

SOMOS POLVO DE ESTRELLAS

Cómo entender nuestro
origen en el cosmos



JOSÉ MARÍA MAZA SANCHO

Premio Nacional de Ciencias Exactas (1999)

 Planeta

JOSÉ MARÍA MAZA SANCHO

SOMOS POLVO DE ESTRELLAS

**Cómo entender nuestro
origen en el cosmos**

**Departamento de Astronomía
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile
Centro de Astrofísica y Tecnologías Afines,
CATA, Conicyt**

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor. Todos los derechos reservados.

© 2017, José María Maza Sancho

Derechos exclusivos de edición

© 2017, Editorial Planeta Chilena S.A.

Avda. Andrés Bello 2115, 8º piso, Providencia, Santiago de Chile

Diseño gráfico: Ian Campbell

1ª edición: marzo de 2017

17ª edición: febrero de 2019

Inscripción N° 275.475

ISBN 978.956.360.244-9

Impreso en: Salesianos Impresores S.A.

PRÓLOGO

Hace muchos años estuve en Tucson, Arizona — durante 1976—, y en el planetario de la ciudad había un ciclo de charlas de divulgación. Una de ellas me llamó la atención. La ofrecía el astrónomo de la Universidad de Arizona, Nick Woolf, y se titulaba “*The Universe: I can feel it in my bones*”. Yo iba a trabajar al observatorio de Kitt Peak y no tuve oportunidad de escucharla. Sin embargo, una tarde pude conversar con Nick Woolf en el observatorio y logré hacerme una idea del contenido. Los átomos de calcio de nuestros huesos fueron fabricados en el interior de una estrella, viajaron por el espacio interestelar producto de una supernova, contaminaron la nebulosa solar primitiva y pasaron finalmente a ser parte de la Tierra y de nosotros.

El título era tan provocativo que hizo que —cuando regresé a Chile, después de terminar

mi doctorado en la Universidad de Toronto— al ofrecer mi primera charla pública, la titulara: “El universo: puedes sentirlo en mis huesos”. Desarrollé lo que yo creo era la historia que relataba Nick Woolf. No es difícil imaginarla: hay que contar que el hidrógeno y el helio se formaron en el Big Bang. Que luego las estrellas forman el carbono, nitrógeno y oxígeno, y ensucian las nebulosas. Que las estrellas de alta masa transmutan hasta el hierro y luego explotan en una supernova y con ello contaminan a la misma con silicio, calcio y hierro, llegando hasta pequeñas cantidades de uranio. Luego, la nebulosa solar primitiva forma el Sol y sus planetas, incluyendo la Tierra. Esto ocurrió hace tan solo cuatro mil seiscientos millones de años.

Por muchos años he dictado una charla pública con ese título. A miles de jóvenes y no tan jóvenes les he contado lo que yo considero una de las más grandes historias de la astronomía. Carl Sagan decía que somos “material estelar”; Bill Fowler y Hubert Reeves —dos notables astrofísicos— han dicho que somos “polvo de estrellas”. María Teresa Ruiz, en Chile, hace unos años nos dijo en su libro que somos “hijos de las estrellas”. La historia cambia de nombre pero el contenido es el mismo: todos los átomos que componen su cuerpo, amigo lector, y el mío, salvo el hidrógeno, han sido fabricados al interior de una estrella.

He decidido poner por escrito esta historia como una manera de llegar a aquellos que me han escuchado y especialmente a los que no han tenido la ocasión de hacerlo. Con este libro continuo devolviendo a los ciudadanos de mi país el apoyo brindado por tantos años. Desarrollar la educación y la cultura en Chile ha sido mi principal afán durante las décadas que vengo practicando la astronomía. Chile me ha inspirado y apoyado. Este libro es una muestra de mi gratitud.

En este libro intentaré una mayor cercanía con el lector y lo interpelaré en primera persona. Es tan típico de nuestro carácter decir las cosas en tercera persona o en voz pasiva. “El telescopio se inventó en 1608”; es como si el telescopio se hubiese inventado a sí mismo. Aquí procuraré ser tan cercano como la escritura permite. Ojalá esa cercanía entre autor y lector termine produciendo el fin último del libro: la aproximación entre el lector y el tema. Para que el trabajo esté verdaderamente completo, espero que este libro estimule al lector a leer otros libros, a continuar el camino, a continuar buscando caminos.

