

**Conferencia: “El Primer Minuto Luego del Big-Bang”**

Autor: Ing. Lino Spagnolo  
2005

**Contenido Temático:**

1. El modelo del Big-Bang.
2. El Universo concentrado.
3. Las unidades de Tiempo.
4. Dimensiones y parámetros que definen a las partículas.
5. Las Partículas Elementales.
6. Que ocurrió hasta el primer microsegundo.
7. El caldo inicial en que nacieron los Quarks.
8. La nucleosíntesis primordial y la culminación del primer segundo.
9. Los núcleos atómicos del primer minuto.
10. Rastros actuales del Big-Bang.

**1.- El modelo del Big-Bang.**

Había una vez un punto infinitesimal de pura energía...  
Efectivamente, nuestro modelo estándar del origen del universo, o big-bang, comienza como si fuera una fantasía o un cuento de hadas.

Sin embargo estamos refiriéndonos a nuestro “mundo real”, el cual encuentra una explicación totalmente coherente y sin mayores contradicciones en la teoría científica conocida como del big-bang. Este modelo elaborado en base a los trabajos de Edwin Hubble (1889-1953) que hacia los años 20 descubrió que todas las galaxias se alejaban las unas de las otras como si originalmente hubieran partido todas desde un origen común.

Esto dio pie a la hipótesis de que en un lejano pasado toda la materia estelar del universo se encontraría concentrada en un único punto infinitesimal con una densidad y una temperatura prácticamente infinitas. Así se originó el modelo del big-bang primordial. La validez de esta hipótesis se demostró en decenas de consecuencias que coincidían y explicaban muchos de los fenómenos de la realidad actual.

Entre ellos pueden señalarse que luego de un misterioso defecto de simetría que permitió pasar de la pura energía del punto ígneo a la aparición de las primeras partículas elementales, comenzando con la aparición de los fotones, o cuantos de luz, los quarks y los antiquarks y en general de las antipartículas, que se caracterizan por ser en un todo igual a las partículas pero con carga eléctrica opuesta, luego aparecieron los protones con sus correspondientes antiprotones y posteriormente por la ultra enorme temperatura existente favoreciera la adquisición de una inmensa energía cinética por parte de los protones hasta generar su desintegración por los violentísimos choques entre ellos, dando origen a la aparición de nuevas partículas elementales, con sus correspondientes antipartículas: los neutrones, los positrones y los neutrinos. (De todas estas partículas de materia iremos explicando su naturaleza y sus funciones a lo largo de esta exposición).

Si tenemos en cuenta que con todo lo anterior se puede llegar a conformar los futuros átomos de hidrógeno y de helio y que posteriormente puedan evolucionar, por la enorme cantidad producida, hasta la formación de nebulosas gaseosas que, gracias a la fuerza de gravedad, se concentran en inmensas masas supercompactadas que originarían finalmente las Estrellas y las Galaxias que conocemos actualmente; comenzaremos a darnos cuenta de la poderosa capacidad de aclaración que tiene el modelo del big-bang y de sus coherentes predicciones hasta, e incluso, llegar a nuestro días comprobando la existencia de la misteriosa radiación fósil ó radiación de fondo de microondas. Esto se verá en el último punto titulado precisamente “Rastros actuales del big-bang”.

En concreto, la teoría del big-bang se presenta como muy confiable, capaz de predecir fenómenos, y no tiene contradicciones internas, si exceptuamos algunos de los ya nombrados misteriosos defectos de simetría. Los datos astronómicos hasta ahora conocidos y el desarrollo de la física de las partículas elementales (que lentamente se va construyendo con el concurrente esfuerzo de los físicos teóricos y de los físicos experimentales que trabajan en los laboratorios de las altas energías), confirman ampliamente las hipótesis y el desarrollo de esta teoría.

En relación con el big-bang, debemos aclarar algunos puntos:

- La Física no explica cómo comenzó: se declara incompetente para el análisis de su inicio.
- No podemos preguntarnos en que lugar se produjo el big-bang puesto que el espacio comienza a existir con su ocurrencia.
- Tampoco podemos hablar de “cuándo comienza” puesto que el tiempo comienza con su inicio. El propio big-bang crea el espacio-tiempo.
- A pesar de su nombre, no podremos hablar de un big-bang como de una explosión: en el inicio no existió nada que en un determinado momento hubiese explotado; tampoco había nada a su alrededor, materia o aire, que permitiera la propagación de las ondas sonoras. No parece adecuado catalogar lo ocurrido allí, el evento producido que denominamos de algún modo big-bang, con ningún nombre de algo conocido, puesto que lo allí sucedido en el primer instante se halla más allá de todo conocimiento, tanto de la Física como de todo otro conocimiento humano. Sólo podremos interpretar y explicar lo ocurrido **después** del big-bang, e incluso **¡un cierto tiempo después!**

## 2.- El Universo concentrado.

De cómo se inició el Universo, la Física no tiene una respuesta. El ***instante cero*** de la creación del mundo es un punto de intersección entre la Física y la Metafísica, entre la ciencia y la fe, totalmente inaccesible a la razón humana. La sola idea que todo lo conocido, que toda la materia que forma al planeta Tierra, que forma a todo el sistema solar, con la enorme masa que representa nuestra estrella madre (2 millones de trillones de Kg, ó  $2 \times 10^{30}$  Kg), que toda la masa de todas las estrellas que forman una Galaxia (hay aproximadamente 200 mil millones de estrellas por galaxia), habida cuenta que se estima haya en todo el Universo unas 300 mil millones de galaxias; que todo eso y algo más (no hemos nombrado la existencia de la materia oscura presente en el Universo, que si bien no es visible representa unas 10 veces la materia visible de las estrellas y de las galaxias), repito, que todo eso haya estado concentrado en ***un solo punto energético***, puede trastornar cualquier cerebro.

La ciencia encara el análisis de este supremo evento retrocediendo hacia el pasado, o desde el presente hacia su origen, desde los hechos conocidos hacia el momento en que se originaron. Tratamos de acercarnos tanto como sea posible, se puede llegar a conocer como sucedieron las cosas, o por lo menos como creemos firmemente que sucedieron, hasta un segundo después del origen cero o hasta un milisegundo después, o incluso hasta 0,0000000001 segundos después, pero siempre habrá un límite de acercamiento al instante cero. Este límite se denomina ***tiempo de Planck y es de  $10^{-43}$  segundos***.

Existen dos factores que nos autorizan aproximarnos de esta forma al origen del Universo. El primero es el descubrimiento que hizo Edwin Hubble (astrónomo americano) en 1929, de que todas las galaxias se alejaban unas de las otras con una velocidad de recesión proporcional a su distancia, cuanto más lejos estaban tanto mayor velocidad con que se alejaban. Esto se explicaba aceptando que el Universo está en expansión. Si retrocedemos en el tiempo encontraremos que todas las galaxias partieron de un punto común, del cual comenzaron a alejarse unas de otras a medida que el globo cósmico se expandía.

El otro factor fue el conocimiento cada vez más preciso y detallado de la naturaleza de las partículas elementales que la Física nuclear, o Física de las partículas, permitió relacionarlo con lo ocurrido inmediatamente después del big-bang. El convencimiento que se iba

adquiriendo a medida que los laboratorios de las altas energías descubrían más y más partículas elementales, era de que esas mismas partículas fueron las que se originaron en las condiciones similares que se dieron durante y luego de la expansión.

En los primeros instantes del universo sólo debieron existir unas partículas ultra concentradas en un volumen extremadamente pequeño, y la variedad de tales partículas elementales debió ser altísima. Actualmente conocemos más de 400 partículas diferentes, que fueron apareciendo en forma creciente a medida que los laboratorios de ensayo disponían de mayor energía. Esto provocaba que al chocar partículas de muy alta energía cinética contra núcleos atómicos revelaban nuevos componentes de la materia cada vez más pequeños. Como la energía que estaba presente durante los primerísimos instantes de la expansión fue billones de veces la que nosotros podemos conseguir actualmente, es posible que haga ascender la cantidad de partículas elementales a un número muy superior a 400.

De cualquier forma, la materia existente, con la que estamos familiarizados está formada por un número muy pequeño de partículas, las demás sólo aparecen durante reacciones nucleares de altísima energía, como se dio en el principio o como ocurre en el núcleo central de las estrellas ó en choques de rayos cósmicos con átomos sobre la superficie terrestre.

La formación de nubes de polvo cósmico (principalmente formadas por hidrógeno y helio), como la posterior concentración en nebulosas que luego, por la acción gravitatoria, dieron origen a la formación de estrellas y galaxias, solamente ocurrió entre 100.000 y 500.000 años después del comienzo. Cabe mencionar que, si bien parece mucho tiempo, en la vida del universo no es más que el 0,003% de su edad actual, el equivalente de 1 día en la vida de un ser humano!

La teoría del big-bang comienza a explicar como sucedió todo a partir del instante  $t = 10^{-43}$  segundos (tiempo de Planck). En ese momento la temperatura del universo era de  $10^{32}$  °K y con una densidad de  $10^{94}$  gramos/cm<sup>3</sup>. De ahí en adelante la teoría del big-bang comienza a explicar como sucedió todo el resto.

Actualmente, año 2005, se han resuelto casi todos los problemas originados en tan portentoso evento, como ser por ejemplo:

a).- ¿Cómo es posible que con una densidad de energía-materia tan monstruosamente elevada, algo haya podido expandirse venciendo la fuerza gravitatoria más alucinante jamás existida? Aquello era realmente la quintaesencia de un agujero negro.

b).- Otro **problema era el del horizonte**: ¿Cómo es posible que el Universo aparezca *igual* en todas las direcciones del cosmos, si la información que viaja a la velocidad de la luz, no tuvo tiempo para atravesarlo de lado a lado, en un ida y vuelta, de modo tal de homogeneizar los distintos lugares del Universo? Por ejemplo, el hecho de mantener la temperatura uniforme en todo el cosmos.

c).- También preocupaba a la Física, por diversos razones, la existencia de los llamados **monopolos magnéticos**. Estos “entes virtuales” son partículas extraordinariamente masivas, su masa se calcula en  $10^{15}$  veces la masa del protón, y aparecen en la teoría de las muy altas energías desarrollada localmente en nuestros laboratorios. En consecuencia, con mayor razón debieron aparecer en los primeros instantes de existencia del globo energético.

Como la teoría prevé una influencia muy nefasta de tales monopolos sobre las partículas que mas tarde se crearían, los físicos estaban muy preocupados por su posible existencia, la cual, por otra parte, nunca se detectó.

d).- También puede mencionarse la particularidad de que el Universo sea “casi” exactamente Euclídeo, **conocido como el problema de la planitud**, y que se mantenga en el filo de separación entre una eterna expansión ó un colapso final en un imponente big-crunch final.

Todos estos interrogantes fueron resueltos en los años 1980/90 con el desarrollo de la teoría de la inflación ó modelo inflacionario, que postula una expansión de tipo exponencial verificada a partir del primer instante.

En forma sencilla se puede comprender los alcances del modelo con la hipótesis de la existencia de uno o más campos escalares antigravitatorios que comienzan a actuar a partir del **tiempo de Planck** ( $10^{-43}$  segundos) que llamaremos **instante cero**. En ese momento el Universo aún tenía el tamaño de la **longitud de Planck** ( $10^{-33}$  cm).

La acción de tales campos antigravitatorios dio origen al comienzo de la etapa inflacionaria en el instante  $10^{-35}$  segundos, cuando aún el microbórido primordial tenía un radio de  $10^{-25}$  cm.

