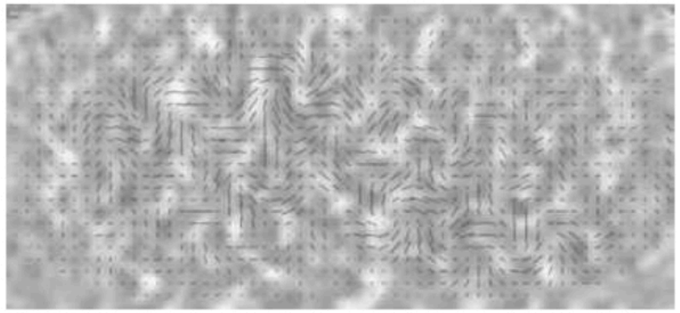
ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx

El *big bang* y el descubrimiento de las ondas gravitacionales predichas por Einstein



380,000 años después del big bang, trazas de ondas gravitacionales (mostradas en líneas negras) en la radiación de fondo cósmica hecha por el equipo BICEP2. Los diferentes colores muestran variaciones de la polarización de la luz (el llamado modo B, en espiral).

Alejandro Ramírez Solís
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Los humanos nos hemos preguntado por milenios acerca del origen del Universo y una noticia muy reciente nos ha acercado un poco más a la respuesta a esta pregunta. El lunes 17 de marzo, el grupo de científicos a cargo del *Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization* (BICEP2 del Centro Smithsoniano para Astrofísica de Harvard) hizo un anuncio espectacular: el descubrimiento de ondas gravitacionales predichas por Einstein (figura 1). Estas ondas son vibraciones del espacio mismo y fueron generadas durante la expansión casi instantánea del Universo por 50 factores de 10 (un 1 seguido de 50 ceros = 10^{50}) durante el evento primordial que dio lugar a nuestro Universo, mejor conocido como el "*big bang*" [1]. Este descubrimiento deberá ser verificado, primero por otros grupos en el mundo, por nuevos análisis de los datos obtenidos y, finalmente, por nuevas observaciones.

Una vez dicho esto, la detección de «ondas gravitacionales primordiales» sería uno de los descubrimientos astronómicos más importantes y uno de los triunfos más bellos en la historia de la ciencia. Este descubrimiento toca los conceptos más importantes de nuestro *imago mundi (es decir, de la visión que tenemos del Universo)*: la relatividad general, la mecánica cuántica y el "big bang". Es necesario aclarar que sí es un descubrimiento pero no una sorpresa, puesto que los cosmólogos, físicos que estudian el Universo en su conjunto a gran escala, lo esperaban desde hace más de 30 años. En particular Alan Guth, Andrei Linde y Alexei Starobinsky, quienes desarrollaron la teoría inflacionaria del Universo temprano, habían predicho dichas ondas en los años 1980s como fenómenos asociados a un periodo de inflación ultracorto del Universo.

El equipo científico del pequeño telescopio BICEP2 (que detecta radiación cuya longitud de onda son milímetros) localizado en la Antártica habría detectado las ondas gravitacionales primordiales emitidas durante la primeros 10^{-35} segundos después del "big bang". Más exactamente, los investigadores detectaron el efecto sobre la radiación de fondo cósmica de esta radiación gravitacional primordial. Para comprender por qué este descubrimiento es tan fundamental es necesario regresar al origen de esta observación, la teoría del "big bang", la radiación de fondo cósmica y el periodo inflacionario del Universo. Repasemos los conceptos básicos del primero.