1.- INTRODUCCIÓN

Narraré esta historia desde el principio. La constitución de la materia ha sido motivo de preocupación del hombre desde tiempos inmemoriales. Sus tres estados —sólido, líquido y gaseoso— fueron reconocidos desde la antigüedad así como también el cambio de un estado a otro, en el congelamiento del agua o su evaporación. Hace dos mil quinientos años los primeros filósofos griegos iniciaron una línea de indagación acerca de la estructura del mundo material, su constitución íntima.

Los pensadores griegos aportaron con los primeros modelos con algo de base en la realidad. Tales de Mileto, el gran geómetra y filósofo griego del siglo VI a. C., decía que el agua era el “primer principio” de todas las cosas. El agua la vemos en los tres estados: sólida como hielo o nieve, líquida

y gaseosa. Según Tales todos los objetos materiales estarían hechos de agua.

Otro filósofo griego, Anaximandro, derivó todo a partir de una sustancia inmaterial, el *apeirón*. Anaxímenes dice que todo está hecho de aire. Se siguieron agregando a la lista de ideas proposiciones de las más variadas. Por ejemplo, el filósofo Heráclito de Éfeso vio en el fuego y en el cambio al primer principio de todas las cosas.

Empédocles de Agrigento sostuvo que todo estaba constituido por agua, aire, tierra y fuego. De estos cuatro elementos dos eran graves: la tierra y el agua, y tenían una tendencia a buscar su “lugar natural” en el centro de la tierra. Los otros dos elementos tenían una tendencia a ascender pues su “lugar natural” estaría en las alturas. Estos cuatro elementos, mezclados en distintas proporciones, constituirían todo el mundo material. Esta “teoría de los cuatro elementos” la adoptó el gran filósofo Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.) y fue considerada como “la verdad oficial”, en Occidente, por casi dos mil años. La teoría de los cuatro elementos ha capturado muchos seguidores a través de la historia; y aún hoy tiene seguidores. En forma metafórica está presente en la astrología, con los signos de agua, tierra, etc. La astrología continúa jugando a predecir el futuro, esa gran quimera del ser humano.

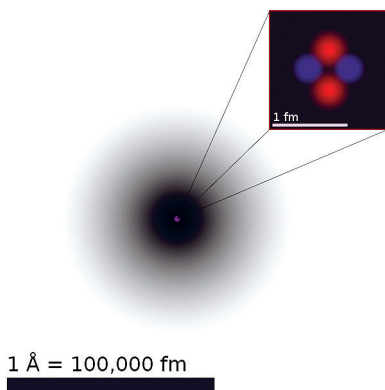
Antes de Aristóteles los filósofos griegos Leucipo y Demócrito, en el siglo v a. C., propusieron

que la materia estaba constituida por pequeñas partículas indivisibles que llamaron átomos. Los átomos de Leucipo y Demócrito se mueven en el vacío. Aristóteles descartó la teoría de los átomos pues, según él, la naturaleza le tiene “horror al vacío”. Resulta extraño hoy en día enterarse de que a la naturaleza se le atribuyera una propiedad “tan humana” como el “horror al vacío”.

A partir del siglo XIX se fue estructurando nuestro conocimiento actual. Hoy sabemos que la materia está, en efecto, constituida por átomos, unidades básicas que la física actual nos enseña que son divisibles, pese a lo que pensaron Leucipo y Demócrito, formadas por un núcleo atómico y un conjunto de electrones. A su vez, el núcleo atómico está constituido por protones y neutrones, en cantidades semejantes. El número de electrones es exactamente igual al número de protones. Los electrones tienen carga eléctrica negativa mientras los protones tienen carga eléctrica positiva de igual monto; los neutrones, como su nombre lo sugiere, son eléctricamente neutros. Los átomos no poseen carga eléctrica neta, pues protones y electrones cancelan sus cargas.

Los átomos serían como el sistema solar, con un núcleo —equivalente al Sol— y un conjunto de planetas —los electrones— orbitando desordenadamente alrededor de él. La analogía es buena, pues tanto en los átomos como en el sistema solar, la masa, la materia, está casi toda en el

centro, en el núcleo atómico o en el Sol. La diferencia es que los planetas giran ordenadamente, en un mismo plano y en un mismo sentido, en cambio los electrones lo hacen en forma caótica. La masa de un electrón es dos mil veces menor que la de un protón o neutrón; la masa de Júpiter, el mayor de los planetas, es mil veces menor que la del Sol. Por último, un átomo es entre diez y cien mil veces más grande que su núcleo, y el sistema solar —hasta Plutón— es ocho mil veces más grande que el Sol.



Átomo de helio. Su núcleo, en la ampliación, es casi cien mil veces más pequeño que su nube de electrones. Un Ångstrom (1Å) corresponde a 0,1 nanómetros; un femtómetro (1fm) corresponde a una millonésima de nanómetro.

