



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Medina Valtierra, Jorge
El origen de los elementos químicos
Conciencia Tecnológica, núm. 17, 2001
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401704>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

El origen de los elementos químicos

Jorge Medina Valtierra

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Av. A. López Mateos No. 1801 Ote., Fracc. Balcones de Ojocaliente
Aguascalientes, Ags. C.P. 20256
Tel.: 0149105002 ext. 103
Fax: 0149700423
E-mail: jmedinav@cioags.com.mx

Es una actitud común entre los estudiantes, que al iniciar un curso de química se adquiere la duda de cómo se formaron las partículas elementales que componen los átomos y/o las moléculas que mentalmente comienzan a manejar y modificar. Sin embargo son pocos los estudiantes que se atreven a formular esta cuestión y en algunos casos también son pocos los maestros de química que tienen la intención de abordar este tema que debería ser el inicio de los conocimientos en la química. Este sencillo escrito va dirigido a los estudiantes que se inician en el fascinante mundo de la química (y también de la física) pero también a los estudiantes que se quedaron con esta inquietud. El escrito aborda dos o tres sencillos mecanismos bien aceptados en la formación de los átomos y da una visión general de cómo están distribuidos los elementos que conforman la materia existente en el universo.

Palabras clave: Partículas fundamentales, origen de los átomos, abundancia de elementos.

El origen de los primeros átomos

La evolución del universo es la historia de los elementos químicos la cual sugiere que el universo continúa cambiando bajo un esquema de evolución ininterrumpida. Esto nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas: ¿El universo continuará en expansión o ese proceso será reversible?, ¿Algún día tendremos a nuestro alcance algún tipo de materia diferente a la que conocemos?. ¿Existe la antimateria y que efectos tiene en el universo?.

En un principio, sólo existía la radiación y las partículas fundamentales distribuidas uniformemente a temperaturas y a densidades inimaginables, era la materia original. Hace aproximadamente 15 billones de años la radiación y las partículas se concentraron en un espacio muy estrecho provocando una gran explosión conocida como el Bing-Bang a partir de la cual el universo se ha estado expandiendo y enfriando. La materia como tal comenzó a crearse con la coalescencia de *hadrones* por un lado y de *leptones* por otro lado con la formación de *protones* (p) y *electrones* (e^-), respectivamente. Estas partículas tienen cargas electrostáticas de signo contrario que con un mayor enfriamiento perdieron algo de su energía cinética, disminuyó su velocidad y se unieron una a una dando como consecuencia la aparición de átomos de hidrógeno (H) conformados por un protón en el centro y un electrón girando alrededor del protón.

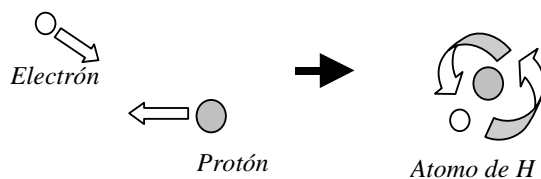


Figura 1.1

Esto mismo sucedió, a una escala astronómica, con la formación de nuestro sistema planetario donde la cercanía de los planetas al sol, provocó que este los atrapara haciéndolos girar alrededor de él en órbitas elípticas.

En esta etapa inicial, es probable que núcleos de helio (*He*) que elementalmente son partículas alfa (α), se formaron de una manera aproximada a los protones. Sin embargo estos núcleos además de poseer dos protones cuentan con dos neutrones que son partículas con una masa sólo un poco mayor que el protón pero sin carga electrostática. La nomenclatura usada para definir el núcleo de un átomo específico es: ${}^A_Z E$, donde Z es el *número atómico* que indica el número de protones o electrones, y A es el *número másico* que es la suma de protones y neutrones. Bajo esta nomenclatura, los núcleos de helio se definen como: ${}^4_2 He$.

La generación inicial de neutrones es muy incierta pero es probable que en la misma transformación del helio se hayan formado los neutrones o bien, ya que las masas del protón y del neutrón son muy similares y la del electrón es despreciable, posiblemente el neutrón se formó de la colisión impetuosa entre un electrón y un protón anulándose de alguna manera sus cargas contrarias.

O bien, el neutrón se formó en el seno de las grandes estrellas a consecuencia de una enorme fuerza de gravedad que contrajo la materia y que merced a esto fue posible que se fusionara el electrón con el protón, como ha sido aceptado ampliamente [1].

