

legado del **atomismo** presocrático en la química

Claudio A. Téllez



En un trabajo anterior¹ comentábamos que el concepto de átomo, como un cuerpo indivisible, nació como una respuesta a la Escuela Eleática. Los atomistas Leucipo y Demócrito rescataron la pluralidad frente al monismo de Parménides y rescataron también los conceptos de movimiento, de generación y de corrupción. Opuestos a la férrea lógica de Parménides, resurgieron con las tesis que valoran al conocimiento adquirido por las experiencias sensibles. Sin embargo, todas estas afirmaciones y discursos filosóficos no tendrían frutos si las ideas, en sus estructuras puras, en sus esencias, no hubiesen trascendido.

Si nos preguntamos ¿cómo trascendieron?, tendremos tal vez una respuesta ambigua sobre las inserciones de los conceptos antiguos en la ciencia actual. Si le preguntamos a un científico sobre la validez de las tesis de los atomistas griegos, tendríamos como respuesta, la mayoría de las veces, que las ideas de esos filósofos ya están obsoletas, y que el átomo indivisible fue dividido por J.J. Thomson en los inicios del siglo XX. ¿Nada quedó entonces de los conceptos que nos dejaron como herencia los atomistas griegos? No podemos ser tan taxativos. Hubo una transferencia de las ideas, pero sería absurdo e ingenuo pensar que las nociones de movimiento, de forma y tamaño de los átomos, de "peso" (en su significado anterior a Newton) y velocidad, pasaron en forma lineal a la ciencia moderna, manteniendo su significado tal como los griegos entendían.

La historia nos señala los hitos más importantes del pensamiento a través de épocas bien definidas. Procurar trazar la evolución en la historia de los conceptos del atomismo sería una tarea muy lejana del alcance de este artículo. Si el atomismo pareció llegar a su término a los inicios del siglo III a.C., en los últimos años del siglo IV, Epicuro retomó las antiguas tesis del atomismo y formuló un sistema propio. Lucrecio, en el siglo I a.C., revitalizó el atomismo e influenció a los estudiosos medievales. En el siglo XVII, el filósofo y médico alemán D. Sennert (1572-1637) postuló una teoría física renovadora del atomismo de Demócrito introduciendo en sus argumentos la doctrina de las entidades mínimas de J.C. Scaliger. P. Gassendi (1592-1655) se adhirió a las ideas de Demócrito y es considerado como el precursor de la química moderna, responsable de la conexión de la teoría corpuscular con la química (pocos son los años que separan a Gassendi de R. Boyle (1626-1691).

Este artículo tiene como objetivo indicar con qué modificaciones o en qué estado de evolución reaparecen los conceptos de los atomistas presocráticos en las diferentes áreas de la química.

¿QUÉ IDEAS DE LOS PRESOCRÁTICOS PERMANECEN EN LA QUÍMICA ACTUAL?

En primer lugar, el alcance de la palabra átomo. En griego, el verbo cortar es "temno" (τέμνω), la palabra cortar es "tomé" (τομή). Para indivisible existe la palabra "ameristos" (αμεριστος). Átomo, significa entonces "no cortado". El concepto de indivisibilidad surgió como una respuesta a la escuela de Parménides de Elea que sustentaba la divisibilidad de los cuerpos.

En la actualidad llamamos átomos a los elementos químicos que conocemos de la Tabla Periódica y sabemos que hoy es posible la fisión nuclear, la formación de iones, la degradación radioactiva. Es posible, en principio, separar algún constituyente de estos átomos. En el sentido de los griegos, estos elementos no serían partículas compactas y carentes de vacío. Sabemos que nuestros átomos están constituidos por un conjunto de partículas subatómicas, denominadas de acuerdo con sus cargas y masas como nucleones (protones y neutrones), leptones (electrones, electrones tipo neutrino, muones, muones tipo neutrino, tau, tau tipo neutrino) y quarks



Figura 1a. Forma de los átomos de acuerdo a los atomistas griegos.

