

ESTUDIOS

[EL TIMEPO EN LA FÍSICA (2)]

Carlos López

Profesor Titular

Universidad de Chile

RESUMEN

Se calcula la edad del universo analizando la composición de los meteoritos que han caído en la Tierra obteniéndose un valor de 4.600 millones de años. Edades similares utilizando otros métodos coinciden con este valor en los planetas Marte y Júpiter. Los grandes telescopios terrestres y orbitales nos señalan que el universo se originó en una gigantesca explosión hace veinte mil millones de años, bautizada como la bola de fuego primordial. Los radioastrónomos Penzias y Wilson detectaron una radiación electromagnética con la composición espectral de un cuerpo negro y una temperatura de 2.7 grados Kelvin. De aquí se infiere que el Universo se formó debido a una gigantesca explosión.

Hace unos 20 años, se dió a conocer en Australia un importante descubrimiento relacionado con la época en que apareció la vida sobre la Tierra. Se trataba del hallazgo de microfósiles correspondientes a colonias de bacterias en rocas de 3.500 millones de años de antigüedad. Es sorprendente que en una era tan temprana en la historia de nuestro planeta ya existieran seres vivos en condiciones de aprovechar directamente la energía solar mediante el proceso de fotosíntesis. Esto significa que la vida surgió mucho antes, apenas la temperatura de las rocas de la corteza descendió bajo el punto de ebullición del agua, haciendo posible así la existencia de los mares primitivos. La edad de la Tierra se estima en unos 4.600 millones de años, valor obtenido analizando la composición de los meteoritos. La faja de asteroides ubicada entre las órbitas de los planetas Marte y Júpiter, de donde provienen los meteoritos, está constituida por fragmentos de un antiguo planeta desaparecido. Este planeta se desintegró probablemente a causa de las fuerzas de marea ejercidas por la enorme gravedad de Júpiter. La fecha de solidificación de los meteoritos se calcula midiendo la concentración relativa del elemento radiactivo uranio 235 y del isótopo del plomo que resulta como producto final de su desintegración. Todos los casos analizados conducen a un resultado coincidente de 4.600 millones de años. Como sabemos que el Sol, los planetas y sus satélites se formaron simultáneamente; debemos admitir que la edad de los meteoritos es también la edad de la Tierra. Sin embargo, las rocas terrestres más antiguas conocidas tienen una edad de sólo 3.700 millones de años. La ausencia de testimonios de los primeros mil millones de años se explican por la permanente actividad geológica de la corteza de la Tierra. En apoyo de esta hipótesis están las muestras de rocas recogidas por los astronautas en la Luna, cuyas edades se

remontan hasta los 4.450 millones de años. La mayor antigüedad de las piedras lunares se debe a que la corteza de nuestro satélite se estabilizó poco después de su formación y posteriormente, debido a la carencia de agua y atmósfera, no ha sufrido los efectos de la erosión como ocurre en la Tierra.

En nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay más de cien mil millones de estrellas como el Sol. El universo está poblado a su vez por cientos de miles de millones de galaxias. Todas ellas se formaron hace unos veinte mil millones de años, poco después del nacimiento del universo. Este conocimiento ha sido posible gracias al progreso notable alcanzado por la investigación en astrofísica y cosmología debido fundamentalmente a la información aportada por los grandes telescopios ópticos y radiotelescopios y a la investigación espacial. Ahora podemos afirmar con bastante seguridad que el universo se originó en una colosal explosión que tuvo lugar hace veinte mil millones de años. En ese momento los valores de la temperatura, presión y densidad de la materia y radiación eran enormes, muchos órdenes de magnitud superiores a los que se dan actualmente en el centro de las estrellas más masivas. Este dantesco estado inicial ha sido bautizado muy apropiadamente con el nombre de "la bola de fuego primordial".

Como consecuencia de la explosión se inició un proceso de expansión del universo que aún continúa. Esta expansión fue descubierta por Hubble en el año 1929 con ayuda del gran telescopio reflector de 2,5 metros de diámetro del Monte Wilson en California. Este astrónomo observó que las galaxias se alejan unas de otras con velocidades proporcionales a sus distancias relativas. Las distancias las obtuvo midiendo la luminosidad aparente y las velocidades las dedujo del corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales.