A partir de allí suministró a ese universo puntual un violentísimo empuje inicial hacia el exterior de forma tal que pudo vencer la fuerza gravitatoria.

Luego continuó actuando hasta que el universo alcanzó un radio de algunos metros (quizás 20 metros según algunos cálculos). Para esta extraordinaria expansión (multiplicó su radio aproximadamente por  $10^{30}$  veces) le tomó el tiempo entre  $10^{-35}$  segundos y  $10^{-32}$  segundos, lo cual equivale a haberlo realizado a una velocidad miles de billones de veces la velocidad de la luz.

El campo escalar, responsable del exponencial crecimiento, fue también el responsable de la separación de la **gran fuerza unificada**. Dicha fuerza, que en su origen unificaba las 4 fuerzas fundamentales que conocemos actualmente como: la fuerza fuerte, la fuerza débil, la fuerza electromagnética y la fuerza gravitatoria, era en tales instantes la única fuerza existente cuyas características aún desconocemos.

La primer fuerza que se separó de la gran fuerza unificada fue la fuerza de gravedad.

Lo efectuó en el instante  $t = 10^{-40}$  seg. y a continuación se escindió también la fuerza fuerte, en el instante  $t = 10^{-35}$  seg.

La acción de los campos escalares continuó hasta el instante  $t = 10^{-32}$  seg. Luego dichos campos, responsables de tan descomunal esfuerzo, se agotaron completamente.

La acción de los campos escalares tuvo **dos etapas**, una consistió en el violentísimo empuje inicial y la otra en una fulmínea acción ampliadora del volumen del universo. Esta última consistió en multiplicar por 2,3 el radio del universo cada  $10^{-34}$  segundos, entre el instante cero y  $t=10^{-32}$  seg. Es decir, lo **augmentó** 100 veces. Todo lo cual significó que antes de alcanzar el instante  $t = 10^{-32}$  seg. el universo creció  $(2,3)^{100}$  veces el volumen original, representando un crecimiento exponencial de un factor  $1,5 \times 10^{36}$ .

Si partimos de un tamaño inicial del Universo equivalente a una fluctuación cuántica tan pequeña como  $10^{20}$  veces menor que el tamaño de un protón, es decir, un tamaño inicial de  $10^{-35}$  metros y se multiplica por el factor anterior, se obtiene un nuevo tamaño del universo equivalente a una esfera de aprox. 20 m de radio.

Este crecimiento exponencial del universo, en un tiempo tan pequeño como  $10^{-32}$  seg., es muchísimo mayor que el permitido por la velocidad de la luz, y fue suficiente para que ese globo ígneo escapara a los efectos de la gravedad.

### 3.- Las unidades de Tiempo.

El tiempo es un sistema de referencia, ó un sistema de coordenadas, que nos permite ordenar los eventos según un criterio común y muy preciso. Tal ordenamiento tiene características no comunes con otros tipos de ordenamiento.

No permite una flexibilidad tal que podamos cambiar el orden entre la rotura de una copa de cristal y la aparición de los cristales rotos en el piso. Esto es conocido como la **flecha del tiempo** que apunta siempre en una dirección.

Sin embargo, esta particularidad no resulta una consecuencia de las leyes físicas de la mecánica ni de la mecánica cuántica ni de la relativista. Es decir, los fenómenos a nivel micro están definidos según fórmulas que admiten un tiempo positivo o un tiempo negativo.

Si por ejemplo, se encuentran dos fotones de alta energía, después del choque pueden generar un electrón y un positrón. Recíprocamente, si quisiéramos interpretarlo como un tiempo negativo, o un tiempo que recorra un camino inverso, si un positrón choca con un electrón se originan dos radiaciones o dos fotones.

La teoría de la relatividad refuerza esta característica, ya que el tiempo es considerado una coordenada más, que integra el espacio-tiempo con los mismos atributos que las tres coordenadas espaciales.

Evidentemente no ocurre lo mismo con los fenómenos a nivel macro ya que el caso nombrado de la copa de cristal no admite posibilidad de retroceso, en que la copa rota se reconstruye. Asimismo, el segundo principio de la termodinámica selecciona una dirección, al imponer que la entropía del universo, o su desorden, debe aumentar en la dirección positiva del tiempo. En otras palabras, no es posible ordenar el universo simplemente retrocediendo en el tiempo.

Se podrá argumentar que es posible poner más orden, como ser construyendo una rueda que permita transportar mayores pesos con menor esfuerzo.

Esto es cierto, pero significa invertir mayor energía útil en la construcción de la rueda, lo cual significa aumentar la entropía por el aumento del gasto de energía en la construcción de dicha rueda.

Para no complicar las cosas, aceptemos que el tiempo es una coordenada que nos sirve para medir el intervalo transcurrido entre dos o más eventos o también un elemento físico necesario para que un cierto proceso se cumpla.

Convencionalmente utilizamos una unidad de tiempo denominada *tiempo atómico*, en vigencia a partir del 1 de Enero de 1958, que es el utilizado para sincronizar la hora oficial. La unidad de tiempo elegida es el período de oscilación que corresponde a la radiación del Cesio 133 en una de sus franjas bien definidas del espectro.

La nueva unidad de tiempo se relaciona con el segundo, porque el átomo de Cesio realiza 9.192.631.770 oscilaciones en 1 segundo.

Podrá parecer una unidad muy pequeña (aproximadamente 9 nanosegundos por cada oscilación), pero en el mundo atómico y subatómico resulta ser una unidad relativamente grande.

Lamará mucho la atención el hecho que la definición de las *características esenciales del universo*, se hayan definido por completo *en el término de su primer segundo de vida*. Sin embargo debe tenerse en cuenta que las interacciones que ocurren entre partículas elementales transcurren en unidades de tiempo y de longitud que son extremadamente pequeñas comparadas con nuestra experiencia habitual.

Por ejemplo, según hemos dicho ya, la mayor parte de las partículas elementales son inestables, viven muy poco tiempo y se desintegran rápidamente en otras partículas que a su vez pueden ser también inestables.

Hay desintegraciones muy importantes que ocurren por la intervención de la fuerza nuclear fuerte y que le permiten a una partícula, en este caso la partícula "omega", una vida **muy breve**: vive sólo  $10^{-22}$  segundos. Si por el contrario interviene la fuerza electromagnética en la desintegración de la partícula, ahora es el caso del famoso Pión<sup>0</sup>, le permite una vida media **mucho** mayor: vive  $10^{-16}$  segundos. Finalmente, si la desintegración es debida a la acción de la fuerza débil, en el caso específico del Mesón K<sup>+</sup>, entonces la vida media de la partícula es **muchísimo** mayor: vive tanto como  $10^{-8}$  segundos.

Se habla de tiempos relativos muy grandes, porqué efectivamente una vida media

de  $10^{-8}$  segundos es 100 millones de veces mayor que una vida media de  $10^{-16}$  segundos. A su vez esta última es un millón de veces superior a una vida de  $10^{-22}$  segundos.

Bajo este nuevo aspecto, cabe razonar en este sentido: durante la vida de la partícula  $K^+$ , el Pión<sup>0</sup> ha podido nacer y morir, nacer y morir, 100 millones de veces. Por otra parte si comparamos la vida del Mesón  $K^+$  con la partícula "omega", ésta última tiene tiempo de reproducirse 100 billones de veces durante la vida del mesón.

Si comparamos la vida de un hombre de 75 años con la vida del universo que, medida en la misma unidad, equivale a 15 mil millones de años. Se aprecia que el hombre podría haberse reproducido **200 millones de veces** durante toda la vida del universo. En cambio el Pión<sup>0</sup> puede reproducirse **100 millones de veces** durante la vida del Mesón  $K^+$ , es decir, casi tantas veces como el caso anterior.

A su vez de la partícula "omega", que podrá reproducirse **10 billones de veces** durante la vida del mismo mesón, se nota que excede en mucho sus unidades de vida.

Estas realidades nos permiten comprender que los eventos que transcurren a nivel nuclear y sub-nuclear se miden con una escala de tiempos muy diferente al segundo. Es evidente que para estudiar las interacciones entre partículas *debemos elegir una unidad de tiempo mucho más pequeña* y que, de lo contrario, la cantidad de transformaciones, interacciones, creaciones de nuevas partículas y desintegraciones en otras partículas, si las midiéramos en la escala de un segundo, nos representarían valores del orden de los miles de cuatrillones (ó de números tales como  $10^{30}$ ,  $10^{60}$ , etc).

Todo lo cual debe ser tomado en cuenta para comprender que en el primer segundo luego del big-bang, ocurrieron efectivamente esos miles de cuatrillones de eventos diferentes que marcaron las características del futuro universo.

Para familiarizarnos un poco más con las nuevas magnitudes de tiempo y de espacio, recurriremos a algunas definiciones como la nueva unidad de tiempo, que ya hemos nombrado, y que podríamos llamar *natural*:

El *Tiempo de Planck* es el tiempo que tarda la luz en recorrer un cuánto de longitud. Su valor es:

$T_P = 5,4 \times 10^{-44}$  seg. Se toma en la práctica el valor  $T_P = 10^{-43}$  seg.  
De aquí queda definido también *un cuánto de longitud*  $L_P = 1,6 \times 10^{-33}$  cm.

Tomándose también el valor práctico  $L_P = 10^{-33}$  cm. Esta longitud corresponde al límite cuántico de un espacio que tiene aún algún significado. Algo menor a esa dimensión, según la teoría cuántica, no tiene validez. Es la longitud del diámetro del protón dividida por 100 trillones ó por  $10^{20}$ .

Dado que las interacciones entre partículas elementales se miden en tiempos de Planck, digamos que **en 1 segundo existen  $10^{43}$  unidades de tiempo**. Comparemos esa magnitud con la cantidad de segundos que transcurrieron desde el big-bang hasta hoy:

Edad del universo = 15 mil millones de años. En segundos equivale a:  
 $15 \text{ mil millones de años} \times 31,536 \text{ millones de seg.} = 4,73 \times 10^{17}$  seg.  
Es decir, casi un trillón de segundos.

Si comparamos la edad del universo medida en segundos, frente a la "edad" de 1 segundo medida en unidades de Planck, los resultados son:

Edad del universo en segundos:  $4,73 \times 10^{17}$  segundos.  
Edad del segundo en UP:  $1 \times 10^{43}$  unidades de Planck.

Nuevamente, esto nos debe hacer reflexionar sobre algo importante: en términos de interacciones cuánticas entre fuerzas y partículas elementales, existen billones y billones de

oportunidades de eventos, en tiempos de UP, tales como que ocurrieron durante los primerísimos instantes del nacimiento del cosmos. Esto explica cómo, en tan corto plazo, pudieron ocurrir tantas cosas trascendentales que fijaron para siempre la vida del futuro universo.

La cuestión es ¿existen eventos de tan corto tiempo?. La respuesta es sí.

Pero tomemos un tiempo más realista: el período que tarda la luz en atravesar el diámetro de un protón.

$$T_1 = \text{distancia} / \text{vel. de la luz} = 10^{-13} \text{ cm} / 3 \times 10^{10} \text{ cm/seg} = 3 \times 10^{-24} \text{ seg.}$$

Éste tiempo, en términos cuánticos, es muy común, existen muchas interacciones que transcurren en tiempos de ese orden de magnitud, por ejemplo, la vida media de la partícula elemental Rho. Pero también existen otras cuya duración es muchísimo menor.

