

Alquimia cósmica: kilonovas

William H. Lee

Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México

*Si quieres hacer un pastel de manzana,
primero debes inventar el Universo*
Carl Sagan, Cosmos

¿De dónde vienen los elementos químicos?

En la Tierra podemos ver que hay una diversidad de elementos químicos, que conforman todo lo que nos rodea: Hierro, Carbono, Uranio, Hidrógeno, Oro, Oxígeno, por nombrar algunos de los más conocidos, y otros menos famosos como el Ytrio, el Astatio y el Talio. Con ellos podemos hacer moléculas y todo tipo de materiales, desde celdas solares hasta anillos de boda. Algunas mezclas nos alimentan y otras nos pueden matar en minutos. La diversidad es enorme, pero el punto de partida del cual se hace todo esto no es muy grande, pues al día de hoy sabemos que hay 118 elementos químicos solamente.

¿De dónde vienen? Esta pregunta es una de las más importantes para entender el Universo y ha sido objeto de estudio durante siglos. Estos elementos constituyen los ladrillos a partir de los cuales se conforma todo lo que vemos: planetas, borregos, estrellas, vaquitas marinas, el virus del VIH, galaxias, tu amiga de la infancia y estrellas de neutrones. ¡Todo!

Los más ligeros, el Hidrógeno, el Helio y el Litio (que contienen 1, 2, y 3 protones en su núcleo, respectivamente) se formaron en los primeros minutos después de la Gran Explosión o Big Bang, cuando la temperatura del Universo era de mil millones de

grados. El Hidrógeno y el Helio constituyen el grueso de la materia observable en el Universo y suman el 98% del total. Con este Hidrógeno se formaron nubes de gas, que al comprimirse bajo la acción de su propio peso formaron reactores termonucleares autorregulados: las primeras estrellas.

Pero todo lo que brilla tiene que sacar su energía de algún lado. En el caso de las estrellas, ésta viene de la fusión de Hidrógeno en Helio. Esta combustión, al ritmo de 400 millones de toneladas por segundo en el Sol, es lo que hace que floreen las jacarandas cada primavera, entre otras cosas.

El proceso básico que regula esto se entendió en la primera mitad del Siglo XX con el desarrollo de la mecánica cuántica. A lo largo de su vida, una estrella es entonces un gran horno que cocina elementos ligeros, como Hidrógeno y después Helio, en elementos más pesados, en particular más Helio y sobre todo Oxígeno, Neón, Nitrógeno y Carbono (en ese orden por abundancia cósmica hoy). No es casualidad que de esto estén hechos los organismos vivos: son átomos abundantes que pueden dar lugar a una rica estructura molecular en combinaciones que llamamos química orgánica. Por ejemplo, en la Tierra hay mucho Hidrógeno en el agua (dos átomos de Hidrógeno por uno de Oxígeno, H₂O).

La fusión de dos estrellas de neutrones forma un chorro relativista colimado de materia y energía (en rosa) que emite radiación de alta energía. El gas eyectado a menor velocidad genera un resplandor secundario, o kilonova, como resultado de la creación de elementos pesados. Crédito de la imagen: NASA/GSFC.



Los elementos que siguen en abundancia cósmica son el Silicio, Hierro, Magnesio y Azufre. Estos son cocinados en estrellas más masivas que el Sol que le exprimen hasta la última gota de energía a las reacciones termonucleares. El camino termina en el Hierro, que es un elemento especial porque las partículas que conforman su núcleo están muy amarradas unas a otras, más que en cualquier otro elemento de la tabla periódica. Es difícil romper un núcleo de Hierro. Sin embargo, la atracción gravitacional de decenas de masas solares sí lo puede lograr. Cuando la estrella, al quedarse sin combustible se cae sobre si misma en un enorme colapso, tiene una explosión que produce uno de los fenómenos más brillantes y potentes del Universo: una supernova. En la mezcla caliente y rica en partículas y energía se fraguan elementos químicos más allá del Hierro, como el Rubidio, el Selenio y la Plata, lo que se fue entendiendo hacia la mitad del Siglo XX. Pero había un misterio: lo que sabemos de las supernovas y de la producción de estos elementos no encajaba con las abundancias de elementos pesados, faltando al menos la mitad por masa cuando comparamos con lo que observamos. Se especuló que las estrellas de neutrones, cenizas estelares que quedan cuando se produce una supernova y que concentran el equivalente de la masa del Sol en un volumen del tamaño de la Cd. de México, podrían tener algo que ver. Sólo hacía falta que de vez en cuando chocaran dos de ellas...

El velo empezó a levantarse hace 45 años, cuando se descubrió el primer sistema doble de estrellas de neutrones girando mutuamente en una órbita de apenas un millón de kilómetros de diámetro. Quedó claro que, por la emisión de ondas gravitacionales, perturbaciones en el espacio-tiempo predichas por Einstein, estas dos estrellas sí chocarían en unos 300 millones de años. No es necesario esperar, porque afortunadamente hay muchos sistemas como este en el Universo y en algún lado cercano está sucediendo uno casi todos los días. ¿De veras producen los elementos químicos

que nos faltan cuando chocan? ¿Los pueden aventar en todas direcciones al hacerlo para que se mezclen con el resto de lo que ya hay?

El 17 de agosto de 2017 se tuvo la confirmación espectacular de que esto sucede, abriendo una nueva era en la observación del Universo. En una galaxia a 130 millones de años luz, las estrellas de neutrones en un sistema doble chocaron. Produjeron primero una señal en ondas gravitacionales que fue detectada por los observatorios LIGO y VIRGO en EEUU e Italia, confirmando las predicciones de la teoría de la Relatividad de Einstein. La colisión produjo también un breve destello de radiación que fue captado por varios satélites astronómicos y una multitud de telescopios en la Tierra. Al mismo tiempo, eyectó al medio entre las estrellas suficiente masa para sintetizar elementos químicos de la tabla periódica más allá del Hierro. En el proceso de formación de estos elementos se produjo un resplandor secundario, conocido como kilonova, que lleva la huella digital de los procesos de creación. Entre ellos, por ejemplo, algo de Oro, como el que tal vez hoy llevamos alrededor de nuestro cuello o en un dedo, recordándonos de la íntima conexión entre lo que nos rodea y la historia y evolución del Universo.



El detector VIRGO de ondas gravitacionales, ubicado en Italia. Al pasar ondas gravitacionales por la Tierra, los brazos, de 3km de largo, cambian su longitud y el laser que circula en el interior del túnel refleja estas variaciones permitiendo la detección de las ondas. Crédito de la imagen: Colaboración VIRGO.