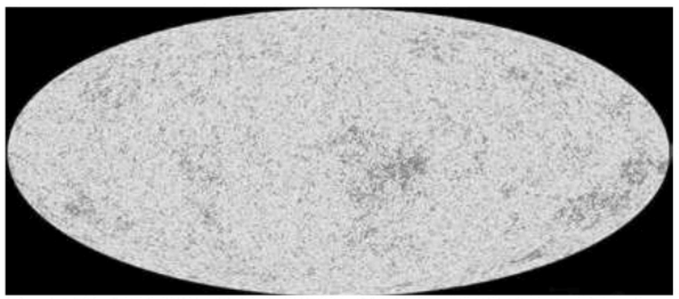
Para los astrofísicos existe un modelo cosmológico que describe con precisión casi toda la historia (excepto las primeras fracciones de segundo) del Universo, desde su origen hasta nuestros días. En pocas palabras, existe evidencia muy sólida de que nuestro Universo apareció hace 13,800 millones de años en un evento singular llamado "la gran explosión" o "big bang". En el momento del "big bang", el Universo era tan denso y caliente que la materia no existía aun y las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza que conocemos ahora (la electromagnética, la gravitacional, la fuerza débil y la fuerza fuerte) estaban todas juntas y representadas por una sola fuerza. Conforme el tamaño del Universo aumentó, toda esa energía concentrada en un punto (la singularidad primordial) se fué diluyendo y la temperatura bajó. Esto se traduce en que conforme el Universo se expande, la densidad de materia (por ejemplo, en gramos por centímetro cúbico) disminuye y todo lo que contiene el espacio en expansión se enfría. Sin embargo, es necesario aclarar aquí que no existen palabras adecuadas para describir el Universo en el momento del "big bang", ni concepto físico o matemático para concebirlo, dado que probablemente no había ni espacio ni tiempo "en ese momento singular".

Aquí entra la radiación de fondo cósmica. Desafortunadamente los científicos no pueden observar, ni siquiera con el mejor telescopio en órbita, el "big bang" que tuvo lugar hace 13,800 millones de años. Existe un impedimento fundamental para observar directamente el "big bang", ya que desde el punto de vista astronómico, la observación de este evento se sitúa con un *corrimiento* infinito *hacia el rojo*. Aunque no contamos con el espacio aquí para explicar este concepto, sí podemos decir que lo que buscan los astrónomos y los físicos, son las trazas del "big bang" en el épocas no muy posteriores, que sí son accesibles con los telescopios actuales. De esta forma estamos reconstruyendo poco a poco la historia del Universo, desde las observaciones revolucionarias hechas por Edwin Hubble en el Observatorio del Monte Wilson. Recordemos que hace casi 80 años las observaciones de Hubble demostraron que el Universo está en expansión. La prueba más espectacular y la más convincente de que realmente ocurrió el "big bang", es la existencia de la *radiación de fondo cósmica*, descubierta accidentalmente en 1964 por Arno Penzias y Robert Wilson. Este par de ingenieros de los Laboratorios Bell trataba de calibrar la mejor antena de radio de la época y no lograban quitar un molesto ruido de fondo de las señales que recibían. Aunque inicialmente ellos interpretaron este ruido como debido a las deyecciones de palomas que ensuciaban la antena, poco después se demostró, con la antena perfectamente limpia, que este ruido provenía del espacio y que era el mismo cuando la antena era apuntada a cualquier punto del cielo. Finalmente se concluyó que esta radiación de fondo cósmica es, ni más ni menos, el remanente de la radiación térmica asociada al "big bang", enfriada por la sostenida expansión del Universo y correspondiendo a la gélida temperatura del espacio de nuestros días (2.73 grados Kelvin) [2]. Penzias y Wilson recibieron el Premio Nobel de Física en 1978 por este descubrimiento. Esta radiación de fondo cósmica fue fotografiada por primera vez por el satélite COBE, por la cual George Smoot y John Mather recibieron el Premio Nobel de Física en 2006. Una imagen de la radiación cósmica "fósil" fue registrada con mucha mayor precisión por el telescopio espacial Planck en 2012 y muestra al Universo tal como era 380,000 años después del "big bang" (figura 2).

