante el resto de vida del universo, sufriendo un corrimiento hacia el rojo como consecuencia de la expansión de Hubble. Esto hace variar el espectro del cuerpo negro de 3345 K a un espectro del cuerpo negro con una temperatura mucho menor. La radiación, vista desde cualquier punto del universo, parecerá provenir de todas las direcciones en el espacio.

En 1965, Arno Penzias y Robert Wilson, mientras desarrollaban una serie de observaciones de diagnóstico con un receptor de microondas propiedad de los Laboratorios Bell, descubrieron la radiación cósmica de fondo. Ello proporcionó una confirmación sustancial de las predicciones generales respecto al CMB —la radiación resultó ser isótropa y constante, con un espectro del cuerpo negro de cerca de 3 K— e inclinó la balanza hacia la hipótesis del *Big Bang*. Penzias y Wilson recibieron el Premio Nobel por su descubrimiento.

En 1989, la NASA lanzó el COBE (COsmic Background Explorer) y los resultados iniciales, proporcionados en 1990, fueron consistentes con las predicciones generales de la teoría del *Big Bang* acerca de la CMB. El COBE halló una

temperatura residual de 2726 K, y determinó que el CMB era isótropo en torno a una de cada 10^5 partes. Durante la década de los 90 se investigó más extensamente la anisotropía en el CMB mediante un gran número de experimentos en tierra y, midiendo la distancia angular media (la distancia en el cielo) de las anisotropías, se vio que el universo era geoméricamente plano.

A principios de 2003 se dieron a conocer los resultados de la Sonda Wilkinson de Anisotropías del fondo de Microondas (en inglés *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* o *WMAP*), mejorando los que hasta entonces eran los valores más precisos de algunos parámetros cosmológicos. (*Véase también experimentos sobre el fondo cósmico de microondas*). Este satélite también refutó varios modelos inflacionistas específicos, pero los resultados eran constantes con la teoría de la inflación en general.

Abundancia de elementos primordiales

Se puede calcular, usando la teoría del *Big Bang*, la concentración de helio-4, helio-3, deuterio y litio-7.1 en el universo como proporciones con respecto a la cantidad de hidrógeno normal, H. Todas las abundancias dependen de un solo parámetro: la razón entre fotones y bariones, que por su parte puede calcularse independientemente a partir de la estructura detallada de la radiación cósmica de fondo. Las proporciones predichas (en masa, no volumen) son de cerca de 0,25 para la razón $^4\text{He}/\text{H}$, alrededor de 10^{-3} para $^2\text{He}/\text{H}$, y alrededor de 10^{-4} para $^3\text{He}/\text{H}$.

Estas abundancias medidas concuerdan, al menos aproximadamente, con las predichas a partir de un valor determinado de la razón de bariones a fotones, y se considera una prueba sólida en favor del *Big Bang*, ya que esta teoría es una de las únicas explicaciones para la abundancia relativa de elementos ligeros. Otro modelo que permite deducir la relación actual entre el número de fotones y el número de bariones, en buen acuerdo con los datos experimentales, y solamente en función de las tres constantes universales: la constante de Planck "h", la velocidad de la luz en el vacío "c" y la constante de gravitación "k", es el modelo cosmológico de Ilya Prigogine^[*cita requerida*].

Evolución y distribución galáctica

Las observaciones detalladas de la morfología y estructura de las galaxias y cúasares proporcionan una fuerte evidencia del *Big Bang*. La combinación de las observaciones con la teoría sugiere que los primeros cúasares y galaxias se formaron alrededor de mil millones de años después del *Big Bang*, y desde ese momento se han estado formando estructuras más grandes, como los cúmulos de galaxias y los supercúmulos. Las poblaciones de estrellas han ido envejeciendo y evolucionando, de modo que las galaxias lejanas (que se observan tal y como eran en el principio del universo) son muy diferentes a las galaxias cercanas (que se observan en un estado más reciente). Por otro lado, las galaxias formadas hace relativamente poco son muy diferentes de las galaxias que se formaron a distancias similares pero poco después del *Big Bang*. Estas observaciones son argumentos sólidos en contra de la teoría del estado estacionario. Las observaciones de la formación estelar, la distribución de cúasares y galaxias, y las estructuras más grandes concuerdan con las simulaciones obtenidas sobre la formación de la estructura en el universo a partir del *Big Bang*, y están ayudando a completar detalles de la teoría.

Otras evidencias

Después de cierta controversia, la edad del universo estimada por la expansión Hubble y la CMB (Radiación cósmica de fondo) concuerda en gran medida (es decir, ligeramente más grande) con las edades de las estrellas más viejas, ambos medidos aplicando la teoría de la evolución estelar de los cúmulos globulares y a través de la fecha radiométrica individual en las estrellas de la segunda Población.

