

# **Radiación de fondo de microondas**

**Carmen M<sup>a</sup> García Tardío**

**Clara Gómez García**

**M<sup>a</sup> Jesús Macías Castillo**

## **ÍNDICE**

I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. HISTORIA Y ORÍGENES.....	3
III. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES .....	9
IV. RELACIÓN CON LA TEORÍA DEL BIG BANG.....	12
V. OBSERVACIONES Y EXPERIMENTOS RELACIONADOS .....	17
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	19

## **I. INTRODUCCIÓN**

Si orientásemos un radiotelescopio de suficiente sensibilidad en una dirección particular del cielo, sintonizaríamos una débil señal con un máximo centrado en una frecuencia de unos 280 GHz, que corresponde al rango de las microondas en el espectro electromagnético. Incluso en nuestra casa podemos recibir una parte de la señal en un televisor sin sintonizar, siendo un porcentaje de las interferencias causado por la radiación de fondo.

Si nuestro radiotelescopio fuera capaz de sintonizar frecuencias cercanas a los 280 GHz, observaríamos que la intensidad de la señal disminuye a ambos lados de una forma particular y equivaldría a la señal que mediríamos a la salida de un cuerpo negro a unos 2,73 K. Técnicamente se suele llamar a esta señal Fondo Cósmico de Microondas.

Sólo el modelo del Big Bang nos da una respuesta simple a la existencia de este fondo de microondas.

Lemaître que fue el primero en especular sobre la física y los posibles residuos observables de las primeras fases del universo en expansión escribió:

*"La evolución del mundo puede ser comparada a una exhibición de fuegos artificiales que acaba de finalizar: algunos residuos rojos, cenizas y humo. Puesto en funcionamiento a partir de estas bien enfriadas cenizas, vemos el lento desvanecimiento de innumerables soles y tratamos de recordar el desaparecido fulgor que dio origen a los mundos".*

## **II. HISTORIA Y ORÍGENES**

La radiación de fondo de microondas fue predicha en 1948 por George Gamow, Ralph Alpher y Robert Hermann, como una reliquia de la evolución del universo primitivo, y es que la detección de CMB (*Cosmic Microwave Background*) podría ser la evidencia directa de que hubo un universo primitivo de alta densidad y temperatura.

En realidad, George Gamow y Ralph Alpher buscaban el origen de los elementos químicos, así, en esta dirección, ambos publicaron un famoso artículo en 1948 conocido como el artículo " $\alpha\beta\gamma$ " donde el nombre de Hans A. Bethe fue añadido en la firma para completar la simetría "Alpher, Bethe, Gamow". En el escrito se sugería que los elementos fueron construidos mediante una rápida captura de neutrones que se convertían en protones mediante desintegración beta. Este análisis usó la sección eficaz de captura de neutrones, de aproximadamente 1 MeV de energía, que se había hecho pública al terminar la Segunda Guerra Mundial, en un ejemplo de uso pacífico de las investigaciones que se llevaron a cabo en Los Álamos, dentro del proyecto Manhattan. Actualmente se sabe que este proceso no fue más allá de los primeros elementos de la tabla periódica. Los elementos químicos más pesados fueron formados más tarde, en el interior de las estrellas.

Sin embargo, no prestaron atención al hecho de que sus cálculos, llevado un poco más lejos, predicen la existencia de un campo de radiación que baña el universo y es equivalente al generado por un cuerpo negro en equilibrio térmico que se encuentre a una temperatura de unos 4 K, de esta forma, en 1948 Alpher y Robert Herman corrigieron algunos errores en los cálculos de Gamow e hicieron la primera estimación numérica de la temperatura del campo de CMB, de unos 5 K, aunque dos años después, se reestimó en 28 K. Existen estimaciones previas de la temperatura del universo, como la de Andrew McKellar en 1941, pero fallaban en que lo que se midió fue la temperatura efectiva del espacio y no sugieren que el espacio fue rellenado con un espectro de Planck térmico, por otra parte dependían de nuestro lugar especial en el extremo de la Vía Láctea y tampoco indicaban que la radiación es isótropa.

En 1955, Tigran Shmaonov encuentra un exceso en la emisión de microondas, con una temperatura de cerca de 3 K. Igualmente lo hacen otros investigadores, partiendo de las

observaciones de Andrew McKellar en 1941 sobre la excitación de moléculas interestelares con nitrilo.