¿Cómo sabemos que la foto del BICEP2 corresponde al Universo temprano? Se estima que 380,000 años después del "big bang" es el momento en el que el cosmos se volvió transparente a la radiación. Antes de esto, el cosmos era lo que puede describirse como una sopa densa supercaliente, una "bruma de luz y partículas" muy brillante e impenetrable. Después de esto, la expansión universal permitió a la luz liberarse definitivamente, dejándola viajar libremente de la misma forma como le ocurre a la luz del Sol cuando se libera de éste al llegar a su superficie desde el centro, mientras que el globo de plasma que compone el Sol es totalmente opaco. Podemos imaginarnos fácilmente cómo era el Universo 380,000 años después del "big bang": pongámonos una escafandra ultra resistente y flotemos en un baño de calor a 3000 C y una luz enceguecedora, una bruma tan brillante como el Sol que invade todo el espacio. A diferencia de esto, lo que Planck fotografió es esta luz, pero ya muy diluida y muy fría después de más de 13,000 millones de años de expansión universal. Hoy el cosmos está en un baño glacial, a -270.42 C y el cielo es negro, obscuro y transparente.

Esta imagen del Planck es fundamental porque es nuestro mejor medio de ir lo más lejos en el espacio y lo más atrás en el tiempo. Esta imagen guarda la huella de los eventos que marcaron al cosmos desde el "big bang". Lo que muestra esta foto de forma espectacular es que desde esa época el Universo estaba estructurado: la imagen no es homogénea, no es uniforme porque está recubierta de manchas que revelan diferencias ínfimas de densidad y de temperatura en la bruma supercaliente que era entonces el cosmos. Estas inhomogeneidades (o fluctuaciones) habrían aparecido muy temprano, en la época primordial del Universo. Los científicos que plantearon la teoría inflacionaria del Universo han calculado que, a partir del «instante cero», las fluctuaciones aparecieron apenas 10^{-35} segundos después del "big bang". En esta época el Universo tenía una temperatura del orden de 10^{30} K (sí, 1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000 grados Kelvin), y una densidad de 10^{90} g/cm^3. Bajo estas condiciones extremas, el Universo está sujeto simultáneamente a las reglas de la relatividad general y de la mecánica cuántica. En esa época el Universo entero era cuántico, es decir, sujeto a perturbaciones violentas tanto espaciales como temporales. Por esta razón, el espacio y el tiempo en el sentido común de los términos, no existían. Es la traza de un evento crucial que ocurrió en esta época lo que probablemente detectó el equipo de BICEP2 en el eco luminoso del «big bang», la radiación cósmica de fondo. Sin embargo, aquí es necesario recordar que el modelo del "big bang" que existía hasta principios de los 1980s no permitía explicar por qué aparecieron estrellas, galaxias, cúmulos de galaxias, y mallas de cúmulos de galaxias cuando, al mismo tiempo, existen regiones inmensas del espacio donde no hay una sola estrella. En otras palabras, el modelo original del "big bang" no podía explicar la enorme inhomogeneidad que observamos ahora en el Universo. Aquí es donde la teoría inflacionaria de Starobinsky, Linde y Guth salva el modelo del "big bang" [3]. Estos físicos imaginaron un proceso, que bautizaron inflación, para resolver los problemas que planteaba la gran inhomogeneidad del cosmos a un observador moderno. Ellos propusieron que justo después del «big bang» ocurrió un episodio ultracorto de aceleración fulgurante –la inflación– que aumentó brutalmente el tamaño del Universo por un factor gigantesco, de varias decenas o centenas de órdenes de magnitud (de factores de 10). Esta proposición implicaba que el Universo se expandió radialmente (como un globo que se infla muy muy rápidamente) con una rapidez mucho mayor que la velocidad de la luz (figura 3). Aquí el lector podría preguntarse si esto no contradice la idea de que "nada puede ir más rápido que la luz". En realidad esta teoría está en perfecto acuerdo con la relatividad, ya que el "nada" en la frase anterior se refiere a objetos materiales; la teoría inflacionaria postula que lo que se expande más rápido que la luz es el espacio mismo. A pesar de su carácter esotérico, esta idea fue poco a poco ganando terreno puesto que permite resolver todos los problemas asociados a la evolución posterior del Universo. Sin embargo, hasta hace pocos días, la teoría inflacionaria seguía siendo molesta por la dificultad para verificarla experimentalmente. Los científicos del equipo BICEP2 argumentan que detectaron la confirmación experimental de la fase de inflación del espacio-tiempo sujeto a violentas fluctuaciones cuánticas, ya que éstas debieron producir ondas gravitacionales, es decir, vibraciones del espacio-tiempo. Estas ondas gravitacionales, deformando el espacio-tiempo que atravesaron, debieron dejar su huella en el cosmos primordial. Recordemos que en esta época éste era una bruma densa de partículas elementales y de luz. El efecto esperado del paso de las ondas gravitacionales en el Universo primordial es una ligera modificación de la polarización de la luz (o la orientación del campo electromagnético); este efecto fue esperado y buscado por los astrónomos en la radiación de fondo cósmica por décadas.