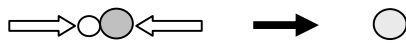


Figura 1.2

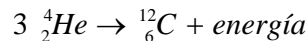
El nacimiento de una estrella

La materia en formación, principalmente el hidrógeno, se comenzó a aglomerar en espacios estrechos donde la densidad de las nubes de materia comenzó a aumentar lo mismo que las colisiones entre átomos, incrementándose con esto, la temperatura y dando como origen a las protoestrellas (los átomos de hidrógeno vistos como materia son en realidad protones). Cuando las temperaturas aumentaron lo suficiente, las reacciones termonucleares fueron posible y con esto la formación de elementos mayores al helio. En esta etapa, la protoestrella se transforma en una estrella propiamente dicha y entre mayor temperatura se tiene en su seno, un verdadero horno nuclear, más pesados los elementos químicos que se forman.

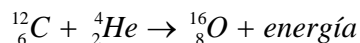
Nuestro sol, en un proceso ininterrumpido produce helio a partir del hidrógeno bajo el mecanismo siguiente [2].



En etapas anteriores cuando las temperaturas se excedieron a las decenas de millones de grados, los núcleos de helio se fusionaron para formar el carbono, C .



Subsecuentemente, el carbono y el helio reaccionaron para dar oxígeno, O .



Cuando la estrella incrementa su temperatura, o dentro de su núcleo donde la temperatura es suficientemente alta, se forman elementos químicos más pesados el magnesio (Mg) y el azufre (S).

La producción de elementos pesados en las estrellas pareciera una tarea fácil si se siguiera una ruta directa donde n núcleos de hidrógeno o de helio se unen para formar un elemento más grande. Sin embargo esto no es así ya que núcleos de *masa atómica*, A , de 5 y 8 son sumamente inestables y no se forman lo que crea un cuello de botella en una ruta consecutiva [3]. De hecho no existen estos elementos ni otros más por la misma razón, ya que de existir todas las posibilidades habría átomos estables con el mismo número de electrones pero con diferente masa atómica, lo cual no es posible. Como ejemplo ilustrativo se tiene que el berilio ${}^9_4\text{Be}$, con sus cuatro electrones, 4 protones y 5 neutrones es un elemento que una vez que se forma de una forma natural es inestable. Sin embargo, esa es la configuración más estable entre todas las posibilidades para un átomo de cuatro electrones. De acuerdo a las leyes de la física no es posible tener un átomo estable de cuatro electrones, cuatro protones y cuatro neutrones [3].

Evolución y muerte de las estrellas

Como algo práctico y de acuerdo a su masa, las estrellas en el universo se clasifican en; *poco masivas*, *muy masivas* y *supermasivas*. Como una referencia se ha establecido que el sol, centro de nuestro sistema planetario tiene una medida arbitraria de *una masa solar* que equivale a 2 000 000 000 000 000 000 000 000 000 kilogramos (2×10^{30} kg). La evolución o ciclo de vida, así como el fin de estos tres tipos de estrellas es diferente, que el lector supondrá suceden procesos distintos en ellas y la distribución de elementos químicos que se forman debe de ser también diferente.

Cuando las estrellas poco masivas como nuestro sol, comienzan a agotar su combustible (hidrógeno) y a disminuir su temperatura, ya no son capaces de generar carbono ni otros átomos mayores. Esto tiene como consecuencia que las altas concentraciones de helio empujan las capas que conforman el núcleo expandiendo la estrella, enfriándola y cambiando su color de amarillo a rojo transformándose en una gigante roja. El halo de nuestro sol en un futuro lejano alcanzará la actual órbita de Venus, para luego morir y transformarse en una nube de materia negra. Sin embargo para que esto suceda, pueden pasar algo así como 10 mil millones de años [4].

Las estrellas medianas (menos de 3 masas solares) al alcanzar la etapa de *gigante roja* mantienen una temperatura conveniente de 3 000 millones de grados con la que continúan la formación de carbono y con esto la

generación de otros elementos hasta el hierro (*Fe*), cuyo núcleo con 26 protones y 30 neutrones, ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, es extremadamente estable. Elementos más pesados que el hierro no se forman porque en este caso, las reacciones de fusión nuclear no liberan energía que es necesaria para continuar con el proceso evolutivo.

