

## EN EL 65° ANIVERSARIO DEL ENUNCIADO DE LA TEORÍA DEL BIG BANG

por *Patricio A. A. Laura\** y *Daniel Pasqua\*\**

### RESUMEN

De acuerdo a noticias recibidas en el presente año, el satélite COBE en una misión planificada y posteriormente analizado por científicos de la NASA ha obtenido información que constituye, en principio, una trascendente verificación de la teoría cosmológica del Big Bang de creación del Universo.

Sin efectuar alarde alguno de originalidad se presentan en este trabajo algunas consideraciones de carácter histórico-científico destacando la obra del "padre de la teoría del Big Bang": el sacerdote católico belga y astrofísico, Georges Lemaitre.

### ABSTRACT

NASA's Cosmic Background Explorer Satellite -COBE- has found what astronomers and cosmologists have been seeking for almost 3 decades: an almost imperceptible pattern of warm and cool patches in the cosmic microwave background radiation which is in agreement with the predictions of the Big Bang theory.

No claim of originality is made in the present work. Some historical and scientific considerations are presented and special credit is given to the "father of the Big Bang theory": the astrophysicist and Roman Catholic priest Georges Lemaitre.

## 1. INTRODUCCION

Dice P. Davies (Ref. 1):

"Una de las lecciones más saludables que hemos aprendido de la moderna astronomía es la de que la Tierra es completamente insignificante comparada con la inmensidad del Cosmos. Esto no solamente quiere decir que el Universo es grande, aunque desde luego es más grande de lo que nadie pueda llegar a imaginar. El descubrimiento que nos hace más humildes es el de que el astro que una vez se creyó el centro de la creación no es más que un lugar de lo más

común. La Tierra, los planetas, incluso el Sol, no son más que algunos de los incontables miles de millones de cuerpos similares esparcidos por todo el espacio sin límite aparente. Nuestro Sol no es sino una estrella típica y normal, como los millones y millones de ellas que nos rodean y que se agrupan con sus vecinas en una gigantesca estructura en forma de disco que llamamos la galaxia de la Vía Láctea. Esta galaxia -la nuestra- contiene alrededor de cien mil millones de estrellas, que junto con grandes cantidades de gas y polvo se arremolinan como en una gran rueda de fuegos artificiales y que giran alrededor de su centro una vez cada 250 millones de años aproximadamente. Presenta un núcleo central, en el que las estrellas se agrupan más densamente, rodeado por varios brazos enrollados a su alrededor formando una especie de espiral. El Sol está situado cerca en uno de estos brazos.

\* Director-Fundador Instituto de Mecánica Aplicada (CONICET-SENID-ACCE); Profesor Titular Universidad Nacional del Sur.

\*\* Profesional Adjunto (CONICET)

La Vía Láctea es muy grande. La luz, que viaja a la asombrosa velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, tarda más de 100.000 años en atravesarla de un lado a otro. Para hacernos una idea de la extraordinaria velocidad de la luz, basta decir que tarda solamente 500 segundos en recorrer los 150 millones de kilómetros de distancia que separan el sol de la Tierra. Dado que las distancias astronómicas son tan grandes, conviene medirlas en años luz mejor que en kilómetros. Un año luz equivale a unos 9,5 billones de kilómetros. Así pues, nuestra Vía Láctea tiene 100.000 años luz de diámetro. Las galaxias son los "átomos" de la cosmología, los bloques básicos de que consta el Universo. Con los modernos telescopios se pueden observar muchos miles de millones de galaxias; es decir, miles de millones de estructuras gigantescas, cada una de las cuales contiene un promedio de cien mil millones de estrellas como el Sol. Una galaxia vecina, cercana a la nuestra, es la Gran Nebulosa de Andrómeda, apenas perceptible a simple vista. Se halla a algo más de un millón y medio de años luz de nosotros. Las galaxias más distantes que se conocen están a varios miles de millones de años luz de nosotros y no existe razón alguna para dudar de que si pudiésemos observar a distancias superiores encontraríamos todavía más galaxias."