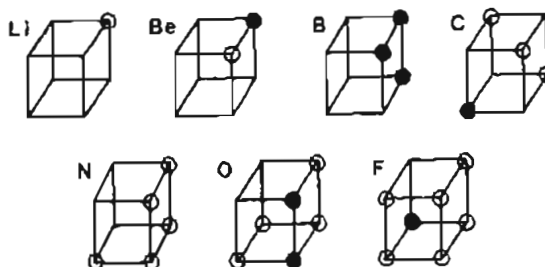


Figura 1b. Modelos de átomos cúbicos de acuerdo a G.N. Lewis.

(*up, down, strange, charm, bottom, top*). En el sentido de la génesis de la palabra átomo, para los griegos, los átomos eran partículas indivisibles; por ejemplo, los leptones y quarks. Así, etimológicamente, la palabra átomo en su significado actual estaría mal empleada.

FORMAS Y TAMAÑOS

Aecio comentaba: "... (los átomos) eran pequeños e imperceptibles y poseían toda clase de formas, figuras y diferencias de tamaño"² No estaríamos errados al suponer que los atomistas presocráticos, influenciados por el conocimiento pitagórico de la época, imaginaban a los átomos de diferentes formas geométricas (Figura 1a). En el siglo XX, científicos de renombre han postulado átomos con forma de cuerpos geométricos. G.N. Lewis³ propuso un modelo estático de átomo cúbico y a través del cual llegó aparentemente al concepto de la repetición periódica de las camadas electrónicas y al concepto de estabilidad relativa de las estructuras de los gases nobles⁴ (Figura 1b). I. Langmuir⁵ extendió las ideas del átomo cúbico de Lewis, pero, dos años después, N. Bohr propuso su modelo atómico de anillos, dando origen a las interpretaciones más modernas del átomo. De la rigidez del modelo de N. Bohr, una nueva concepción de la geometría de los átomos aparece en

el tratamiento mecánico cuántico, donde se introduce el concepto de orbital como la representación gráfica de las diferentes funciones de onda orbital.

Con relación al tamaño, tanto para los atomistas griegos como para el modelo actual, los átomos son tan pequeños que escapan a nuestra percepción visual.

PESO

Con relación al peso, Aristóteles, en su libro *De generatione et corruptione* escribe: "...Demócrito afirmó, sin embargo, que cada uno de los (cuerpos) indivisibles es más pesado conforme su preponderancia".⁶ En otra mención a los atomistas, el eslagrita expresa en su obra *El Cielo*:

Quien dice que (los primeros elementos) son sólidos, puede afirmar muy bien que el mayor de ellos es también el más pesado. En los compuestos, sin embargo, como se manifiesta que no todos poseen esta propiedad, vemos que muchas cosas cuyo volumen es menor, son más pesadas.⁷

De los textos de Aristóteles^{6,7} se desprende una distinción clara entre elementos y compuestos. En los elementos, la "hyperoché" (preponderancia) es de magnitud y de tamaño. Así, cuanto mayor es un átomo, más pesado es.

En un artículo anterior¹ citábamos a Aecio quien afirmaba lo siguiente: "Demócrito decía que los primeros cuerpos, esto es, los sólidos, no poseen peso. Sin embargo, se mueven en el infinito en virtud de sus mutuas colisiones". Frente a las colocaciones antagónicas de Aristóteles y de Teofrasto por un lado, y las de Aecio por el otro, concordamos con los comentaristas de la BCG⁸:

Demócrito habló del peso de los átomos relativo a su tamaño, no fue, sin embargo, de su interés conectar directamente el peso con el movimiento, ya que éste quedaba justificado por la existencia del vacío y por la "necesidad" entendida como ley mecánica natural.

En la actualidad decimos que los átomos poseen masas diferentes. El peso es una fuerza proporcional a la masa y, naturalmente, este concepto no había sido vislumbrado por los atomistas griegos. Con la llegada del principio de la gravi-

tación universal, se estableció la diferencia. Somos de la opinión que exigir esto de los atomistas estaría fuera de lugar.

