

ELEMENTOS

La Física fuerza y expande los límites de la Tabla Periódica y agrega nuevos elementos más allá del uranio. En esta entrega de Futuro, el filósofo argentino Pablo Capanna reconstruye la historia de los elementos desde el agua primitiva de Tales de Mileto, el ascenso y la caída de los cuatro elementos de Aristóteles hasta la Tabla Periódica de Mendeleiev.

POR PABLO CAPANNA

A dos años de terminar el siglo, en el Instituto de Investigación Nuclear de Dubna (Rusia) se logró sintetizar el elemento número 114. A pesar de que su vida media es muy breve, el hecho ha regocijado a los físicos, porque parece indicar que se ha alcanzado una isla de estabilidad en la secuencia de los elementos transuránicos.

Recordemos que todos los elementos que vienen sintetizándose desde los años cincuenta son sumamente inestables y sólo dos –el plutonio y el neptunio- existen en la naturaleza. Pero la tabla periódica sigue abierta y el zoológico de elementos sigue creciendo tanto como el de partículas

Cerramos el siglo XX con 114 elementos y la posibilidad de encontrar más. Hace dos mil setecientos años sólo teníamos uno el agua, que desgraciadamente no es un elemento. Lo postuló Tales de Mileto, más conocido por un teorema que le pertenece; el primero de los físicos y de los filósofos.

LA CONVERTIBILIDAD DE HERACLITO

No es fácil explicar cómo surgió entre los griegos la reflexión racional sobre la naturaleza, un audaz proyecto que los llevó a formular una temprana teoría atómica y una teoría química que duraría dos mil años. En esos tiempos, chinos e indios también teorizaban sobre los componentes de la materia, pero los griegos fueron más lejos.

¿Por qué habrían de empeñarse los griegos en descomponer todas las cosas en uno o varios elementos básicos? Quien nos ofrece una pista es el historiador de la tecnología Lynn White. Recuerda que las primeras monedas conocidas se encontraron en los cimientos del templo de Artemisa de Efeso. Fue unos 600 años antes de Cristo, la época de los primeros filósofos.

En su tiempo, la moneda como instrumento de cambio debe haber sido una revolución no sólo económica sino también intelectual. Por primera vez había un común denominador que compartían los distintos bienes.

Si con el oro y la plata podían comprarse toda clase de cosas, y su valor comenzaba a medirse en monedas, ¿por qué no pensar que todas las sustancias de la naturaleza pueden resultar convertibles entre sí? Sólo quedaba por discutir cuál era el elemento (la palabra nació siglos después) que servía como tipo de cambio físico.

Heráclito, que no por casualidad vivía en Efeso, escribió: “todas las cosas se cambian entre sí con el fuego y el fuego se cambia en todas las cosas, así como las mercancías en oro y el oro en mercancías”.

Puede que Heráclito pensar que el fuego era el elemento básico. Pero una generación antes, Tales se le había adelantado, al proponer al agua como componente fundamental de todas las cosas.

LOS CUATRO ELEMENTOS

En apariencia, no había nada novedosos en decir que el mundo había salido del agua: ya lo decían la mayoría de los mitos orientales. Pero Tales no se limitó a eso: pensó que todas las sustancias, a pesar de sus diferentes cualidades, estaban hechas de una misma materia, el agua.

Siglos más tarde, un erudito alejandrino propuso una interpretación de Tales. Acostumbrado a contemplar cómo se formaban y disipaban las tormentas en el mar Jónico, el milesio habría observado que el agua aparece en tres estados distintos; el milesio habría observado que el agua aparece en tres estados distintos; líquido, vapor o hielo. Las cualidades cambian (el vapor es cálido; el hielo es frío), pero la razón prueba que se trata de una misma sustancia que sólo cambia de aspecto. ¿Por qué no pensar que las piedras eran un hielo compacto o que el aire se resolvía en un vapor muy rarificado?

Era una buena abstracción, pero su discípulo Anaxímenes prefirió el aire. Anaximandro, en cambio postuló un elemento aún más fundamental, “lo indeterminado” (ápeiron), pero avanzó con la idea de densidad; según la densidad del ápeiron, teníamos tierra, agua, aire y fuego, en este orden.