En efecto, el berilio (*Be*) y el hierro son elementos que curiosamente son los extremos de un fenómeno de estabilidad dado por la *energía de enlace del núcleo*. Esta energía de enlace es la diferencia entre la energía del núcleo de un elemento dado y la energía de los protones y neutrones aislados.

Lo anterior se esquematiza de una forma aproximada en la siguiente figura.

$$E_{\text{enlace}} = E_{\text{núcleo atómico}} - E_{\text{partículas}}$$

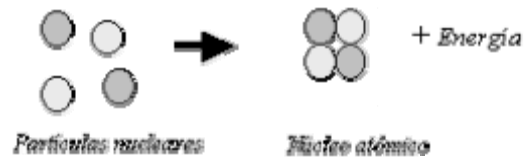
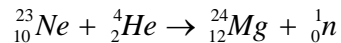


Figura 1.3

De tal manera que en una escala arbitraria, el núcleo del hierro es el más estable de todos los elementos y contrariamente, el berilio tiene uno de los núcleos más inestables. Inclusive aún es incierto el mecanismo de formación de este último elemento en el seno de las estrellas, aunque la teoría más aceptable es aquella que establece que se formó de la fisión (rompimiento) de los átomos de elementos más grandes como el nitrógeno (*N*) y el oxígeno. La concentración del berilio en las estrellas es prácticamente despreciable porque tan rápido como se forma, reacciona.

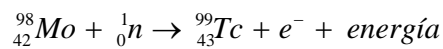
En estrellas hasta de 1.5 masas solares, la presión que produce la materia disminuye al final de su vida y cede a la fuerza gravitacional de tal manera que disminuye su tamaño hasta un estado final donde nuevamente se tiene el equilibrio entre estas dos fuerzas contrarias. La temperatura relativamente baja en este pequeño y peculiar objeto estelar dan una coloración blanca a su radiación, pero lo más asombroso de estos cuerpos compactos es que una cucharada de materia pesa cientos de kilogramos.

Nuestros avisados lectores seguramente ya concluyeron de los párrafos anteriores, que el hierro está presente en concentraciones altas en las estrellas masivas. En estrellas con masas mayores a 1.5 masas solares la fusión en cadena hasta la formación de hierro conlleva un inminente aumento en la presión y la presencia de ciertas inestabilidades. Esto provoca un aumento en la temperatura y densidad y una explosión *supernova* cuya fuerza es responsable de la formación de otros elementos mayores incluyendo el uranio (*U*). En este objeto estelar, la producción de elementos mayores sigue diversas rutas inclusive la captura de neutrones que se producen en la explosión de la estrella como resultado de reacciones como la siguiente.



En este caso, se tiene la fusión de *isótopos* que son átomos con un número mayor de neutrones (observe el neón), pero que conservan el número permitido de protones y electrones. Estos átomos “anormales” son inestables y con el tiempo cambian a sus elementos estables debido a un decaimiento radiactivo que se da como una emisión de energía.

El flujo intenso de neutrones permite la consecución de otras diversas reacciones como la transmutación de un elemento en otro.



Aunque en realidad este mecanismo se realiza en varias etapas y además el proceso de captura de un neutrón con la consecuente transmutación a otro elemento mayor, es un proceso continuo.

El proceso anterior se realiza artificialmente en los reactores nucleares donde se produce instantáneamente un intenso flujo de neutrones a consecuencia de una explosión nuclear controlada.

Después de la supernova, la materia elemental y la generada en las diferentes etapas, es arrojada al espacio como un polvo estelar y que puede ser la materia prima en la formación de nuevas estrellas.

En el caso de las estrellas gigantes (más de 3 masas solares), después de que ha alcanzado la etapa de supernova, la acumulación de materia es aún muy grande de tal manera que esta provoca una enorme fuerza gravitacional que se sobrepone a la presión de las diferentes capas y a la repulsión entre núcleos originando un colapsamiento de materia y la formación de un núcleo muy concentrado de materia donde la masa de la estrella define la fase final ya que ésta puede derivar en una *estrella de neutrones* o en un *hoyo negro*.