Dalton enunció la Ley de las Proporciones Múltiples. Él y posteriormente Berzelius¹⁰ publicaron las primeras tablas de "pesos atómicos". Los textos de química general de la década de los años cincuenta publicaron tablas de "pesos atómicos". Recientemente se introdujo el concepto de "masa atómica" para substituir "peso atómico". Peso es una fuerza, la masa está relacionada con la cantidad de materia.

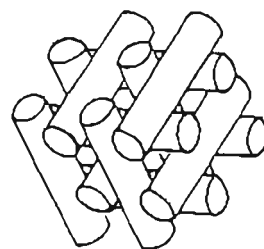


Figura 2. Cadenas rectas de átomos de vanadio.

MOVIMIENTO DE LOS ÁTOMOS

De acuerdo con los filósofos presocráticos, los diferentes movimientos de los átomos se debían a la naturaleza de sus pesos, a la causa de sus diferencias mutuas y a otras diferencias, a las colisiones o choques mutuos y a la causa de las vibraciones.

Los atomistas griegos distinguieron los siguientes tipos de movimientos:

- 1) Aleatorio.
- 2) Diferentes tipos de movimientos giratorios.
- 3) Movimiento perpetuo.
- 4) De lo igual en dirección a lo igual.

La idea de movimiento de los átomos, tal como lo entendían los atomistas, quedó muy bien colocada en los comentarios de Diógenes Laercio. "... los átomos (cuando) se chocan y giran en todos los sentidos, se van separando y reuniéndose con sus semejantes".¹¹ De acuerdo con los atomistas griegos, el átomo era la menor partícula de materia, tan pequeña que era imposible cortarla. Actualmente imaginamos al átomo como la unidad fundamental de la materia que da origen a la formación de los cuerpos. Si los átomos colisionan y giran en todos los sentidos, de acuerdo con la colocación de Diógenes Laercio, la imagen más próxima de este tipo de movimiento se encontrará siglos más tarde en la teoría cinético molecular de los gases. En este paralelo, la visión más depurada que tenemos es la del movimiento browniano, movimiento que también considera la mecánica cuántica estocástica.

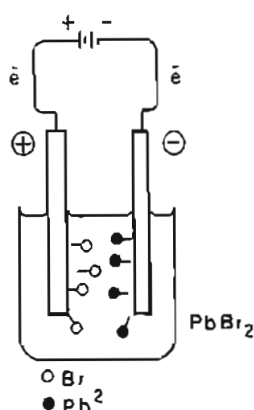


Figura 3. Electrólisis. PbBr₂ fundido. (Movimiento de lo igual hacia lo igual.)

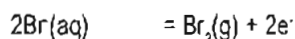
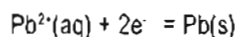
Con relación al movimiento perpetuo de los átomos, en el estudio de las vibraciones moleculares, se consideran los diferentes desplazamientos de los átomos directamente enlazados (enlace químico primario) y aquellos indirectamente enlazados (enlace químico secundario) y se calculan las amplitudes vibracionales para temperaturas de 0 °K.

Si hacemos la abstracción de no considerar el movimiento tras-

lacional de los átomos, las partículas subatómicas están en movimiento, giran los electrones y se mueven ondulatoriamente de acuerdo con la última teoría atómica.

El movimiento de lo igual en dirección de lo igual, tuvo para los griegos el sentido de congregación o de agrupamiento, congregación de indivisibles semejantes para la formación de los cuerpos. Este concepto es válido no solamente para las sustancias puras caracterizadas por un único elemento químico. En la formación de superconductores en las aleaciones A-15, encontramos para la estructura de V₃Si¹³, infinitas cadenas rectas de átomos de vanadio en cada una de las tres direcciones ortogonales. La Figura 2 representa esquemáticamente la formación de estos enlaces V-V.