Probablemente podamos comprender mejor ahora algunos eventos ocurridos durante el proceso de inflación.

Recordemos que los campos escalares antigravitatorios comenzaron a actuar al separarse la fuerza fuerte, en el instante  $t = 10^{-35}$  seg. y que a partir de allí comenzaron a expandir la micro fluctuación cuántica duplicando algo más que 2 veces (2,3 veces) su tamaño cada  $10^{-34}$  seg.

Los intervalos de esa magnitud que existen entre  $10^{-35}$  seg. y  $10^{-32}$  seg. son:

$$(10^{-32} - 10^{-35}) / 10^{-34} = 100$$

Que corresponde al valor calculado y que equivale a aumentar su tantas veces como:

$$(2,3)^{100}, \text{ o sea, creció } 1,5 \times 10^{36} \text{ veces!}$$

Todo lo cual nos ilustra acerca de las enormes posibilidades de ocurrencia de eventos que existen en términos de interacciones en el mundo subatómico.

#### 4.- Dimensiones y parámetros que definen a las partículas.

Análogamente a lo dicho en el anterior párrafo, debemos pensar en términos de unidades de longitud que no se corresponden con las que solemos tener en la vida común.

Con las longitudes ocurre un doble desvío con respecto a las dimensiones humanas: deben considerarse las pequeñísimas dimensiones de las partículas elementales (del orden del diámetro de un quark =  $10^{-17}$  cm) y las enormes dimensiones cósmicas (del orden del diámetro de la vía láctea = 100 mil años-luz ó un trillón de km, =  $10^{18}$  km).

Si bien, en el caso de las dimensiones cósmicas, no son absolutamente necesarias a nuestros fines, es conveniente tener una imagen en perspectiva de las mismas para apreciar su significado.

Comenzando con la simple conformación del átomo de hidrógeno que, de acuerdo al modelo de Bohr está formado por un núcleo central, protón de carga positiva, y un electrón de carga negativa que rota a su alrededor, en algo que podemos imaginar como órbita esférica.

- ❖ Diámetro del átomo de H (o de la órbita electrónica):  $1,3 \times 10^{-8}$  cm.
- ❖ Diámetro del protón :  $2,4 \times 10^{-13}$  cm.
- ❖ Diámetro de cada uno de los 3 quarks del protón :  $1,0 \times 10^{-17}$  cm.

Hagamos una primera comparación relativa al globo terrestre:

- 1.- Si al diámetro del átomo se multiplica por  $10^{17}$  se obtiene:  $1,3 \times 10^{-8} \times 10^{17}$  cm  
O sea = **13.000 km**, equivalente al diámetro de la Tierra.

2.- Haciendo lo mismo con el protón:  $2,4 \times 10^{-13} \times 10^{17} \text{ cm} = 2,4 \times 10^4 \text{ cm} = \mathbf{240 \text{ m}}$ .

3.- Repitiendo todo para cada quark:  $1,0 \times 10^{-17} \times 10^{17} \text{ cm} = \mathbf{1 \text{ cm}}$ .

En síntesis, podemos imaginar las medidas relativas del átomo de hidrógeno como una gran esfera del diámetro de la Tierra, sobre cuya superficie se encuentra la trayectoria esférica del electrón, y en su interior, una pequeña esfera virtual de 240 m de diámetro, llamada protón, formada en realidad por tres **pequeñísimas bolitas de 1 cm cada una, llamadas quarks**.

Otro ejemplo nos aclarará aún más las dimensiones atómicas relativas y el inmenso vacío que existe en el interior del átomo.

Tomemos el átomo del Au (Oro) y comparémoslo con el sistema solar. Para esto reduciremos el diámetro del **sol** al de una pelota de 20 cm y aumentaremos el diámetro del **núcleo** del átomo de oro hasta alcanzar el de la misma pelota.

Compararemos ahora las dimensiones relativas de las órbitas de los planetas alrededor del sol con las de los electrones alrededor del núcleo.

\* **Diámetro del Sol:**  $13,9 \times 10^8 \text{ m}$ . Llevado al tamaño de una pelota de 20 cm  
Se debe dividir por aprox.:  $70 \times 10^8$  O sea:  $13,9 \times 10^8 \text{ m} / 70 \times 10^8 = \mathbf{D. sol = 20 \text{ cm}}$ .

\* **Diámetro de la órbita terrestre:**  $3000 \times 10^8 \text{ m}$ . Reducida por el mismo factor:  
**D. orb.ti = 4300 cm.**

\* **Diámetro de la órbita de Plutón:**  $118.000 \times 10^8 \text{ m}$ . Reducida por igual factor:  
**D. orb.plu = 168.000 cm**

# **Diámetro del núcleo del Oro:**  $14,6 \times 10^{-15} \text{ m}$ . Si lo aumentamos hasta una pelota de 20 cm de diámetro, se multiplica:  $1,4 \times 10^{13}$  veces.  
O sea:  $14,6 \times 10^{-15} \text{ m} \times 1,4 \times 10^{13} = \mathbf{D. núc.oro = 20 \text{ cm}}$ .

# **Diámetro del átomo del Oro:**  $2,6 \times 10^{-10} \text{ m}$ . Aumentado por el mismo factor:  
**D. átomo.oro = 360.000 cm**

Vemos la enorme diferencia que existe entre el tamaño relativo de las órbitas atómicas y las planetarias. La órbita electrónica es relativamente mucho mayor que la del satélite más alejado del sol.

Esta diferencia marca también el enorme vacío que existe en el interior de los átomos, o sea, de la materia. Aún en contra de su apariencia sólida, el espacio vacío supera inmensamente el contenido de materia.

La especial condición relativa en que se mueven los quarks dentro de las dimensiones del núcleo, es un elemento que debe tomarse muy en consideración a la hora de querer imaginar su comportamiento, ya sea entre los mismos nucleones (protones y neutrones) como en relación a sus interacciones con otras partículas. Por ejemplo, al ser impactadas por otros electrones externos de alta energía (o alta velocidad), disparados en los grandes aceleradores de partículas, podemos compararlo con lanzamiento de un planeta del tamaño de la Tierra contra del sistema solar extendido hasta Plutón. A partir de allí se puede inferir la gran improbabilidad de un choque o de una interferencia.

Un segundo y fundamental aspecto a tener en cuenta es la formidable diferencia de densidades que poseen las partículas elementales comparadas con las densidades de los cuerpos conocidos.

Tomemos como ejemplo el protón:  
densidad = masa / volumen =  $1,67 \times 10^{-28} \text{ g} / 7,24 \times 10^{-39} \text{ cm}^3 = 23 \times 10^9 \text{ g/cm}^3$ .

La densidad del protón es de: **23 mil millones de g/cm<sup>3</sup>**. Comparemos esta densidad con el mismo valor para el plomo:  $11,4 \text{ g/cm}^3$ .

Vemos que se está en presencia de otro tipo de materia. Y téngase en cuenta que casi todo el protón es un gran vacío en el cual bullen tres ínfimos quarks, *jimaginen de que espectacular densidad!*

Un tercer, y no menos importante aspecto, lo constituye la carga eléctrica que poseen los protones ( y en consecuencia cada uno de los 3 quarks) y los electrones.

El conjunto del núcleo atómico y sus electrones está rígidamente controlado por las 4 fuerzas básicas de la naturaleza: la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil, la fuerza electromagnética y la fuerza gravitatoria.

De las 4 fuerzas, la menos relevante, en la escala de las dimensiones nucleares, es la fuerza gravitatoria, al contrario de lo que sucede en el mundo macroscópico u ordinario. Las fuerzas nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil sólo actúan en el interior del núcleo. La fuerza que realmente dirige el comportamiento de los electrones con respecto al núcleo del átomo e incluso permite y controla la formación de las moléculas, es la fuerza electromagnética.

En éste ámbito es la que reina soberana y define todas las funciones válidas o no válidas entre los mismos electrones, entre electrones y núcleos y entre átomos de cada una de las moléculas. Los campos eléctricos y magnéticos que allí se forman son también los que regulan los fenómenos de interferencia, dispersión y choque entre las partículas producidas en los grandes aceleradores, etc.

Lo que aquí debe destacarse son los valores de las fuerzas producidas por las partículas cargadas que, debido a las magnitudes de carga, masas y distancias relativas, hacen despreciables los efectos gravitatorios

1.- Comparemos la fuerza de atracción eléctrica entre protón y electrón contra la fuerza de atracción gravitatoria de las mismas partículas. Dado que las cargas eléctricas Q del protón y del electrón son iguales y opuestas, conocida la distancia entre protón y electrón para el átomo de hidrógeno, se obtiene como fuerza de atracción eléctrica el valor:

$$F = 80 \times 10^{-9} \text{ Newtons } \text{ ó } F = 8,16 \text{ microgramos fuerza.}$$

Mientras que la fuerza de atracción gravitatoria es el infinitésimo:

$$F = 3,6 \times 10^{-47} \text{ Newtons } \text{ ó } F = 2,3 \times 10^{-37} \text{ microgramos fuerza.}$$

¡Diez trillones de trillones de veces menor que la fuerza eléctrica!

2.- En el modelo atómico elaborado por Físico danés Niels Bohr en 1922, el átomo de hidrógeno tiene un electrón que gira a su alrededor de tal modo que su fuerza de inercia (o centrífuga) iguale a la fuerza de atracción eléctrica. Dado que el electrón debe girar en una determinada órbita denominada estacionaria, que por razones derivadas de la teoría cuántica, no deja que el mismo pierda su energía y caiga con el tiempo sobre el núcleo, dicho electrón gira con un radio  $R = 5,3 \times 10^{-9} \text{ cm.}$  ó 5,3 nanocentímetros.

Tal rotación alrededor del núcleo debe hacerse a muy alta velocidad para vencer su atracción. Los cálculos dan como valores de la frecuencia de rotación a:

$$f : 6,5 \times 10^{15} \text{ ó } 6,5 \text{ mil billones de giros por segundo!!!}$$

Esto representa una velocidad de desplazamiento equivalente a 2,12 millones de metros por segundo.

### 5.- Las Partículas Elementales.

Una vez que nos familiarizamos con las nuevas magnitudes de longitud y de tiempo, tan pequeñas y simultáneamente tan ricas en la producción de eventos que cimentaron la estructura del futuro universo. Enumeremos ahora cuales eran las partículas elementales existentes durante los nanosegundos posteriores al big-bang, que coinciden con las mismas

partículas que los investigadores modernos encuentran en sus laboratorios de las altas energías.

Realmente, las partículas elementales que forman toda la materia conocida, generadoras de las estrellas y de los planetas, de la tierra y todos sus habitantes, animales o minerales, son relativamente pocas: unas 5 primordiales y unas 10 o 12 a lo sumo, si incluimos las partículas-fuerzas de unión entre las primeras cinco.

El resto de partículas elementales, hasta llegar a unas 400, son las que surgieron en los procesos evolutivos intermedios, como por ejemplo en la formación de un neutrón. Tales partículas intermedias suelen tener vidas muy cortas, por ejemplo  $10^{-24}$  segundos o aún menores. Sin embargo no dejan de ser importantes, puesto que sin ellas no podría haberse generado el neutrón ni las demás partículas.

Estas partículas, en la actualidad, prácticamente no existen; sólo se obtienen en los laboratorios nucleares que manejan enormes energías y aceleraciones capaces de producir violentos impactos con los núcleos atómicos, o debido al choque eventual de los rayos cósmicos con un átomo y puestas de manifiesto en una cámara de burbujas.