Por otra parte el hombre es un "animal científico" (Ref. 2). Lo es en virtud de su racionalidad teórica y en virtud de que "la ciencia es una de las actividades fundamentales del hombre en cuanto ser racional" (Ref. 2, pág. 9).

El hombre tiende por naturaleza al ejercicio de la mencionada racionalidad teórica, por su vocación profunda al conocimiento de la verdad.

Desde el punto de vista de esa búsqueda que no posee final, una de las cuestiones que ha atraído al hombre con mayor firmeza lo constituyen tanto la *creación como la evolución del Universo*.

Hasta hace unos setenta años todavía se creía que el Universo era inmutable.

El desplazamiento hacia el rojo en la luz procedente de lejanas galaxias mostró que éstas continúan alejándose en el Universo.

## 2. La Teoría de la Relatividad Generalizada y sus Predicciones Sobre el Origen y Comportamiento del Universo.

Como opina R. W. Smith (Ref. 3) "...un sentido estético motivaba frecuentemente a los cosmólogos en sus explicaciones de las observaciones experimentales."

Fue Einstein quien, con su teoría de la relatividad generalizada desarrollada entre los años 1915 y 1917, proveyó la herramienta fundamental de cálculo que hizo posible la moderna cosmología del siglo XX. En las ecuaciones de campo de la relatividad general obtenidas en 1917, Einstein introdujo la constante cosmológica  $\lambda$ . De esta manera Einstein aseguró, desde un punto de vista matemático, la existencia de un Universo estático. Años después Einstein consideraría que la introducción de esta constante fue el "peor disparate" de su vida, según sus propias palabras.

Es comúnmente aceptado (Ref. 3) que "la idea de un Universo en expansión, al menos en el sentido matemático, se remonta a dos trabajos publicado por el matemático y meteorólogo ruso Alexander Friedmann publicados en 1922 y 1924".

El punto de partida de Friedmann fueron las ecuaciones de campo de la relatividad generalizada desarrolladas por Einstein en 1917 y que eran de la forma (Ref. 3).

$$R_{mn} - \frac{1}{2} g_{mn} R - \lambda g_{mn} = \kappa T_{mn}$$

donde  $T_{mn}$  es el tensor de energía - cantidad de movimiento y  $R_{mn}$  es el tensor de Ricci.

Utilizando varias suposiciones simplificativas Friedmann obtuvo

$$ds^2 = dt^2 - [R^2(t)/c^2] d\sigma^2$$

donde  $d\sigma^2$  es la métrica del espacio tridimensional.

Friedmann estudió casos en que R es una constante o que varía con el tiempo concluyendo que se obtenían soluciones no esta-

cionarias con curvatura espacial tanto positiva como negativa. Sin embargo Friedmann se preocupó solamente por dichas soluciones no estacionarias desde un punto de vista matemático y no buscó el significado físico de las mismas ni tampoco realizó esfuerzos (al menos que se conozcan actualmente) para vincular dichas conclusiones matemáticas con observaciones astronómicas conocidas y en discusión en ese momento. Cabe destacar el hecho de que si bien el trabajo clásico de Edwin P. Hubble demostrando que la velocidad de las galaxias se incrementa linealmente con la distancia a un observador fue publicado en 1929, ya Vesto Melvin Slipher había determinado en 1912 que la velocidad de acercamiento de la "nebulosa" Andrómeda era de 300 km/seg. Por otra parte, en 1914, en un Congreso de la American Astronomical Society, Slipher comunicó sus resultados mostrando velocidades radiales de 15 "nebulosas en espiral", en su mayoría en receso, y que la mayor de esas velocidades era de aproximadamente 1100 km/seg. Este descubrimiento fue considerado como "una de las sorpresas mayores que los astrónomos habían encontrado en tiempos recientes" (Ref. 3). Posteriormente Hubble demostró que Andrómeda era una galaxia externa.

