UNIDAD III

EL UNIVERSO EN EXPANSIÓN, SU ORIGEN Y EVOLUCIÓN.

ORIGEN DEL UNIVERSO.

¿Qué edad tiene el universo y cómo se inició? Podemos hacer ciertas suposiciones basadas en observaciones muy en boga de fenómenos químicos y físicos. Estudiando las propiedades de la materia, su composición y distribución, podemos hacer numerosas conjeturas acerca del origen de los astros y los planetas, así como de su historia.

Las especulaciones acerca de la edad y origen de la materia y energía que constituyen el universo han sido causa de grandes controversias. Estas ideas se revisan constantemente, surgen otras, y así, sucesivamente. Por lo general, representan conceptos que no son accesibles a la mayoría de nosotros, siendo, así, difíciles de comprender. ¿Es posible que el universo no haya tenido principio y no tenga fin? ¿Podemos pensar del espacio y tiempo como algo infinito? Hay dos teorías que consideran el origen del universo, la teoría *evolucionista* y la del *estado invariable*.

TEORÍA EVOLUCIONISTA DEL UNIVERSO.

La teoría evolucionista emitida por George Gamow y sus colegas de la Universidad George Washington, se basa en la expansión del universo. Esta teoría, en su forma actual, afirma que hace cerca de diez mil millones de años, el universo se inició al hacer explosión un núcleo hirviendo de materia prima concentrada, el cual desde entonces continúa expandién-

dose. Progresivamente, este material se adelgazó, se enfrió y se fue modelando para formar estrellas, planetas, galaxias y supergalaxias. Para llegar a los diez mil millones de años ha sido necesario extrapolar hacia atrás en el tiempo, hasta el estado primordial hipotético (cuando todas las galaxias y velocidades de las galaxias que se conocen actualmente. La teoría implica que el universo comenzó con la explosión de un estado superdenso, su expansión fue enorme y poco a poco ha ido disminuyendo como resultado de la atracción gravitacional.

¿Cuál sería la composición de este material primordial hipotético que, de acuerdo con esta teoría, originó el universo? Gamow afirma que la materia primordial estaba constituida de partículas subatómicas densamente concentradas, siendo en su mayoría neutrones. Como esta masa primordial de neutrones comprimidos comenzó a extenderse y a enfriarse, como posiblemente algunos de éstos se fragmentaron (o transformaron) en protones (núcleo de los átomos de hidrógeno) y electrones. En los minutos que siguieron a la expansión, esta mezcla de partículas fundamentales se cree que se enfrió lo suficiente para formar combinaciones relativamente estables, las cuales contribuyeron al origen de muchos de los diferentes átomos o elementos. La mayoría de los átomos formados probablemente fueron hidrógeno y helio, como lo indica su abundancia actual.

La continua expansión de esta mezcla gaseosa homogénea que constituyó la materia del universo por, aproximadamente, 250 millones de años, se transformó después por medio de un proceso de condensación en nubes o masas de gas aisladas. La condensación probablemente se inició por el rápido descenso de la temperatura debido a la expansión de la mezcla gaseosa. Las enormes masas gaseosas subsecuentemente originaron grandes conjuntos de estrellas por otras condensaciones y se fueron separando unas de otras debido a la continua expansión del universo.

Lógicamente las altas presiones causadas por la contracción rápida de grandes fragmentos gaseosos produjeron temperaturas muy altas (calculadas en millones de grados centígrados), en sus regiones más densas y fueron problablemente las responsables de la formación de las estrellas. Así se iniciarían las reacciones nucleares con liberación de energía. La luz

emitida por la mayoría de las estrellas es el resultado de un proceso continuo de fusión nuclear, de átomos de hidrógeno para formar helio, liberándose una cantidad enorme de energía que resulta en la producción de luz y calor. Esta reacción (principal fuente de energía del sol y las estrellas), incluye la conversión de una pequeña cantidad de átomos de hidrógeno a punto de fusión de energía de acuerdo con la famosa teoría de Einstein de la interconversión de materia en energía y que es esencialmente similar al principio de la bomba de hidrógeno.

TEORÍA DEL ESTADO INVARIABLE DEL UNIVERSO.