Si la estrella es de menos de 8 masas solares, después del fenómeno de la supernova queda un núcleo másico remanente donde debido a la baja actividad, la presión disminuye bastante y en este caso la fuerza gravitacional es tan grande que provoca que se fusionen los electrones con los protones en los átomos dando como consecuencia la formación de un inmenso núcleo de neutrones (ver figura 1.3). Estos objetos estelares no son visibles y son detectados por una radiación de baja energía emitida en forma de ondas de radio. Por observaciones astronómicas se sabe que las estrellas de neutrones, que es una especie de residuo de un proceso estelar, tiene un tamaño máximo de 2.5 masas solares y su densidad es tan grande que una cucharadita de su materia pesaría en la tierra alrededor de 100 millones de toneladas, ¡el peso total de una gran montaña!

Cuando la estrella supermasiva es de más de 8 masas solares, la fuerza de gravedad vence la presión ejercida hacia el exterior lo que equivale a una contracción irreversible de la estrella. Debido a la gran fuerza de gravedad, en esta forma final ni la radiación puede escapar dando como origen a los famosos hoyos negros, cuyos detalles están descritos en algunos libros de cultura general [5].

La materia que nos rodea

De una manera general, el universo está compuesto de fotones, partículas fundamentales y átomos. La asociación conocida de estos conceptos ha llegado a ser muy importante en la explicación de diversos fenómenos y en la aplicación de modernas tecnologías. Sin embargo, es muy probable que otro tipo de asociaciones entre estos componentes sea desconocida y está presente fuera de nuestro espacio formando un tipo exótico de materia.

Desde un punto de vista elemental, la materia tangible está compuesta de átomos y de elementos. Un elemento es una asociación de átomos de un solo tipo. El 90% de los átomos en el universo son de hidrógeno que corresponde al 73% de la masa total, esto considerando todo tipo de materia. El resto de los átomos son de helio que representa el 25% de la masa total en el universo y sólo una porción mínima de los átomos totales, son elementos mayores (~2% de la masa total).

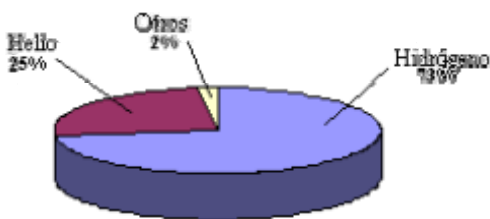


Figura 1.4

El universo, desde su origen como una consecuencia de *la gran explosión*, ha estado cambiando continuamente y la expansión que sufre tiene como efectos importantes; un enfriamiento gradual del mismo y la disminución de la energía total. Las principales transformaciones químicas que se suscitan en él son la nucleólisis del hidrógeno para formar helio, y la nucleosíntesis de elementos más pesados a partir del helio, tal como lo asentamos atrás. Considerando este esquema de transformaciones químicas, en tiempos remotos la cantidad de hidrógeno era mayor calculándose que en las primeras 2 horas después del Bing-Bang, el 89% de la masa total eran átomos de hidrógeno y el 11% correspondía a átomos de helio. En el futuro, la cantidad actual de *H* disminuirá no así la cantidad de helio que seguirá aumentando debido a que la transformación a elementos mayores requiere de altos suministros de energía como la que existe en el interior de las estrellas o la que se genera en la formación de las supernovas.

Considerando que una estrella es parte de una galaxia, sus condiciones y por ende su composición depende de la posición que ocupe en la galaxia. Esto indica que un cúmulo de estrellas, formaron parte de un incommensurable cuerpo celeste que colapsó dando como consecuencia a una galaxia. En el centro de la galaxia los procesos energéticos son extremos y las estrellas cerca de él son ricas en elementos pesados. Las estrellas alejadas del centro son muy pobres en metales y se sabe que éstas tienen menos capacidad de atrapar cuerpos celestes y por consecuencia de formar un sistema planetario. Nuestro sol ocupa una posición bastante alejada de la galaxia a la que pertenece, pero tal posición es ideal no sólo para formar un sistema planetario sino también para la creación de la vida [4].

La composición de la materia

Los elementos que constituyen la materia conocida han sido acomodados en base a sus características, en un acomodo muy especial donde la distribución facilita el entendimiento de sus propiedades, siendo el *número atómico* una de sus propiedades fundamentales. Esta disposición es llamada *Tabla Periódica de los Elementos Químicos*. Si nos trasladamos de izquierda a derecha dentro de una fila (período), el número de electrones (*número atómico*) aumento de uno en uno conforme saltamos de un elemento (casilla) a otro y con ello se da un cambio periódico de las propiedades de cada átomo. Una tabla recientemente propuesta se presenta en la figura 1.5 [6].