Como lo expresa claramente R. W. Smith (Ref. 3) "la primera persona que unió teoría y experimento de manera tal que serían considerados como físicamente interpretables dentro del marco general del concepto de Universo en expansión...fue el sacerdote católico belga de 33 años, profesor de la Universidad de Lovaina, Georges Lemaître".

En 1927 Lemaître publicó un trabajo que sería fundamental sobre el Universo en expansión (Ref. 4). Es notable el hecho de que Einstein continuó en su posición negativa con respecto al concepto de expansión del Universo. Al encontrarse con Lemaître en la 5ª conferencia SOLVAY en 1927 le dijo: "Sus cálculos son correctos pero sus conceptos físicos son abominables". (Ref. 5).

R. W. Smith opina que la situación con respecto a la "fuga" de las galaxias era todavía ambigua y dicha situación fue cambiada por los estudios de Hubble (Ref. 3).

A principios de la década del 30 varios científicos, entre ellos: Richard Tolman, de

Caltech, examinaron diversas causas físicas probables que pudieran explicar la expansión del Universo. Fue Lemaître quien planteó la hipótesis de que dicha expansión fue generada con el comienzo del Universo entero y en su publicación de 1931 (Ref. 6) dio un ejemplo detallado de lo que luego se denominaría "cosmología del Big Bang". El Universo de Lemaître no partió de una singularidad en el sentido matemático sino de un pre-universo material: el átomo primitivo de Lemaître.

Lemaître consideraba que este "átomo único" poseía un peso atómico igual a toda la masa del Universo. Este átomo, plenamente inestable, se había dividido en átomos más y más diminutos por un proceso super-radiactivo.

Entusiasta defensor de la teoría\* fue el notable físico ruso-norteamericano George Gamow y quien introdujo notables modificaciones en la misma (fundamentalmente en lo que concierne a la importancia del efecto gravitacional de la energía radiante en las primeras etapas del proceso de expansión).

Resulta de interés destacar el hecho de que Gamow señala al año 1927 como el del inicio de la teoría del Big Bang. (Ref. 7).

### 3. Etapas en la Evolución del Universo (Ref. 8)

#### 1ª Etapa: hasta $10^{-43}$ segundos.

Es llamada la "era de Planck" (dominada por efectos cuánticos). Se considera que las curvaturas geométricas y térmicas fueron tan elevada que la teoría de la relatividad generalizada puede no ser aplicable.

#### 2ª Etapa: hasta $10^{-23}$ segundos.

Es posible que en esta era se generaron diversos tipos de partículas de una manera análoga a la que se tiene cuando se generan pares "electron-positron" en campos electromagnéticos muy fuertes. La física moderna tampoco puede explicar en forma clara lo acontecido en esta "era".

\* Alfred Hoyle propuso, en cambio, la teoría del Universo estacionario.

### 3ª Etapa: hasta $10^{-4}$ segundos.

Con una temperatura superior a los  $10^{12}$  °K, son muchas las preguntas que la cosmología no puede responder con respecto a lo que ocurrió en la "tercera era", caracterizada por la aparición de partículas elementales (fotones, neutrinos, leptones, mesones y nucleones y sus antipartículas). Resulta extremadamente difícil hallar ecuaciones de estado apropiadas que describen el "equilibrio térmico" en estas condiciones.

### 4ª Etapa: hasta 0,01 segundos.

En esta era la temperatura baja a  $10^{11}$  °K. El Universo contenía fotones, neutrinos, antineutrinos, muones, antimuones, electrones y positrones.

A medida que la temperatura bajaba a  $10^{11}$  °K los muones y antimuones comenzaron a aniquilarse y a  $10^{11}$  °K los neutrinos y antineutrinos se desacoplaron del resto de las partículas. Algunos autores llaman a esta era: la etapa del desacople de neutrinos.