Problemas comunes

Históricamente han surgido varios problemas dentro de la teoría del *Big Bang*. Algunos de ellos solo tienen interés histórico y han sido evitados, ya sea por medio de modificaciones a la teoría o como resultado de observaciones más precisas. Otros aspectos, como el problema de la penumbra en cúspide y el problema de la galaxia enana de materia oscura fría, no se consideran graves, dado que pueden resolverse a través de un perfeccionamiento de la teoría.

Existe un pequeño número de proponentes de cosmologías no estándar que piensan que no hubo un *Big Bang*. Afirman que las soluciones a los problemas conocidos del *Big Bang* contienen modificaciones ad hoc y agregados a la teoría. Las partes más atacadas de la teoría incluyen lo concerniente a la materia oscura, la energía oscura y la inflación cósmica. Cada una de estas características del universo ha sido sugerida mediante observaciones de la radiación de fondo de microondas, la estructura a gran escala del cosmos y las supernovas de tipo IA, pero se encuentran en la frontera de la física moderna (ver problemas no resueltos de la física). Si bien los efectos gravitacionales de materia y energía oscuras son bien conocidos de forma observacional y teórica, todavía no han sido incorporados al modelo estándar de la física de partículas de forma aceptable. Estos aspectos de la cosmología estándar siguen sin tener una explicación adecuada, pero la mayoría de los astrónomos y los físicos aceptan que la concordancia entre la teoría del *Big Bang* y la evidencia observacional es tan cercana que permite establecer con cierta seguridad casi todos los aspectos básicos de la teoría.

Los siguientes son algunos de los problemas y enigmas comunes del *Big Bang*.

El problema del segundo principio de la termodinámica

El problema del segundo principio de la termodinámica resulta del hecho de que de este principio se deduce que la entropía, el desorden, aumenta si se deja al sistema (el universo) seguir su propio rumbo. Una de las consecuencias de la entropía es el aumento en la proporción entre radiación y materia; por lo tanto, el universo debería terminar en una muerte térmica, una vez que la mayor parte de la materia se convierta en fotones y estos se diluyan en la inmensidad del universo.

Otro problema señalado por Roger Penrose es que la entropía parece haber sido anormalmente pequeña en el estado inicial del universo. Penrose evalúa la probabilidad de un estado inicial en aproximadamente $10^{10^{123}}$.^[18] De acuerdo con Penrose y otros, la teoría cosmológica ordinaria no explica por qué la entropía inicial del universo es tan anormalmente baja, y propone la hipótesis de curvatura de Weyl en conexión con ella. De acuerdo con esa hipótesis, una teoría cuántica de la gravedad debería dar una explicación tanto del porqué el universo se inició en un estado de curvatura de Weyl nula y de una entropía tan baja, aunque todavía no se ha logrado una teoría de la gravedad cuántica satisfactoria.

Por otro lado, en la teoría estándar, el estado entrópico anormalmente bajo se considera que es producto de una "gran casualidad" justificada por el principio antrópico, postura que Penrose y otros consideran filosóficamente insatisfactoria.

El problema del horizonte

El problema del horizonte, también llamado problema de la causalidad, resulta del hecho de que la información no puede viajar más rápido que la luz, de manera que dos regiones en el espacio separadas por una distancia mayor que la que recorrería la luz en la edad del universo no pueden estar causalmente conectadas. En este sentido, la isotropía observada de la radiación de fondo de microondas (CMB) resulta problemática, debido a que el tamaño del horizonte de partículas en ese tiempo corresponde a un tamaño de cerca de dos grados en el cielo. Si el universo hubiera tenido la misma historia de expansión desde la época de Planck, no habría mecanismo que pudiera hacer que estas regiones tuvieran la misma

temperatura.

Esta aparente inconsistencia se resuelve con la teoría inflacionista, según la cual un campo de energía escalar isótropo domina el universo al transcurrir un tiempo de Planck luego de la época de Planck. Durante la inflación, el universo sufre una expansión exponencial, y regiones que se afectan mutuamente se expanden más allá de sus respectivos horizontes. El principio de incertidumbre de Heisenberg predice que durante la fase inflacionista habrá fluctuaciones primordiales, que se simplificarán hasta la escala cósmica. Estas fluctuaciones sirven de semilla para toda la estructura actual del universo. Al pasar la inflación, el universo se expande siguiendo la ley de Hubble, y las regiones que estaban demasiado lejos para afectarse mutuamente vuelven al horizonte. Esto explica la isotropía observada de la CMB. La inflación predice que las fluctuaciones primordiales son casi invariantes según la escala y que tienen una distribución normal o gaussiana, lo cual ha sido confirmado con precisión por medidas de la CMB.