La existencia de la bola de fuego primordial se infiere del análisis de un importante descubrimiento hecho en el año 1965 por los radioastrónomos Penzias y Wilson de los laboratorios de la Compañía de Teléfonos Bell en Estados Unidos. Utilizando una antena de microondas, detectaron una radiación electromagnética proveniente del espacio intergaláctico extraordinariamente isotrópica. Pero la característica más notable de esta señal es que su composición espectral corresponde exactamente a la que produciría un emisor perfecto (cuerpo negro) cuya temperatura fuese igual a 2,7 grados Kelvin. Esto significa que fue creada en circunstancias tales que la radiación estaba en equilibrio termodinámico con la materia. Esta situación es imposible en el estado actual del universo ya que se requiere de una temperatura superior a los diez mil millones de grados para conseguir el equilibrio. La radiación de microondas descubierta por Penzias y Wilson es entonces una reliquia fósil que nos informa que alguna vez en el pasado remoto el universo pasó por un estado muy singular. En apoyo de esta conclusión está también el cálculo de la cantidad de helio formado en los primeros minutos que sucedieron al gran estallido inicial. Se obtiene una proporción de helio equivalente a un 25% en peso, siendo el 75% restante de hidrógeno; valores que están en perfecto acuerdo con los datos obtenidos por los astrofísicos.

Al igual que un gas que se enfría cuando aumenta su volumen, la temperatura de la radiación electromagnética descendió en proporción inversa al aumento del radio del universo. No obstante, la distribución espectral de cuerpo negro se mantuvo "congelada" durante todo el proceso de expansión. Los modelos cosmológicos basados en la teoría general de la relatividad de Einstein y en la mecánica estadística conducen a una duración del orden de veinte mil millones de años para el descenso de la temperatura de la radiación desde el valor de equilibrio de diez mil millones de grados hasta el valor actual de 2,7 grados absolutos. Los cálculos señalan que el equilibrio se produjo tan sólo una fracción de segundo luego del gran estallido que inició la expansión del universo. El helio primordial se formó aproximadamente media hora después. En cambio fue necesario que transcurriera un millón de años para que la temperatura alcanzara el valor adecuado que hace posible la unión de las partículas de cargas positivas y negativas. Al combinarse los electrones con los protones se crearon los átomos de hidrógeno; asimismo las partículas alfa capturaron dos electrones para formar un átomo de helio. Lo que hasta ese momento era un plasma pasó a convertirse en la mezcla primordial de los gases livianos hidrógeno y helio.

La masa gaseosa que llenaba el universo primigenio, aunque originalmente homogénea, rápidamente se descompuso en un conjunto de nubes, debido a un mecanismo conocido como inestabilidad gravitacional. Cada una de estas nubes poseía un cierto movimiento de rotación inicial el cual, aunque pequeño, fue aumentando al contraerse los gases debido a la fuerza de gravedad. La forma de estas "protogalaxias" fue modificándose por efecto de la rotación, de tal manera que lo que en un principio era una esfera se fue transformando en un elipsoide de revolución más y más aplastado, hasta terminar en un delgado disco con una protuberancia central. A su vez en el interior de cada galaxia en proceso de formación se produjeron turbulencias en forma de torbellinos, dando origen a miríadas de núcleos de condensación. A medida que los gases de estas "protoestrellas" se fueron comprimiendo por acción de la gravedad se desencadenaron en el centro de cada condensación reacciones termonucleares que dieron origen a las primeras estrellas. En los núcleos de estas estrellas llamadas de primera generación se sintetizaron los elementos más pesados que el helio desde el litio hasta el hierro. La teoría de la evolución estelar muestra que en las estrellas cuyas masas son comparables a la del Sol, los elementos así formados permanecen para siempre encerrados en su interior. La situación es muy diferente en el caso de algunas estrellas muy masivas, las cuales finalizan su ciclo vital en forma espectacular con una gran explosión. En esta fase, llamada de supernova, se libera una cantidad prodigiosa de energía que hace posible la síntesis de los elementos más pesados que el hierro. La misma explosión es responsable de la diseminación de todos los elementos de la tabla periódica por los espacios siderales en la forma de un finísimo polvo. Así, la mezcla gaseosa original de hidrógeno y helio se fue contaminando con este "polvo de estrellas" cuyas partículas no sobrepasaban la milésima de milímetro de diámetro. Aunque estas "impurezas" representan tan sólo un uno por ciento

del peso total de las nebulosas, su presencia es esencial para la formación de los planetas y el desarrollo posterior de la vida.