Los resultados de 1948 de Gamow y Alpher no fueron ampliamente discutidos. Sin embargo, fueron redescubiertos por casualidad, de forma independiente y sobre la misma época, a principios de los años sesenta por Robert Henry Dicke de Princeton y por el grupo de Yaakov Borisovitch Zel'dovich en Moscú. Doroshkevich y Novikov (del grupo de Zel'dovich) señalaron en un breve artículo en 1964 que uno podría encontrar un límite de la temperatura del CMB que sería de gran utilidad, utilizando los informes publicados por los laboratorios Bell Telephone de su radiotelescopio (que capta ondas de radio procedentes del espacio) situado en Holmdel, New Jersey. Se detectó un exceso de ruido que era algo mayor que el esperado por la contribución de una antena similar. Doroshkevich y Novikov interpretaron la descripción de las propiedades de ruido de la antena como un límite superior a la temperatura del CMB, alrededor de 1 K.

La antena de los laboratorios Bell era un radiómetro, un receptor de microondas inventado por Dicke, como parte de una investigación durante la Segunda Guerra Mundial en el laboratorio de radiación del MIT. Dicke usó ese instrumento en 1946 para determinar un límite en la temperatura de la radiación de fondo cósmica, desde el tejado del laboratorio de investigación, midiendo radioondas procedentes del vapor de agua de la atmósfera terrestre, o procedentes del Sol y de la Luna, situando así el límite superior para la contribución de la "radiación de la materia cósmica" alrededor de 20 K. Informó de su descubrimiento en un ensayo que apareció en la Physical Review, pero, no teniendo ninguna explicación para el fenómeno, lo apartó de su mente.

En 1964 Dicke, aunque prácticamente no sabía nada acerca de las teorías y predicciones iniciales del Big Bang, llegó por sí mismo a la conclusión de que tenía que existir alguna radiación fósil de la infancia del universo, así pues, propuso la construcción de un radiómetro que podría ser capaz de detectar la radiación térmica procedente de las primeras fases del universo. Por aquel entonces, Dicke no estaba enterado de los problemas con el exceso de ruido en un radiómetro en Holmdel, a una treintena de millas de allí y tampoco recordaba sus propias medidas tomadas en 1946. David Todd Wilkinson y Peter Roll, y los colegas de Dicke en la Universidad de Princeton, empezaron a construir un radiómetro, siguiendo la propuesta de Dicke, para medir el fondo de radiación de

microondas, mientras que Dicke asignaba a James Peebles la labor de pensar en el posible significado teórico de la detección o de la no detección del CMB. De esta forma, Peebles redescubrió los trabajos realizados por Gamow sobre la producción de elementos ligeros y lo llevó a presentar este trabajo en un coloquio en el laboratorio de física aplicada John Hopkins situado en Baltimore donde argumentó que la temperatura del CMB podría ser tan alta como 10 K, lo cual podría estar bien dentro del alcance del experimento Roll-Wilkinson que construyeron una antena en el tejado del edificio de geología de Princeton para ver si podían conseguir hallar la radiación perdida.

En el coloquio de Baltimore estaba presente Ker Turner que tras escuchar a Peebles, transmitió sus palabras a Bernie Burke. Así, Turner y Burke, llevaron la predicción de Peebles a la institución Carnegie en Washington (entonces un centro de radioastronomía), y de allí partió la noticia hacia Arno Penzias y Bob Wilson en los laboratorios Bell Telephone en Holmdel ya que en 1965, Penzias y Wilson, que estaban intentando usar el radiotelescopio de Holmdel para fines astronómicos, no entendían el exceso de ruido que a veces se presentaba en el instrumento. Fue en un posterior encuentro entre los grupos de Princeton y Holmdel en el que llegarían a la conclusión de que el origen del exceso de ruido provenía probablemente del espacio. Como el exceso de ruido era claramente isotrópico, es decir, que no dependía de la dirección en la que la antena fuera apuntada, esta medida fue interpretada por el grupo de teóricos de Princeton como una detección directa de la CMB. Penzias y Wilson publicaron un breve artículo, a petición de Dicke, en una entrega del *Astrophysical Journal* de 1965 donde anunciaban humildemente un exceso de ruido en su antena, con el que no contaban, equivalente a una radiación isotropa de  $3.5 \pm 1.0$  K de temperatura medida a una longitud de onda de 7 cm. No podían comprender por qué los muchachos de Princeton se mostraban tan excitados acerca de su exceso de tres grados Kelvin. Este artículo no atribuía ningún significado al descubrimiento, y se limitaba a enviar a los lectores a otro artículo que aparecía en el mismo número y que ofrecía la interpretación teórica del grupo de Princeton, con Dicke a la cabeza. Ninguno de los dos artículos mencionaba los trabajos de Gamow, ni la predicción de 1948 de Alpher y Herman. Sin embargo la deuda con éstos sería reconocida posteriormente por Peebles, primero en su ya clásico texto de 1971 "Principles of Physical Cosmology" donde reconoce la labor de Gamow, y más tarde, en 1993, con su nueva

edición donde evalúa de una forma concisa los hechos históricos que condujeron al descubrimiento del CMB.