Hasta la fecha, se han detectado en la atmósfera solar cerca de 70 elementos diferentes. Esta detección se logró mediante la aplicación de modernas técnicas de espectroscopía atómica.

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B			1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
Período																		
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf						
-																		
Lantánidos			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actínidos			Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112		

Figura 1.5

No solamente el hidrógeno y el helio son más abundantes en el sol que en la tierra, sino que también algunos otros elementos, sorprendentemente se encuentran en mayor proporción.

Actualmente, nuestro sol no produce elementos más grandes que el helio ya que está en una etapa terminal donde sólo el hidrógeno sufre transmutaciones. Por lo que se deduce que en etapas anteriores más activas de su vida, si los producía. Sin embargo, se tienen ciclos de transformación en el sol como el llamado CNO (carbono, nitrógeno y oxígeno), donde se hace uso de los elementos que ya existen dentro de él. En este proceso energético se añaden cuatro protones a alguno de estos átomos para crear como consecuencia un núcleo más pesado, el cual al ser inestable se fragmenta para dar un núcleo de helio y el átomo original que jugó el papel de catalizador (especie química que facilita una reacción química pero que no sufre cambios al término de ésta).

La abundancia atómica en el sol ha sido adaptada en forma similar a una moderna Tabla Periódica de los Elementos por S.I. Dutch de la Universidad de Wisconsin [7]. Tal distribución de elementos se muestra en la figura 1.6 donde el tamaño de cada círculo es proporcional a la concentración del elemento.

De esta figura destaca que es clara la mayor abundancia en elementos ligeros y que se tiene un pico relativo de la abundancia del hierro. Además, los elementos litio (*Li*), berilio (*Be*) y boro (*B*) presentan una abundancia muy baja.

Son 93 elementos diferentes, en orden periódico comenzando con el hidrógeno, los que se han formado de una manera natural en el universo, y que han sido encontrados en *la tierra* a excepción del tecnecio (*Tc*), prometio (*Pm*) y californio (*Ca*) que se detectaron en lejanas estrellas cuando se analizó la radiación proveniente de ellas.

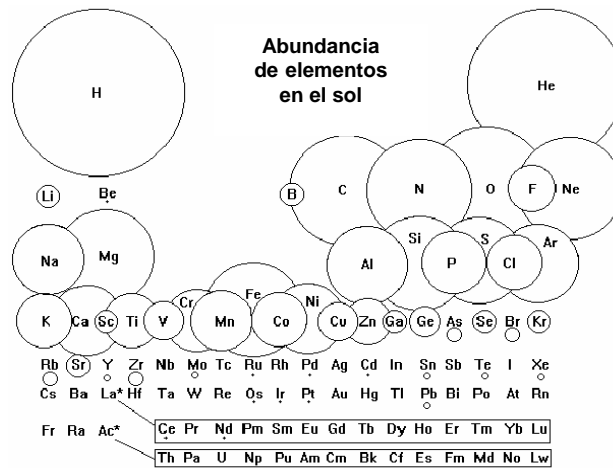


Figura 1.6

De aquí que la gran mayoría de los elementos naturales, desde el hidrógeno hasta el uranio, se encuentran en diferentes proporciones en la tierra. La distribución de elementos en la placa continental difiere radicalmente de la composición elemental del total de nuestro planeta y también difiere sustancialmente de la composición en el sol. De esta comparación, algunos elementos pesados son más notables en la tierra pero los ligeros son menos abundantes. Lo anterior se esquematiza en la siguiente figura.

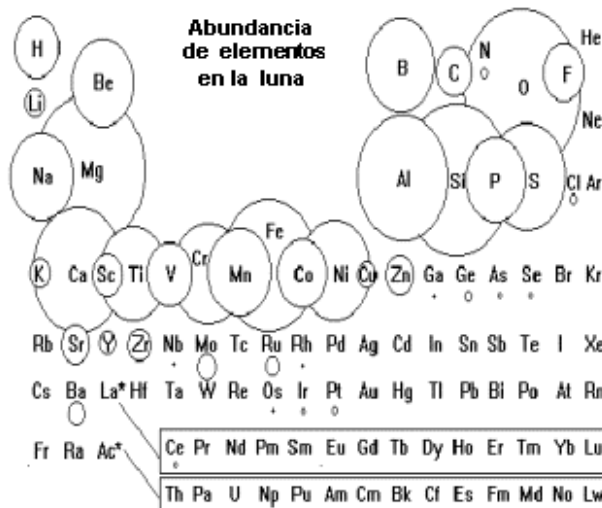


Figura 1.7

De la figura anterior, podemos concluir que la presencia de elementos del grupo de los metales alcalinos, sodio (*Na*) y potasio (*K*) principalmente, es muy notable los cuales están en forma de sales. Se tiene el pico en la

