

SOMOS
POLVO DE
ESTRELLAS

Obra editada en colaboración con Editorial Planeta – Chile

Diseño gráfico: Ian Campbell

Fotografía del autor: © Mónica Molina

© 2017, José María Maza Sancho

© 2017, Editorial Planeta Chilena S.A.- Santiago de Chile, Chile

Derechos reservados

© 2020, Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.

Bajo el sello editorial PLANETA M.R.

Avenida Presidente Masarik núm. 111, Piso 2

Colonia Polanco V Sección, Miguel Hidalgo

C.P. 11560, Ciudad de México

www.planetadelibros.com.mx

Primera edición impresa en Chile: marzo de 2017

ISBN: 978-956-360-244-9

Primera edición impresa en México: febrero de 2020

ISBN: 978-607-07-6361-8

No se permite la reproducción total o parcial de este libro ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.

La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Arts. 229 y siguientes de la Ley Federal de Derechos de Autor y Arts. 424 y siguientes del Código Penal).

Si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra diríjase al CeMPro (Centro Mexicano de Protección y Fomento de los Derechos de Autor, <http://www.cempro.org.mx>).

Impreso en los talleres de Litografía Ingramex, S.A. de C.V.

Centeno núm. 162, colonia Granjas Esmeralda, Ciudad de México

Impreso en México -*Printed in Mexico*

JOSÉ MAZA

SOMOS
POLVO DE
ESTRELLAS

CÓMO ENTENDER
NUESTRO ORIGEN
EN EL COSMOS

ÍNDICE

9

Prólogo

15

Presentación

19

Introducción

29

Primeras ideas
cosmológicas

41

Modelos de
universo

71

El Big Bang

91

La energía
oscura

99

Las estrellas
de baja
masa

117

Las estrellas
de alta masa

127

Evolución
química del
universo

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 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, etcétera. La astrología continúa jugando a predecir el futuro, esa gran quimera del ser humano.

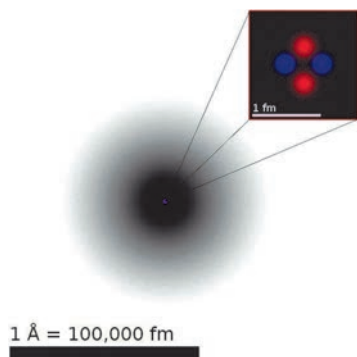
Antes de Aristóteles los filósofos griegos Leucipo y Demócrito, en el siglo v a. C., propusieron que la materia estaba constituida por pequeñas

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 valor; 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 ($1\text{\AA}$) 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 atómico. En la corteza terrestre los elementos químicos

más abundantes, por masa, son el oxígeno, con un 46%, seguido del silicio, con un 28%, luego el aluminio, con un 8.2%, el hierro, con un 5.6%, el calcio, con un 4.2%, el sodio, con un 2.5%, el magnesio, con un 2.4% y el potasio, con un 2.0%. Con dichos elementos se formaron las plantas y los animales en la Tierra; la composición química de los seres vivos —por masa— es de un 65% de oxígeno, un 18% de carbono, un 10% de hidrógeno, un 3% de nitrógeno, un 1.5% de calcio, un 1.2% de fósforo, un 0.2% de potasio y un 1.1% de otros elementos, entre ellos el hierro.

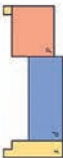
Todos los átomos del universo, los átomos del Sol y de la Tierra, los átomos de su cuerpo, amigo lector, y del mío, hasta los de nuestro corazón y nuestros huesos, fueron fabricados en el universo, muy lejos de la Tierra. Algunos hace trece mil ochocientos millones de años —en el Big Bang—; otros hace quizás diez, nueve u ocho mil millones de años; a continuación veremos dónde y cómo.