Mediciones posteriores a los años sesenta, confirmaron la evidencia: que el universo visible de galaxias y estrellas se halla permeado por una radiación a 2.7 grados Kelvin, el eco perceptible de la creación. En lo que a la mayoría de científicos se refería, el Big Bang había ganado.

La interpretación de la radiación de fondo de microondas fue un tema controvertido en los años sesenta entre los defensores de la Teoría del Estado Estacionario que defendía que el universo, aunque en expansión, mantenía la misma apariencia debido a la formación continua de nueva materia y argumentaba que el fondo de microondas era el resultado de la luz dispersada de las estrellas procedente de las galaxias distantes.

Steven Weinberg, físico teórico, escribió "Los tres primeros minutos del universo" un libro de divulgación que contiene una interesante digresión histórica sobre este punto. Fue él quien acuñó el académico nombre de Modelo Estándar, traído de la física de partículas, al modelo del Big Bang. La actitud de Weinberg cambiaría la forma de pensar de la comunidad científica, que unos años antes no estaba dispuesta a tratar con seriedad cuestiones acerca de las primeras fases del universo, y que en 1978 decidían poner un Imprimatur (una declaración oficial de la Iglesia Católica por la que se autoriza su lectura por los fieles católicos ya que está libre de error en materia de doctrina y moral católica) al Modelo Estándar concediendo el premio Nobel a Penzias y Wilson, trece años después de su descubrimiento en 1978. Por aquel entonces, muchos de los precursores de estos estudios ya no vivían: Lemaître, que fue el pionero, iba tras el descubrimiento de un modelo cosmológico que encajara con el universo real y supo del hallazgo de la radiación cósmica de fondo poco antes de su muerte en 1966. Gamow murió en 1968. Como el premio sólo se concedía a científicos vivos, el comité seleccionó a Penzias y Wilson, los dos investigadores que habían hallado la prueba de la teoría ignorando completamente a Lemaître, Gamow y todos los demás que la habían modelado.

En el momento de la concesión del premio, cosmólogos de todo el mundo estaban investigando la teoría del Big Bang cada vez con más detalle. Las circunstancias de las

primeras etapas del Big Bang fueron elaboradas en 1967 por un equipo de teóricos que incluía a William Fowler y Fred Hoyle.

Por otra parte, cuatro meses más tarde del descubrimiento de Penzias y Wilson, el radiómetro de Roll y Wilkinson detectaba radiación isótropa a una temperatura de  $3.0 \pm 0.5$  K en una longitud de onda de 3.2 cm. La consistencia con el resultado de Penzias y Wilson, a una longitud de onda unas dos veces mayor, sustentó la interpretación de una radiación térmica primordial. Las futuras medias de la radiación a diferentes longitudes de onda eran consistentes en general con una distribución de Planck, aunque aparecerían algunas discrepancias que provocarían muchas posibles interpretaciones teóricas en artículos.

La confirmación de que el espectro del CMB sigue una distribución de Planck de cuerpo negro, se produjo en 1990. Tras un detallado análisis de los datos proporcionados por el satélite COBE (Cosmic Background Explorer), se pudo fijar la temperatura actual del CMB con gran precisión en  $2.728 \pm 0.02$  K.

El satélite COBE fue lanzado el 18 de noviembre de 1989, con tres instrumentos de alta sensibilidad a bordo cuya construcción había sido propuesta por tres grupos dependientes de la NASA en 1974, y con el objetivo de revolucionar nuestro conocimiento observacional en cosmología. Y lo consiguieron, convirtiendo a esta misión científica en una de las más rentables de la astronomía espacial, al lado de misiones como International Ultraviolet Explorer (IUE) o IRAS (Infra-Red Astronomy Satellite).

En el año 2006 los astrofísicos estadounidenses John C. Mather y George F. Smoot obtuvieron el Premio Nobel de Física por sus investigaciones sobre la radiación de fondo de las microondas cósmicas y el origen del universo. Sus trabajos están basados en las mediciones realizadas con ayuda del satélite COBE, lanzado por la NASA en 1989, en cuyos resultados sustentaron sus investigaciones sobre el escenario de los primeros segundos tras el Big Bang.