En los procesos de óxido-reducción, por ejemplo:



distinguiamos claramente el movimiento de lo igual en dirección de lo igual. Este proceso se ilustra en la Figura 3.

Los conjuntos de átomos (en el sentido de los griegos), unidos por sus diferencias de formas y tamaños, constituyen hoy las unidades que llamamos moléculas o complejos. Estas moléculas se agrupan también en la dirección de lo igual hacia lo igual para formar, por ejemplo, cadenas de polímeros. Así, en la formación del polietileno la unidad -CH₂CH₂- está repetida n veces. La lignina es un polímero de unidades:

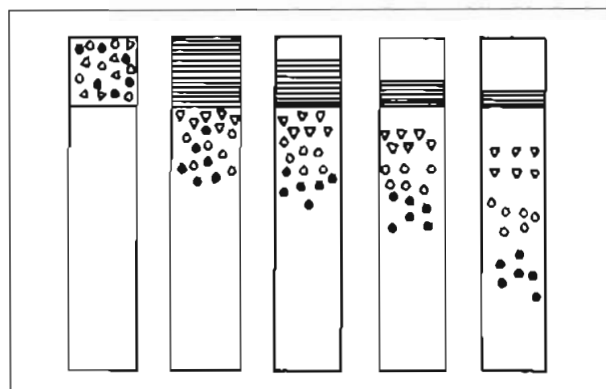
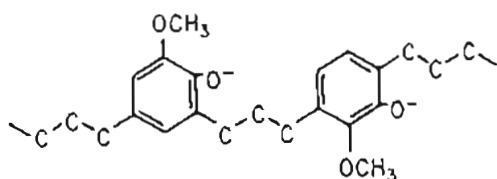


Figura 4. Cromatografía. (Movimiento de lo igual hacia lo igual.)

Esta tendencia de lo igual ir en dirección a lo igual se utiliza en la química analítica fundamental en los procesos de centrifugación, donde el proceso es análogo a lo que los griegos decían como: "las partes leves se dirigen en dirección al vacío exterior, tal como si fuesen levantadas; pero las demás quedan juntas". En los procesos de separación por las diferentes técnicas de cromatografía distinguimos por este movimiento de lo igual en la dirección de lo igual, a los diferentes constituyentes de la muestra que se analiza. En la Figura 4 representamos ejemplos de este tipo de movimiento que ocasiona la separación de cuerpos diferentes.

El movimiento giratorio de diversas formas no es novedad. Un gas diatómico puede distribuir su energía traslacional a lo largo de tres ejes coordinados. De igual forma, podemos considerar que este gas diatómico tiene componentes rotacionales en los tres ejes y hablamos que posee, entonces, tres grados de libertad rotacional (Figura 5).

El electrón, en el sentido etimológico de la palabra átomo, sería una partícula "no cortada", y correspondería a uno de los átomos hipotéticos e imaginarios de los griegos. Esta partícula, de acuerdo al modelo atómico de Bohr-Pauli, tendría movimientos rotatorios en diferentes órbitas. En este modelo atómico se considera al electrón como una pequeña esfera; de acuerdo con Platón: "El más bello de los cuerpos es la esfera" cargada, que gira sobre su propio eje (Figura 6).

Con relación a la formación de los cuerpos, de las citas de Simplicio, que son más exhaustivas que las de Anstóteles, podemos tener conocimiento de la

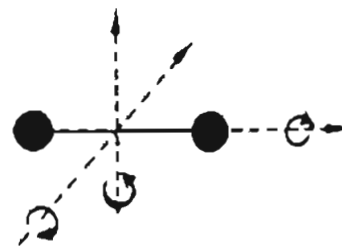


Figura 5. Grados de libertad rotacional.