Nuestro Sol es una estrella de segunda generación, es decir, está contaminado con una pequeña cantidad de elementos más pesados que el helio. Las teorías más modernas relativas al origen de nuestro sistema solar nos informan que el Sol y los planetas se formaron simultáneamente por condensación de una nebulosa de gases y polvo. Las partículas de polvo estaban constituidas por compuestos de hierro, bióxido de carbono, cristallitos de hielo, etc. La nebulosa primordial se fue comprimiendo paulatinamente en virtud de la atracción gravitacional con un aumento gradual de rotación. Esta rotación no es uniforme sino que se descompone en un sistema de torbellinos, los cuales al chocar unos con otros crean zonas de acumulación de polvo que sirven de núcleos de condensación de los planetas y sus satélites. La duración de este proceso se estima en unos cien millones de años, valor pequeño comparado con la edad de la galaxia. Además de los torbellinos se produce en el centro de la nebulosa una condensación que se va comprimiendo cada vez más, aplastada por su propio peso. Como consecuencia de la compresión, la temperatura del núcleo central de la condensación se eleva progresivamente hasta alcanzar un valor cercano a los veinte millones de grados. Es entonces cuando se produce el encendido de las reacciones termonucleares cual gigantesca bomba de hidrógeno en permanente explosión. Una parte importante de la energía liberada en este proceso se propaga hacia la superficie de la esfera, de donde escapa en forma de luz. Es esta la manera como nació la estrella que llamamos Sol. Es interesante observar que la Tierra y los demás planetas ya se habían formado en medio de las tinieblas; sólo la pálida luz de las restantes estrellas impedía que la oscuridad fuese total.

Al encenderse el Sol, la presión de radiación y el viento solar soplaron los gases livianos de los espacios interplanetarios, dejando el vacío que hoy existe entre ellos. Desaparecieron también las atmósferas de los planetas y de sus lunas desde Mercurio hasta Marte. Tan sólo los planetas gigantes Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, lograron retener sus atmósferas originales en virtud de la enorme fuerza de gravedad que reina en sus superficies.

En el interior de los planetas recién formados se generó gran cantidad de calor debido a la presión gravitacional como también al persistente bombardeo de partículas y a la desintegración de las substancias radiactivas. El calor fundió los minerales transformando a los planetas en esferas líquidas rodeadas de una delgada corteza sólida. Los elementos más pesados como el hierro y el níquel se acumularon en el núcleo central de cada planeta, depositándose sobre ellos los de menor densidad hasta llegar a la superficie, en donde se concentraron los más livianos como el silicio y el aluminio, constituyentes principales de las rocas de la corteza. Al fundirse los minerales en el interior de la tierra se desprendieron algunos gases y vapores que reemplazaron la atmósfera primitiva de hidrógeno y helio. Entre ellos abundaba el metano, amoníaco y vapor de agua, en los cuales

se encuentran los cuatro elementos básicos de la materia viva: carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Una mezcla de gases parecida existe todavía en algunos de los planetas gigantes y de sus satélites. En esta atmósfera primordial, la acción de las descargas eléctricas y de la radiación ultravioleta proveniente del Sol dio lugar a la síntesis de ciertos compuestos orgánicos como los aminoácidos. Posteriormente, cuando la temperatura de la superficie terrestre descendió bajo el punto de ebullición del agua, se formaron los mares primitivos por condensación del vapor. La lluvia fue arrastrando las sustancias orgánicas presentes en la atmósfera hacia las calientes aguas de los océanos primordiales, dando origen a un conglomerado conocido como la "sopa de Haldane". En este medio hostil, tuvo lugar el agregado o polimerización de las moléculas orgánicas como resultado de ciertos exóticos mecanismos fisicoquímicos. Paulatinamente se fueron creando moléculas de complejidad creciente hasta llegar a las proteínas y ácidos nucleicos, constituyentes fundamentales de los seres vivos.

El largo camino que va desde las partículas elementales hasta la célula más simple exige un intervalo de tiempo mínimo del orden de veinte mil millones de años para ser recorrido. Es imprescindible que se formen primero las galaxias; a continuación las estrellas de primera generación en donde se producen los elementos pesados; la dispersión de éstos por explosiones de supernovas; luego la formación de estrellas de segunda generación con sus sistemas planetarios; la evolución de planetas rocosos con sus atmósferas primitivas; la condensación del vapor de agua; y por último el desarrollo de las moléculas orgánicas hasta la aparición de la primera célula capaz de reproducirse. No es posible concebir que este proceso hubiese podido desarrollarse en un tiempo más breve. Lo extraordinario es precisamente que la vida haya aparecido tan temprano en la historia del universo.