Si consideramos las 5 partículas que son la estructura del Universo (**protones, neutrones, electrones, fotones y neutrinos**), las cuales, en realidad, no todas son elementales. Sin embargo, por su importancia histórica y dado el extenso conocimiento ya alcanzado acerca de su naturaleza y propiedades, se consideran en la base de la pirámide para la exposición didáctica de la física de las partículas.

Veremos a continuación una primera clasificación de las partículas conocidas. Para una clasificación más detallada ver el cuadro adjunto "**Partículas Elementales**".

En primer lugar agruparemos las partículas en dos conjuntos: **Portadores de Masa** y **Portadores de Energía**.

**A.-)** Los portadores de masa son los **Bariones, Mesones y Leptones**. Los bariones (de la expresión griega baryos que significa pesado) tienen por componentes más importantes a los **protones y a los neutrones**, llamados ambos con el nombre común de nucleones.

Los bariones son los que forman la mayor parte de la masa existente en el cosmos; por ello, a veces, la materia común se la denomina materia bariónica.

En el laboratorio se conocen más de 150 bariones diferentes, que en su origen fueron partículas de transición de los ciclos evolutivos. Todas ellas han desaparecido hoy en día; quedando únicamente los protones y los neutrones, o sea los quarks, siendo éstas últimas las verdaderas partículas elementales.

En efecto, a partir de los años 70, se sabe de la existencia de unas partículas mucho más pequeñas y mucho más extrañas que las conocidas hasta ese momento llamadas **Quarks**. Se conocen, hasta el momento, 6 variedades diferentes, con sus 6 variedades de anti-quarks.

En la formación del protón entran tres quarks, dos quarks llamados  $u^+$  y uno llamado  $d^-$ .

En la formación del neutrón entran dos quarks  $d^-$  y uno  $u^+$ .

Dichos quarks tienen carga eléctrica,  $u^+$  tiene carga eléctrica positiva:  $+2/3$  de la carga del electrón "e", y el quark  $d^-$  tiene carga eléctrica negativa equivalente a  $-1/3$  de la carga del electrón "e". La carga electrónica unitaria se denomina:  $\pm Q$ .

Todo lo cual hace que el protón tenga una carga eléctrica resultante de  $+Q$ , igual y opuesta a la del electrón y que el neutrón sea neutro.

Además de carga eléctrica, que es una fracción de la carga del electrón, el quark tiene un segundo tipo de carga llamada **carga color**. Esta es de otra naturaleza que la carga eléctrica; está relacionada más bien con la fuerza fuerte que une los quarks entre sí en el interior del protón. Tienen además otras características muy peculiares que sólo interesarán cuando se los estudie más profundamente. Ver cuadro "**Standard model**".

Otras partículas de la familia perteneciente a los portadores de masa, son los mesones. Éstas son partículas muy diferentes a los bariones aunque cuando fueron detectadas originalmente se pensó que eran partículas del mismo tipo que los bariones, pero más livianas. Tienen una masa intermedia, de ahí su nombre de mesones, entre los bariones y los electrones o leptones.

Posteriormente se encontró que eran partículas formadas por sólo 2 quarks y no por tres, como en el caso de los nucleones. Se determinó también que eran partículas con un spin de valor entero, mientras que los bariones son partículas con un spin fraccionario.

El spin es un parámetro que originalmente se vinculó al momento de rotación del electrón alrededor de sí mismo (spin en inglés significa rotar sobre sí mismo, como en el caso de un trompo). Actualmente no se considera que el electrón rote sobre sí mismo, pero continuó denominándose spin a una importante propiedad que caracteriza no solo a los electrones sino a todas las partículas elementales.

A partir de su similitud con la teoría cinética de los gases, y con el auxilio de la mecánica estadística, se analizó el comportamiento estadístico de las partículas elementales.

Los físicos E. Fermi (Italiano, 1901 – 1954) y P.A.M Dirac (inglés 1902-1984), elaboraron una teoría que se conoce como la estadística de Fermi-Dirac.

Por su parte los físicos S. Bose (hindú 1894 – 1974) y A. Einstein (alemán 1879 – 1955), establecieron la teoría denominada estadística de Bose-Einstein.

Se comprobó que todas las partículas elementales obedecen a una u otra de las dos estadísticas. Las partículas que tiene spin fraccionario ( $+1/2$ ,  $-1/2$ ,  $+3/2$ ,  $-3/2$ ) obedecen a la estadística de Fermi-Dirac y son llamadas **Fermiones**.

Las partículas que tienen spin entero (0, +1, -1, +2) obedecen a la estadística de Bose-Einstein y se denominan **Bosones**.

Las estadísticas cuánticas nombradas originan una nueva gran división entre las partículas, de forma similar a originada por los portadores de masa y los portadores de energía; pueden clasificarse las partículas según su spin: se llaman fermiones a las que se agrupan con spin fraccionario, mientras que, se llaman bosones a las que se agrupan con spin entero o nulo.

Se comprueba que, en la familia de los portadores de masa, los bariones, los leptones y los quarks son fermiones, mientras que los mesones son bosones.

Los leptones son partículas sumamente livianas (leptón es un término de origen griego que significa liviano) y entre ellas se encuentra el famoso **electrón** y el también famoso y escurridizo **neutrino**. Otras partículas que integran a la familia de los leptones son: el muón, el tauón y sus respectivos neutrino-muón y neutrino-tauón, mucho más pesados que el neutrino electrónico.

Ver el cuadro standard\_model.

**B.-)** Los portadores de energía pertenecen todos a la familia de los bosones. Son los denominados: **fotones, gluones, bosones vectoriales intermedios y gravitones**.

Los **fotones** son los portadores de energía más conocidos. Ellos transmiten la fuerza electromagnética entre las partículas, cuyo caso más conocido es la fuerza de atracción entre el electrón y el protón.

Los fotones son conocidos también como una radiación. Por ejemplo:

- Los rayos X son una radiación de fotones de alta energía.
- La radiación gama, son fotones de muy alta energía.
- La luz visible es una radiación de fotones de media energía.

Entre sus principales características pueden citarse:

- ✓ Extrañamente, la antipartícula del fotón es el mismo fotón.

- ✓ Tienen masa nula y su spin es unitario.
- ✓ Es por lejos la partícula más abundante en el universo: su densidad de flujo es  $(10^{12} \text{ fotones /mm}^2 \times \text{segundo})$ ; esto significa que cada milímetro cuadrado de superficie es atravesado cada segundo por un billón de fotones.

Los **gluones** deben su nombre (glue significa cola en inglés) a que mantienen unidos a los quarks dentro del núcleo del átomo y dentro de los mesones. También tienen masa nula y spin unitario. De forma similar a los fotones, se encargan de transmitir la fuerza nuclear fuerte, conocida como **fuerza-color**, entre los quarks. Este tipo de fuerza es similar a la fuerza que mantiene unidos a los protones. Debe tenerse en cuenta que éstos son todos de carga eléctrica positiva y que por lo tanto, por efecto de la fuerza eléctrica, se repelen fuertemente entre sí, dada su extrema proximidad.

La fuerza-color, que forma parte de la teoría cromodinámica cuántica, es todavía varias decenas de veces superior a la anterior pero de similares características.

Los **bosones vectoriales intermedios** son tres partículas elementales conocidas como: partícula  $W^+$ , partícula  $W^-$  y partícula  $Z^0$ .

Todas son bosones de spin unitario y sus masas son considerablemente más altas que las de las partículas anteriores. Su nombre se debe a que son intermediarios de la fuerza nuclear débil, responsable, entre otras cosas, de la desintegración beta, o sea, de la desintegración de un neutrón en un protón más un electrón más un antineutrino.

Finalmente los gravitones son unas partículas misteriosas, no detectadas todavía, que serían los intermediarios de la fuerza de gravedad. Según la teoría que los predijo, tendrían un spin = 2. Se desconoce si tiene masa y si tienen algún tipo de carga.

#### 6.- ¿Que ocurrió en el primer nanosegundo?.

En posesión de alguna experiencia con los valores infinitesimales de tiempo y de espacio y convencidos de su gran contenido de eventos, comenzaremos a ver con algún detalle que nos dice la física acerca de la ocurrencia o sucesión de eventos luego del tiempo de Planck o a partir del big-bang.

#### \*\*\* $10^{-43}$ segundos: tiempo cero.

Una suposición razonable es que en ese instante ( $10^{-43}$  seg.) existía en el punto ígneo una temperatura de  $10^{32}$  °K (100 quintillones de grados, comparar esta inalcanzable temperatura con la existente en el centro del Sol: 15 millones de grados), la densidad era no menos impresionante que su temperatura:  $10^{94}$  gramos por  $\text{cm}^3$ , su dimensión ya la comentamos antes, era equivalente a la de una fluctuación cuántica. La materia-energía debió estar sustancialmente en equilibrio.

En las siguientes 10 millones de unidades de tiempo de Planck, que transcurren hasta el instante  $10^{-36}$  seg, se producen dos eventos fundamentales y misteriosos.

El primero fue el mencionado defecto de asimetría. Muchos científicos consideran que se originó al separarse la fuerza de gravedad de la fuerza única que existía anteriormente: **la gran fuerza unificada**. Esta separación implicó una rotura de la simetría dentro del equilibrio primitivo.

La rotura de una simetría puede compararse al fenómeno del congelamiento del agua en un recipiente: a unos pocos grados de temperatura por encima del cero, el agua presenta un alto grado de homogeneidad. La probabilidad de encontrar una molécula de agua en un punto cualquiera del interior del recipiente es estadísticamente igual que la probabilidad de encontrarla en cualquier otro punto. Todas las moléculas del agua están homogéneamente distribuidas. Si se baja la temperatura por debajo de 0°C comienza a congelarse y a formarse los primeros cristales, la simetría se va perdiendo, las moléculas del agua cristalizan para formar el hielo hasta que desaparezca el agua líquida.

Análogamente, cuando el universo se “heló” al bajar la temperatura bruscamente desde  $10^{32}$  °K hasta la  $10^{28}$  °K, se perdió la simetría de la fuerza gravitatoria con las otras tres fuerzas.

Inicialmente había una sola gran fuerza que mantenía la homogeneidad dentro del punto primordial; al desacoplarse una de las fuerzas, sin que sepamos por qué ocurrió, la simetría se quebró.

El segundo evento, es el comienzo de la etapa inflacionaria o de la **inflación cósmica**. Según la teoría, esta etapa comenzó en el instante  $10^{-36}$  segundos y dio origen a la ultrarrápida expansión que ya mencionamos: el universo comenzó su expansión a un ritmo exponencial, de manera que se multiplicó por 2,3 veces cada  $10^{-34}$  segundos.

Los autores y promotores de la teoría de la inflación cósmica, que naciera en 1979, Alan Guth y Andrei Linde, investigadores americano y ruso respectivamente; no tuvieron mayor credibilidad cuando la presentaron ante los foros de especialistas.

Pero, lentamente, a medida que la teoría fue capaz de explicar los diversos problemas que planteaba el modelo del big-bang (el universo plano, los monopolos magnéticos y el horizonte del universo, entre otros), fueron poco a poco captando la aprobación de los científicos.

Entre otros resultados positivos está la correcta explicación que propuso sobre la forma en que se originaron las galaxias a partir de algunos pequeños cúmulos o semillas cósmicas. Finalmente, prácticamente todos terminaron por aceptar los supuestos de la teoría.