Si la mera detección de la radiación de fondo sólo pudo realizarse casi 20 años después de su predicción teórica dentro del modelo del Big Bang, debido a lo débil de su



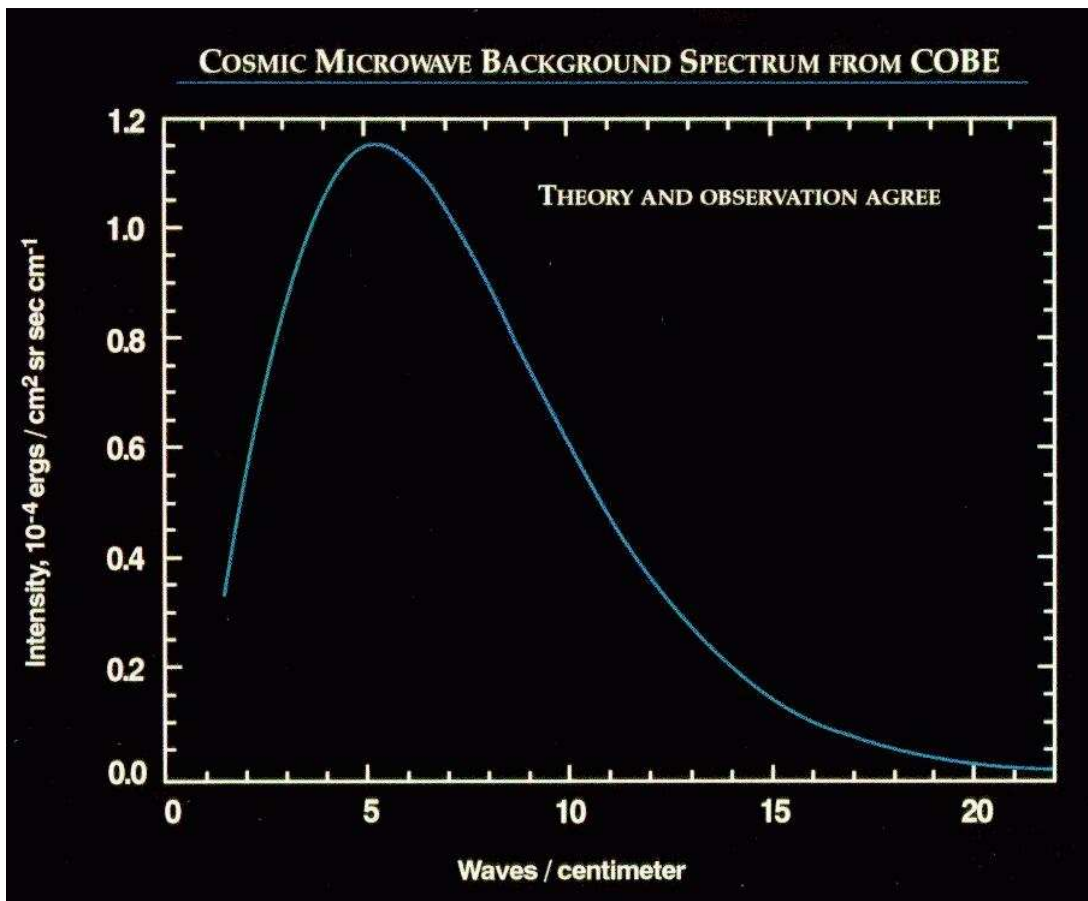
señal, la medida más precisa de su distribución energética, resultó un auténtico reto para los astrofísicos.

Podemos considerar esto aún más complicado teniendo en cuenta que la señal cosmológica se mezclaba con otras emisiones astrofísicas, producidas por nuestra galaxia y por las demás galaxias. Además, su observación desde tierra estaba limitada a unas estrechas *ventanas* en el rango de las microondas ya que la atmósfera emite y absorbe en dicho rango. Ello requería buscar lugares extremadamente secos o, mejor aún, montar experimentos a bordo de globos estratosféricos o satélites artificiales que evitaran totalmente la presencia atmosférica.

Tras las observaciones de Edwin Hubble, quien había demostrado la expansión del universo midiendo el desplazamiento al rojo de galaxias distantes, esta detección de Penzias y Wilson marca un segundo auge de nuestro itinerario cosmológico. Es difícil sobreestimar su importancia. Confirma la tesis de un universo dinámico, en expansión y enfriamiento desde hace varios miles de millones de años. En lo sucesivo, la gran mayoría de los físicos y astrofísicos ya la consideran inevitable.

### III. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La radiación de fondo de microondas es isótropa. El espectrofotómetro *FIRAS* (en inglés *The Far-Infrared Absolute Spectrophotometer*) en el satélite COBE de la NASA ha medido cuidadosamente el espectro de la radiación de fondo de microondas. El FIRAS comparó el CMB<sup>1</sup> con un cuerpo negro de referencia y no se pudo ver ninguna diferencia en sus espectros. Cualquier desviación del cuerpo negro que pudiera seguir estando sin detectar en el espectro del CMB sobre el rango de longitudes de onda desde 0,5 a 5 mm tendría que tener un valor de unas 50 partes por millón del pico de brillo del CMB. Esto hizo del espectro del CMB el cuerpo negro medido de manera más precisa en la naturaleza.