### 5ª Etapa: hasta 4 segundos.

En esta faz en la vida del Universo la temperatura bajó a  $5 \times 10^9$  °K. Los pares electrones-positrones comenzaron a aniquilarse. El enfriamiento de los neutrinos y antineutrinos logró que la relación neutrón-protón fuera de 1/5.

### 6ª Etapa: hasta 100-180 segundos.

La temperatura final en esta era es de  $10^9$  °K. Los neutrones se fusionaron rápidamente con los protones generando deuterio y emisión de rayos  $\gamma$ , de acuerdo a



De acuerdo con las características de esta etapa, a medida que esta reacción se completa, el proceso de nucleosíntesis genera núcleos de 25 a 27% de helio (en peso) y adicionalmente  $\text{He}^3$  y otros elementos más pesados. De acuerdo a determinaciones experimentales el helio constituye un 25 a

30% de la materia del Universo, constituyendo este hecho una notable verificación de la sucesión de edades del Universo. O sea la relación neutrón/protón de la 4ª Etapa (a  $10^{10}$  °K) es una "reliquia" de esa era, conservada hasta nuestros días.

### 7ª Etapa: hasta 100.000 años.

En concomitancia con la expansión libre de fotones, neutrinos, antineutrinos y núcleos, la temperatura del "plasma" bajó de  $10^9$  °K a 3.000-4.000 °K.

Durante 100.000 años el Universo había sido "opaco" y sin estructura pues la radiación y la materia habían estado acoplados íntimamente. No existían sistemas gravitacionales ni protogalaxias ni protoestrellas. Todo era uniforme en el espacio con excepción de la "asimetría en el tiempo", el único "reloj" que había existido en estos 100.000 años: la expansión unidireccional que aconteció luego de la Gran Explosión: de una condición extremadamente densa y caliente a estados con temperaturas y densidades más bajas.

### "Etapa Moderna": A partir de 3.000-4.000 °K.

A estas temperaturas los electrones libres fueron hechos cautivos por los núcleos en enfriamiento del plasma cósmico y se constituyeron las órbitas atómicas.

En esta condición no se produjo más "esparcimiento" de los fotones y se desacoplaron materia y radiación. Casi súbitamente, y por la primera vez en historia cósmica, el Universo fue "transparente" a los fotones:

FIAT LUX... y la luz existió.

Al continuar, tanto el enfriamiento por debajo de 3.000 °K y la expansión del Universo, se constituyó una "Jerarquía" de estructuras: grupos de protogalaxias, grupos de galaxias, grupos de estrellas, planetas, atmósferas planetarias y eventualmente: estructuras biológicas.

Han transcurrido 15.000 millones de años desde la Gran Explosión, desde el inicio del tiempo y del espacio.

En 1964, Penzias y Wilson descubrieron la radiación del fondo del Universo de 2,7° K como posible remanente del fenómeno inicial del Big Bang dejando a esta teoría como la más probable. Penzias y Wilson recibieron el Premio Nobel de Física en 1978 por su hallazgo. Dicke, Peebles, Roll y Wilkinson llegaron, casi simultáneamente, a las mismas conclusiones.

En 1992 el satélite explorador de la NASA, COBE, ha podido "mirar" y examinar al Universo a 15.000 millones de años luz de distancia desde la Tierra estudiando así condiciones remanentes de hace 15.000 millones de años, entre 300.000 y 500.000 años después del Big Bang. Si bien no es posible efectuar consideraciones definitivas, lo que los sensores del satélite COBE hallaron fueron fluctuaciones en el nivel de energía remanente que están en buen acuerdo con los modernos planteos\* de la teoría de la Gran Explosión. Estas variaciones de energía pueden ser expresadas en términos de temperatura absoluta (°K). Los valores picos de temperatura son originados por zonas del Universo de mayor densidad y que pueden ser consideradas como "embriones" de galaxias (Ref. 9). Las zonas de mayor densidad están desconectadas entre sí. Entre ellas existiría la "materia oscura" cuya naturaleza todavía no se comprende bien pero cuya existencia en general se admite.