En 2003 apareció otra teoría para resolver este problema, la velocidad variante de la luz de João Magueijo, que aunque a la larga contradice la relatividad de Einstein usa su ecuación incluyendo la constante cosmológica para resolver el problema de una forma muy eficaz que también ayuda a solucionar el problema de la planitud.

El problema de la planitud

El problema de la planitud (*flatness problem* en inglés) es un problema observacional que resulta de las consecuencias que la métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker tiene para con la geometría del universo (véase Forma del universo). En general, se considera que existen tres tipos de geometrías posibles para nuestro universo según su curvatura espacial: geometría elíptica (curvatura positiva), geometría hiperbólica (curvatura negativa) y geometría euclidiana o plana (curvatura nula).

Dicha geometría viene determinada por la cantidad total de densidad de energía del universo (medida mediante el tensor de tensión-energía). Siendo Ω el cociente entre la densidad de energía ρ medida observacionalmente y la densidad crítica ρ_c , se tiene que para cada geometría las relaciones entre ambos parámetros han de ser :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega > 1 \text{ Curvatura positiva} \\ \Omega = 1 \text{ Curvatura nula} \\ \Omega < 1 \text{ Curvatura negativa} \end{array} \right.$$

La densidad en el presente es muy cercana a la densidad crítica, o lo que es lo mismo, el universo hoy es espacialmente plano, dentro de una buena aproximación. Sin embargo, las diferencias con respecto a la densidad crítica crecen con el tiempo, luego en el pasado la densidad tuvo que ser aún más cercana a esta. Se ha medido que en los primeros momentos del universo la densidad era diferente a la crítica tan solo en una parte en 10^{15} (una milbillonésima parte). Cualquier desviación mayor hubiese conducido a una muerte térmica o un big crunch y el universo no sería como ahora.

Una solución a este problema viene de nuevo de la teoría inflacionaria. Durante el periodo inflacionario el espacio-tiempo se expandió tan rápido que provocó una especie de estiramiento del universo acabando con cualquier curvatura residual que pudiese haber. Así la inflación pudo hacer al universo plano.

Edad de los cúmulos globulares

A mediados de la década de 1990, las observaciones realizadas de los cúmulos globulares parecían no concordar con la Teoría del *Big Bang*. Las simulaciones realizadas por ordenador de acuerdo con las observaciones de las poblaciones

estelares de cúmulos de galaxias sugirieron una edad de cerca de 15 000 millones de años, lo que entraba en conflicto con la edad del universo, estimada en 13 700 millones de años. El problema quedó resuelto a finales de esa década, cuando las nuevas simulaciones realizadas, que incluían los efectos de la pérdida de masa debida a los vientos estelares, indicaron que los cúmulos globulares eran mucho más jóvenes. Quedan aún en el aire algunas preguntas en cuanto a con qué exactitud se miden las edades de los cúmulos, pero está claro que estos son algunos de los objetos más antiguos del universo.

Monopolos magnéticos

La objeción de los monopolos magnéticos fue propuesta a finales de la década de 1970. Las teorías de la gran unificación predicen defectos topológicos en el espacio que se manifestarían como monopolos magnéticos encontrándose en el espacio con una densidad mucho mayor a la observada. De hecho, hasta ahora, no se ha dado con ningún monopolo. Este problema también queda resuelto mediante la inflación cósmica, dado que esta elimina todos los puntos defectuosos del universo observable de la misma forma que conduce la geometría hacia su forma plana. Es posible que aun así pueda haber monopolos pero se ha calculado que apenas si habría uno por cada universo visible, una cantidad ínfima y no observable en todo caso.

Materia oscura

En las diversas observaciones realizadas durante las décadas de 1970 y 80 (sobre todo las de las curvas de rotación de las galaxias) se mostró que no había suficiente materia visible en el universo para explicar la intensidad aparente de las fuerzas gravitacionales que se dan en y entre las galaxias. Esto condujo a la idea de que hasta un 90 % de la materia en el universo no es materia común o bariónica sino materia oscura. Además, la asunción de que el universo estuviera compuesto en su mayor parte por materia común llevó a predicciones que eran fuertemente inconsistentes con las observaciones. En particular, el universo es mucho menos "inhomogéneo" y contiene mucho menos deuterio de lo que se puede considerar sin la presencia de materia oscura. Mientras que la existencia de la materia oscura era inicialmente polémica, ahora es una parte aceptada de la cosmología estándar, debido a las observaciones de las anisotropías en el CMB, dispersión de velocidades de los cúmulos de galaxias, y en las estructuras a gran escala, estudios de las lentes gravitacionales y medidas por medio de rayos x de los cúmulos de galaxias. La materia oscura se ha detectado únicamente a través de su huella gravitacional; no se ha observado en el laboratorio ninguna partícula que se le pueda corresponder. Sin embargo, hay muchos candidatos a materia oscura en física de partículas (como, por ejemplo, las partículas pesadas y neutras de interacción débil o WIMP (*weak interactive massive particles*), y se están llevando a cabo diversos proyectos para detectarla.