Continuando con la evolución, en el tiempo  $10^{-35}$  segundos, es decir, 90 millones de veces el tiempo de Planck, posterior al comienzo de la inflación cósmica y de la primera rotura de la simetría, se iniciaron otros dos importantísimos eventos: **el desacople de la segunda fuerza, la fuerza fuerte, y la generación de la primera tríada de partículas elementales: los quarks, los electrones y los neutrinos**.

Ambos temas se desarrollan a continuación.

## 7.- El caldo inicial en que nacieron los Quarks.

\*\*\*  $10^{-35}$  segundos después.

Estamos en el instante  $t = 10^{-35}$  segundos, la temperatura continúa descendiendo para llegar a los  $10^{27}$  °K; el universo está en plena etapa de inflación en la cual actúan las fuerzas anti-gravitacionales derivadas de los campos escalares ya citados.

Debido a la expansión que está actuando y a las violentísimas interacciones de las radiaciones, fotones de altísima energía que “chocan” entre sí, comienzan a generarse las primeras partículas elementales.

Según surge del estado actual de la cosmología y de la física de las partículas, los primeros entes materiales debieron ser **los quarks con sus respectivos antiquarks**.

De quarks están hechos los ladrillos fundamentales de nuestro universo: los protones y los neutrones. Pero, a los  $10^{-35}$  seg faltaba mucho tiempo para que pudieran producirse esas partículas. La elevadísima temperatura existente producía tal agitación térmica que impedía que los quarks se unieran entre sí para formar algún tipo de partícula estable. Los choques entre ellos tenían aún demasiada intensidad.

A continuación aparecieron en escena otros dos componentes esenciales. Cuando dos fotones de alta energía chocan entre sí, **generan un electrón y un antielectrón** (llamado comúnmente positrón). Finalmente, y de forma similar, se generó la partícula que acompaña a los electrones: el misterioso y escurridizo **neutrino electrónico** y su correspondiente antineutrino.

Estos tres tipos de partículas, además del quark, son las más pequeñas que se conocen. El neutrino parece ser de masa nula o ella es tan evanescente como  $10^{-37}$  gramos; no existe nada material con una masa tan pequeña. El neutrino no tiene carga eléctrica, es un fermión de spin fraccionario =  $\frac{1}{2}$  y pertenece a la familia de los leptones como el electrón.

En cuanto a los quarks, de ellos se conocen actualmente 6 tipos diferentes (llamados también sabores) con sus 6 antiquarks. Todos ellos son fermiones de spin  $\frac{1}{2}$ .

La masa de los quarks no ha podido aún ser medida en forma directa ya que no es posible separar un único quark de la partícula que constituye (protones, neutrones o mesones), tampoco es posible deducir su masa sabiendo que un protón está formado por 3 quarks. Esta suposición daría una masa ficticia de:

$$M_{\text{quark}} = 1,673 \times 10^{-23} \text{ gramos} / 3 = 5,57 \times 10^{-24} \text{ gramos.}$$

Los mejores cálculos realizados dan como masa del quark "up" el valor:  $7,13 \times 10^{-27}$  gramos. La diferencia de masas se debe a la energía de unión entre los quarks, materializada por unas partículas portadoras de energía llamadas gluones.

La diferencia de masa es precisamente la energía de unión, calculada con la fórmula de Einstein;  $Energía = M \times C^2$ .

La siguiente partícula generada fue el electrón y su antipartícula el positrón. Ambos son fermiones con un spin fraccionario =  $\frac{1}{2}$ , y una carga eléctrica negativa en el electrón y positiva en el positrón. Su valor pasó a ser la unidad elemental de carga eléctrica, antes de que se conociera el quark. Los valores de carga y masa del electrón son:

$$Q_e = - 1,602 \times 10^{-19} \text{ Coulombios.}$$

$$M_e = 9,11 \times 10^{-28} \text{ gramos.}$$

La masa del positrón es igual a la del electrón.

En la tabla siguiente resumiremos las propiedades de las partículas que estuvieron presentes en esos primeros instantes.

	Carga eléctrica	Masa (g)	Spin	Antipartícula
Electrón	$Q_e = - 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$	$9,11 \times 10^{-28}$	$\frac{1}{2}$	$+ 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Quark "up"	$+ 2/3 \times Q_e$	$7,13 \times 10^{-27}$	$\frac{1}{2}$	$- 2/3 \times Q_e$
Quark "down"	$- 1/3 \times Q_e$	$14,2 \times 10^{-27}$	$\frac{1}{2}$	$+ 1/3 \times Q_e$
Neutrino	Nula	$10^{-37}$	$\frac{1}{2}$	Nula
Gluón	Nula	Nula	1	Nula
Fotón	Nula	Nula	1	Nula

\*\*\*  $10^{-32}$  segundos después.

Andrei Sajarov, físico ruso (1921 – 1989), explica la creación de partículas de la manera siguiente: el universo está poblado por un número estrictamente igual de partículas y antipartículas. Los choques entre fotones engendran un gran número de electrones, quarks y neutrinos (con sus antipartículas). Continuamente ocurren las transformaciones en uno y otro sentido (partículas y antipartículas se intercambian con los fotones).

Hay por el momento una gran producción de partículas y antipartículas con una gran simetría.

Mientras esto ocurre, se produce el suceso capital para el universo: la desunificación de la fuerza fuerte de la electrodébil. Esto provoca una ligera asimetría entre materia y

antimateria: la creación de un pequeño excedente de materia respecto a la antimateria. **Por cada mil millones de antipartículas hay mil millones más una partícula.**

Esta asimetría estaría en el origen de la formación de un universo de materia en lugar de un universo de pura energía. Sin ella el universo primordial hubiera continuado la generación de partículas y antipartículas para luego aniquilarlas volviéndolas al estado de radiación fotónica. El proceso hubiera culminado en un universo de pura energía.

El denso puré casi simétrico se va a conservar largo tiempo, por lo menos hasta el instante  $10^{-12}$  segundos. La superioridad de la población de materia sobre la de antimateria se ampliará prodigiosamente hasta el momento supremo de la hecatombe final de quarks y electrones que ocurrirá a partir de ahora.

**\*\*\*  $10^{-12}$  segundos después.**

Como lo explica Sajarov, a medida que pasa el tiempo y que baja la temperatura, los fotones van perdiendo su energía y ya no pueden generar nuevos pares de partículas y antipartículas con el mismo ritmo anterior. Hacia el instante  $10^{-12}$  segundos la situación es que, en promedio, **de cada 3 mil millones de fotones se ha formado un electrón y tres quarks, en exceso de sus antipartículas.** Recordemos que el exceso era de 1 partícula material cada mil millones de pares partícula-antipartícula.

En ese momento, por falta de energía suficiente, comienza la destrucción de todos los pares partícula-antipartícula, los fotones dejan de producir pares por lo que sobrevivirá solamente el excedente de partículas sobre sus antipartículas (electrones, quarks y neutrinos), que escaparon de la masacre por no encontrar a su rival.

Esta es la llamada hecatombe de quarks y electrones.

Agradecemos a la rotura de simetría de las fuerzas, o a la ínfima asimetría de 1 sola partícula másica por cada 3 mil millones de fotones que se transforman en partículas y antipartículas. Estas partículas másicas sobrantes, **¡son el origen de nuestra existencia!**

**\*\*\* Entre  $10^{-12}$  segundos y 1 microsegundo ( $10^{-6}$ ).**

El tiempo restante hasta llegar al primer microsegundo ( $10^{-6}$  segundos) de vida del universo está enteramente dedicado a las primeras formaciones de protones, neutrones y piones.

Las grandes temperaturas aún existentes en  $t = 10^{-12}$  segundos, alrededor de  $10^{15}$  °K (mil billones de grados), determinaron que las partículas existentes, (quarks, electrones y neutrinos), como también las radiaciones fotónicas y los gluones (agentes de unión entre los quarks), no pudieran combinarse entre sí debido a la excesiva energía de agitación térmica existente.

Pero, mientras tanto la temperatura continuaba descendiendo. Al microsegundo de vida alcanzará los  $10^{13}$  °K, con lo que descendió desde su origen casi 10 billones de grados. Durante este período, como consecuencia de la disminución de la temperatura y de la energía existente, algunas partículas comenzaron a asociarse entre sí.

Por la presencia de la fuerza nuclear fuerte (en realidad una fuerza que se llamó posteriormente fuerza color, de la misma familia que la fuerza fuerte), los quarks comenzaron a asociarse de a tres y de a dos formando los próximos nucleones y mesones:

- 2 quarks "up" (de carga eléctrica  $Q_e = +2/3$  c/u) y 1 quark "down" (de  $Q_e = -1/3$ ) **formaron un protón** (de carga eléctrica + 1  $Q_e$ ).

- 1 quark "up" (de Carga eléctrica  $Q_e = +2/3$ ) y 2 quarks "down" (de  $Q_e = -1/3$  c/u) **formaron un neutrón** (de carga eléctrica total nula).

- 1 quark "up" (de carga eléctrica  $Q_e = +2/3$ ) y 1 antiquark "down" (de  $Q_e = +2/3$ ) **formaron un pión** (de carga eléctrica + 1  $Q_e$ ).

Este último mesón (**pión\***) desempeñará más adelante un importante papel como portador de energía, mediador de la fuerza fuerte entre protones y neutrones. Notablemente su existencia fue prevista teóricamente por Hideky Yukawa, más de 10 años antes de su detección experimental.

Por su parte **los electrones**, que bullían alrededor, aún tenían demasiada energía para que la fuerza electromagnética, más pequeña que la fuerza fuerte y aún no separada de la fuerza electrodébil, pudiese asociarlo al protón para formar el primer elemento atómico: el hidrógeno. Esto ocurriría en el siguiente microsegundo.

**El neutrino**, por su escasísima masa y por otras razones aún no muy claras, solamente interactuaba con los protones y los neutrones, convirtiéndolos incesantemente unos en otros. El neutrino, junto con las demás partículas, permanecía en el fluido cósmico existente, aún opaco para permitir su libre desplazamiento.

Más tarde le llegaría también su hora.

### 8.- La nucleosíntesis primordial y la culminación del primer segundo.

Ahora estamos llegando al momento más importante en la formación del universo: la Nucleosíntesis. Ella significa la formación de nuevos núcleos y de nuevos átomos a partir de los protones, neutrones, electrones, neutrinos y fotones. Primordial significa que se produjo en los primerísimos instantes del big bang, para distinguirla de la nucleosíntesis estelar. Este proceso, que comenzó luego de la formación de los quarks, electrones y neutrinos, se originó en la levísima asimetría en la producción de partículas mas bien que de antipartículas. En la actualidad éste proceso sólo tiene lugar en el sol y en las estrellas.

#### \*\*\* 1 microsegundo después.

Este momento es muy importante; estamos a 1 microsegundo después del big bang y el proceso de formación del universo está en el punto de no retorno. Esto significa que todo lo que ocurrirá posteriormente, a partir de este momento, **ya está definido**. Todo lo que ocurrirá será consecuencia de leyes físicas que ya conocemos y que fueron aplicadas para explicar y comprender científicamente la formación de las galaxias, de las estrellas y de los planetas.

Detengámonos un poco en este instante,  $10^{-6}$  segundos después del inicio. No estamos cerca del primer segundo de tiempo, ni siquiera estamos cerca del milésimo del tiempo transcurrido. Aún falta prácticamente 1 millón de microsegundos para llegar al primer segundo o, dicho de otra forma, faltan aún 999,999 milisegundos para completar el primer segundo. Y no obstante todo está definido y determinado.