Dmitri Mendeléyev (1834-1907), químico y profesor ruso, fue el primero en ordenar, en una tabla bidimensional, los elementos químicos de acuerdo con sus propiedades, incluidas la valencia y la masa atómica del elemento.

grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	H 1.00794 hidrógeno	He 4.002602 helio	Li 6.941 litio	Be 9.012182 berilio	B 10.811 boro	C 12.0107 carbono	N 14.00643 nitrógeno	O 15.9994 oxígeno	F 18.9984032 flúor	Ne 20.1797 neón	Na 22.98976928 sodio	Mg 24.304 magnesio	Al 26.9815385 aluminio	Si 28.0855 silicio	P 30.973762 fósforo	S 32.06 azufre	Cl 35.453 cloro	Ar 39.948 argón
	K 39.0983 potasio	Ca 40.078 calcio	Sc 44.955912 escandio	Ti 47.867 titanio	V 50.9415 vanadio	Cr 51.9961 cromo	Mn 54.938044 manganeso	Fe 55.845 hierro	Co 58.933195 cobalto	Ni 58.6934 níquel	Cu 63.546 cobre	Zn 65.38 zinc	Ga 69.723 galio	Ge 72.64 germanio	As 74.9216 arsénico	Se 78.96 selenio	Br 79.904 bromo	Kr 83.796 kriptón
	Rb 85.4678 rubidio	Sr 87.62 estroncio	Y 88.90585 itrio	Zr 91.224 zirconio	Nb 92.90638 niobio	Mo 95.96 molibdeno	Tc (98) tecnecio	Ru 101.07 rutenio	Rh 102.9055 rodio	Pd 106.42 paladio	Ag 107.8682 plata	Cd 112.414 cadmio	In 114.818 indio	Sn 118.710 estaño	Sb 121.760 antimonio	Te 127.60 telurio	I 126.90544 yodo	Xe 131.29 xenón
	Cs 132.90545 cesio	Ba 137.327 bario	Lu 174.967 lutecio	Hf 178.49 hafnio	Ta 180.94788 tantalio	W 183.84 tungsteno	Re 186.207 renio	Os 190.23 osmio	Ir 192.222 iridio	Pt 195.084 platino	Au 196.96657 oro	Hg 200.59 mercurio	Tl 204.38 talio	Pb 207.2 plomo	Bi 208.9804 bismuto	Po 209 polonio	At 210 astato	Rn 222 radón
	Fr 223 francio	Ra 226 radio	Lr 260.105 lawrencio	Rf 261 rutherfordio	Db 262 dubnio	Sg 266 seaborgio	Bh 264 bohrio	Hs 277 hassium	Mt 268 meitnerio	Ds 271 darmstadtio	Rg 272 roentgenio	Cn 285 copernicio	Uut 284 ununtrio	Fl 289 flerovio	Uup 288 ununpentio	Lv 292 livermorio	Uus 294 ununseptio	Uuo 294 ununoctio

bloques de configuración electrónica



notas

- por ahora, los elementos 113, 115, 117 y 118 no tienen nombre oficial, pero se les conoce por sus símbolos.
- 1 kilovolt = 1000 volt.
- los elementos tienen un estado de oxidación específico.

La 57 Lantanio	Ce 58 Cerio	Pr 59 Praseodimio	Nd 60 Neodimio	Pm 61 Prometio	Sm 62 Samario	Eu 63 Europio	Gd 64 Gadolinio	Tb 65 Terbio	Dy 66 Dysprosio	Ho 67 Holmio	Er 68 Erbio	Fm 69 Fermio	Md 70 Mendelevio	No 102 Nobelio
Ac 89 Attinio	Th 90 Torio	Pa 91 Protattinio	U 92 Uranio	Np 93 Neptunio	Pu 94 Plutonio	Am 95 Americio	Cm 96 Curcio	Bk 97 Berkelio	Cf 98 Californio	Es 99 Einsteinio	Fm 100 Fermio	Md 101 Mendelevio	No 102 Nobelio	

2. PRIMERAS IDEAS COSMOLÓGICAS

Por muchos siglos el hombre pensó que el centro del cosmos era la Tierra, una Tierra plana, con una bóveda celeste en lo alto. A partir del siglo v a. C. se empezó a pensar en una Tierra esférica, de grandes dimensiones. Para el siglo III a. C., con el trabajo de Eratóstenes en Alejandría, se conoció el tamaño de la Tierra con bastante precisión. El cosmos de Pitágoras —cosmos en griego significa orden y belleza, es lo opuesto al caos; cosmología y cosmética provienen de la misma raíz griega— está compuesto por una sucesión de esferas cristalinas que giran en torno de la Tierra. La esfera más lejana es la que contiene a todas las estrellas, que no cambian sus posiciones relativas, que por generaciones se ven inalterables y se las llamó “estrellas fijas”. La esfera que contenía las estrellas giraba en torno a la Tierra en un día y arrastraba en su curso a todas