<sup>1</sup> The Cosmic Microwave Background Spectrum from the full COBE FIRAS data set.

Esta radiación es una predicción del modelo del Big Bang, ya que según este modelo, el universo primigenio era un plasma compuesto principalmente por electrones, fotones y bariones (protones y neutrones). Los fotones estaban constantemente interactuando con el plasma mediante la dispersión Thomson. Los electrones no se podían unir a los protones y otros núcleos atómicos para formar átomos porque la energía media de dicho plasma era muy alta, por lo que los electrones interactuaban constantemente con los fotones mediante el proceso conocido como dispersión Compton, que como sabemos, consiste en el aumento de la longitud de onda de un fotón de rayos X cuando choca con un electrón libre y pierde parte de su energía. A medida que el universo se fue expandiendo, el enfriamiento adiabático (del que el *corrimiento al rojo*<sup>2</sup> cosmológico es un síntoma actual) causado porque el plasma se enfría hasta que sea posible que los electrones se combinen con protones y formen átomos de hidrógeno. Esto ocurrió cuando esta alcanzó los 3000 K, unos 380000 años después del Big Bang. A partir de ese momento, los fotones pudieron viajar libremente a través del espacio sin colisionar con los electrones dispersos. Este fenómeno es conocido como Era de la recombinación y descomposición, la radiación de fondo de microondas es precisamente el resultado de ese periodo. Al irse expandiendo el universo, esta radiación también fue disminuyendo su temperatura, lo cual explica por qué hoy en día es sólo de unos 2,7 K. La radiación de fondo es el ruido que hace el universo. Se dice que es el eco que proviene del fin del universo, o sea, el eco que quedó de la gran explosión que dio origen al universo.

Los fotones han continuado enfriándose desde entonces, actualmente han caído a 2,725 K y su temperatura continuará cayendo según se expanda el Universo. De la misma manera, la radiación del cielo que medimos viene de una superficie esférica, llamada superficie de la última dispersión, en la que los fotones que se descompusieron en la interacción con materia en el Universo primigenio, hace 13700 millones de años, están observándose actualmente en la Tierra. El Big Bang sugiere que el fondo de radiación cósmico rellena todo el espacio observable y que gran parte de la radiación en el Universo está en el CMB, que tiene una fracción de aproximadamente  $5 \cdot 10^{-5}$  de la densidad total del Universo.

---

<sup>2</sup> Se define como un incremento en la longitud de onda de radiación electromagnética recibidas por un detector comparado con la longitud de onda emitida por la fuente.

Dos de los grandes éxitos de la teoría del Big Bang son sus predicciones de este espectro de cuerpo negro casi perfecto y su predicción detallada de las anisotropías en el fondo cósmico de microondas. El reciente WMAP ha medido precisamente estas anisotropías sobre el cielo por completo a escalas angulares de  $0,2^\circ$ . Estas se pueden utilizar para estimar los parámetros del Modelo Lambda-CDM<sup>3</sup> estándar del Big Bang. Alguna información, como la forma del Universo, se puede obtener directamente del CMB, mientras otros, como la constante de Hubble, no están restringidos y tienen que ser inferidos de otras medidas.

---

<sup>3</sup> Es una abreviatura empleada en cosmología para *Lambda-Cold Dark Matter*. Representa al modelo de concordancia del big-bang que explica las observaciones cósmicas realizadas sobre la radiación de fondo de microondas, así como la estructura a gran escala del universo.

## **IV. RELACIÓN CON LA TEORÍA DEL BIG BANG**

El ser humano siempre ha intentado saber de dónde venía. Las teorías creacionistas han funcionado durante siglos y siglos. Pero un día, a alguien le dio por mirar al cielo y preguntarse cómo funcionaría todo aquello tan bonito. Entonces llegó Newton y descubrió la gravedad. Los cuerpos se atraen entre sí de manera que deberían ir acercándose hasta juntarse. Newton no tenía respuesta para eso pero llegó a la conclusión que el universo era infinito, así que siempre encontraríamos un grupo de estrellas un poco más allá que impedirían que las más cercanas se juntaran, llegando a un equilibrio. Pero si eso fuera así, cada uno de los puntos del cielo a los que miramos acabaría en una estrella, es decir, en un punto de luz. Por lo que la noche estaría tan iluminada como el día.

Algunos físicos, a principios del s. XX detectaron que algunas galaxias y nebulosas estaban separándose de nosotros. Así que el universo se expandía. De tal manera, que ya no hacía falta un universo infinito. Sólo había que encontrar la causa de esa expansión.