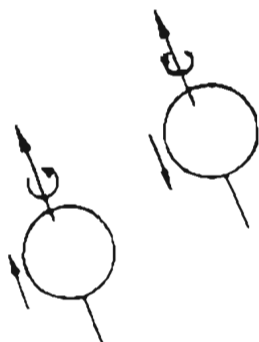
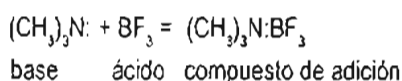


Figura 6. Spin del electrón.

más primitiva teoría de las colisiones, donde los choques efectivos serían aquellos que conducen a la formación de los cuerpos compuestos. Estas colisiones efectivas tendrían lugar siempre que los átomos en cuestión se unan mutuamente de acuerdo a sus figuras, tamaños, posiciones y agrupamientos. Si pensamos en

las formas diferentes de los átomos, de acuerdo con lo que los atomistas griegos imaginaban, estos átomos serían esféricos, cóncavos, convexos, triangulares, ganchudos, piramidales, cilíndricos, etcétera. Un choque entre átomos piramidales y esféricos no sería una colisión efectiva; sin embargo, efectivas serían aquellas colisiones entre los átomos ganchudos, entre los átomos cóncavos y convexos y entre aquellos que, de acuerdo con sus simetrías, permitiesen un enlace; la unión entre un par de átomos ganchudos, por ser éstos iguales, significaría en nuestros términos un enlace homonuclear. Pero, la unión entre átomos cóncavos y convexos, más allá de proyectar la idea de un enlace heteronuclear, proyecta la imagen de unión por "encaje" o "ensamble", como por ejemplo, en la formación del compuesto de adición $(\text{CH}_3)_3\text{N}:\text{BF}_3$, de acuerdo a la reacción:



Es muy común en los textos de química usar el modelo de puntos de Lewis para explicar el enlace covalente coordinado; se usa también el modelo de "encaje" o "ensamble" para explicar el enlace covalente simple, doble o triple. Esta idea

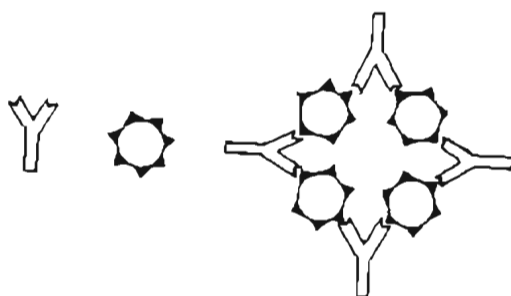


Figura 7. Modelo de "ensamble" o de "canje", reacción anti-GCH + látex-GCH

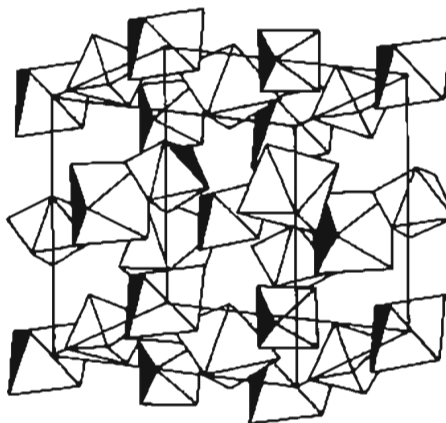


Figura 8. "Átomos unidos en un estrecho contacto mutuo."

ingenua de representar a los electrones por puntos y cruces no es diferente en ingenuidad a la concepción griega antigua.

En la tendencia de lo igual hacia lo igual, como resultado en la formación de los cuerpos, podemos tomar como ejemplo a la electrólisis y a la orientación final de los átomos de vanadio en la formación de un superconductor.¹³

Extrapolando la idea a las moléculas, entre los innumerables ejemplos que podemos tomar de los procesos químicos, presentamos la formación de los polímeros del etileno y la lignina. Los procesos de centrifugación y de cromatografía (líquida y gaseosa), fueron también ejemplos de este tipo de movimiento, los que podríamos ampliar indicando también a los procesos de ósmosis, de difusión y cualquier mecanismo que induzca la emigración de iones por diferencia de potencial químico.