Al parecer, para entonces, ya circulaba la idea de que había cuatro elementos de la naturaleza. Eran lo que hoy llamaríamos estados sólido, líquido, gaseoso. Con buena voluntad, hasta podríamos pensar que el fuego era lo que hoy llamaríamos plasma. El principal inconveniente de esta primitiva química fue que por circunstancias ajenas a ella llegó a durar más que la astronomía geocéntrica. Pero también tenía sus méritos, si la comparamos con otras. El tratado chino Chu King,

escrito dos siglos después, hablaba de cinco elementos. Coincidió con los griegos en el agua, el fuego y la tierra; pero se olvidaba del aire añadía dos “elementos” (la madera y el metal) que un griego hubiera considerado “tierras”.

Todavía no estaban claros los límites entre la física y la química. Pensando como químico, Anaxágoras creyó que si dividía el hierro o el agua en partículas cada vez menores, seguiríamos encontrando hierro y agua.

13 Al Aluminio 26.9815386	14 Si Silicio 28.0855	15 P Fósforo 30.973762	16 S Azufre 32.065	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argón 39.948
31 Ga Galio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsénico 74.92160	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kriptón 83.798
49 In Indio 114.818	50 Sn Estaño 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Telurio 127.60	53 I Yodo 126.90447	54 Xe Xenón 131.293
81 Tl Talio 204.3833	82 Pb Plomo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98040	84 Po Polonio (209)	85 At Astató (210)	86 Rn Radón (222)

En cambio, Leucipo y Demócrito pensaban como físicos. Propusieron una partícula indivisible llamada átomo que con el tiempo resultó una de las cosas más divisibles del mundo. De todos nodos, sus átomos eran eternos, pero no idénticos, para dar cuenta de las propiedades de los cuerpos. Siglos después, Lucrecio seguía enseñando que el aceite tenía átomos ganchudos que lo hacían viscoso; el fuego, átomos pequeños como rodamiento y el diamante, partículas puntiagudas.

Antes de perderse en el cráter del volcán Etna, adonde lo llevaría la curiosidad científica, Empedocles sentó las bases de una teoría intermedia que sintetizaba varias propuestas; había cuatro “raíces” simples –que luego serían elementos- y dos fuerzas –la atracción y la repulsión- que explicaban las afinidades entre un elemento y otro.

EN CANON DE ARISTOTELES

Aristóteles construyó un paradigma que, al carecer de competencia, llegó a dominar los dos milenios siguientes. Así como Newton armaría una arquitectura donde encajaban perfectamente Descartes, Galileo y Kepler, el griego quiso armar una síntesis de los cuatro elementos de Impédocles con las ideas de otros filósofos, excluyendo a los atomistas. Los pensadores jónicos, quizás inspirados en el clima marino, habían pensado que además de los cuatro elementos había cuatro sensaciones básicas: calor, frío, humedad y sequedad.

El fuerte de Aristóteles no era la física. Rechazaba al atomismo y a la idea del vacío porque temía sus consecuencias reduccionistas. Optó pues por combinar los cuatro elementos de Empédocles con las cuatro sensaciones (cualidades) básicas. La tierra era seca y fría; el aire, cálido y seco. La tierra era absolutamente pesada y el fuego, absolutamente liviano. Agua y aire eran los elementos medios. Era un sistema elegante y simétrico, pero lamentablemente falso.

Sin embargo, nunca terminamos de sacarnos a Aristóteles de encima. Seguimos hablando de “medios líquido” o “gaseoso” y hasta de “medio ambiente”. Cualquier inundación es “la lucha del hombre contra los elementos”, y hasta hay un champú que le da al pelo “la humectación del agua, el volumen del aire, el brillo del fuego y la fuerza de la tierra”.

LA DECONSTRUCCION DE LOS ELEMENTOS

Pese a todos, Aristóteles había dicho que los cuatro elementos eran compuestos: bastaba quitarles alguna de sus cualidades para que se transformaran en otra cosa; es lo que los alquimistas se propusieron hacer. Para ellos, casi todo era compuesto: hasta los metales que nosotros consideramos simples podían ser simplificados mediante la calcinación.