El primero en proponer la teoría del Big Bang fue George Gamow, un ruso nacionalizado estadounidense. El modelo del Big Bang nos describe el origen y la evolución del Universo. Según éste, en el principio de los tiempos, toda la materia del Universo se encontraba concentrada en una región de tamaño muy pequeño, tan pequeño como un átomo, y, debido a una gran explosión, el Universo se expandió. Al expandirse se enfrió y mientras se enfriaba, la materia se iba transformando. Estaba lleno de partículas elementales, incluyendo radiación electromagnética, en continua interacción y distribuyéndose muy uniformemente por todo el espacio.



**Representación gráfica del Big Bang**

Unos 380.000 años después de la Gran Explosión, dicha radiación se había enfriado debido a la expansión, hasta tal punto que ya no tenía suficiente energía para ionizar los átomos de hidrógeno. A partir de este momento la radiación se separa del resto de las partículas pudiéndose mover libremente a través del universo.

Gamow estimaba que si la temperatura del universo había sido de mil millones de grados tres minutos después del Big Bang, entonces el cosmos debería mostrar todavía signos de esta primitiva fase supercaliente

Esta radiación, que podemos observar hoy en día en el rango de las microondas, con una temperatura de unos 270 grados centígrados bajo cero, y que contiene información muy valiosa de las épocas más tempranas del universo, es lo que se conoce como el *Fondo Cósmico de Microondas*, lo que da un punto a favor a la teoría del Big Bang, ya que, si ésta era cierta, debía quedar un pequeño rastro, ya que es una radiación emitida unos trescientos mil años después de la Gran Explosión que dio origen al Universo.

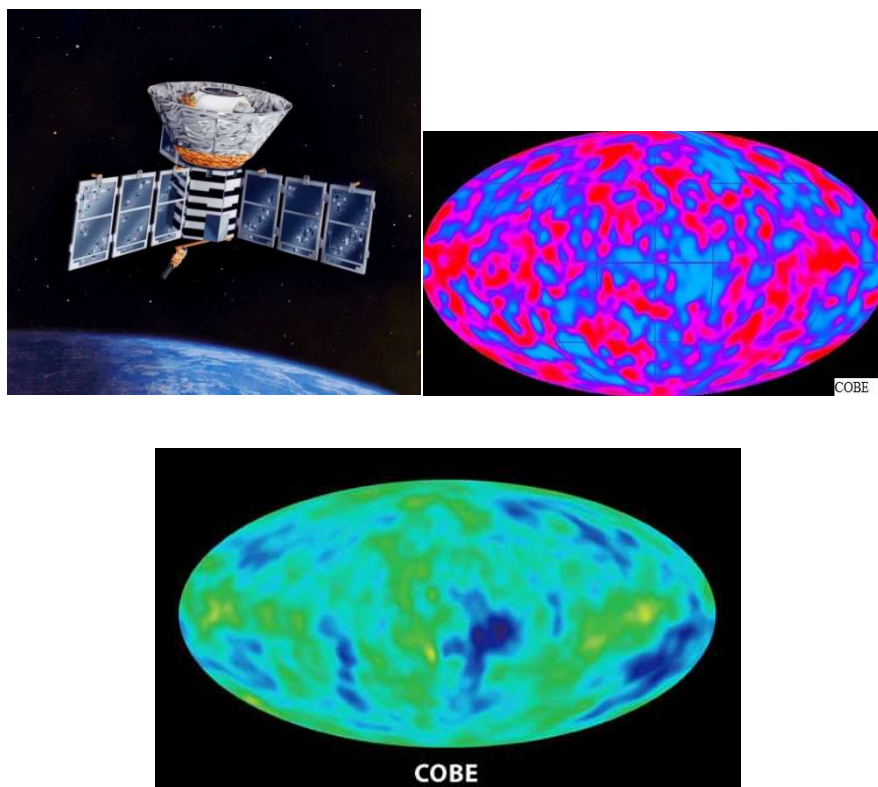
Así pues, el Fondo Cósmico de Microondas es una de las pruebas fundamentales de la existencia del Big Bang, ya que estaba predicho y ha sido confirmado por la observación.

El descubrimiento de esta radiación implicó que la mayor parte de la comunidad científica aceptase el modelo del Big Bang en contraposición al entonces modelo competidor del estado estacionario, según el cual el universo mantenía la misma apariencia debido a la formación continua de nueva materia.

De acuerdo a la última versión del paradigma, el Universo pasó, fracciones de segundo después de la Gran Explosión, por una fase "inflacionaria" (una explosión dentro de la explosión), un cambio de fase, en la cual se habrían producido irregularidades, como grietas en un campo de hielo, las que habrían servido de origen para posteriores fluctuaciones gravitacionales. Estas estructuras atraían las partículas recién formadas produciendo zonas de alta densidad. Estas son las estructuras cuyas imágenes quedaron impresas en el Fondo Cósmico de Microondas. Escapaban a la detección de los científicos debido a que aparecen extraordinariamente débiles, producto de las grandes distancias que han debido viajar: 14 mil millones de años luz.