La temperatura ha bajado hasta  $10^{13}$  °K, la materia cósmica presente tiene una densidad todavía del orden de la del núcleo atómico ( $3,8 \times 10^9$  g/cm<sup>3</sup>).

Pero la temperatura continuaba descendiendo pavorosamente, de 10 billones baja a 100 mil millones de grados sólo en algunos picosegundos. Se produce entonces otro importante fenómeno, si bien lo bastante misterioso como para que no podamos agregar mucho sobre él: se concretó el desacople de la fuerza electrodébil de la fuerza electromagnética, originando separadamente la fuerza débil y la electromagnética. (Ver gráfico: "Unification of the fundamental forces"). La fuerza débil, para nombrar alguna de sus características, es la responsable de un importante efecto conocido como la desintegración beta, proceso vital para la generación de la energía radiante con que el Sol mantiene la vida sobre la Tierra.

A una temperatura era superior a los diez mil millones de grados el universo era una densa materia cósmica, homogénea en la creación y aniquilación casi simultánea de nucleones, electrones, neutrinos y otras partículas elementales, pero no hay aún formación de núcleos atómicos.

A estas temperaturas, los neutrinos juegan un papel de gran importancia. Absorbidas y reemitidas sin cesar por los nucleones, estas partículas, juntamente con los electrones, transforman continuamente los protones en neutrones y viceversa. Dichas reacciones, gobernadas por la fuerza débil, mantienen en equilibrio la cantidad existente de protones con la de neutrones.

Con la nueva disminución de la temperatura y, como consecuencia de la disminución de la energía de agitación térmica en el fluido cósmico, comienzan a tener lugar nuevos acontecimientos: la energía de los neutrinos y la energía de las demás partículas disminuye progresivamente y, por debajo de los diez mil millones de grados, los neutrinos no son capaces de interactuar con los nucleones por falta de energía. No siendo ya absorbidos por estas partículas, los neutrinos comienzan a desacoplarse y circular libremente por la materia cósmica, la cual se convierte en transparente a su movimiento.

Además, la población de neutrones libres comienza a reducirse ya que, con el desacople de la fuerza débil y la simultánea falta de interacción con los neutrinos, el neutrón se vuelve inestable y se desintegra en un protón, un electrón y un neutrino. Por otra parte, los protones son estables ante la fuerza débil y por lo tanto crece la población de protones en desmedro de la de neutrones. El porqué los protones son estables, al encontrarse aislados, pero no así los neutrones, es otro de los secretos mejor guardados por la naturaleza.

El evento más importante en la formación de los átomos que originarán la materia, es la rotura del equilibrio entre neutrones y protones: antes existían en partes iguales y por la alta energía de agitación térmica no podían interactuar entre sí. Ahora pueden interactuar uniéndose un protón y un neutrón formando el núcleo del átomo del deuterio. Este núcleo, que está formado *por un protón y un neutrón en contacto entre sí*, se mantiene unido por la fuerza nuclear fuerte, cuyo mediador es el mesón Pi, cuya existencia fue postulada teóricamente por H. Yukawa una década antes de su hallazgo en los laboratorios.

Casi inmediatamente se forman también los núcleos del átomo de helio (recordemos que el núcleo de helio está formado por 2 núcleos de deuterio), algunos vestigios de núcleos de litio, constituidos por 3 protones y 4 neutrones y, por supuesto, lo que se había formado de antes, el núcleo del átomo de hidrógeno, consistente en un único protón.

### \*\*\* 10 milisegundos después.

Han transcurrido, hasta ahora, unos 10 milisegundos desde el momento del big-bang. La temperatura, recordemos, está en los diez mil millones de grados ( $10^{10}$  °K) y la mezcla de materia cósmica está formada por protones, neutrones, núcleos de deuterio, núcleos de helio, neutrinos y radiación cósmica de fotones.

Esta última se calcula en  $10^{30}$  fotones por  $\text{cm}^3$  mientras que la cantidad de nucleones (protones y neutrones) se calcula en  $10^{18}$  unidades por  $\text{cm}^3$ . De modo que existen en esos momentos cien mil millones de fotones por cada barión (o nucleón); esta forma de comparar la evolución de la materia con respecto a la radiación nos será más útil posteriormente.

Vimos que durante el descenso de temperatura de 3 mil millones de grados a menos de mil millones, los neutrinos se desacoplaron de las demás partículas y comenzaron a circular libremente por el universo sin interferir con ninguna otra partícula. Esta es la llamada **radiación fósil de neutrinos**, similar a la conocida **radiación fósil de fotones** que ha sido detectada por los físicos Arno Penzias y Robert Wilson en 1965 (estos dos físicos recibieron el premio Nóbel en 1978 por este descubrimiento, posiblemente uno de los más importantes que apoyaron la teoría del big-bang. Ver en el Apartado 10 su origen y consecuencias).

La denominación de radiación fósil se debe a que fue emitida en los primeros instantes de vida del universo; nada hay más antiguo con posibilidades de detectarlo hoy en día.

Lamentablemente, aún no pudo comprobarse físicamente la radiación de neutrinos, como ya se hizo con la de fotones. La razón es debida a su casi nula interacción con la materia. Sólo recientemente se ha podido detectar la presencia de neutrinos de alta energía provenientes del sol, o más recientemente aún, proveniente de la aparición de la supernova 1987A, detectada precisamente en 1987.

En su origen, unos 10 milisegundos después del big bang, la energía media de los neutrinos era de 1 MeV, ó de un millón de electrón-volt, mientras que en la actualidad, realizando los mismos cálculos que para la radiación fósil de fotones, su energía media es apenas de un milésimo de electrón-volt (correspondiente a una temperatura de 1°K aproximadamente) y su densidad es de 450 neutrinos por cm<sup>3</sup>.

Para el caso de la radiación fósil de fotones, comprobado experimentalmente, su energía media es equivalente a una temperatura de 2,7 °K, o sea de aproximadamente 3 milésimos de electrón-volt. Pero, en este caso se cuenta con una gran ventaja: los fotones interactúan con la materia.

En éste período tuvo lugar la **nucleosíntesis primordial**, así denominada para diferenciarla de la nucleosíntesis a secas, que ocurre permanentemente en el núcleo del Sol y de las estrellas.

Al término de la nucleosíntesis primordial la temperatura variaba entre los 3 mil millones y los mil millones de grados. Con esto se termina la etapa de los neutrones libres: todos ellos han integrado los núcleos del deuterio, del helio y, en mucho menor escala, del litio; si exceptuamos aquellos que se desintegraron en protones, electrones y neutrinos.

Por otra parte, al no existir más energía para que los fotones puedan seguir creando las duplas electrón-positrón, queda firme la cantidad de electrones libres sobrantes de la asimetría del ya nombrado colapso electrónico.

Cuando la temperatura existente era de diez mil millones de grados, la población de protones era de un 76% y la de neutrones era de un 24%. Estas partículas convivían con las primeras formaciones de núcleos de deuterio, de helio y pequeños rastros de litio. Las tres principales fuerzas se han desacoplado: la gravitatoria, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil (recordemos que la fuerza electromagnética todavía no ha aparecido); los neutrinos también se han independizado. En tales condiciones concluye la era de la nucleosíntesis primordial.

***Ha transcurrido hasta ahora un segundo de vida de nuestro universo.***

### **9.- Los núcleos atómicos del primer minuto.**

El enfriamiento del universo va atenuando la extraordinaria actividad del primer segundo. Por la misma razón, se conservará una fracción de los núcleos del deuterio primordial, que encontramos experimentalmente en las galaxias y en los cúmulos estelares. Es el mismo deuterio que hoy en día se utiliza en los reactores nucleares bajo la forma de agua pesada. También se conserva el helio, observado en las galaxias y vestigios de litio, en las estrellas más antiguas.

***\*\*\* Entre el primer segundo y el primer minuto.***

Conjuntamente con la radiación fósil, estos elementos nos recuerdan esos instantes de tremenda actividad. También nos dicen que ese horno creador sólo pudo concebir los elementos más livianos, hidrógeno, deuterio, helio y litio. Los demás elementos pesados se formarán más tarde.

Pero esta limitación también nos prueba que el universo alcanzó en sus inicios temperaturas superiores a los diez mil millones de grados, ya que a esas temperaturas solamente pueden permanecer estables núcleos muy livianos, capaces de soportar las violentísimas interacciones provocadas por la energía de la agitación térmica.

Los núcleos más pesados, como por ejemplo el carbono, hubieran sido desintegrados por los brutales impactos con otros núcleos.

Esto prueba de que el universo alcanzó tales temperaturas, o mayores, y constituye una confirmación más de la teoría del big-bang que se apoya fundamentalmente en la existencia de esos intensísimos estados energéticos.

En esos primeros instantes la concentración de los protones en el universo primordial, era del 87% y la de los neutrones del 13%. Un 75% de los protones han formado principalmente los núcleos de hidrógeno, el resto ha formado, junto con los neutrones presentes, el 5% de deuterio y el 20% de helio, participando con 1 y 2 protones y con 1 y 2 neutrones respectivamente, en cada núcleo.

Todos los neutrinos viajan en forma libre a través de la materia cósmica que resulta transparente a su paso. Los electrones, sobrantes de la aniquilación previa con los positrones, también viajan libremente a través de esa lava incandescente, con la particularidad de que su número es exactamente igual al de los protones. Desde esos instantes iniciales, la carga eléctrica total siempre ha sido nula, y así continúa actualmente.

La población de esas partículas y núcleos atómicos, ha permanecido prácticamente intacta hasta el presente, con la salvedad de que los neutrones no pueden quedar libres ya que se aniquilan a través de la desintegración beta. En consecuencia, el producto de la nucleosíntesis primordial se mantiene indefinidamente: los protones, electrones, fotones y neutrinos conservan inalterable su cantidad, los neutrones libres desaparecen (se combinan con los protones para formar deuterio, helio, litio, berilio, etc.) y las cantidades de núcleos de hidrógeno y helio, junto con las cantidades mínimas de otros elementos, se mantienen en las proporciones siguientes:

Hidrógeno	90%
Helio (casi)	10%, del deuterio sólo hay vestigios
Carbono	0,15%
Oxígeno	0,07%
Litio	$10^{-7}$ %
Uranio	$10^{-10}$ %

Estos valores han sido confirmados por las mediciones hechas en las galaxias conocidas, tanto las antiguas como las nuevas. Cuanto mayor es la actividad estelar de las galaxias, tanto más aumentan los porcentajes de elementos pesados como helio, oxígeno, carbono, etc. en detrimento del hidrógeno.

Es importante destacar que los elementos pesados no se formaron en la nucleosíntesis primordial sino en la nucleosíntesis corriente que ocurre en los núcleos de las estrellas. Tal el caso de la formación del helio en el interior del sol y de todas las estrellas en actividad. La formación de elementos como el oxígeno o el carbono o de elementos muy pesados como el plomo, el hierro, etc. Cómo ocurre durante las grandes catástrofes estelares que luego dan origen a las supernovas.

Los impresionantes resultados obtenidos a partir del actual modelo del big-bang, tienen validez por la confirmación de las predicciones que la teoría fue capaz de generar.

Las predicciones que hemos enumerado en este resumen, han sido comprobadas por los resultados de las mediciones efectuadas en centenares de laboratorios de todo el mundo.

Pero la teoría del big bang se apoya principalmente en otro supuesto básico: que las leyes de la física, tales como las vamos conociendo a través de las sucesivas teorías, relativista y cuántica, son válidas en todo el universo y que además no cambian con el paso del tiempo.