El primer elemento en descomponerse fue la tierra, que se dividió en los crisoles alquímicos. En pleno Renacimiento, Paracelso inició el ataque contra la vieja teoría aristotélica, cuando reemplazó a los cuatro elementos pasivos por tres principios activos. En lugar de la tierra puso la sal, reemplazó al aire por el azufre, y en lugar del agua puso el mercurio, pero nunca fue demasiado explícito acerca de cuáles eran sus “cualidades espirituales”. Al fuego, lo consideró inmaterial.

La historia de cómo el aire, el agua y el fuego terminaron siendo identificados como compuestos y desaparecieron de la escena es una epopeya comparable a la del copernicanismo. El fuego fue el que más resistió y obligó a transformar no sólo la química sino también la propia física.

EL FUEGO INESTINGUIBLE

Disolver el agua y el aire en sus componentes fueron dos grandes fuentes de la revolución química. En la batalla final, caería el último bastión: el fuego sustancial.

El último avatar del fuego fue el “flogisto”, la sustancia que el químico alemán Stahl (1660-1734) propuso para explicar las combustiones. En su teoría, muy popular en el siglo XVIII, había cinco elementos: aire, agua y tres clases de tierras, una de las cuales era el flogisto. Cuando se quemaba carbón, por ejemplo, se

liberaba el “flogisto” que contenía. Las cenizas pesaban menos que el carbón, porque habían perdido flogisto.

Pese a todo era un avance, porque aunque el flogisto era de “naturaleza solar o astral”, ahora pasaba a ser algo que podía medir.

De hecho, el proceso no fue tan simple como cabría pensar.

Por esos años un farmacéutico francés que necesitaba óxido de estaño puso a calcinar el metal en un crisol, pero descubrió que el producto final pesaba más que el estaño: hoy diríamos que se había combinado con el oxígeno del aire. Los comodaticios sugirieron que a flogisto, esencialmente liviano, aligeraba los compuestos en los cuales intervenía, porque tenía “peso negativo”...

25 Mn Manganeso 54.938045	26 Fe Hierro 55.845	27 Co Cobalto 58.933195
43 Tc Tecnecio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550
75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217

En el siglo XVIII aún no se pensaba en términos de energía: el calor, la luz, el magnetismo y la electricidad eran “imponderables”, formas de materia sutil; se hablaba de “fluido vital” y hasta de “fluido granítico”. En cuanto al calor, era el fluido más uniformemente distribuido de la naturaleza.

H2O

El elemento “agua” acabó disolviéndose en el compuesto H2O, pero generó una larga polémica, llamada “controversia del agua”, para decidir si Cavendish, Watt o Lavoisier merecían llevarse los laureles. El primero en reclamarlos fue Cavendish en 1784, pero al parecer ya un año antes Watt había sugerido que el agua era la combinación de “aire deflogistificado” (oxígeno) con “flogisto atenuado” (hidrógeno). Los tres enterradores de Tales tuvieron sus defensores y detractores en Francia e Inglaterra, hasta que se comenzó a entender que la historia de la ciencia no es el libro Guinness.

No hubo, en cambio, polémica en torno de quién había sido el primero en descomponer el aire e identificar los principales gases, a pesa de que también intervinieron varios investigadores.

El oxígeno fue descubierto casi al mismo tiempo por el sueco Scheele (1742-1784), el inglés Priestley y el francés Lavoisier. El primero murió joven, probablemente intoxicado por sus experiencias; el segundo tuvo que emigrar a Estados Unidos cuando la intolerancia política se ensañó con la Sociedad Lunar, y el tercero fue guillotinado durante el Terror, comprometido en un hecho de corrupción.

Es notable cómo la fundación de la química moderna se hizo bajo el signo del flogisto. Échele lo llamó “empíreo” o “aire-fuego”. Priestley lo llamó “aire deflogistificado” y lo definió como un gas ávido de fuego, que chupaba el flogisto de los combustibles y avivaba las llamas. El gran Lavoisier le puso “calórico” al flogisto, antes de darse cuenta que ya no lo necesitaba.

El descubrimiento del oxígeno tiene fecha. El 1º de agosto de 1774, Priestley logró extraer “aire” del “mercurius calcinatus”, un remedio que preparaban los alquimistas para tratar las afecciones de la piel.