concentración de hierro en forma de silicatos. Además, el magnesio (*Mg*) es muy abundante, y su presencia es más notable en forma de silicato y con una carga de +2.

La abundancia de elementos en *la luna* se destaca en la figura 1.8. De ahí sobresale que la distribución de elementos no volátiles en la luna es muy similar a la existente en la tierra. Se han encontrado algunos compuestos que no existen en la tierra, principalmente sales complejas. Además, la concentración de elementos muy volátiles como el hidrógeno es reducida. Esto indica la casi nula posibilidad de encontrar moléculas de agua (dos átomos de H + un átomo de O).

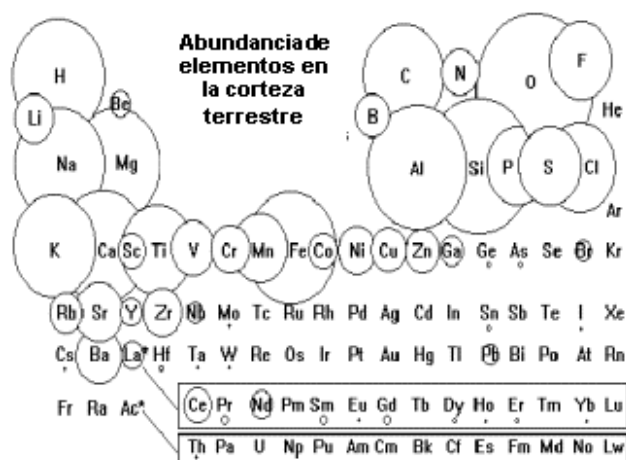


Figura 1.8

Estas diferencias importantes han dado como sustento a la teoría de que el origen de la luna es distinto al de la tierra y que la luna se formó en una región más caliente del espacio. La teoría más aceptada hoy en día es la que establece que en tiempos remotos cuando los dinosaurios eran los amos absolutos de la vida en la tierra, ésta sufrió un choque con un planetóide del tamaño de Marte que tuvo como consecuencia no solamente la desaparición de la vida mayor en la tierra, sino que el material rebotado después de la gran colisión circundó la tierra en una órbita alejada donde estuvo interaccionando hasta formar la luna. Lo más lógico es pensar que la mayor parte de la materia rebotada correspondía al objeto estelar que chocó, aunque una mínima parte de la luna pudiera haber sido parte de nuestro planeta.

Como se notó en las figuras de la abundancia elemental, no todos los elementos están presentes en el universo de una manera natural. Quizá es en la tierra donde se tenga la mayor gama de elementos diferentes al alcance del hombre ya que muchos han sido sintetizados a condiciones muy especiales previo a un pronóstico basado en la Tabla Periódica de los Elementos. Tales elementos no han sido detectados en ningún objeto espacial y si existen naturalmente estos están en concentraciones muy bajas, en objetos muy lejanos, o bien; su tiempo de vida media es tan corto que tampoco es posible detectarlos.

Referencias

- [1] N. Glickstein, (1999), J. of Chem. Education, Vol. 76, No.3, p. 353-355.
- [2] D. Shriver, P. Atkins, & C.H. Langford, (1994), *Inorganic Chemistry*, Oxford University Press (2nd. Edition), p. 4-7.
- [3] D. J. Olbris & J. Herzfeld, (1999),), J. of Chem. Education, Vol. 76, No.3, p. 349-352.
- [4] C. Castaño, (2000), Rev. Muy Interesante, Septiembre, p. 32-39.
- [5] S. Hacyan, (1996), *Los Hoyos negros y la curvatura del espacio*, La ciencia desde México-FCE.
- [6] Página Web: le.village.ifrance.com/okapi/tabla_periodica.htm
- [7] S. I. Dutch (1999),), J. of Chem. Education, Vol. 76, No.3, p. 356-358.