Energía oscura

En la década de 1990, medidas detalladas de la densidad de masa del universo revelaron que esta sumaba en torno al 30 % de la densidad crítica. Puesto que el universo es plano, como indican las medidas del fondo cósmico de microondas, quedaba un 70 % de densidad de energía sin contar. Este misterio aparece ahora conectado con otro: las mediciones independientes de las supernovas de tipo Ia han revelado que la expansión del universo experimenta una aceleración de tipo no lineal, en vez de seguir estrictamente la ley de Hubble. Para explicar esta aceleración, la relatividad general necesita que gran parte del universo consista en un componente energético con gran presión negativa. Se cree que esta energía oscura constituye ese 70 % restante. Su naturaleza sigue siendo uno de los grandes misterios del *Big Bang*. Los candidatos posibles incluyen una constante cosmológica escalar y una quintaesencia. Actualmente se están realizando observaciones que podrían ayudar a aclarar este punto.

El futuro de acuerdo con la teoría del *Big Bang*

Antes de las observaciones de la energía oscura, los cosmólogos consideraron dos posibles escenarios para el futuro del universo. Si la densidad de masa del universo se encuentra sobre la densidad crítica, entonces el universo alcanzaría un tamaño máximo y luego comenzaría a colapsarse. Este se haría más denso y más caliente nuevamente, terminando en un estado similar al estado en el cual empezó en un proceso llamado *Big Crunch*. Por otro lado, si la densidad en el universo es igual o menor a la densidad crítica, la expansión disminuiría su velocidad, pero nunca se detendría. La formación de estrellas cesaría mientras el universo en crecimiento se haría menos denso cada vez. El promedio de la temperatura del universo podría acercarse asintóticamente al cero absoluto (o K o $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los agujeros negros se evaporarían por efecto de la radiación de Hawking. La entropía del universo se incrementaría hasta el punto en que ninguna forma de energía podría ser extraída de él, un escenario conocido como muerte térmica. Más aún, si existe la descomposición del protón, proceso por el cual un protón decaería a partículas menos masivas emitiendo radiación en el proceso, entonces todo el hidrógeno, la forma predominante de materia bariónica en el universo actual, desaparecería a muy largo plazo, dejando solo radiación.

Las observaciones modernas de la expansión acelerada implican que cada vez una mayor parte del universo visible en la actualidad quedará más allá de nuestro horizonte de sucesos y fuera de contacto. Se desconoce cuál sería el resultado de este evento. El modelo Lambda-CDM del universo contiene energía oscura en la forma de una constante cosmológica (de alguna manera similar a la que había incluido Einstein en su primera versión de las ecuaciones de campo). Esta teoría sugiere que solo los sistemas mantenidos gravitacionalmente, como las galaxias, se mantendrían juntos, y ellos también estarían sujetos a la muerte térmica a medida que el universo se enfriase y expandiese. Otras explicaciones de la energía oscura-llamadas teorías de la energía fantasma sugieren que los cúmulos de galaxias y finalmente las galaxias mismas se desgarrarán por la eterna expansión del universo, en el llamado *Big Rip*.

Véase también: Destino último del universo

Física especulativa más allá del *Big Bang*

A pesar de que el modelo del *Big Bang* se encuentra bien establecido en la cosmología, es probable que se redefina en el futuro. Se tiene muy poco conocimiento sobre el universo más temprano, durante el cual se postula que ocurrió la inflación. También es posible que en esta teoría existan porciones del universo mucho más allá de lo que es observable en principio. En la teoría de la inflación, esto es un requisito: La expansión exponencial ha empujado grandes regiones del espacio más allá de nuestro horizonte observable. Puede ser posible deducir qué ocurrió cuando tengamos un mejor entendimiento de la física a altas energías. Las especulaciones hechas al respecto, por lo general involucran teorías de gravedad cuántica.

Algunas propuestas son:

- Inflación caótica.
- Cosmología de branas, incluyendo el modelo ekpirótico, en el cual el *Big Bang* es el resultado de una colisión entre membranas.
- Un universo oscilante en el cual el estado primitivo denso y caliente del universo temprano deriva del *Big Crunch* de un universo similar al nuestro. El universo pudo haber atravesado un número infinito de *big bangs* y *big crunches*. El cíclico, una extensión del modelo ekpirótico, es una variación moderna de esa posibilidad.
- Modelos que incluyen la condición de contorno de Hartle-Hawking, en la cual totalidad del espacio-tiempo es finito. Algunas posibilidades son compatibles cualitativamente unas con otras. En cada una se encuentran involucradas hipótesis aún no testeadas.