Si la mera detección de la radiación de fondo sólo pudo realizarse casi 20 años después de su predicción teórica dentro del modelo del Big Bang, debido a lo débil de su señal, la medida más precisa de su distribución energética, resultó un auténtico reto para los astrofísicos.

En la década de los 90, el Explorador Cósmico de Microondas COBE (Cosmic Background Explorer), dio lugar a dos resultados claves que marcaron la cosmología actual. Su objetivo fue investigar la radiación de fondo de microondas y obtener medidas de la misma que ayudaran a ampliar nuestra comprensión del cosmos. Su misión, planificada para un período de alrededor de 4 años, comenzó el 18 de noviembre de 1989. El COBE llevaba un espectrómetro para descomponer la radiación cósmica de microondas en diferentes longitudes de onda y medir su intensidad en cada una de ellas con una precisión extraordinaria.



**Primera imagen del COBE de las irregularidades del Fondo Cósmico de Microondas.**

Estos dos resultados claves que mostró el COBE fueron:

- La distribución de energías en longitudes de onda de la radiación del fondo cósmico correspondía a la de un cuerpo negro a una temperatura de aproximadamente 270.37 grados bajo cero. Este resultado demostraba de forma inequívoca que la radiación cósmica provenía de un pasado denso y caliente del universo.
- Las anisotropías (diferencias entre dos direcciones en el cielo) en la temperatura de dicha radiación. Se establecía así, por primera vez, la conexión entre las anisotropías del fondo cósmico y la estructura a gran escala del universo.

En resumen, la huella de las semillas iniciales en la distribución de materia, que dieron lugar por colapso gravitatorio a las estrellas, galaxias y aglomeraciones de galaxias estaba impresa en las anisotropías de la radiación de fondo como consecuencia de la interacción inicial en el plasma primigenio.

Recientemente varios experimentos han confirmado estas observaciones mejorando dichas medidas tanto en sensibilidad como en resolución.

Este gran avance en nuestra observación del universo ha sido sólo posible por el rápido desarrollo de instrumentos muy sensibles a la radiación, en todo el rango de longitudes de onda, desde radio hasta Rayos X.

El *Planck* será el tercer satélite destinado a la observación del fondo cósmico. La elevada sensibilidad del telescopio Planck permite detectar variaciones de temperatura de pocas millonésimas de grado. Gracias a su extraordinario instrumental es capaz de medir fluctuaciones de la Radiación Cósmica de Fondo de Microondas con una precisión nunca antes lograda.

Pero en el *Big Bang* se encuentra con unas cuantas dificultades, y alguna de ellas, serían:

- Imaginemos el universo. Tenemos partículas alejadísimas entre si, por lo que el hecho de que todas las partículas tengan la misma temperatura sería imposible. Lo que los físicos esperaban era que el calor residual que quedara de aquella



explosión variara mucho en función de la dirección en la que la tomáramos la temperatura. Pero, en realidad, siempre da el mismo. Eso juega en contra del *Big Bang*.

Esta primera dificultad la podemos asemejar a una barra de hierro. Si encendemos un fuego y acercamos la barra, las moléculas que estén cerca del fuego se calentarán, y éstas calentarán a sus vecinas hasta que toda la barra tenga la misma temperatura. Pero si esta barra fuera enorme, nos costaría mucho que el calor llegara a los lugares más alejados. Es decir, sería difícil conseguir un equilibrio térmico.

- En nuestra vida cotidiana, observamos objetos con diversas formas geométricas (planos, esferas...). Las mediciones dicen que vivimos en un universo *casi* plano. El problema es que un universo *casi* plano debería derivar muy rápido en uno esférico. Y eso no es lo que está sucediendo. Sigue siendo *casi* plano.

La *teoría del Big Bang* tiene muchos puntos a favor y está muy aceptada por la comunidad científica. Pero eso no quiere decir que no tenga puntos débiles ni que tenga que ser lo que, en realidad, sucedió.

## **V. OBSERVACIONES Y EXPERIMENTOS RELACIONADOS**

Tras el descubrimiento de la radiación de fondo de microondas, se han realizado muchos experimentos para conocer su naturaleza y medirla.

Destaca el satélite COBE de la NASA orbitando entre 1989-1996, que demostró en 1990 que el fondo de microondas tiene un espectro de cuerpo negro, y por lo tanto respalda fuertemente el modelo del Big Bang y la historia térmica del Universo, también restringe la densidad del medio intergaláctico. Por otra parte, COBE en experimentos posteriores, detectó y cuantificó las anisotropías de gran escala al límite de sus capacidades de detección.