El segundo concepto fundamental acerca del origen y desarrollo del universo tiene como vocero a Fred Hoyle de la Universidad de Cambridge y es conocido como teoría del estado invariable. Afirma que el universo ha existido siempre, siendo infinito en espacio y tiempo, sin principio ni fin. Este concepto y el anterior, esencialmente están de acuerdo en que el hidrógeno probablemente fue el primer material formativo, del cual se derivaron la mayoría de los otros elementos, por medio de fusión y otras reacciones nucleares en el interior de las estrellas.

El radio telescopio ha proporcionado sugestivas evidencias acerca de que las inmensas nubes de hidrógeno de los espacios constituyen la materia prima de la cual se originaron las nuevas estrellas y galaxias.

Aquí termina toda similitud entre las dos teorías. La teoría evolucionista de Gamow postula la creación del hidrógeno y otros elementos a partir de una explosión de neutrones acaecida hace billones de años. El concepto de Hoyle mantiene que el hidrógeno ha sido y está siendo creado continuamente a través del espacio por la conversión de energía en materia durante el proceso de expansión.

Si realmente el universo se expandió de un estado superconcentrado y caliente, en la actualidad deberían encontrarse algunos vestigios de dicha explosión aún 20 mil millones de

años después. Si el universo estaba muy caliente, las longitudes de onda correspondientes deberían haber aumentado con la expansión. Por lo tanto, se podría descubrir esta radiación de longitud de onda larga a través de todo el universo como una radiación de fondo, homógenea y sin una fuente aparente. La teoría sostiene que cuando el universo tenía un segundo de edad, la radiación tenía una temperatura de diez mil millones de grados. Después de 20 mil millones de años, la radiación se habría enfriado hasta llegar aproximadamente a -270°C

No fue hasta 1965 cuando Arno Penzias y Robert Wilson detectaron un campo de radiación isotrópica, no polarizada e independiente de las estaciones del año que correspondía a 269.5°C

En la misma decada Edwin Hubble estudiando las velocidades radiales de las galaxias más brillantes, descubrió la relación entre la velocidad radial y la distancia que se conoce como radiación de fondo de -270°C y con corrimiento al rojo (debido al tiempo que tarda la luz en llegar a nosotros). Tal descubrimiento ha situado al modelo de la "Gran explosión" en un plano sólido y verificable; asi mismo, ha permitido descartar la teoría del "Estado invariable" que no puede dar cuenta de este campo de radiación.

EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR.

Las nubes mas densas y obscuras de la galaxia, donde las moléculas existen en mayor abundancia, se encuentran también sujetas a un proceso de contracción gravitacional, durante el cual se fragmentan en trozos de diferente masa y tamaño. A su vez cada uno de los fragmentos así formados se seguirá contrayendo, hasta dar origen a cuerpos masivos, las llamadas protoestrellas, los cuales al continuar el proceso de colapso, formaran estrellas en cuyo interior se lleva a cabo reacciones termonucleares.

El propio sistema solar seguramente se formo por un proceso similar. La fragmentación de una nube de material interestelar, en la que probablemente existia una gran cantidad de

moléculas, dio por resultado la formación de nubes más pequeñas, cada una de las cuales se seguía contrayendo a su vez.

Una de ellas, la llamada nebulosa solar, empezó a acumular material en su centro, donde eventualmente se formaría el sol, mientras que en el resto de la nebulosa se formaban pequeñas condensaciones a partir de granos de polvo, moléculas y átomos que se iban agrupando. Esta nube se empezó a contraer, formando un disco que giraba alrededor del protosol.

Hace aproximadamente cuatro mil quinientos millones de años, el sol empezo a emitir energía generada por procesos termonucleares que ocurrian en su interior, y al hacerlo empujo hacia las partes externas de la nebulosa el materia gaseoso mas ligero. De esta manera, los planetas que se formaron a partir de la condensación del material del disco que giraba alrededor del sol quedaron separados en dos grandes grupos, de acuerdo con su composición química. Los que se habían formado más cerca del sol, presentaban un medio pobre en hidrógeno y helio, en tanto que los planetas que se condensaron lejos, se formaron a partir de un medio rico en gases como el hidrógeno, el helio, el metano, el amoniaco y muchos otros que hasta la fecha se conservan.