Interpretaciones filosóficas y religiosas

Existe un gran número de interpretaciones sobre la teoría del *Big Bang* que son completamente especulativas o extra-científicas. Algunas de estas ideas tratan de explicar la causa misma del *Big Bang* (primera causa), y fueron criticadas por algunos filósofos naturalistas por ser solamente nuevas versiones de la creación. Algunas personas creen que la teoría del *Big Bang* brinda soporte a antiguos enfoques de la creación, como por ejemplo el que se encuentra en el Génesis (ver creacionismo), mientras otros creen que todas las teorías del *Big Bang* son inconsistentes con las mismas.

El *Big Bang* como teoría científica no se encuentra asociado con ninguna religión. Mientras algunas interpretaciones fundamentalistas de las religiones entran en conflicto con la historia del universo postulada por la teoría del *Big Bang*, la mayoría de las interpretaciones son liberales. A continuación sigue una lista de varias interpretaciones religiosas de la teoría del *Big Bang* (que son hasta cierto punto incompatibles con la propia descripción científica del mismo):

- En la Biblia cristiana aparecen dos versículos que hablarían del *big bang* y el *big crunch*: «Él está sentado sobre el círculo de la tierra, cuyos moradores son como langostas; él extiende los cielos como una cortina, los despliega como una tienda para morar» (Isaías 40.22). «Y todo el ejército de los cielos se disolverá, y se enrollarán los cielos como un libro; y caerá todo su ejército como se cae la hoja de la parra, y como se cae la de la higuera» (Isaías 34.4).^[19]
- La Iglesia católica ha aceptado el *Big Bang* como una descripción del origen del universo.^[20] Se ha sugerido que la teoría del *Big Bang* es compatible con las vías de santo Tomás de Aquino, en especial con la primera de ellas sobre el movimiento, así como con la quinta.^[cita requerida]
- Algunos estudiantes del Kabbalah, el deísmo y otras creencias no antropomórficas, concuerdan con la teoría del *Big Bang*, conectándola por ejemplo con la teoría de la "retracción divina" (*tzimtzum*) como es explicado por el judío Moisés Maimónides.
- Algunos musulmanes modernos creen que el Corán hace un paralelo con el *Big Bang* en su relato sobre la creación: «¿No ven los no creyentes que los cielos y la Tierra fueron unidos en una sola unidad de creación, antes de que nosotros los separásemos a la fuerza? Hemos creado todos los seres vivientes a partir del agua» (capítulo 21, versículo 30). El Corán también parece describir un universo en expansión: «Hemos construido el cielo con poder, y lo estamos expandiendo» (52.47).
- Algunas ramas teístas del hinduismo, tales como las tradiciones vishnuistas, conciben una teoría de la creación con ejemplos narrados en el tercer canto del Bhagavata Purana (principalmente, en los capítulos 10 y 26), donde se describe un estado primordial se expande mientras el Gran Vishnú observa, transformándose en el estado activo de la suma total de la materia (prakriti).
- El budismo posee una concepción del universo en el cual no hay un evento de creación. Sin embargo, no parece ser que la teoría del *Big Bang* entrara en conflicto con la misma, ya que existen formas de obtener un universo eterno según el paradigma. Cierta número de populares filósofos zen estuvieron muy interesados, en particular, por el concepto del universo oscilante^[cita requerida]. En la escuela o tradición Theravada, en el "Discurso de los impensables" se hace referencia al origen del mundo como un "impensable que no debería ser pensado" ya que pensando en ello llevaría a "la aflicción y locura".^[21]

Véase también

-  Portal:Cosmología. Contenido relacionado con **Cosmología**.
- Agujero blanco
- Big Crunch
- Big Freeze
- Big Rip
- Cosmología

- [Cosmos](#)
- [Cronología de la cosmología](#)
- [Cronología del Big Bang](#)
- [Flujo oscuro](#)
- [Forma del universo](#)
- [Modelo Lambda-CDM](#)
- [Singularidad desnuda](#)
- [Teoría del estado estacionario](#)
- [Universo](#)
- [Big Bounce](#)
- [Ylem](#)

Notas y referencias

Notas

1. ↑ El *Big Bang* no fue una explosión en el sentido propio del término, ya que no se propagó fuera de sí mismo. El universo se inició como una singularidad infinitesimalmente pequeña. Y no hubo ningún tipo de explosión en el sentido convencional de la palabra, dado que fue la expansión del propio espacio lo que apartaba la materia entre sí.^[1]