Se desarrollaron en la siguiente década experimentos basados en los resultados del COBE para cuantificar las anisotropías del CMB en pequeñas escalas angulares, principalmente el primer pico acústico ya que el COBE no tenía la suficiente resolución.

Durante los años 1980, el primer pico fue medido con una sensibilidad creciente y en el año 2000, el experimento *Boomerang* reportó que las fluctuaciones de mayor energía ocurrían a escalas de aproximadamente un grado. Junto con otros datos cosmológicos, estos resultados implican que la geometría del Universo es plana. Varios interferómetros proporcionaron medidas de fluctuaciones de gran precisión durante los tres años siguientes, incluyendo el Very Small Array, Degree Angular Scale Interferometer (DASI), que detectó la polarización del CMB, y el Cosmic Background Imager (o CBI) que obtuvo el espectro de polarización del CMB.

En junio de 2001, la NASA lanzó el WMAP para realizar medidas mucho más precisas de las anisotropías a gran escala en todo el cielo. En 2003 se conocieron los primeros resultados que fueron medidas detalladas del espectro de potencia angular en las escalas más bajas. Aunque el WMAP proporcionó medidas muy exactas de las fluctuaciones a grandes escalas angulares en el CMB, no tendrían resolución angular suficiente para medir las fluctuaciones a pequeña escala que habían sido observadas utilizando interferómetros terrestres, como el CBI.

***Radiación de Fondo de Microondas.***

***Carmen M<sup>a</sup> García Tardío***

***Física Estadística.***

***Clara Gómez García***

***M<sup>a</sup>Jesús Macías Castillo***

Una tercera misión espacial del programa científico Horizon 2000 de la Agencia Espacial Europea, el Planck Surveyor, se lanzó el 14 de mayo de 2009. Está diseñado para detectar las anisotropías en el fondo cósmico de microondas en todo el cielo, con una resolución y sensibilidad sin precedentes. Planck será una fuente muy valiosa de datos con los que se comprobarán las teorías actuales sobre el universo primitivo y los orígenes de las estructuras cósmicas.

Los instrumentos terrestres adicionales como el Telescopio del Polo Sur en la Antártida, el propuesto Proyecto Clover, el Telescopio Cosmológico de Atacama y el proyecto Quiet en Chile proporcionarán datos adicionales no disponibles en las observaciones de satélite, posiblemente incluyendo la polarización del modo B.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- [http://www.astrocosmo.cl/h-foton/h-foton-09\\_01.htm](http://www.astrocosmo.cl/h-foton/h-foton-09_01.htm)
- <http://www.astronomia.net/cosmologia/CMB.htm>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_de\\_fondo\\_de\\_microondas](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_de_fondo_de_microondas)
- <http://www.oarval.org/CMBsp.htm>
- <http://aether.lbl.gov/www/science/cmb.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Planck\\_Surveyor](http://es.wikipedia.org/wiki/Planck_Surveyor)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Edwin\\_Hubble](http://es.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/COBE>
- [http://www.elpais.com/articulo/futuro/Big/Bang/fondo/cosmico/microondas/elpepusocfut/20061011elpepifut\\_1/Tes](http://www.elpais.com/articulo/futuro/Big/Bang/fondo/cosmico/microondas/elpepusocfut/20061011elpepifut_1/Tes)
- <http://www.faq-mac.com/noticias/37340/secretos-big-bang-desvelados-imagenes-radiacion-fondo-microondas#>
- <http://albertolacasa.es/big-bang-la-teoria-del-microondas/>
- <http://www.circuloastronomico.cl/reportajes/fondocosmico.html>
- Seife, Charles (2003). El gran paso adelante del año: Iluminando el Universo Oscuro. *Science* **302** 2038–2039.
- Partridge, Robert Bruce (1995). *3000: El Fónfo de Radiación de Microondas*. New York: Cambridge University Press.
- Archivo Legado de la NASA para el análisis de Datos del fondo de microondas (LAMBDA)
- Wayne Hu's La Física de las anisotropías del Fondo de Microondas. Una extensa colección de tutoriales del fondo de microondas, animaciones y revisiones describiendo la física detrás del fondo de microondas. El rango de materiales en detalle desde las introducciones populares hasta las discusiones técnicas.
- López, Cayetano (1999). UNIVERSO SIN FIN. Madrid, Ediciones Taurus.
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Dispersi%C3%B3n\\_Compton](http://es.wikipedia.org/wiki/Dispersi%C3%B3n_Compton)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Corrimiento\\_al\\_rojo](http://es.wikipedia.org/wiki/Corrimiento_al_rojo)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_Lambda-CDM](http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_Lambda-CDM)