De acuerdo con el sistema periódico de Mendeléyev la cantidad de átomos distintos no supera el centenar, desde el átomo de hidrógeno — el más simple con un solo protón en su núcleo (y un electrón)— hasta el átomo de uranio, con 92 protones

y un número de neutrones que puede ser desde 143, para el átomo de uranio-235, hasta de 146 para el átomo de uranio-238. Más allá del uranio están el neptunio y el plutonio, elementos muy escasos. Los elementos que van desde el número atómico 95 hasta el 118 se han logrado fabricar en laboratorios y son todos inestables, por ello no se encuentran en la naturaleza.

La tabla periódica de Mendeléyev es un cartoncito, como un tablero de ajedrez, pero con casillas de diversos colores. El científico ruso Dmitri Mendeléyev fue el primero en “ordenar” los elementos químicos. Esas “familias” de Mendeléyev tienen que ver con la estructura de las órbitas electrónicas y con los números atómicos. Estas ideas fueron presentadas por el gran científico ruso en 1869 en su libro *Principios de Química* y se vinieron a entender en profundidad a comienzos del siglo xx gracias a la física atómica y la mecánica cuántica. En el primer renglón está el hidrógeno a la izquierda y el helio a la derecha. En el segundo renglón están todos los átomos que tienen electrones “en el segundo nivel”, segundo orbital, que puede tener hasta 8 electrones. Ahí está desde el litio hasta el neón. En el tercer renglón hacia abajo están los elementos que tienen electrones en el tercer nivel, empezando por el sodio y terminando en el argón. Así continúa hacia abajo y en cada columna los elementos tienen propiedades químicas afines. Por ejemplo,

los metales alcalinos: litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, francio. También están los halógenos: el flúor, cloro, bromo, yodo y astato.

Lo que caracteriza a un átomo es el número de protones que contiene su núcleo, el llamado número atómico. El átomo de carbono, por ejemplo, posee siempre 6 protones en su núcleo y por ello se dice que su número atómico es de 6. Los neutrones que lo acompañan pueden ser 6 en el átomo de carbono-12 (masa atómica 12) o 7 neutrones en el carbono-13 (masa atómica 13) u 8 neutrones en el átomo de carbono-14 (masa atómica 14). Se dice que los carbono-12, 13 y 14 son distintos isótopos del carbono (átomos con igual número atómico pero distinta masa atómica). Todos los átomos de carbono poseen 6 protones y en estado neutro 6 electrones en su periferia. Todos los elementos químicos presentan varios isótopos, algunos mucho más abundantes que otros y buena parte de ellos son inestables, radioactivos, decayendo en un cierto tiempo, en otro elemento. Isótopo, literalmente, significa de igual naturaleza: son átomos casi iguales, que difieren en su masa atómica pero tienen las mismas propiedades químicas.

Los núcleos atómicos son estructuras muy delicadas, que contienen protones y neutrones. Como cada uno de los protones contiene una carga eléctrica positiva y están muy juntos en el núcleo, se repelen con una fuerza enorme (dos cargas eléctricas de signos iguales se repelen y de signos

opuestos se atraen con una fuerza proporcional al inverso del cuadrado de la distancia, como la fuerza gravitatoria entre dos masas). Solo la existencia de otro tipo de fuerzas —las llamadas fuerzas nucleares— aun más intensas que la repulsión electrostática, logran mantener unido al núcleo. Las fuerzas nucleares son de muy corto alcance; superan a la repulsión electrostática solo a distancias muy pequeñas. Podemos comparar la situación con lo que tendríamos que hacer para poner muy juntos dos imanes por polos del mismo signo. Los imanes se “van a resistir” y tendríamos que invertir una gran cantidad de energía para poder acercarlos al punto que se toquen y ahí una fuerza misteriosa los mantendrá unidos. La energía que tendríamos que invertir para poner juntos muchos imanes quedaría almacenada en ese modelo de núcleo, como en un resorte comprimido. Si se lograra liberar las partículas del núcleo atómico tendríamos de vuelta la energía invertida en crearlo. Esas energías son mucho mayores que aquellas a las que la naturaleza nos tiene acostumbrados a experimentar y ahí está la explicación del gran poder de la “energía atómica”.

En la Tierra hay una gran variedad de elementos químicos, algunos muy abundantes, como el oxígeno y el silicio; y otros, en cambio, son muy poco frecuentes, como el uranio. En general, en la Tierra —y el universo— los elementos son menos abundantes mientras mayor es su número