19 K Potasio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Escandio 44.955912	28 Ni Níquel 58.6934	29 Cu Cobre 63.546	30 Zn Zinc 65.38
37 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Estroncio 87.62	39 Y Itrio 88.90585	46 Pd Paladio 106.42	47 Ag Plata 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411
55 Cs Cesio 132.9054...	56 Ba Bario 137.327	57 La Lantano 138.90547	78 Pt Platino 195.084	79 Au Oro 196.966569	80 Hg Mercurio 200.59

Observó que este “aire” avivaba las llamas y provocaba una sensación de ligereza y ebriedad, que le hizo pensar sí algún día no se convertiría en “un artículo de lujo”. De hecho, Priestley se dio cuenta de la importancia de lo que estaba haciendo, porque escribió: “Una de las pocas máximas indiscutidas en la filosofía es la que dice que el aire es una sustancia simple y elemental, tanto como se supone que lo es el agua. Sin embargo, he llegado a la conclusión de que el aire no es inalterable. “Contó su descubrimiento durante una cena en París, compartida por Lavoisier. El francés repitió las experiencias y llegó a la conclusión

de que el mercurio calcinado era la unión del mercurio con el “aire activo”. Más tarde, comenzaría a llamarlo oxígeno.

EL CAÑÓN DE RUMFORD

Benjamín Thompson, conde de Rumford, debe ser el único noble alemán nacido en Massachussets. Era un realista de Concord, que trabajó como espía contra Washington; la corona británica lo hizo caballero y terminó trabajando al servicio del Elector de Baviera, donde hizo mucho por difundir la máquina a vapor.

En 1798 dirigió un arsenal. Los cañones se hacían entonces torneando un cilindro de bronce y perforándolo con un taladro movido por caballos. Durante la perforación el metal alcanzaba altas temperaturas, aunque sumando el peso de las virutas y del cañón terminado no se notaban diferencias.

Esto era todo lo contrario de lo que decía la teoría. ¿De dónde salía tanto flogisto si el cuerpo no perdía masa? A Rumford se le ocurrió que quizás el calor no fuera una sustancia sino el resultado de la fricción; hoy diríamos, la transformación del movimiento en otra forma de energía.

Quizás, en su infancia americana Rumford habría visto a los indios encendiendo fuego con dos palitos.

Para probarlo mandó usar mechas gastadas, que recalentaban aún más, y logró hacer hervir el agua en la cual estaban sumergidas las piezas. Dejó constancia del asombro que había provocado al producir calor sin encender fuego y no dejó de notar que, “si aspiraba a ser un filósofo serio, tenía que haber ocultado descubrimiento”.

MENDELEIEV Y DESPUES

En 1789 Lavoisier ya había elaborado una lista de 60 “sustancias reales”. Luego, Dalton hizo renacer la hipótesis atómica. Los elementos habían proliferado y se hacía necesario poner alguna racionalidad en la maraña de descubrimientos empíricos.

Quienes lo hicieron, como señaló alguna vez Mario Bunge, venían de países pobres y atrasados, en la periferia del mundo europeo. Eran gente como los italianos Avogadro y Cannizzaro y el ruso Mendeleiev. Descubrieron que los elementos tenían una lógica interna de creciente complejidad y que “sus propiedades eran las de los números”.

El artífice de la tabla periódica fue Dimitri Ivanovich Mendeleiev. Venía nada menos que de Liberia. Tenía 16 hermanos y una familia perseguida por la

desgracia; le habían negado el ingreso a varias universidades, condenándolo a trabajar durante años como maestro.

En 1871 logró ordenar los pesos atómicos de los 63 elementos conocidos en secuencia periódica. La tabla de Mendeleiev resultó una hipótesis de enorme fecundidad: los elementos que aún no habían sido descubiertos, comenzando por los gases raros; los isótopos y los elementos recientemente sintetizados encajaban en ella.

Desde la intuición del viejo Tales, la física ha crecido en complejidad, y aunque algunos quieran decretar su fin, siempre descubre nuevas fronteras. Mirando atrás, se aprecia esa aventura del pensamiento de la que hablaba Einstein.