las esferas interiores: las de los planetas, el Sol y la Luna. Las esferas interiores se desplazaban lentamente con respecto a la esfera exterior de las estrellas fijas, en períodos de semanas, meses o años. Durante el siglo II a. C., el gran astrónomo griego Hiparco de Nicea describe esos movimientos utilizando círculos grandes y pequeños, llamados deferentes y epiciclos. Hiparco fue uno de los más grandes astrónomos de la antigüedad; vivió su vida en la isla de Rodas y tuvo contacto con los astrónomos de Babilonia, lo que le permitió descubrir la precesión de los equinoccios. Los equinoccios son los puntos en el cielo donde el ecuador celeste corta el círculo máximo —llamado eclíptica— por donde se ve desplazarse al Sol en el curso del año. Cuando el Sol cruza el ecuador de sur a norte, el 21 de marzo, se dice que está en el equinoccio vernal: comienzo de la primavera en el hemisferio boreal. Ese punto se usa como referencia para definir las coordenadas de las estrellas en el cielo. Sin embargo, lo que Hiparco encontró es que el equinoccio vernal se desplaza a lo largo de la eclíptica dando una vuelta completa en veintiséis mil años. El desplazamiento es de cincuenta segundos de arco en un año, equivalente a un grado y medio, ¡por siglo! Ese movimiento del eje de rotación terrestre es similar al bamboleo de un trompo que gira y antes de detenerse oscila alrededor de la vertical. El descubrimiento de la precesión muestra

la enorme calidad y continuidad de las observaciones astronómicas realizadas en Babilonia. Hiparco desarrolló, además, un excelente modelo matemático para describir el movimiento del Sol y de la Luna, basado en epiciclos, deferentes y círculos excéntricos.

En el siglo II el astrónomo alejandrino Claudio Ptolomeo elaboró una completa teoría matemática que permitía predecir las posiciones del Sol, la Luna y los planetas. Ptolomeo basa su teoría en el trabajo previo de Hiparco. En su libro, que hoy conocemos como *Almagesto*, Ptolomeo explica su sistema del mundo y el detalle del modelo matemático (geométrico) de las órbitas, basado en deferentes y epiciclos. El planeta gira fijo al borde de un círculo pequeño (epiciclo) cuyo centro describe un círculo mayor que gira en torno de la Tierra (deferente). Siguiendo sus instrucciones se pueden refinar los elementos de las órbitas y, con ello, predecir las posiciones de los cuerpos celestes. Por mil cuatrocientos años la teoría geocéntrica de Ptolomeo constituyó la base del conocimiento astronómico mundial. La adoptaron los astrónomos árabes y posteriormente la Europa medieval cristiana. El *Almagesto* es un resumen del conocimiento astronómico griego, babilonio y helenístico, al igual que el libro *Los Elementos* de Euclides, que representa la enciclopedia de los conocimientos geométricos de su época. El modelo geocéntrico de Ptolomeo es la primera gran teoría

científica de la historia y sin duda la más longeva: sirvió al hombre por catorce siglos.

El año 1543 el canónigo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) desafía la autoridad de Ptolomeo, Aristóteles y la Iglesia —que los había adoptado a ambos como “verdad oficial”—, planteando que el Sol es el centro del universo y que la Tierra es un mero planeta que gira sobre sí misma en veinticuatro horas y se traslada en torno a él durante un año. El modelo de Ptolomeo contemplaba una Tierra inmóvil en el centro del cosmos; el cielo giraba en torno a la Tierra cada veinticuatro horas y arrastraba en su giro al Sol, la Luna y los planetas. A su vez, estos se desplazaban lentamente contra las estrellas en un movimiento general hacia el este. El modelo heliocéntrico de Copérnico fue lentamente ganando terreno entre los estudiosos gracias a la obra del astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), el gran astrónomo y matemático alemán Johannes Kepler (1571-1630) y el gran físico y astrónomo italiano Galileo Galilei (1564-1642). En 1687, cuando el genio inglés Isaac Newton (1643-1727) publica su gran tratado, *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*, se sintetiza el conocimiento de la mecánica celeste de Kepler y la mecánica terrestre de Galileo, y se establece la “gravitación universal”. En el siglo y medio transcurrido entre Copérnico y Newton se sentaron las bases de la ciencia moderna.