Una de las mayores previsiones del modelo, confirmado por las mediciones que desde 1966 se vienen realizando, principalmente por medio del satélite COBE, lo constituye el hallazgo de la radiación fósil de fotones en forma de radiación de fondo de microondas.

Por su importancia, concluiremos este resumen con los detalles de tal hallazgo.

### 10.- Rastros actuales del Big-Bang.

Retomando la situación inicial, entre los innumerables sucesos que ocurrieron durante el primer segundo hay uno que merece ser destacado por su relevancia en apoyo al modelo del big-bang.

Luego de la fulmínea expansión original seguida por el enfriamiento de las radiaciones producidas durante los primeros milisegundos, casi todos los quarks y antiquarks generados se estaban reconvirtiendo, generándose y reconvirtiéndose permanentemente en luz fotónica. Volvamos nuevamente a una de las claves ya nombradas: el defecto de asimetría. La "naturaleza" no originó la misma cantidad de quarks que de antiquarks: por cada mil millones de antiquarks y quarks, generó un quark de más.

Este exceso de sólo 1 quark en mil millones, evitó que todo el Universo dejase de ser puramente luz para derivar en la formación de toda la materia existente, es decir: este exceso se convirtió en el origen de todas las galaxias, nebulosas, planetas, meteoritos y, particularmente, de toda la vida sobre la Tierra.

El cosmos era sustancialmente pura radiación, con algunos vestigios de materia originada en los quarks que no lograron encontrarse con los antiquarks. Tal radiación de fotones, con la sucesiva expansión del universo durante los aproximadamente 15 mil millones de años siguientes, se fue enrareciendo y debilitando cada vez más a medida que se iba distribuyendo en la inmensidad del espacio cósmico.

Finalmente a convertirse en lo que hoy llamamos **radiación fósil** de fotones o **radiación cósmica de fondo de microondas**.

En el año 1948 George Gamow (1904-1968), famoso físico de origen ruso, gran partidario de la teoría del big-bang desde sus comienzos, razonó que si hubo en el origen una gran expansión que determinó que las galaxias se alejaran las unas de las otras, entonces en ese origen primordial todo el cosmos debió estar extremadamente caliente generando una monumental radiación de microondas, a la cual denominó ondas de radiación milimétricas, debido a su longitud, y de la cual aún ahora debiéramos poder captar algún vestigio.

Estudió, en consecuencia, la radiación del cuerpo negro y determinó que, efectivamente, debería haber un residuo de radiación de muy baja energía que estimó tener una temperatura de unos diez grados kelvin (ó  $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) con una longitud de onda cercana al milímetro. Como Gamow no disponía de instrumentales físicos como para detectar ese tipo de ondas, el tema quedó parcialmente olvidado.

A principio de los años 60, P. J. Peebles, con sus colaboradores de la Universidad de Princeton, reelaboraron un enfoque nuevo y más moderno del modelo del big-bang. También llegaron a la conclusión de que el universo debía estar lleno de la radiación originada en la expansión primordial. Su energía original estaría muy debilitada por la difusión sufrida con la expansión y, simultáneamente, su longitud de onda sería mucho mayor por causa del mismo efecto expansivo.

Cuando se disponían a construir una antena para efectuar comprobaciones, se enteraron de que dos físicos de la Bell Telephone Laboratories estaban realizando el mismo intento.

Arno Penzias (1933), físico de origen alemán, y Robert Wilson (1936) norteamericano, durante 1964 construyeron una extraña antena corniforme para medir el nivel de microondas de la estática de fondo. No esperaban detectar ningún ruido interferente y se limitarían a informar finalmente el buen funcionamiento de la antena y la falta de estática.

Pero, inesperadamente, el 20 de Mayo de 1964 se hicieron presentes ciertas señales de microondas como las que buscaban. Después de asegurarse de que la antena tenía una adecuada orientación y que no apuntaba hacia ninguna fuente de radiación, como ser New York, y luego de solucionar diversos inconvenientes, entre ellos la presencia de palomas que

con sus excrementos alteraban las mediciones; finalmente, en 1965 se decidieron a publicar sus resultados en el *Astrophysical Journal*. Inmediatamente los científicos de Princeton explicaron que esos resultados se correspondían exactamente con la teoría de la presencia de la radiación fósil de microondas, cosa que sorprendió mucho a Penzias y Wilson.

La radiación detectada en 1965 (prevista por Gamow en 1948) era de muy baja energía, correspondía a unos 3 °K (ó  $-270$  °C) y se convirtió en la radiación más antigua que podamos observar en el cosmos: tan antigua como él mismo.

Para obtener una mayor precisión sobre estas observaciones, por la trascendental importancia que luego obtendría, en Noviembre de 1989 la NASA lanzó el satélite COBE, el cual suministró una información muy precisa: la temperatura de la radiación de fondo resultó ser de 2,735 °K. Otro éxito fue verificar se podía obtener el mismo valor orientando la antena en cualquier dirección, lo cual coincide con la idea de un universo lleno de radiación y proveniente en iguales cantidades desde cualquier sitio.

Sucesivas mediciones, cada vez más precisas, determinaron que había una ligera oscilación en los valores de la temperatura en función de la orientación de la radiación que se medí, variaciones del orden de un diez milésimo de °K. Esto se debe a diferencias de densidad en la distribución de la materia en las fases de creación de las nebulosas y de las galaxias, lo cual nuevamente debe atribuirse a un nuevo defecto de asimetría que surgió en los primeros cientos de miles de años luego del big-bang.

Esto posibilitó que se formaran primero las nebulosas y luego los enormes **cúmulos de galaxias**.

Las razones por las cuales se produjo la mencionada oscilación de temperaturas y densidades en los primeros instantes primordiales, es todavía una incógnita tan profunda que sólo se atina a interpretarlo como un defecto más dentro de la absoluta simetría que presentan en general todos los fenómenos del big-bang.

Tanto el hallazgo de la velocidad de recesión de las galaxias (Hubble 1929), como el hallazgo de la radiación fósil, constituyen los dos descubrimientos más relevantes del siglo XX, en apoyo a la teoría del origen del cosmos.

Ing. Lino Spagnolo (2 de Julio 2005)

### Resumen de: "El primer minuto de la creación del universo".

Existe una "teoría cosmológica standard", o modelo cosmológico, sobre el origen del universo, conocida con el nombre popular de Big-Bang.

Según ella, nuestro universo nació de una singularidad o fluctuación cuántica, que se produjo en el interior de un cuanto de energía pura llamado, también popularmente, **partícula de fuego primordial**, o en inglés: **Primeval Fireball**.

La expansión de esa bola de fuego comienza en un instante, medido a partir del momento de la creación (tiempo cero), que se llama: **tiempo de Planck**.

De acuerdo con los conocimientos actuales, este acontecimiento ocurrió hace  $13,7 \times 10^9$  años. (13 mil 700 millones de años atrás).

El proceso de expansión que se desarrolló a continuación, puede dividirse en varias **fases de transición**:

- Era de Planck o fase de singularidad gravitacional.

- Fase inflacionaria.
- Fase de separación de la fuerza nuclear fuerte.
- Fase del desacople de la fuerza nuclear electrodébil.
- Fase o período de los quarks-antiquarks.
- Fase o período de los hadrones (protones, neutrones y mesones) y leptones.
- Era de la radiación (origen de la actual radiación fósil de microondas).
- Fase de la nucleosíntesis de los elementos livianos (hidrógeno, deuterio, helio)

**Al cabo de estos sucesos, se cumplió el primer segundo de existencia del universo.**

En los 59 segundos que siguen, se consolida la formación de los núcleos de los elementos más ligeros.

### **Expansión y desarrollo del universo.**

El modelo del Big-Bang es una teoría científica que permite explicar y describir con gran precisión todos los grandes hitos de la evolución del universo. Permite explicar su actual expansión, prevista en parte por la Teoría General de la Relatividad de Einstein. Explica asimismo la formación de los elementos livianos y el problema de la abundancia de hidrógeno respecto al helio; da debida cuenta de la existencia de la radiación fósil presente en el universo actual, y provee los fundamentos que permiten comprender el origen y la formación de las galaxias.

La moderna teoría del Big-Bang, se desarrolló ampliamente durante los años 1995 al 2005, sobre todo con las mediciones extremadamente precisas que fueron posibles con el uso del satélite COBE, luego con su sucesor WMAP y finalmente con el telescopio espacial Hubble. Proporciona leyes científicas ampliamente confirmadas en cada una de las áreas nombradas, ya que fue posible comprobar una notable concordancia entre los valores medidos y los previstos por el modelo.

Existen tres fenómenos que fundamentan la validez del modelo del Big-Bang:

1. La expansión del universo observada por Hubble en 1929 (o el alejamiento de las galaxias entre sí).
2. Mediciones de alta precisión de la temperatura y la energía de la radiación fósil.
3. La correcta explicación de la actual abundancia de elementos ligeros en el universo (hidrógeno 90%, helio 9,8%, el resto de los elementos 0,2%).

La teoría del Big-Bang tiene también como fundamentos teóricos, a tres principios físicos:

1. La validez universal, y en todo tiempo, de los principios y de las leyes físicas.
2. El principio cosmológico, o sea, la homogeneidad e isotropía del universo, por lo cual no existen direcciones preferentes o privilegiadas.
3. El principio copernicano, que postula la no existencia de observadores preferentes.

### **La era de Planck.**

De acuerdo con la teoría del Big-Bang, el universo en su origen era extremadamente denso y con una enorme temperatura, calculada en  $10^{32}$  °K. Esto transcurre en el tiempo de  $10^{-43}$  segundos posterior al hipotético comienzo. La teoría postula que nada puede ser conocido antes de ese instante y el comienzo de todo se originó por una fluctuación cuántica, o una falla de simetría. La partícula primordial se expande a partir de los  $10^{-43}$  seg. y desde un diámetro de  $10^{-35}$  metros. Desde ese momento, toda la materia, toda la energía, el espacio y el tiempo inclusive, **adquieren una existencia concreta** y se expanden en tres etapas sucesivas, pero bien diferenciadas.

En la primera etapa, denominada era de Planck, se producen dos fenómenos que aún no se conocen en profundidad: por una parte, la separación de la fuerza de gravedad de la gran fuerza fundamental que agrupaba a las cuatro fuerzas de la naturaleza. Por otra parte se hace

presente el monopolio magnético, partícula que aún no pudo detectarse en el laboratorio, aunque diversos experimentos realizados con altas energías parecen requerir su existencia.

El monopolio magnético estaría en el origen del gran campo escalar que originó la enorme fuerza capaz de expandir la primordial bola energética, un símil de los actuales agujeros negros de los cuales nada puede escaparse. Solamente una fuerza tremenda como la que postula la teoría del Big-Bang podría haber superado la combinación de las fuerzas nucleares fuertes y de las electromagnéticas, que pugnaban por mantener unida una semejante masa concentrada en un "volumen" de  $10^{-33}$  centímetros de diámetro.

Una vez que esta fuerza vence a la fuerza fuerte de cohesión y permite la primera expansión, que lleva a la bola primordial a alcanzar el diámetro de  $10^{-25}$  centímetros, la fuerza gravitatoria se separa de la gran fuerza única y comienza la nueva etapa de la expansión, conocida como expansión exponencial o inflacionaria.

### **Fase inflacionaria.**

Esta era va de los  $10^{-35}$  segundos hasta los  $10^{-32}$  segundos. Durante este tiempo increíblemente corto, el universo se expandió en el orden de  $10^{30}$  veces hasta llegar a un diámetro de aproximadamente 10 metros.

