

Dr. Remigio Cabrera-Trujillo
Instituto de Ciencias Físicas-UNAM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

En la actualidad estamos muy acostumbrados a ver los logros de la ciencia de manera trivial. Casi cualquier persona trae consigo un celular o tableta. El automóvil viene equipado con muchos aditamentos tanto electrónicos como de conducción que se deben en mayor parte a los avances tecnológicos desarrollados por la ciencia. En el campo de la ciencia, la física atómica, molecular y óptica ha sido la rama que más ha contribuido a este desarrollo. El entendimiento de las propiedades de la materia ha permitido grandes avances tecnológicos que van desde la electrónica hasta el diseño de nuevos materiales. Esto se debe particularmente al conocimiento que tenemos ahora sobre los átomos que forman la materia. Así, la pregunta fundamental que surge es ¿cuál es el origen de los átomos?

El origen de los átomos

Bueno, algunos de ustedes habrán escuchado la frase que dice que “somos polvo de estrellas”. ¡Pues así es! Los átomos y toda la materia que conocemos se han creado principalmente en las estrellas.

De hecho hay dos fuentes primordiales de cómo surgieron los átomos. La primera fue el **Big bang o la gran explosión** que dio origen al Universo hace cerca de 13,600 millones de años. En ella se creó principalmente el hidrógeno, un poco de helio y litio. Los tres primeros elementos de la tabla periódica y los más ligeros y abundantes. Los otros elementos más pesados se han creado en el interior de las estrellas por tres procesos diferentes: Fusión nuclear (o quemado de átomos) [1], fotodesintegración [2] y mediante la irradiación de neutrones y protones [3]. Cada uno de estos procesos ocurren en diferentes etapas de vida de las estrellas [4]. Las estrellas primordiales, es decir, aquellas que surgieron después del *Big bang*, estaban principalmente formadas de hidrógeno. Mediante el proceso de quemado del hidrógeno, es decir, mediante la fusión o unión de dos átomos de hidrógeno, se forma helio y se libera energía resultante de este proceso, como luz y calor, el cual hace brillar a las estrellas. Este quemado de

hidrógeno produce a su vez átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno, flúor, neón y sodio, consecutivamente durante la vida de la estrella. En la Figura 1 se muestra cómo funciona este mecanismo de fusión. Hasta aquí, el quemado de hidrógeno es el medio más eficiente de transformar masa en energía, como lo muestra la famosa **fórmula de Einstein, E=mc²** (Energía es igual a la masa multiplicada por la velocidad de la luz, elevada al cuadrado). A partir de aquí, la estrella se empieza a llenar de helio y éste se quema para producir más oxígeno, neón, magnesio, silicio, azufre, aluminio y calcio. Estos procesos toman millones de años dentro del interior de la estrella (núcleo) que es un reactor nuclear y que funciona debido a la combinación de la fuerza de gravedad, la gran densidad en el núcleo y las fuerzas nucleares que gobiernan la interacción de estas partículas.

tones forman los elementos más pesados hasta llegar al uranio (número atómico 92). Es en este proceso que los átomos de helio hasta hierro son bombardeados por protones y neutrones y se da la formación de elementos más pesados. De entre estos elementos tenemos a la plata, el oro, cobre, y tierras raras como los lantánidos de importancia en las pantallas de tabletas y celulares.

Así, por ejemplo, encontramos cobre y oro en la Tierra, lo cual nos indica que estos elementos provienen de una estrella anterior al Sol, que explotó y generó estos elementos. Es decir, hubo al menos una estrella anterior al Sol de la cual al explotar se generaron todos los elementos pesados que encontramos en nuestro planeta. Nuestro Sol tiene aproximadamente 4,500 millones de años de vida y se encuentra a media vida [5]. Eso nos dice que desde el *Big bang* hasta el nacimiento