#### 4. Sobre el Abate Georges Lemaître

Lemaître nació el 17 de julio de 1894 en Charleroi, Bélgica. Habiéndose graduado como ingeniero civil, sirvió como oficial de artillería en la 1ª Guerra Mundial. Al finalizar la guerra ingresa al seminario ordenándose en 1923. Estudió en la Universidad de Cambridge bajo la dirección del premio Nobel de Física, Sir Arthur Eddington en el período 1923-1924 continuando luego sus estudios en el Massachusetts Institute of Technology (EE.UU) durante el período 1925-1927. En este período en EE.UU. se

familiariza con resultados astronómicos que, en principio, demuestran la posible fuga de las galaxias. En 1927 es nombrado profesor de astrofísica en la Universidad Católica de Lovaina y en el mismo año propone su revolucionaria teoría del Big Bang (es interesante señalar que este nombre le fue dado en forma irónica por los científicos que se oponían a la misma).

El Padre Lemaître realizó también investigaciones sobre rayos cósmicos y sobre el célebre problema de los tres cuerpos en el espacio, planteo clásico de la mecánica celeste y en el cual han trabajado grandes de la ciencia como Poincaré, Volterra y otros.

Entre las obras publicadas por el Padre Lemaître caben destacar "Discussion sur l' evolution de l'univers" (1933) y "L' Hypothese de l' atome primitif" (1946).

Lemaître falleció en Lovaina el 20 de junio de 1966.

#### 5. Conclusión

"Al principio, Dios creó el cielo y la tierra  
la tierra estaba desierta y sin nada,  
las tinieblas cubrían los abismos,  
mientras el espíritu de Dios aleteaba sobre la superficie  
de las aguas. Dijo Dios "Haya luz" y hubo  
"luz".

GENESIS 1.

Como manifiesta Gal-Or\* (Ref. 8): "...la mayoría de los astrofísicos, cosmólogos y astrónomos están de acuerdo en que la versión bíblica de la evolución cósmica, al poner énfasis en un "principio" y en los papeles iniciales de "vacía" y en un estado *sin estructura y sin luz* puede estar extraordinariamente cerca de la evidencia que la ciencia moderna nos haya provisto".

También opinaba San Agustín de Hipona que el tiempo comenzó con el inicio del Universo. Con este pensamiento están de acuerdo la mayoría de los cosmólogos y físicos actuales, entre ellos: Stephen Hawkins.

\* Denominada "teoría inflacionaria".

\* Destacado especialista del *Jet Propulsion Laboratory*, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

## REFERENCIAS

1. PAUL DAVIES. "La Frontera del Infinito". Biblioteca Científica Salvat, págs. 4-5 (1985).
2. JUAN JOSÉ SANGUINETI. "Ciencia Aristotélica y Ciencia Moderna". Editorial de la Universidad Católica Argentina (1991).
3. R. W. SMITH. "Edwin P. Hubble and the transformation of cosmology". *Physics Today* Vol. 43 (4) April, pp. 52-58 (1990).
4. G. LEMAÎTRE, *Ann. Soc. Sci., Bruxelles* 47 A (1927).
5. G. LEMAÎTRE, *Rev. Questions Sci.* 129, (1958).
6. G. LEMAÎTRE, *Nature* 128, 700 (1931).
7. G. GAMOW. "Cosmogony" (Capítulo de la *Encyclopaedia Britannica*, Vol. 6, pp. 578-582) (1970).
8. B. GAL-OR. "Cosmology, Physics and Philosophy". Springer Verlag, New York Inc. (1987).
9. H. VUCETICH (Dept. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, U.N.L.P.) opinión publicada en *La Nación*, sección 7, pág. 1 (31/5/1992).

Manuscrito recibido en junio de 1992.