Hubo material que no se alcanzó a condensar, formando los meteoritos y los cometas.

La teoría prevaleciente acerca del origen de los planetas conocida como hipótesis de las *nubes de polvo* propone la formación de los planetas a partir de masas relativamente pequeñas formadas por nubes de partículas de polvo y gas. De acuerdo con esta teoría, las nubes de polvo y gas se desprendieron de las estrellas recién formadas, manteniéndose unidas por la atracción de la gravedad; estas nubes fueron creciendo por la reunión gradual de partículas sólidas de polvo a base de óxidos de hierro, silicatos y cristales de agua. El crecimiento se efectuó por colisiones y capturas de cuerpos pequeños por otros más grandes hasta formar otros aún de mayor tamaño llamados *protoplanetas*. Éstos giraron alrededor de los astros siguiendo las leyes del movimiento y de la gravitación hasta condensarse y formar los planetas. El calor generado por la contracción probablemente fue suficiente para que estos

planetas recién formados llegaron a un estado de fusión, sin llegar a iniciarse reacciones nucleares por su pequeño tamaño. Las distintas distancias de los planetas de nuestro sistema solar (desde el Sol), aparentemente reflejan las distancias de sus "protoplanetas" antes de que ocurriera la condensación. Hay marcadas evidencias que confirman esta teoría, por ejemplo, la existencia de nubes gigantescas de gas y polvo en los espacios interestelares, las cuales han sido captadas por la forma en que dispersan la luz de otras estrellas.

Otro concepto más, es el conocido como *teoría planetesimal*. Afirma que la formación de los planetas en nuestro sistema solar se debe a un astro perturbado que pasó del Sol o chocó con él, originándose enormes mareas de gas en ignición que se desprendieron del Sol. Éstas masas fueron enfriándose lentamente, se licuaron, luego se condensaron y al hacerse coalescentes formaron los planetas. Una seria objeción a esta teoría es la improbabilidad física de que masas ígneas relativamente pequeñas liberadas repentinamente de la fuerza gravitacional del Sol, tendieron a enfriarse y condensarse, más que a expandirse explosivamente.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA SOLAR.

Nuestra tierra integra la familia de cuerpos celestes que forman el sistema solar, en el centro del cual se encuentra el Sol, en torno del cual giran nueve planetas que son: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón con sus respectivos satélites. El movimiento de todos estos cuerpos alrededor del sol está sujeto a la ley de la gravitación universal de Newton, que consiste -en términos generales-, que dos cuerpos se atraen entre sí; cuanto mayor es la masa de los cuerpos, más fuerte es su atracción recíproca. El sol* es aproximadamente 750 veces mayor que la masa total de los demás cuerpos de su sistema, por lo cual rige su movimiento, no permitiendo que escapen de sus órbitas.

En la plenitud de su vida una estrella como nuestro sol mantiene un equilibrio entre la gravedad y la presión que se

* con un diámetro de 1,391,000 Km.