Referencias

1. ↑ Kaku, Michio (2005) *El universo de Einstein*, página 109. Antoni Bosch. En Google Books. Consultado el 1 de abril de 2015.
2. ↑ Joseph Silk (2009). *Horizons of Cosmology* ("*Horizontes de la cosmología*"). Templeton Press. p. 208.
3. ↑ Simon Singh (2005). *Big Bang: The Origin of the Universe* ("*[La] gran explosión: el origen del universo*"). Harper Perennial. p. 560.
4. ↑ Wollack, E. J. (10 de diciembre de 2010). «Cosmology: The Study of the Universe». *Universe 101: Big Bang Theory*. NASA. Archivado desde el original el 14 de mayo de 2011. Consultado el 27 de abril de 2011. «La segunda sección discute (o debate) las pruebas clásicas de la teoría de la Gran explosión que la terminan haciendo tan dominante como para ser la más probable descripción válida de nuestro universo (observable).»
5. ↑ «*How The Universe Works 3* ("Cómo funciona el universo 3")». *Discovery Science*. 2014.
6. ↑ «Big-bang model ("El modelo de la gran explosión")». *Encyclopedia Britannica*. Consultado el 11 de febrero de 2015.
7. ↑ «*Planck reveals an almost perfect universe* ("Planck revela un universo casi perfecto")». *Planck* (en inglés). ESA. 21 de marzo de 2013. Consultado el 21 de marzo de 2013.
8. ↑ Hawking, S.; Ellis, G. F. (1968). «The Cosmic Black-Body Radiation and the Existence of Singularities in our Universe ("La radiación cósmica de cuerpo negro y la existencia de singularidades en nuestro universo")». *Astrophysical Journal*, vol. 152, p. 25.
9. ↑ Hawking, S.; Penrose, R. (27 de enero de 1970). «The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology». Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences (*La Real Sociedad del Reino Unido (de Gran Gretaña e Irlanda del Norte)* (The Royal Society)) **314** (1519): 529-548. Bibcode:1970RSPSA.314..529H. doi:10.1098/rspa.1970.0021. Consultado el 27 de marzo de 2015.
10. ↑ Kragh, H. (1996). *Cosmology and Controversy* ("*Cosmología y controversia*"). Princeton University Press. p. 318. ISBN 0-691-02623-8.
11. ↑ Peebles, P. J. E. & Ratra, Bharat (2003). «The cosmological constant and dark energy ("La constante cosmológica y la energía oscura")». *Reviews of Modern Physics* **75** (2): 559-606. Bibcode:2003RvMP...75..559P. arXiv:astro-ph/0207347. doi:10.1103/RevModPhys.75.559.
12. ↑ Gibson, C. H. (2001). «The First Turbulent Mixing and Combustion ("La primera mezcla y combustión turbulenta")». *IUTAM Turbulent Mixing and Combustion* ("Mezcla y combustión turbulenta").
13. ↑ Gibson, C. H. (2001). «*Turbulence And Mixing In The Early Universe* ("Turbulencia y mezcla en el universo temprano")». .
14. ↑ Gibson, C. H. (2005). «*The First Turbulent Combustion* ("La primera combustión turbulenta")». .
15. ↑ *BBC News*, ed. (22 de agosto de 2001). «'Big bang' astronomer dies». Archivado desde el original el 8 de diciembre de 2008. Consultado el 29 de

junio de 2016.

16. ↑ Michio Kaku, *El Universo de Einstein*, p. 109.
17. ↑ Riaza, Eduardo (2010). *La historia del comienzo. Georges Lemaître, padre del Big Bang*. Encuentro. ISBN 9788499200286.
18. ↑ R. Penrose, 1996, p.309
19. ↑ La conexión del versículo 4 del capítulo 34 del libro de Isaías con el *Big Crunch* es, por lo menos, dudosa. De la lectura del capítulo se desprende que está hablando de la destrucción definitiva de Edom. En la Biblia es bastante común el lenguaje simbólico y suele utilizarse la expresión cielos como símbolo y sinónimo de gobierno, pues el «cielo» es lo que está encumbrado, en las alturas, como los reyes y las clases dirigentes. Isaías 14:12 describe a la dinastía de Nabucodonosor como semejante a estrella. Menciona en exclamación cómo ha caído del cielo el «resplandeciente hijo del alba». Al derrocar al reino davídico autorizado por Dios, la dinastía babilonia se ensalzó a sí misma hasta los cielos, de donde provenía la autoridad de estos reinos, según el contenido bíblico (Isaías 14: 13, 14). El derrocamiento del reino davídico se refiere a la primera destrucción del Templo y de Jerusalén a manos de los babilonios. El versículo 15 indica que se le hará descender al sheol, en hebreo: tumba.
20. ↑ M. Salmerón (6 de enero de 2011). «La Iglesia Católica cree en el Big Bang (provocado por Dios, por supuesto)». *artículo. ecologiablog.com*. Consultado el 27 de enero de 2015.
21. ↑ «Acinteyya Sutta (Discurso de los Impensables) | BUDDHISMO THERAVADA HISPANO». *www.btmar.org*. Consultado el 7 de noviembre de 2016.

