

SOBRE EL FONDO CÓSMICO DE RADIACIÓN

(por Lic. Florencia Anabella Teppa Pannia)

Según el Modelo Estándar de la Cosmología, el Universo tuvo su origen hace aproximadamente 13 mil millones de años, en lo que se conoce comúnmente como “Big Bang” o gran explosión. El universo era entonces tan caliente (temperaturas de cien mil millones de grados Kelvin), que la materia no existía tal como la conocemos hoy en día. Las partículas elementales no estaban agrupadas en átomos, sino que se encontraban en constante interacción unas con otras, en lo que podemos imaginar como una gran sopa cósmica, compuesta por electrones, positrones, neutrinos, y fotones o partículas de luz. También había protones y neutrones, aunque en muchísima menor proporción, tan sólo un protón o neutrón por cada mil millones de electrones, positrones o fotones.

El universo atravesó una breve etapa de rápida expansión y, como consecuencia, se fue enfriando y volviéndose menos denso. Apenas algunos segundos después del “Big Bang”, la temperatura del fluido de partículas descendía a pocos miles de millones de grados, y cerca de los tres minutos la temperatura y la densidad disminuyeron lo suficiente como para que los protones y los neutrones comenzaran a formar los primeros núcleos atómicos livianos, como el núcleo de hidrógeno (un protón y un neutrón) y el núcleo de helio (dos protones y dos neutrones). La sopa cósmica quedó entonces compuesta, en su mayor parte, por los núcleos de elementos livianos y los electrones y fotones interactuando entre sí. Esta fase de la evolución del universo se conoce como etapa de nucleosíntesis.

La expansión continuó, y el universo siguió enfriándose y volviéndose menos denso. Tiempo más tarde, alrededor de 300.000 años después del “Big Bang”, la temperatura fue lo suficientemente baja, aproximadamente 3.000°K, como para permitir que los núcleos atómicos comenzaran a capturar electrones libres, y así formar los primeros átomos de hidrógeno y de helio. Los electrones que entonces pasaron a formar parte de los átomos pararon de interactuar con los fotones, dejando que estos últimos comenzaran a viajar libremente por el universo, sin ser desviados de sus trayectorias, a medida que continuaba la expansión. Esta radiación primordial continuó en viaje hasta hoy y es lo que se conoce como *fondo cósmico de radiación*, también nombrado en la literatura como CMB, por sus siglas en inglés *Cosmic Microwave Background*. Los fotones del fondo cósmico nos traen la información más remota del universo primitivo, y hoy en día conforman uno de los pilares fundamentales de la cosmología observacional de alta precisión.

El fondo cósmico de radiación fue conjeturado en la década de 1940 por el físico y astrónomo George Gamow y sus colaboradores. Gamow sostenía que, en el momento del desacople entre la radiación y los electrones, la sopa cósmica debía hallarse en equilibrio térmico. La intensidad de la radiación, bajo estas condiciones, puede calcularse con un espectro de cuerpo negro. Esto es, que la cantidad de energía por unidad de volumen para una dada longitud de onda queda determinada por una fórmula universal, la función de Planck, que depende sólo de la temperatura de los fotones y cuya su curva se muestra en la Figura 1. Al dejar de interactuar con los electrones, los fotones primordiales habrían conservado desde entonces esta distribución de energía, aunque su temperatura característica sería hoy en día considerablemente más baja como consecuencia de la expansión del universo.

Sin embargo, fue recién en el año 1964 que el físico Arno A. Penzias y su colaborador Robert W. Wilson observaron por primera vez el fondo cósmico de radiación. Penzias y Wilson, que trabajaban en lo Laboratorio Bell de New Jersey, estaban probando una antena radioastronómica para

medir la emisión de nuestra galaxia en frecuencias de radio. Durante el transcurso de sus observaciones detectaron una señal en el rango de las microondas que interpretaron, en un primer momento, como ruido espurio en la antena con la que estaban trabajando. La señal parecía provenir de todo el cielo, siendo su intensidad independiente de la dirección en la que se observara. En 1965 publicaron su descubrimiento, hecho que les valió el Premio Nobel de Física en el año 1978.