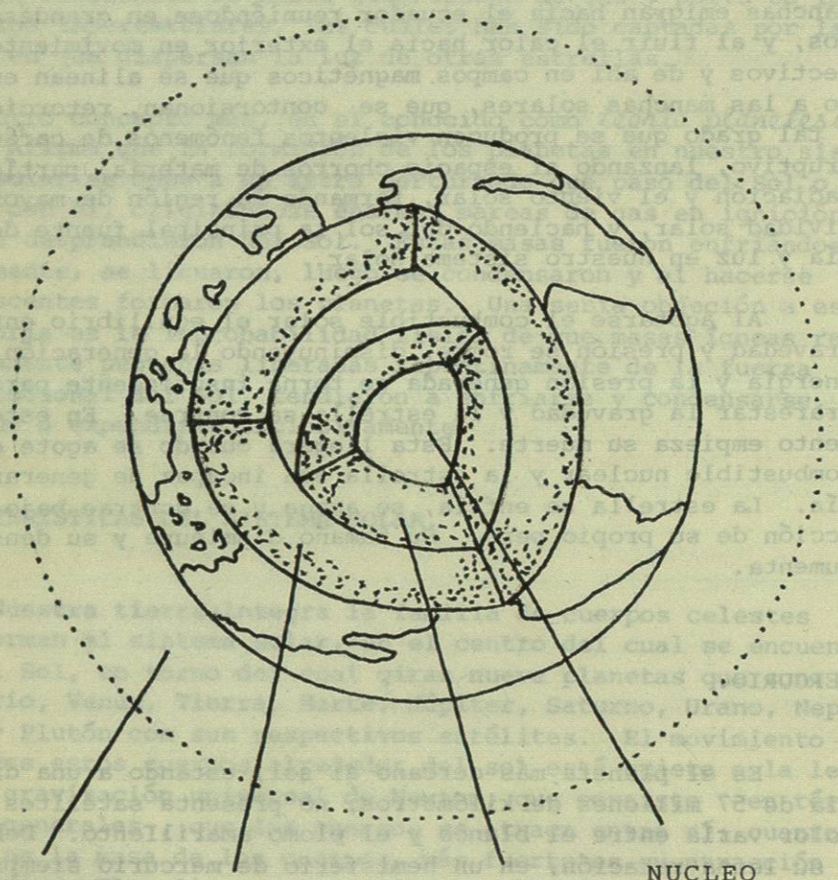
produce como consecuencia de las reacciones termonucleares que ocurren en su interior, usando como combustible elementos tales como el hidrógeno, helio, carbono, oxígeno, etc.

El comportamiento de la actividad solar determina que cada 11 años aproximadamente aparezcan manchas negras en su superficie, fenómeno que se conoce como ciclo solar, tales manchas emigran hacia el ecuador reuniéndose en grandes grupos, y al fluir el calor hacia el exterior en movimientos conectivos y de ahí en campos magnéticos que se alinean en torno a las manchas solares, que se contorsionan, retorciendose a tal grado que se producen violentos fenómenos de carácter eruptivo, lanzando al espacio chorros de materia, partículas, radiación y el viento solar, formando la región de mayor actividad solar, y haciendo del sol la principal fuente de energía y luz en nuestro sistema solar.

Al agotarse el combustible solar el equilibrio entre gravedad y presión se rompe, disminuyendo la generación de energía y la presión generada se torna insuficiente para contrarestar la gravedad y la estrella se contrae. En este momento empieza su muerte. Esta llegará cuando se agote el combustible nuclear y la estrella sea incapaz de generar energía. La estrella se enfría, se apaga y se contrae bajo la acción de su propio peso. Su tamaño disminuye y su densidad aumenta.

MERCURIO.

Es el planeta más cercano al sol, estando a una distancia de 57 millones de kilómetros, no presenta satélites y su color varía entre el blanco y el plomo amarillento. Debido a su lenta rotación, en un hemisferio de mercurio siempre es de día, pues constantemente recibe luz y calor, mientras que del otro lado siempre esta oscuro. Esa cara iluminada recibe siete veces más luz y calor por unidad de superficie de la Tierra, calentándose hasta temperaturas de 400°C. Por el contrario, en el hemisferio oscuro del planeta existen temperaturas de 273°C bajo cero. Mercurio carece de agua y atmósfera.



ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA.

VENUS.

Se encuentra a una distancia de 108 millones de kilómetros del sol. Su color es blanco azulado. Esta circundado de una densa atmósfera con una espesa capa de nubes formadas de vapor de agua y anhídrido carbónico, esta capa refleja los rayos del sol, haciendo de venus uno de los planetas más brillantes. Se puede observar en diferentes temporadas del año sin ayuda óptica.

Los gases atmosféricos predominantes en venus son el CO_2, H_2 y N_2, careciendo de satélites.

TIERRA.

La Tierra, cuya distancia media al Sol es de 150 millones de kilómetros, tiene un diámetro aproximado de 12,720 kilómetros y se encuentra rodeada de una cubierta de aire llamada *atmósfera*.

Conocemos muy poco acerca del interior de la Tierra. El hombre ha penetrado sólo 6 u 8 kilómetros aproximadamente, es decir, la milésima parte de su distancia del centro a la superficie, que es de 6,360 Km. Su masa es de 6×10^{21} toneladas y posee una densidad de 5.5. Las rocas superficiales tienen cerca de 2.8 de densidad, la cual va aumentando hacia el centro, al que se le calcula aproximadamente 10.