La velocidad de esta expansión superó en varios millones de veces a la velocidad de la luz. Pero no debe olvidarse que esos instantes primordiales, tanto el espacio como el tiempo, también se estaban expandiendo.

Los cálculos muestran que el diámetro del universo creció proporcionalmente más durante ese período que en todo el resto de su existencia.

Durante esta fase ocurre una nueva e importante rotura en la simetría de la gran fuerza única: se produce la separación de la fuerza nuclear fuerte. Su importancia reside en que, posteriormente, será ésta la fuerza que unirá las primeras partículas elementales que se pudieron crear a partir del choque de las radiaciones: **los quarks**.

Al finalizar la fase inflacionaria el universo está a una temperatura de  $10^{27}$  °K y da comienzo la tercera etapa de la expansión. Ésta es ahora más calma y controlada: el universo continuará expandiéndose a la velocidad de la luz.

### **Fase o período de los quarks-antiquarks.**

Durante este período se producen los mayores eventos de la creación: comienzan a aparecer las primeras partículas materiales tal como las conocemos ahora: **los quarks**.

El universo constaba entonces de pura energía, en forma de radiación o de fotones. Debido a la enorme densidad de energía que existía, el choque entre fotones era capaz de crear partículas con masa, de acuerdo con la ecuación de Einstein. La modalidad consistía en crear una partícula y una antipartícula de tal modo de conservar el spin.

La permanente creación de quarks y antiquarks, dará lugar a su propia aniquilación, al chocar partículas y antipartículas entre sí.

El proceso transcurría entonces entre la creación y la aniquilación de quarks; el medio tenía la conformación de un mar zigzagueante de quarks y antiquarks moviéndose entre la densa masa de fotones.

En ese "mar" se produjo un nuevo y extraordinario fenómeno: por cada mil millones de antiquarks que se producían, **de quarks se generaban mil millones y uno!!**

**Esta aún inexplicable falla es el origen de toda la materia existente.**

### **Fase o período de los hadrones y los leptones.**

Hacia el final del período de los quarks, la temperatura continuó descendiendo, debido a la menor agitación térmica de los fotones que fue provocada por la expansión que agrandaba al universo. Esto permitió que la fuerza nuclear fuerte pudiera capturar algunos quarks para formar otras partículas estables como los núcleos de hadrones (protones, neutrones y mesones), formados a partir de la concentración de varios quarks.

Durante este período, además de de las partículas nombradas, también existían electrones, antielectrones o positrones, neutrinos y antineutrinos; todos ellos denominados **leptones** por ser muy livianos (del griego leptos: ligero).

A medida que la temperatura continuaba descendiendo, los neutrones libres, que antes se mantenían estables por la mediación de los neutrinos, ahora comienzan a desintegrarse y su número disminuye con respecto a los protones, siempre estables. Los neutrinos, al no interactuar con las demás partículas, comienzan a circular libremente en ese mar de partículas y fotones. El medio se vuelve transparente a los neutrinos.

La desintegración de los neutrones, proceso conocido actualmente como desintegración beta, convierte a cada uno en un protón, un electrón y un antineutrino.

Si bien hasta ese momento los protones y los neutrones existían en cantidades iguales, luego de la desintegración se produce un exceso de los primeros sobre los segundos. Este fenómeno motivará el comienzo de la nucleosíntesis posterior.

#### **Fase de la nucleosíntesis de los elementos livianos.**

Con menores energías de agitación térmica, son cada vez más los neutrones que se transforman en protones, o que comienzan a formar nuevos núcleos asociándose con un protón. Tal el caso del núcleo del deuterio que consta de un protón y un neutrón, unidos ambos por la fuerza nuclear fuerte.

El neutrón al asociarse con el protón se convierte en una partícula compuesta y estable. Como en ese medio no podrá haber nunca más neutrones libres, todos ellos decaerán en un protón, un electrón y un antineutrino, o se asociarán a un protón para formar núcleos livianos como el de deuterio y el de helio, compuesto, éste último, por dos neutrones y dos protones.

Este es el proceso de la nucleosíntesis de elementos livianos, principalmente hidrógeno, deuterio y helio, podrá llegar hasta formar pequeñas cantidades de litio.

Actualmente existe también un proceso de nucleosíntesis estelar, en nuestro sol y en las estrellas, pero debe ser diferenciado de la nucleosíntesis primordial que solamente pudo generar los núcleos más ligeros. La nucleosíntesis estelar es capaz de generar tanto los núcleos ligeros, helio principalmente, como los más pesados: hierro, carbono, etc.

#### **Era de la radiación (origen de la actual radiación fósil de microondas).**

Durante la fase de la nucleosíntesis primordial, en ese medio incandescente existían los núcleos de hidrógeno y de otros elementos livianos. También existían los electrones, positrones, neutrinos y antineutrinos, incluyendo las partículas más abundantes del universo: los fotones.

En promedio había 3 mil millones de fotones por cada nucleón (suma de protones y neutrones); esta relación nunca más fue modificada.

Si la teoría del Big-Bang fuera correcta, debería encontrarse actualmente rastros de esa radiación fósil. Y, en efecto, tal radiación prevista por la teoría fue encontrada. Las recientes mediciones espectro-fotométricas, realizadas desde satélites no influenciadas por radiaciones solares ni terrestres, confirman plenamente los valores de temperatura calculada y confirman también la isotropía y homogeneidad del espacio.

La precisión de tales mediciones fue tan grande que permitieron medir pequeñas fluctuaciones dependientes de la dirección de llegada de la radiación y que confirmaron indirectamente el proceso con que tuvo origen la formación de las galaxias.

**PARTÍCULAS ELEMENTALES**

Hadrones - Partículas Nucleares	(Portadores de Masa)	Leptones: Part.extranuclear.
---------------------------------	----------------------	------------------------------

Fermiones con función de onda antisimétrica <b>Bariones y antibariones</b>	Bosones con función de onda simétrica <b>Mesones y Antimesones</b>	Fermiones con función de onda antisimétrica <b>Leptones</b>
<p>* Tienen Spin fraccionario. 1/2; 3/2;...</p> <p>* Obedecen al Principio de Exclusión de Pauli y a la Estadística de Fermi-Dirac.</p> <p>* Tienen estructura de 3 Quarks ó de 3 Bariones y de 3 antiquarks en los anti-bariones.</p> <p>* Poseen cargas eléctricas +1; -1; 0 ..</p> <p>* No tienen carga-color.</p> <p>* Tienen interacciones fuertes residuales</p> <p>* Se dividen en:</p> <p>1) Nucleones. Protón y Neutrón.</p> <p>2) Hiperiones. Partículas Lambda cero, Sigma cero y Sigma más, Omega menos, Psi cero, Psi menos</p> <p>3) Partículas resonancia: Delta menos, Ypsilon menos, Sigma menos star. (Vida media 10 (-23) seg.)</p> <p>* De los Quarks se conocen 6 sabores con tres colores alternativos c/uno.</p>	<p>* Tienen Spin entero. 1, 0, ..</p> <p>* No obedecen el Principio de exclusión de Pauli y se ajustan a la Estadística de Bose-Einstein.</p> <p>* Tienen una estructura de 2 Quarks del tipo quarks-antiquarks.</p> <p>* Poseen cargas eléctricas +1; -1; 0 ..</p> <p>* Son todos inestables.</p> <p>* Son neutrales a la fuerza cromática.</p> <p>* Algunos conocidos son: Pi menos, el mesotró de Hideky Yukawa. Pi cero (sin antipartícula, mismo Pi cero K menos (Kaón), K cero y su antipartícula K cero raya. Eta cero (sin antipartícula, misma Eta0) Mesón Rho y K ese cero.</p>	<p>* Tienen Spin fraccionario. 1/2, 3/2,..</p> <p>* Obedecen al Principio de Exclusión de Pauli y a la Estadística de Fermi-Dirac.</p> <p>* No tienen estructura de Quarks.</p> <p>* Poseen cargas eléctricas +1; -1; 0 ..</p> <p>* Se conocen 6 clases de Leptones y 6 clases de antileptones.</p> <p># electrón e- y positrón e+</p> <p># neutrino electr. y antineutrino</p> <p># muón negativo y antimuón.</p> <p># neutrino muón y antineutrino</p> <p># tau negativo y antitau</p> <p># neutrino tau y antineutrino.</p>

Bosones Portadores de energía.			
Gluones	Fotón	Bosones Vect. Interm.	Gravitón
<p>* Spin = 1</p> <p>* Masa nula ó casi nula.</p> <p>* Hay 8 tipos de gluones difer.</p>	<p>* Spin = 1</p> <p>* Masa = 0</p> <p>* Hay un solo tipo de fotón y su densidad es de 10(12) fotones</p>	<p>* Spin = 1</p> <p>* Su masa es considerable.</p> <p>* Son los mediadores de la fuerza débil.</p>	<p>* Spin = 2</p>

* Su antipartícula tiene carga cromática contraria.	por mm(2) y por segundo.		
* Son los mediadores de la fuerza fuerte ó fuerza color.	* Su antipartícula es el mismo Fotón.	* Actúan tanto en los hadrones como en los leptones por igual.	
* Se comportan como los fotones: onda de fuerza y partícula.	* Es el mediador de la fuerza electromagnética.	* Son los responsables de la desintegración beta.	
* Solo actúan en los Quarks.	* Su momento magnético = 0	* Las partículas más conocidas son: Z0 ; W+ ; W- todas de gran masa.	
	* Sólo actúan en las partículas con carga eléct.		

**Model of Elementary Particles**

(Name) → Electric Charge  
 → Number of Color Charges  
 (Symbol) → Mass in MeV

**Three Generations of Matter (Fermions)**

	I	II	III
<b>Quarks</b>	Up $\frac{+2}{3}$ <b>u</b> $\frac{3}{\sim 5}$	Charm $\frac{+2}{3}$ <b>c</b> $\frac{3}{\sim 1350}$	Top/Truth $\frac{+2}{3}$ <b>t</b> $\frac{3}{> 131000}$
	Down $\frac{-1}{3}$ <b>d</b> $\frac{3}{\sim 9}$	Strange $\frac{-1}{3}$ <b>s</b> $\frac{3}{\sim 175}$	Bottom/Beauty $\frac{-1}{3}$ <b>b</b> $\frac{3}{\sim 4500}$
	Electron Neutrino $0$ <b><math>\nu_e</math></b> $\frac{0}{< .0000070}$	Muon Neutrino $0$ <b><math>\nu_\mu</math></b> $\frac{0}{< .27}$	Tau Neutrino $0$ <b><math>\nu_\tau</math></b> $\frac{0}{< 31}$
<b>Leptons</b>	Electron $-1$ <b>e</b> $\frac{-1}{.511}$	Muon $-1$ <b><math>\mu</math></b> $\frac{-1}{105.66}$	Tau $-1$ <b><math>\tau</math></b> $\frac{-1}{1777.1}$

**Force Carriers (Gauge Bosons)**

Photon $0$ <b><math>\gamma</math></b> $\frac{0}{0}$	<b>Electromagnetism</b>
Gluon $0$ <b>g</b> $\frac{0}{8}$	<b>Strong Interactions</b>
Z zero $0$ <b>Z<sup>0</sup></b> $\frac{0}{91187}$	<b>Weak Interactions</b>
W plus minus $\pm 1$ <b>W<sup>±</sup></b> $\frac{\pm 1}{80220}$	

September 1994