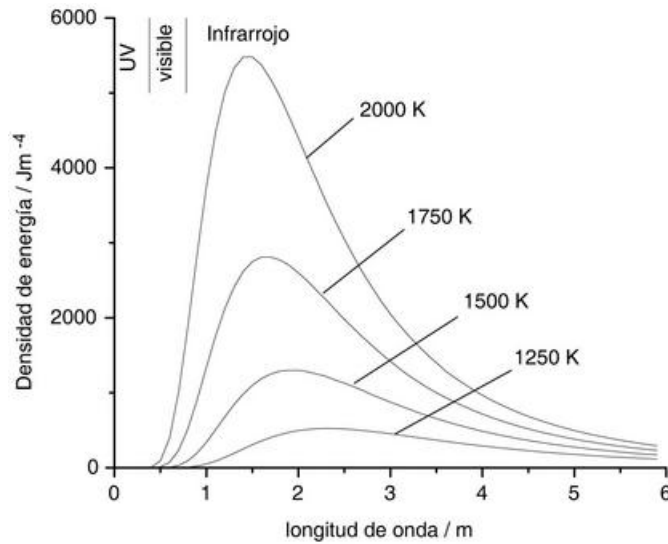


Figura1: Intensidad de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro descrita por la Ley de Planck. Cada curva corresponde a una temperatura característica diferente.

Importantes misiones espaciales fueron impulsadas para estudiar el fondo cósmico de radiación. En el año 1989 se lanzó el satélite COBE (*Cosmic Background Explorer, NASA*), la primera misión diseñada para recoger datos cosmológicos. En 2001 se puso en órbita la sonda WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, NASA*), y las observaciones de la radiación primordial de las que se dispuso entonces representaron un salto abismal en el desarrollo de la cosmología de las últimas décadas. En la figura 2, se muestran los diferentes mapas de temperatura del fondo cósmico de radiación obtenidos con los instrumentos anteriormente mencionados. Con el avance de la tecnología, fue posible mejorar extraordinariamente la precisión de los datos recogidos por las misiones espaciales. En el año 2009, se lanzó el satélite Planck (*Planck Collaboration, ESA*), con el desafío de mejorar sustancialmente la calidad de las observaciones del fondo cósmico de radiación. A comienzos de este año 2015 se dieron a conocer los datos finales recogidos por esta misión (figura 3).

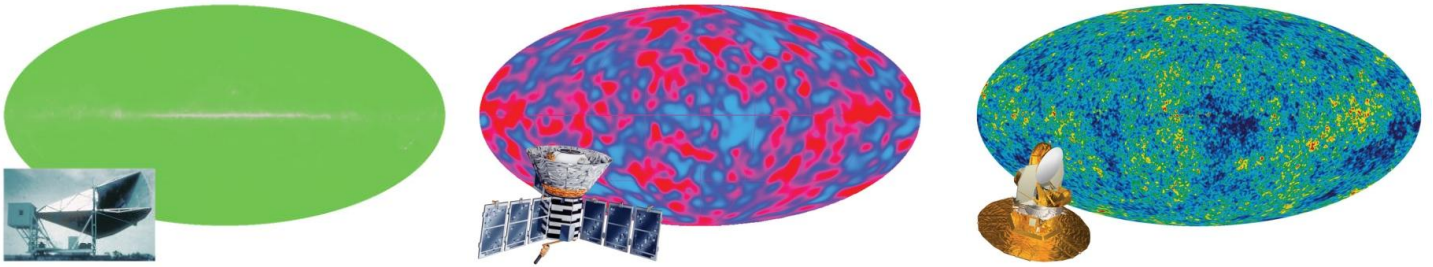


Figura 2: Mapas de temperatura del fondo cósmico de radiación obtenidos con distintos instrumentos. Los mapas representan la totalidad del cielo y cada punto indica la temperatura de la radiación primordial en una dada dirección. *Izquierda*: antena radioastronómica del Laboratorio Bell (New Jersey, Estados Unidos); *centro*: misión COBE (NASA); *derecha*: misión WMAP (NASA) (<http://www.nature.com/news/planck-snaps-infant-universe-1.12671>).