Bibliografía

- Green, Brian, *El tejido del cosmos. Espacio, tiempo y la textura de la realidad*. Crítica. Barcelona (2006). ISBN 978-84-8432-737-0.
- Gribbin, John, *En busca del Big Bang*. Colección "Ciencia hoy". Madrid: Ediciones Pirámide, 09/1989. ISBN 84-368-0421-X e ISBN 978-84-368-0421-8.
- Hawking, S. W., *Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros*. Barcelona: Círculo de Lectores, 09/1991. ISBN 84-226-2715-9 e ISBN 978-84-226-2715-9.
- Barrow, John D., *Las constantes de la naturaleza*. Crítica. Barcelona (2006). ISBN 978-84-8432-684-7
- http://www.exactas.org/modules/UpDownload/store_folder/Otra_Literatura/Roger.Penrose.-La.Mente.Nueva.Del.Emperador.pdf
- Penrose, Roger, *La nueva mente del emperador*, Fondo de Cultura Económica, México D.F. (1996). ISBN 978-968-13-4361-3]
- Weinberg, Steven, *Los tres primeros minutos del universo*, Alianza, Madrid (1999). ISBN 978-84-206-6730-0.

Introducciones técnicas

- Dodelson, S. *Modern Cosmology* ("Cosmología moderna"), Academic Press (2003).
- Kolb, E. W. & M. S. Turner, *The Early Universe* ("El universo temprano"), Addison-Wesley (1990).
- Peebles, P. J. E. *Principles of Physical Cosmology* ("Principios de cosmología física"), Princeton University Press (1993).

Fuentes originales o de primera mano

- Alpher, R. A., R. Herman & G. Gamow *Nature* **162** (1948), 774.
- Alpher, R. A. & R. Herman, *On the Relative Abundance of the Elements* ("Sobre la relativa abundancia de los elementos"), *Physical Review* **74** (1948), 1577. Este *paper* en particular contiene la primera estimación de la temperatura presente del universo.

- Alpher, R. A. & R. Herman, *Reflections on early work on 'big bang' cosmology* ("Reflexiones sobre trabajos tempranos de la cosmología de la Gran explosión"), *Physics Today*, agosto de 1988, 24-34.
- Alpher, R. A., H. A. Bethe, G. Gamow, *The Origin of Chemical Elements* ("El origen de los elementos químicos"), *Physical Review*, **73** (1948), 803. El así denominado *paper* $\alpha\beta\gamma$ (alfa-beta-gamma), en el cual Alpher y Gamow sugirieron que los elementos lumínicos fueron creados por protones que capturaron neutrones en el caliente y denso universo temprano. El nombre de Bethe fue agregado por razones de simetría alfabética.
- Alpher, R. A. *Neutron-Capture Theory of the Formation and Relative Abundance of the Elements* ("Teoría de la captura de neutrones de la formación y la abundancia relativa de los elementos"), *Physical Review* **74** (1948), 1737.
- Andréi Dmítrievich Sájarov, "Violación de la invariancia de CP, asimetría C y asimetría de bariones", *Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **5**, 32 (1967), translated in *JETP Lett.* **5**, 24 (1967).
- Dicke, R. H., P. J. E. Peebles, P. G. Roll y D. T. Wilkinson, *Cosmic Black-Body Radiation* ("La radiación cósmica de cuerpo negro"), *Astrophysical Journal* **142** (1965), 414. Esta publicación contiene la interpretación teórica del descubrimiento de Penzias y de Wilson.
- G. Gamow, *Nature* **162** (1948), 680.
- G. Gamow, *The Origin of Elements and the Separation of Galaxies* ("El origen de los elementos y la separación de las galaxias"), *Physical Review* **74** (1948), 505. Estos dos *papers* del año 1948 de Gamow establecieron los fundamentos para nuestro entendimiento actual de la nucleosíntesis de la Gran explosión.
- Lemaître, G. *Nature* **128** (1931) suppl.: 704, con una referencia al denominado átomo primigenio
- Lemaître, G. *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques* ("Un universo homogéneo de masa constante y de radio creciente que rinde cuenta de la velocidad radial de nebulosas extragalácticas"), *Anales de la Sociedad Científica de Bruselas*, **47A** (1927):41. La teoría de la relatividad general implica que el universo se debe estar necesariamente expandiendo, por lo que el propio astrofísico Albert Einstein lo desacreditó ese mismo año. Por otro lado, esta publicación de Lemaître fue traducida al inglés en las *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* ("Noticias mensuales de la Real Sociedad Astronómica [británica]") **91** (1931): 483-490.
- Penzias, A. A. & R. W. Wilson, *A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s* ("Una medida del exceso de temperatura de antena a 4.080 Mc/s"), *Astrophysical Journal* **142** (1965), 419. Este *paper* describe el descubrimiento de la radiación de fondo de microondas.