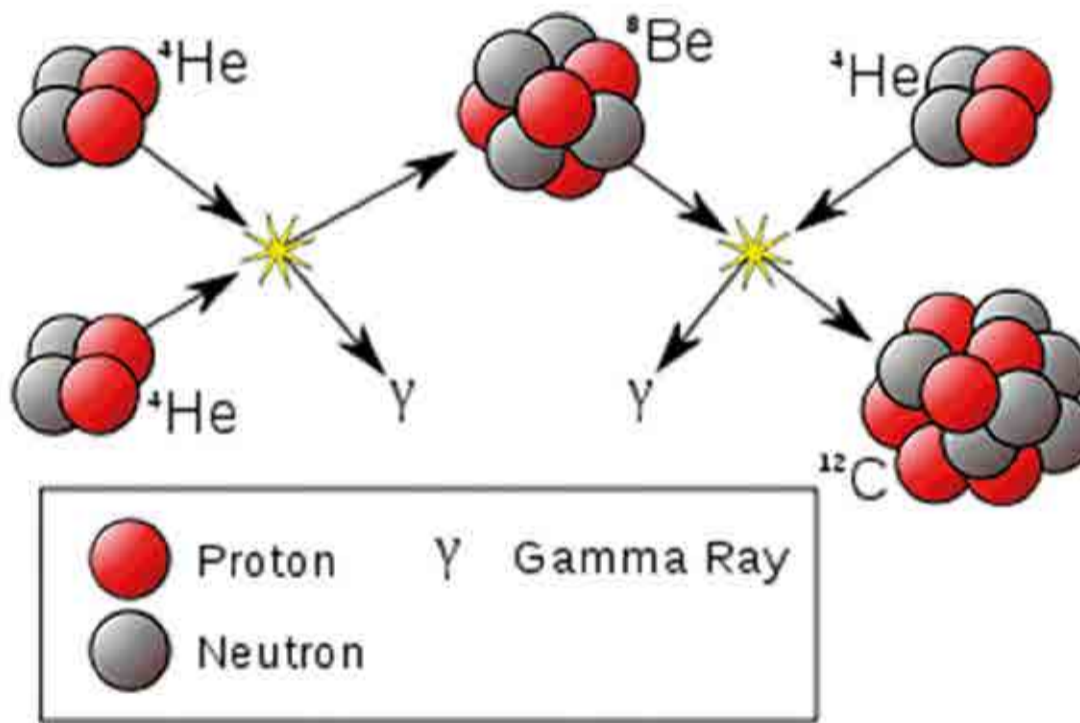


Figura 1. Proceso triple-alfa de fusión donde combinando 2 núcleos de helio (He) se forma el isótopo de berilio y a su vez, fusionándose con otro núcleo de helio, se forma carbón. En el proceso se libera un rayo gamma de luz. Fuente: Wikimedia commons (https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_triple-alfa)

“Arqueología astronómica”

En las estrellas, el proceso de fusión ocurre hasta llegar a la formación de hierro, cuyo número atómico en la tabla periódica es el 27 y es el núcleo con la mayor energía de enlace nuclear. A partir de este elemento ya no es posible seguir fusionando más átomos. En términos simples, la estrella deja de tener combustible y explota.

En astronomía se dice que se crea una estrella nova (o supernova) y la estrella muere. Es en este evento en el que la fotodesintegración e irradiación de neutrones y pro-

de nuestro Sol hubo cerca de 9,000 millones de años, tiempo suficiente para que hubiese existido al menos una estrella que diera origen a nuestro sistema planetario y los elementos que lo forman.

El estudio de la abundancia de los elementos permite a los astrónomos determinar edades de estrellas y la evolución que estas han tenido. Además, estos procesos dependen del tamaño de la estrella, por consiguiente, la presión que se genera en su interior y la zona o capa de la estrella en la que se genera es-

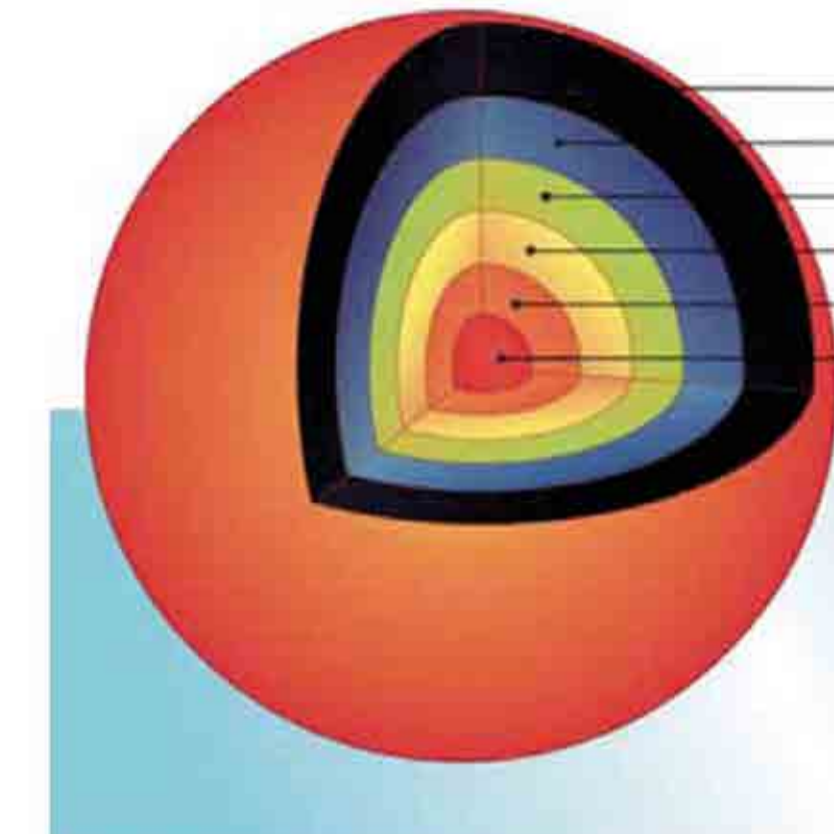


Figura 2. Formación de elementos dentro de una estrella. Imagen modificada de https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/el-ciclo-vital-de-las-estrellas_ub2ad

1 día! Sin embargo, la explosión de la estrella en nova ocurre en segundos! Por lo tanto, capas internas tienen mayor densidad y por ende mayor temperatura y presión.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de lo discutido hasta aquí. La notación científica 10ⁿ significa que es un 1 seguido de n-ceros. Así, 10³=1000. Como se puede observar, es sorprendente como estas reacciones entre átomos con propiedades muy determinadas, pueden dar origen a otros átomos con muy diferentes propiedades.

Combustible	Principal producto	
H	He	
He	O, C	
C	Ne, Mg	
Ne	O, Mg	
O	Si, S	
Si, S	Fe	

Tabla 1. Reacciones entre átomos y sus productos.

Sin embargo, los átomos formados en la explosión nova no permanecen aislados y forman

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



- Hidrógeno
- Helio
- Oxígeno
- Carbón
- Silicio
- Hierro



perpetuo y se atraen entre sí cuando están un poco separadas, pero se repelen cuando se las aprieta. En esa oración, verás, hay una enorme cantidad de información sobre el mundo, si solo se aplica un poco de imaginación y pensamiento." Y estos átomos o elementos se los debemos a las estrellas.

La aplicación de las ciencias físicas y creación de otros elementos por el hombre

bardean núcleos pesados con neutrones en aceleradores de partículas como el *Large Hadron Collider* (Gran colisionador de hadrones, LHC) del CERN que es la versión humana del proceso de irradiación de neutrones en las estrellas. La aplicación y la investigación de elementos atómicos particulares refleja tendencias científicas, sociales y ambientales. Actualmente, hay un enfoque en la producción y

mos fue inicialmente propuesto en 1869, con la publicación de Mendeleev de una tabla periódica incompleta basada en el cotejo de propiedades físicas. Posteriormente se hicieron refinamientos para formar la tabla periódica moderna (Figura 3). En celebración de este 150 aniversario, las Naciones Unidas proclamaron que 2019 sea el año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos [6].

de los elementos o átomos en las estrellas y que nos ha llevado hasta sus aplicaciones tecnológicas actuales.