La idea de los átomos ganchudos, la que tal vez no fue una idea particular de los atomistas Leucipo y Demócrito, sino que una extensión de Aecio y de Simplicio, no deja de tener su connotación al introducir la idea de enlace por "ensamble" o encaje. Esta idea no es usada solamente por los químicos para explicar enlaces. Las reacciones de inhibición de la aglutinación pasiva de partículas inertes, en inmunología, proporciona ejemplos típicos de "ensambles" o encajes. Así, por ejemplo, para detectar la gravedad, la reacción final que representamos en la Figura 7, se basa en la reacción entre el anti-GCH activo o el látex-GCH, lo que da como resultado una aglutinación, un cuerpo de bella simetría.

La tendencia de lo igual ir en dirección a lo igual se puede extender a las moléculas más simples, como por ejemplo a la estructura cristalina del complejo $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{FeCl}_4]$ ¹⁴, consti-



tuida de unidades octaédricas, tanto para los cationes complejos $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, como para los aniones complejos $[\text{FeCl}_6]^{3-}$. En estos casos, los conjuntos de átomos diferentes forman las unidades octaédricas, lo que, en términos de los atomistas griegos, serían dos átomos "únicos en un estrecho contacto mutuo". La estructura del complejo al cual hicimos referencia se encuentra en la Figura 8.

CONCLUSIÓN

Lo que aquí hemos expuesto no es una transcripción literal de las ideas de los atomistas, sino un intento de preservación de la arquitectura conceptual, de la que se trajeron a la química actual las tesis antiguas con el objetivo de presentar dónde, en qué áreas y técnicas de la química podemos establecer un paralelismo. Encontramos congruencias entre la teoría atomista y la teoría de las colisiones en el movimiento browniano, la electrólisis, la cromatografía, la centrifugación, la ósmosis, la formación de superconductores, los polímeros y otros procesos de formación de moléculas.

Se discutió el concepto de enlace por "ensamble" o "encaje" como una idea tácita, dejando claro que este concepto no se aplica solamente a la química básica, sino que también se aplica a otras áreas de la ciencia que necesitan de la ciencia química como su instrumento.

BIBLIOGRAFÍA

- ¹Téllez, S.C.A., "O Atomismo de Leucipo e Demócrito", *Química Nova*, 15, 1992, p. 95.
- ²Aecio, Biblioteca Clásica Gredos, 359 p.206, 369, p.214.
- ³Lewis, G., *Journal American Chem Society*, 38, 1916, p. 762.
- ⁴Jensen, W.B., *Journal Chem Ed.*, 61, 1984, p. 191.
- ⁵Langmuir, I., *Journal American Chem Society*, 41, 1919, p. 868.
- ⁶Aristóteles, BCG: 414 (68 A 60) p. 230.
- ⁷Aristóteles, "Du Ciel", Soc. d'Édition Les Belles Lettres. Paris. 1965.
- ⁸Los Filósofos Presocráticos, Biblioteca Clásica Gredos, Madrid, 1986, p. 234.
- ⁹Dalton, J., "A New System of Chemical Philosophy", published by S. Russel for R. Bickerstoff, London, 1808.
- ¹⁰Berzelius, J.J., *Pogg. Ann*, 1826, 8, 177, 1826, 8, 1; 1831, 22, 14.
- ¹¹Diógenes Laercio, Biblioteca Clásica Gredos, 453, p. 244.
- ¹²Prado de Andrade, A.F., *Processos estocásticos de partículas que interagem indiretamente via efeito de memória e a interpretação estocástica da mecânica quântica*, tesis de doctorado, UNICAMP, Campinas, S.P., Brasil, 1984.
- ¹³King, R.B., *Inorganic Chem*, 29, 1990, p. 2164.
- ¹⁴Morón, N.C., Palacio, F., Navarro, R., Pons, J., Casabó, J., Carlin, *Inorganic Chem*, 29, 1990, p. 842.

(Claudio A. Téllez es profesor de la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.)