Este efecto, llamado polarización del modo B, ha sido finalmente detectado por BICEP2. Esta observación provocó un clamor en todo el mundo, puesto que sus implicaciones, cosmológicas y filosóficas, son extraordinarias. En primer lugar, el modelo del "big bang" y la teoría inflacionaria del Universo temprano salen fortalecidos. Por otro lado, este descubrimiento representa un triunfo más para Einstein, quien predijo la existencia de las ondas gravitacionales a través de su teoría de la relatividad general en 1916 [4]. Finalmente da lugar a una esperanza inmensa para los físicos, quienes ven por primera vez un signo de la posible unificación de la relatividad general y de la mecánica cuántica, dos teorías (una de lo infinitamente grande y la otra de lo infinitamente pequeño) irreconciliables desde hace más de cien años. Estas fluctuaciones cuánticas del espacio-tiempo en el momento del "big bang", abrirán probablemente la vía hacia una teoría de la gravedad cuántica.



Mapa completo del cielo hecho por el telescopio Europeo Planck en 2012 mostrando las pequeñísimas variaciones de temperatura actual en las diferentes direcciones de observación . La temperatura promedio del Universo es hoy de -270.42 C o, de forma equivalente, de 2.73 grados Kelvin.

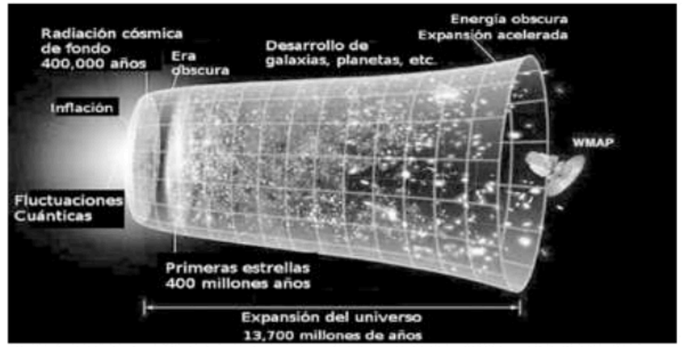


Diagrama que muestra la evolución del Universo. Nótese a la izquierda la época inflacionaria muy cerca en el tiempo del "big bang".)

Referencias.

[1] http://es.wikipedia.org/wiki/Big_Bang
[2] http://es.wikipedia.org/wiki/Big_Bang#Radiaci.C3.B3n_c.C3.B3smica_de_fondo
[3] http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_inflacionaria
[4] Presentación de ondas gravitacionales en video: https://www.youtube.com/watch?v=VxzxI5sCXfk https://www.youtube.com/watch?v=7xZZrHadY6A

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx