

# ¿Cómo se forman los elementos químicos?

Gerardo Martínez Avilés

En la antigüedad las personas creían que las cosas en el mundo estaban constituidas de cuatro elementos: la tierra, el agua, el aire y el fuego. Hoy sabemos que la materia está formada por átomos. Los átomos tienen a su vez una estructura: poseen un núcleo muy pesado que contiene casi toda la masa, formado por protones y neutrones y poseen también electrones que se mueven alrededor del núcleo. A las distintas clases de átomos con un número específico de protones en su núcleo, se les conoce como elementos químicos. Escuchamos sobre los elementos químicos en todas partes. Por ejemplo, los astrónomos saben que la mayor parte de la materia del Universo (sin contar la materia oscura) se encuentra en forma de hidrógeno. Por otro lado, en biología se sabe que la vida en la Tierra está basada en el carbono, aunque el oxígeno y el fósforo son también elementos muy importantes para ella. También los nutriólogos nos dicen que la leche contiene calcio, y el cereal con el que la tomamos contiene hierro y zinc. ¿Te has preguntado alguna vez de dónde vienen todos estos elementos? Para conocer la historia debemos comenzar por el principio.

## **La nucleosíntesis del Big Bang: el origen de los elementos ligeros**

La teoría del Big Bang es la teoría del origen del Universo más aceptada por la comunidad científica. Esta teoría dice, muy sucintamente, que hace unos 13.7 mil millones de años, todo cuanto hay en el Universo (incluido el espacio mismo) estaba concentrado en un punto conocido como una

“singularidad” de densidad con temperaturas increíblemente altas. Éstas han ido disminuyendo con la expansión del Universo a partir de la gran explosión. Durante los primeros instantes después del Big Bang, la temperatura debió ser demasiado alta para formar estructuras complejas. La temperatura tuvo que disminuir hasta unos mil millones de grados centígrados para que las colisiones entre protones y neutrones fueran menos violentas y se formaran los primeros núcleos de elementos químicos. Esto ocurrió durante los primeros minutos después del comienzo de la gran explosión.

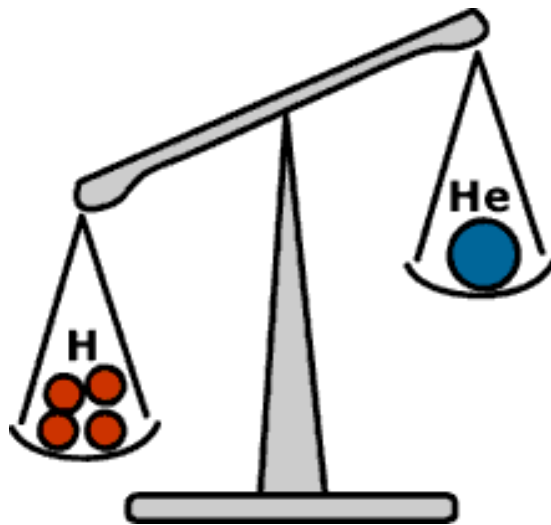
### **Los primeros núcleos atómicos**

Los núcleos de los elementos químicos están formados por protones y neutrones. Un átomo de hidrógeno posee solamente un protón en su núcleo, uno de helio dos protones y dos neutrones, y así sucesivamente conforme avanzamos en la tabla periódica de los elementos. Sabemos que por estar cargados positivamente, dos protones se repelen entre sí por la llamada *fuerza de Coulomb* o *fuerza electromagnética*, una de las interacciones fundamentales de la materia. Que en el núcleo de helio los dos protones no se repelan entre sí se debe a otra interacción fundamental de la materia conocida como *fuerza nuclear fuerte*, que los mantiene unidos en el núcleo. Esta fuerza se ejerce en un espacio muy pequeño, por lo que los dos protones deben estar muy cerca uno del otro. Las temperaturas necesarias que permitieron a los protones acercarse entre sí lo suficiente venciendo la fuerza de repulsión de *Coulomb* para formar los primeros núcleos, se alcanzaron en el primer minuto después del Big Bang. Se formaron entonces en el Universo los primeros elementos representados en la Tabla Periódica: hidrógeno, helio y un poco de litio.

Después de que se formaron estos elementos, el Universo en su expansión se enfrió demasiado como para que hubiera más reacciones nucleares. Pasaron entonces varios millones de años para que los demás elementos entraran en escena. Hubo que esperar a que en el Universo se pudieran formar los nuevos reactores nucleares que eran las estrellas.

### La nucleosíntesis estelar: alquimia en las estrellas

En la década de los años 20 del siglo pasado se desconocía de dónde procedía toda la energía necesaria para que estrellas como el Sol brillaran durante miles de millones de años. El físico Francis Aston midió la diferencia de las masas entre los núcleos de hidrógeno y helio, y descubrió que las partículas que forman el helio son más pesadas cuando se encuentran unidas.



[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/themes/physics/fusion/index.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/fusion/index.html)

Este descubrimiento se traduce en la famosa ecuación de Einstein  $E=mc^2$ , que nos da la equivalencia entre la masa y la energía. Fue el astrónomo

Arthur Eddington quien utilizó dicho conocimiento para explicar de dónde sale la energía que mantiene encendidas a las estrellas: ellas utilizan la energía de fusión nuclear que se libera cuando dos núcleos de hidrógeno se unen y se transforman en núcleos de helio. Esta reacción ocurre solamente en el centro de las estrellas. Las estrellas son bolas de gas inmensas cuyo equilibrio es una relación entre su presión interna (obtenida del calor generado en las reacciones nucleares que tienen lugar en el centro de la estrella) y su *gravedad*. En las estrellas se agota el hidrógeno, su combustible principal, y se transforma en helio. Cuando esto sucede la presión interna disminuye y comienza a ganar la gravedad. Esta fuerza contrae a las estrellas y la contracción incrementa nuevamente sus temperaturas internas.

Existen varios tipos de estrellas cuya evolución depende principalmente de la cantidad de masa que posean. Cuando agotan sus combustibles más ligeros, las estrellas comienzan a quemar los más pesados: primero el helio para formar carbono y oxígeno. Esto ocurre en estrellas de baja masa (menor a unas 10 veces la masa del Sol), que ya no pueden continuar fusionando elementos más pesados. En estrellas con masas mayores, la fusión de elementos puede continuar hasta formar hierro. En ese momento ni siquiera las estrellas más masivas pueden quemar elementos en forma de fusión nuclear y es necesario otro ingrediente para que se formen los otros elementos de nuestra tabla periódica.

### **El toque final: las supernovas**

Cuando las estrellas muy masivas agotan sus combustibles y han formado un núcleo de hierro, la fuerza gravitacional comienza a dominar de nuevo

y la estrella comienza a colapsar hacia su centro. Esto da lugar a altísimas temperaturas y presiones en el centro de la estrella. Sus capas en colapso rebotan con una energía enorme y se produce una explosión conocida como supernova. El rebote de las capas externas contra el centro de la estrella produce una onda de choque que da lugar a las condiciones necesarias para la generación de los elementos restantes. Los núcleos libres atrapan neutrones formando isótopos de diversos elementos (los isótopos son núcleos del mismo elemento pero con diferente número de neutrones). Por poner un ejemplo, un núcleo de hidrógeno está formado solamente por un protón. Si añadimos un neutrón, seguimos teniendo hidrógeno pero en un isótopo conocido como deuterio, un protón con dos neutrones se llama tritio y así sucesivamente. La mayoría de los isótopos son inestables, lo que quiere decir que se transforman en otros elementos convirtiendo neutrones en protones.

Durante una supernova un núcleo de hierro puede atrapar neutrones hasta formar un isótopo inestable que decae en un nuevo elemento con un mayor número de protones que el hierro. Estos nuevos elementos atrapan, a su vez, neutrones que generan nuevos isótopos inestables que decaen en núcleos más pesados. Este proceso continúa hasta formar los elementos radiactivos que hay en la naturaleza y que después decaen espontáneamente en elementos más ligeros.

Los decaimientos de isótopos inestables y elementos radiactivos están gobernados por la conocida *fuerza nuclear débil*, la última interacción fundamental que faltaba en nuestra historia. Podemos ver ahora de dónde vienen los elementos químicos que forman el mundo que nos rodea; desde el cereal hasta los materiales radiactivos. Una bella historia que conjuga conocimientos de diferentes ramas de la física. La teoría del

origen de los elementos químicos es hoy en día considerada un éxito que surge de la unión de observaciones astronómicas, experimentos de física nuclear y la puesta en marcha de las teorías de física estelar y cosmología. Además, en la creación de los elementos químicos juegan un papel las cuatro interacciones fundamentales de la materia: la *fuerza electromagnética*, la *fuerza nuclear fuerte*, la *fuerza nuclear débil* y la *gravedad*.

Los elementos transformados en el interior de las estrellas se van quedando ahí por muchos miles de millones de años, salvo los de una explosión de supernova que van, muchos de ellos, al espacio interestelar. De ahí algunos se incorporan a la formación de nubes moleculares y a la de nuevas estrellas, pero ¿cómo han llegado a los planetas y en particular a la Tierra? En ésta y otras preguntas los científicos de diversas disciplinas como la geofísica, la formación planetaria y la astrobiología siguen trabajando.

### **Bibliografía.**

1. <http://es.scribd.com/doc/94227652/Elementos-Universo-Revista-Como-> Ves
2. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/themes/physics/fusion/index.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/fusion/index.html)