Religión y filosofía

- Jean-Marc Rouvière, *Brèves méditations sur la création du monde* ("Breves reflexiones sobre la creación del mundo"), Ed. L'Harmattan, París, 2006.
- Leeming, David Adams & Margaret Adams Leeming, *A Dictionary of Creation Myths* ("[Un] diccionario de mitos de la creación"), *Oxford University Press* (1995), ISBN 0-19-510275-4.
- Pío XII (1952), "La ciencia moderna y la existencia de [Dios]", "La mente católica", 49:182-192.

Artículos de investigación

La mayoría de los artículos científicos sobre cosmología están disponibles como preimpresos en . Generalmente son muy técnicos, pero algunas veces tienen una introducción clara en inglés. Los archivos más relevantes, que cubren experimentos y teoría están el archivo de astrofísica, donde se ponen a disposición artículos estrechamente basados en observaciones, y el archivo de relatividad general y cosmología cuántica, el cual cubre terreno más especulativo. Los artículos de interés para los cosmólogos también aparecen con frecuencia en el archivo sobre Fenómenos de alta energía y sobre teoría de alta energía.

Enlaces externos

-  [Wikcionario](#) tiene definiciones y otra información sobre **Big Bang**.
-  [Wikiquote](#) alberga frases célebres de o sobre **Big Bang**.
-  [Wikimedia Commons](#) alberga una categoría multimedia sobre **Big Bang**.
- [Juego del Big Bang 2.0](#) Museo Nacional de la Ciencia y de la Técnica de Cataluña.
- [Modelo cosmológico estándar](#)
- [Open Directory Project](#): *Cosmology*
- [PBS.org](#), *From the Big Bang to the End of the Universe. The Mysteries of Deep Space Timeline* ("Desde la Gran explosión hasta el fin del universo: los misterios de la cronología del espacio profundo).
- *Welcome to the History of the Universe* ("Bienvenido(s) a la historia del universo"), Penny Press Ltd.
- [Smithsonian Institution](#), "[Universe! - The Big Bang and what came before](#)" ("La Gran explosión y qué vino antes").
- [Universidad de Cambridge, Cosmology](#), "[The Hot Big Bang Model](#)" ("El modelo caliente de la Gran explosión", el cual incluye una discusión o un debate acerca de los problemas de la teoría del *Big Bang*).
- D'Agnes, Joseph, "[The last Big Bang man left standing, physicist Ralph Alpher devised Big Bang Theory of universe](#)" ("El último hombre de la Gran explosión que queda, el físico Ralph Alpher diseñó la teoría del Big bang), *Discover*, julio de 1999.
- [Felder, Gary](#), "[The Expanding Universe](#)" ("El universo en expansión").
- [Grant, Ted; Woods, Alan](#), "[El big bang](#)" , capítulo del libro *Razón y Revolución*, Fundación Federico Engels.
- [LaRocco, Chris and Blair Rothstein](#), *The Big Bang: It sure was Big!!* ("La gran explosión: ¡¡Seguro que fue grande!!")
- [Mather, John C., and John Boslough](#) 1996, *The very first light: the true inside story of the scientific journey back to the dawn of the universe* ("La primerísima luz: la verdadera historia interna del viaje científico de regreso hacia la aurora del universo), ISBN 0-465-01575-1 p.300
- [Shestople, Paul](#), "[Big Bang Primer](#)" ("Acercamiento/Introducción al big bang).
- [Singh, Simon](#), *Big Bang: the origin of the universe* ("La gran explosión: el origen del universo"), Fourth Estate (2005). A historical review of the Big Bang.
- [Wright, Edward L.](#), *Brief History of the Universe* ("Breve historia del universo").
- [Ciertos científicos escriben acerca del Big Bang](#).

This article is issued from [Wikipedia](#). The text is licensed under [Creative Commons - Attribution - Sharealike](#). Additional terms may apply for the media files.