Creemos que la tierra en estado de fusión tardó en enfriarse millones de años hasta adquirir su aspecto estructural definitivo. El núcleo o parte central está constituido por el material más pesado y está cubierto por capas concéntricas sucesivas más ligeras; la porción más externa es la atmosféra, capa compuesta de una mezcla de gases. Esta capa es un gran océano de aire que se adelgaza progresivamente a mayores altitudes y que se extiende aproximadamente 13 Km. arriba de la superficie terrestre. El aire guarda un estado de turbulencia constante, debido a las temperaturas desiguales; esto produce fenómenos ópticos, tales como el citilar de las estrellas. La atmósfera actual contiene: 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, vapor de agua y otros gases en concentración mínima, tales como el bióxido de carbono en cantidad de 0.03%. La opinión general actual es de que la atmósfera primitiva no contenía oxígeno o bien, era escaso. El oxígeno actual se considera como resultado del proceso biológico de la *fotosíntesis*, efectuado por plantas tanto terrestres como marinas. De acuerdo con cálculos recientes se cree que el oxígeno atmosférico es renovado totalmente cada dos o tres mil años.

Durante las primeras fases del proceso de enfriamiento de la superficie terrestre se formó una corteza rocosa. Este cambio al estado sólido aún no se termina totalmente y continuará todavía muchos años. A partir de la solidificación se produjo la corteza terrestre la cual tiene un grosor de 30 a 40 Km. por debajo de los continentes y menos de 5 Km. bajo los océanos. Está compuesta en su mayor parte por la roca llamada basalto y sobresaliendo de esta roca basáltica se encuentran distribuidos los continentes, formados en su mayor parte de una roca más ligera llamada granito. Los continentes, como los icebergs en los océanos, tienen más del 90% de su masa empotrada en el material basáltico, bajo la superficie terrestre. Indudablemente que la formación de la corteza, a partir de un material en fusión, estuvo acompañada de plegamientos, fracturas y deslizamientos de las capas superficiales, fenómenos que aún no han cesado, como lo indican los terremotos que todavía ocurren. En los primeros tiempos de la historia de la Tierra, se sucedieron cambios notables, tales como roturas de la corteza, levantamientos y plegamientos de grandes porciones de tierra, lo que dio origen a las montañas. Los rompimientos más notables de la corteza terrestre se encuentran en los márgenes del Océano Pacífico y a lo largo de la cresta de la cordillera submarina que corre bajo la parte media del Océano Atlántico. Con el tiempo, las montañas más antiguas se erosionaron y desgastaron por la acción de los hielos, vientos, lluvias, rayos solares y congelación, (más tarde, por las raíces de las plantas). Por último vino la sedimentación del material erosionado, incorporándose al suelo; parte fue arrastrado por las corrientes y ríos, depositándose por último en el piso de los océanos a lo largo de los bordes de los continentes. Los últimos períodos de formación de las montañas, alternaron con intervalos de intemperización, erosión, intermitentes e irregulares, los cuales dejaron su huella sobre el clima y la superficie terrestre, factores que a su vez han ejercido tremenda influencia sobre la historia biológica de nuestro planeta. Las Montañas Rocallosas, los Alpes y el Himalaya, son formaciones montañosas relativamente recientes. Los Apalaches son mucho más antiguos y son una grandiosa manifestación de erosión e intemperización. Por los terremotos y ondas *sísmicas*, sabemos que el interior de la Tierra está constituido de materiales diferentes que van aumentando en densidad y que están acomodados en capas concéntricas.

Las corrientes de lava fundida de volcanes activos localizados en diversos sitios del mundo, nos muestran las propiedades que posee el material colocado bajo la delgada corteza terrestre. Esta roca hirviente, semifluida o magra constituye el *manto* terrestre. Es más denso que la corteza y se divide en un manto *inferior* y otro *superior* con profundidad de más de 900 Km. el primero y casi 2,000 el segundo, siendo esta última zona probablemente el origen de la mayor parte de terremotos y volcanes.

