



## Sistema de Compras Públicas de la Ciudad de México

### Proyecto de contratación para discusión pública

#### Datos principales

##### ID PAAAPS

##### Unidad responsable

Dirección de Administración

##### Nombre del proyecto

Big Bang

##### Fecha de publicación

06/12/2021

##### Ente Público

Agencia Digital de Innovación Pública (ADIP)

##### Fecha límite para recibir comentarios

13/12/2021, 13:20

##### Partidas Presupuestarias

1441 - Primas por seguro de vida del personal civil.

1443 - Primas por seguro de retiro del personal al servicio de las unidades responsables del gasto del Distrito Federal.

#### Descripción del proyecto

En [cosmología](#), se entiende por **Big Bang**,<sup>1?2?</sup> también llamada la **Gran Explosión** (término proveniente del [astrofísico Fred Hoyle](#), a modo de burla de la teoría)<sup>3?nota 1?</sup> y originalmente como **Átomo primigenio** o **Huevo cósmico** (términos del astrofísico y [sacerdote Georges Lemaître](#)),<sup>5?6?7?</sup> el principio del [universo](#), es decir, el [punto inicial](#) ( $t=0$ )<sup>8?9?</sup> en el que se formó la [materia](#), el [espacio](#) y el [tiempo](#). De acuerdo con el [modelo cosmológico](#) estándar, el Big Bang tuvo lugar hace unos 13 800 millones de años.<sup>10?</sup> Las teorías sobre el Big Bang no describen, en realidad, este hecho en sí, sino la evolución del universo temprano en un rango temporal que abarca desde un [tiempo de Planck](#) (aprox.  $10^{243}$  segundos) después del Big Bang hasta entre 300 000 y 400 000 años más tarde, cuando ya se empezaban a formar átomos estables y el universo se hizo transparente.<sup>11?</sup> Una amplia gama de [evidencia empírica](#) favorece fuertemente al Big Bang, que ahora es esencialmente universalmente aceptado.



**Tipo de  
contratación**

Enajenación de  
bienes

**Posible método de  
contratación**

Invitación Restringida

**Posible carácter de la  
contratación**

Internacional



---

## Índice

---

### Introducción

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...

### Visión general

Descripción del Big Bang El universo ilustrado en tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal. Michio Kaku ha señalado cierta paradoja en la denominación...

### 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...

### 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...



---

## Proyecto

---

### Introducción

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).<sup>3</sup>? 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.<sup>31</sup>? Recientes ingenios espaciales puestos en órbita ([COBE](#)) han conseguido observar evidencias de la expansión primigenia.

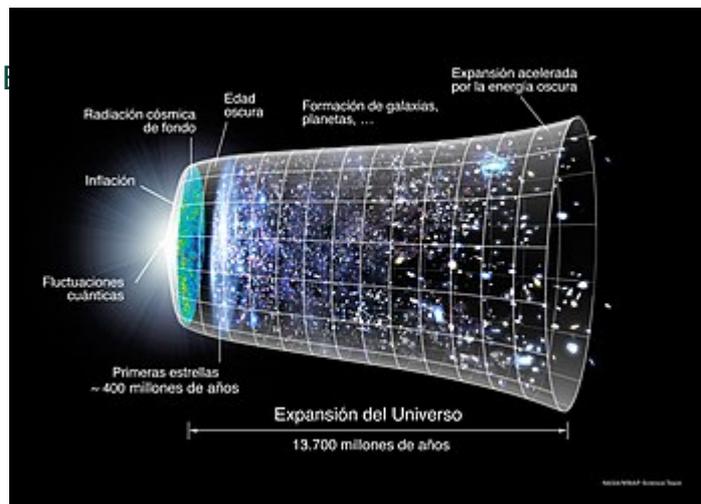
La idea central del Big Bang es que la teoría de la relatividad general puede combinarse con las observaciones de [isotropía](#) y [homogeneidad](#) a gran escala de la distribución de [galaxias](#) y los cambios de posición entre ellas, permitiendo extrapolar las condiciones del universo antes o después 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](#)



## Visión general

## Descripción del Big B





El universo ilustrado en tres [dimensiones](#) espaciales y una dimensión temporal.

[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](#). Y 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 en sus primeros momentos estaba lleno [homogénea](#) e [isótopamente](#) 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 de 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 dos suposiciones:

1. La [universalidad de las leyes de la física](#), en particular de la [teoría de la relatividad general](#)
2. [El principio cosmológico](#)

Inicialmente estas ideas fueron tomadas como postulados, pero actualmente se las intenta verificar. 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  $10^{-5}$ . La teoría del Big Bang utiliza el [postulado de Weyl](#) para medir sin ambigüedad el tiempo en cualquier momento en el pasado a partir del 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](#).



Desde esta perspectiva, el Big Bang no es la explosión y expansión de la materia que se aleja por un universo vacío, sino la extensión del tiempo y el espacio. Su expansión hace que aumente la distancia física entre dos puntos fijos del universo. Sin embargo, cuando los objetos están vinculados entre sí (por ejemplo, a través de una galaxia), no se alejan con la expansión del tiempo y el espacio, porque se supone que las leyes de la física que los gobiernan son uniformes e independientes del [espacio métrico](#). Además, la expansión del universo en la escala local actual es tan pequeña que cualquier dependencia de las leyes de la física en la expansión no sería medible con la tecnología actual.

## 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[editar]

Artículo principal: [Ley de Hubble](#)

De la observación de galaxias y [cuásares](#) 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](#):

$$v = H_0 \cdot D$$



GOBIERNO DE LA  
CIUDAD DE MÉXICO



AGENCIA DIGITAL DE  
INNOVACIÓN PÚBLICA



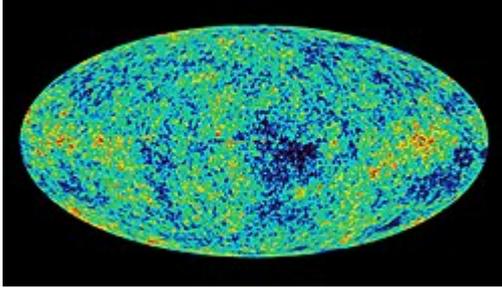
Tianguis  
Digital

la velocidad recesional,  $\{\displaystyle D\}$

es la distancia al objeto y  $\{\displaystyle H_{\{0\}}\}$

es la [constante de Hubble](#), que el satélite WMAP estimó en  $71 \pm 4$  [km/s/Mpc](#).

## Radiación cósmica de fondo[[editar](#)]



[de microondas](#)

Imagen de la radiación de fondo de microondas.

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](#).

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[[editar](#)]

Artículo principal: [Nucleosíntesis primordial](#)

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[[editar](#)]

Las observaciones detalladas de la [morfología](#) y [estructura](#) de las galaxias y cuásares proporcionan una fuerte evidencia del Big Bang. La combinación de las observaciones con la teoría sugiere que los primeros cuásares 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 cuásares 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[[editar](#)]

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, ambas medidas 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.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5
1	a	d	f	f
2	s	d	f	f