El 2019 ha sido propuesto por la Organización de las Naciones Unidas como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos por lo que la Academia de Ciencias de Morelos ha decidido dedicarle una serie de artículos preparados por es-



nubes estelares de átomos que se combinan en moléculas. Las moléculas son uniones de átomos para formar compuestos. Las estrellas producen los 92 elementos naturales, pero su combinación produce una infinidad de moléculas y compuestos que enriquecen el medio interestelar. Estas moléculas van desde el agua hasta el ADN, que es ¡la base de la biología y de la vida misma! Richard Feynman, premio Nobel de Física, ha resumido esto de manera elocuente como: "Si, en algún cataclismo, se destruyera todo el conocimiento científico y solo se pasara una frase a la siguiente generación de criaturas, ¿qué afirmación contendría la mayor cantidad de información



Figura 3. Tabla periódica moderna. Imagen tomada de Wikipedia https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Periodic_table_large-updated-2018.svg

Los elementos con un número atómico mayor que el de uranio, cuyo número atómico es 92, tienden a no ocurrir naturalmente en las estrellas o en la Tierra, ya que

almacenamiento más ecológico de energía. Las baterías demuestran cómo esta tendencia afecta la investigación, ya que el rendimiento es sensible a la química de estos elementos. Los elementos de transición y los metales pesados (como el níquel, el zinc y el plomo) se utilizaron comúnmente en el siglo XX debido a la facilidad de fabricación de las baterías y al bajo costo sobre alternativas como el litio. Las tendencias actuales para una mayor densidad de energía (y con un procesamiento más barato) han hecho que el litio sea predominante, pero también se han considerado otros elementos cercanos al litio en la tabla periódica (como sodio, magnesio, aluminio o calcio) que prometen un rendimiento similar pero son más abundantes. La producción de energía solar utilizando perovskitas orgánica-inorgánica en celdas solares es de interés para la investigación, pero estos materiales contienen plomo, con problemas de toxicidad conocidos. La búsqueda de elementos de reemplazo más seguros generalmente considera elementos del mismo grupo, como estaño, o adyacentes, como el bismuto, pero es necesario considerar los problemas de rendimiento y estabilidad. Esto que sabemos de los áto-

Después de 150 años, comprendemos mucho mejor de dónde provienen y cómo se ven afectadas las propiedades de los elementos dependiendo de su posición en la tabla periódica. El oro (el metal plasmónico predominante) puede actuar como un catalizador para muchas reacciones; y otros metales como la plata o el platino también son de interés para la investigación, ya que pueden poseer propiedades químicas similares. El dopaje para modificar el transporte electrónico en semiconductores a menudo utiliza elementos sustitutos aledaños a lo largo de la tabla periódica, como el boro y el silicio. En los metales de transición, los estudios de magnetismo tienden a centrarse en aquellos elementos que poseen electrones "d" localizados, como los compuestos que contienen manganeso. Pero las propiedades de los materiales que contienen metales de transición de la primera fila, como el cobre y el hierro, también son de interés en la investigación de superconductividad de alta temperatura. Como se ve, ha habido una sinergia entre nuestra comprensión evolutiva de la tabla periódica y nuestra comprensión del origen

pecialistas de diferentes disciplinas. Sirva este artículo para despertar su curiosidad y que nos permitan compartir con ustedes nuestro amor por los elementos y su máxima representación, la Tabla Periódica.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

Referencias

- [1] https://es.wikipedia.org/wiki/Fusi3n_nuclear
- [2] <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotodesintegraci3n>
- [3] https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci3n_por_neutrones
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_nucleosynthesis
- [5] <https://es.wikipedia.org/wiki/Sol>
- [6] ONU, <https://www.un.org/press/en/2017/ga11994.doc.htm> (2017).

Producto secundario	Temperatura (10 ⁹ Kelvin)	Tiempo (años)	Principal reacción
H	0.02	10 ⁷	4 H+He
D, He	0.2	10 ⁶	3 He+C 4 He+O
Li	0.8	10 ³	C+C
Al, P	1.5	3	
Cl, Ar, K, Ca	2.0	0.8	O+O
Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni	3.5	0.02	

en el menor número de palabras? Creo que es la hipótesis atómica de que todas las cosas están formadas por átomos: pequeñas partículas que se mueven en movimiento

rápido se desintegran radiactivamente a elementos más estables. Para sintetizar estos elementos, los investigadores unen núcleos atómicos o bom-