Bajo el manto se localiza el núcleo (también con dos capas, la interna y la externa), con un radio aproximado de 3,500 Kilómetros. Se creee que está constituido de hierro y níquel. Otra teoría considera al núcleo formado de gas comprimido a elevadas temperaturas y con las propiedades de un metal rígido.

La corteza terrestre es muy delgada en relación con el tamaño de la Tierra y se le compara a un cascarón de huevo;

1020115333

el manto de magma viscoso sería la clara y el núcleo la yema.

Se ha observado que la temperatura y la presión aumentan progresivamente a medida que se profundiza la Tierra. A 2,300 metros, la temperatura es de 100°C, punto de ebullición, del agua y se estima que a 40 ó 50 Km. llega a los 1000°C, mientras que el centro guarda una temperatura semejante a la existencia en la superficie del sol (cerca de 6,000°C). Esto mismo sucede con la presión. A 650 Km. se calcula en casi 650,000 kilogramos por centímetro cuadrado; por consiguiente, en el centro sería de más de 3.5 millones de kilogramos por centímetro cuadrado. Esto tiene un contraste muy marcado con la presión experimentada al nivel del mar que es de poco más de 1 Kg, siendo esto el resultado del peso de la atmósfera sobre nosotros.

EDAD DE LA TIERRA.

Para determinarse la edad de la Tierra actualmente los científicos toman en cuenta la edad de su corteza. Esto se realiza mejor tomando en cuenta la cantidad de ciertos mate-- riales radiactivos y sus productos que se encuentran en las rocas. Por ejemplo, se sabe que los átomos del elemento radiactivo llamado uranio, degeneraron hasta formar plomo, a una tasa lenta y constante que no es afectada por todos los factores conocidos. Si se supone que éste fue el proceso principal por el cual se originó el plomo, entonces, al analizar las concentraciones relativas de tipos específicos de uranio y plomo en una muestra de roca, puede calcularse su edad[1], suponiendo que cantidades imperceptibles de plomo existieron al solidificarse la roca. Esta idea puede ilustrarse mejor al tomar como comparación el desprendimiento de las piedras de un edificio en ruinas. Si conocemos que cada año se desprende una piedra, podemos calcular las piedras desprendidas y determinar el año en que la estructura comenzó a desmoronarse.

Las rocas más antiguas han sido encontradas en Manitoba, Canadá. Siguiendo el procedimiento de la degeneración radiactiva, se les calcula una antigüedad de 2.500 millones de años.

A esto hay que agregar dos mil millones más, o sea el tiempo requerido para la formación inicial del planeta y para el subsecuente enfriamiento de la superficie terrestre, hasta formarse la corteza. Por consiguiente, se calcula la edad de la Tierra en unos cinco mil millones de años. Se presume que la formación de átomos y elementos formados al principio del universo ocurrió pocos miles de millones de años antes, aproximadamente hace diez mil millones de años. En su mayoría son datos aproximados, sujetos fácilmente a cambios según los nuevos descubrimientos.

MARTE.

Su distancia al sol es de 277 millones de kilómetros. Presenta una atmósfera muy enrarecida, con un 97% de CO_2 que le da un color rojizo.

Marte es menor que la Tierra. Presenta un clima más frío que ésta, presentándose temperaturas de 5 grados centígrados en el día y 130 grados centígrados bajo cero en la noche. Presenta dos pequeños satélites girando alrededor. Su superficie se ve rodeada de valles, volcanes y montañas, algunas de ellas más altas que las de la Tierra.

JÚPITER.

Es el mayor planeta del sistema solar, cuya masa es 318 veces superior a la de la tierra. Su distancia al sol es de 778 millones de kilómetros. Su color es castaño dorado, modi-

---

[1]El tiempo necesario para reducir a la mitad cualquier cantidad de uranio hasta plomo se le llama "vida media", siendo aquél de cuatro y medio millones de años. Por ejemplo, si en una muestra de roca existe un contenido de 0.1 gramos de plomo y 0.3 de uranio, la edad de esta roca se calcula como sigue: (0.1/0.3) x 4.5 millones de años = 1.5 millones de años.