Los mapas de temperatura del fondo cósmico de radiación ajustan con alta precisión la emisión de un cuerpo negro con una temperatura efectiva de $2.75 \text{ }^\circ\text{K}$ y, analizados en el marco del Modelo Estándar de la Cosmología, son consistentes con la reconstrucción que tenemos de los primeros minutos de la historia del universo, de los cuales no nos llega información directa. Un análisis más detallado muestra en los mapas ciertas irregularidades. Estas anisotropías en la temperatura son el reflejo de las sobredensidades en la distribución de materia primordial, que dieron lugar a la formación de las estructuras que observamos hoy en día en el universo.

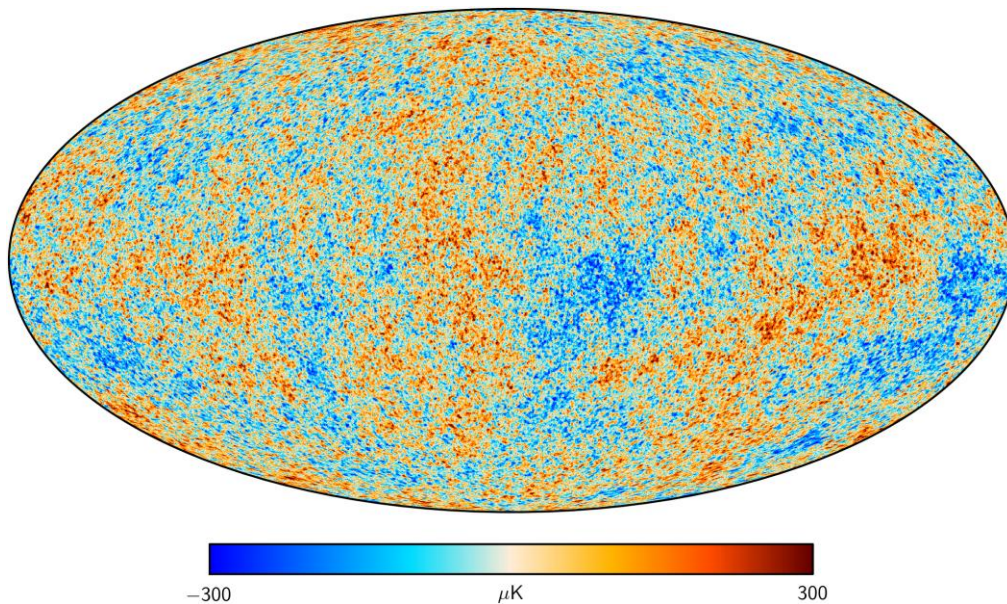


Figura 3: Mapa de temperaturas del fondo cósmico de radiación obtenido por el satélite Planck (<http://www.cosmos.esa.int/web/planck/home>)

Referencias:

- Wienberg, S. (1977). *The First Three Minutes: A modern view of the origin of the universe*. EE.UU.: Fontana Paperbacks.
- NASA (1989) *Cosmic Background Experiment*.
Recuperado de <http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>
- NASA (2001) *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*.
Recuperado de <http://map.gsfc.nasa.gov/>
- ESA (2009) *Planck Collaboration*.
Recuperado de <http://www.cosmos.esa.int/web/planck/home>

Sobre la autora:

La Lic. **Florencia Anabella TEPPA PANNIA** obtuvo su título de Licenciada en Astronomía en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAGLP) en noviembre de 2010. Su trabajo de tesis de licenciatura se tituló "Variación espacial del cociente masa del electrón/masa del protón: estudio de modelos teóricos y comparación con datos astronómicos y experimentales" y fue dirigido por la Dra. Susana J. Landau (IF-UBA).

Desde 2011 es alumna de la Carrera de Doctorado en Astronomía, con orientación a la Cosmología, bajo la dirección de los profesores Dr. Santiago E. Perez Bergliaffa (Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil) y el Dr. Gustavo E. Romero (IAR-CONICET, FCAGLP). El tema de desarrollo "Modelos cosmológicos inhomogéneos". También ha realizado trabajos sobre teorías de gravedad modificada, $f(R)$, con aplicaciones en astrofísica y cosmología.