



III CONFERENCIA LATINOAMERICANA DEL INTERNATIONAL, HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE TEACHING GROUP IHPST- LA 2014. SANTIAGO DE CHILE, 17- 19 DE NOVIEMBRE.

COMUNICACIÓN ORAL CO30

Sustancia Simple, Sustancia Compuesta Vs Elemento y Compuesto

Rómulo Gallego Badillo

rgallego@pedagogica.edu.co

Universidad Pedagógica Nacional.

Bogotá, D. C. Colombia.

Royman Pérez Miranda

royman@pedagogica.edu.co

Universidad Pedagógica Nacional.

Bogotá, D. C. Colombia.

Adriana Patricia Gallego Torres

Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Bogotá, D. C. Colombia.

adpgallegot@udistrital.edu.co

RESUMEN

En esta comunicación los autores se aproximan a un tratamiento filosófico de los conceptos científicos de sustancia simple, sustancia compuesta y de elemento y compuesto. Desde una referencia histórica, se afirma que aludir a las sustancias químicas como simples o compuestas, parecería ser la supervivencia aún de la Química del siglo XVIII, es caer en el aparentemente superado “sustancialismo”, que se haya ahí oponiendo resistencia a ser sustituidos en el lenguaje de la Química escolar por los de elemento y compuesto y, al de átomo y molécula respectivamente. Como se sostendrá, ese cambio fue introducido por D. I. Mendeléiev, para poder elaborar su Tabla Periódica a finales del siglo XIX, fundada en los pesos atómicos relativos. Entró definitivamente en el dominio de la comunidad científica, cuando se formuló la actual basada en el número atómico. Estos desarrollos fueron consecuencia del papel protagónico de S. Cannizzaro en el Congreso de Karlsruhe, de 1860, con su escrito basado en la hipótesis de A. Avogadro.

Palabras Clave: Filosofía de la Química, “sustancialismo”, elemento, compuesto, átomo y molécula.

ABSTRACT

In this paper the authors approach a philosophical treatment of scientific concepts of simple substance, composite and element and compound substance. From a historical reference, states that allude to the chemical as simple or compound substances seem to be the survival even of Chemistry of the eighteenth century, is to fall into the seemingly surpassed “substantialism”, has been there resisting being substituted in the language school of Chemistry for the element and compound and the atom and molecule respectively. As will be argued, this change was introduced by DI. Mendeleev, to develop its Periodic Table in the late nineteenth century, based on the relative atomic weights. Definitely entered the domain of the scientific community when it was formulated based on the current atomic number. These developments were the result of the leading role of S. Cannizzaro at the Karlsruhe Congress, 1860, with her based on the assumption A. Avogadro writing.

Keywords: Philosophy of Chemistry, “substantialism”, element, compound, atom and molecule.





INTRODUCCIÓN

El “fiscalismo” (Mayr, 2006) es un reduccionismo filosófico mediante el cual se explica el estatuto epistemológico de otras ciencias de la naturaleza, asimilándolo al de la Física. En el caso de la Química, al parecer este reduccionismo fue introducido por G. Bachelard (1976), en 1953, cuando publicó la versión original del texto que se cita. El movimiento por eliminar la versión “fiscalista” en Química, se inició en la década del noventa del siglo XX, en la que se organizan los primeros congresos para darle constitución a una comunidad que habría de dedicarse a construir una filosofía propia de esta ciencia e, igualmente, con la publicación de revistas especializadas, como la “*International Journal for Philosophy of Chemistry*”, del “Grupo Hyle”. En este proceso se creó la ,llevó a cabo en 1997 (Lombardi y Pérez, 2010). Se podría afirmar, con base en estos hechos, que se constituyó una comunidad de especialistas que, entre otras intencionalidades, debía de replantear el estatuto filosófico, histórico y ontológico de los conceptos y de las conceptualizaciones que condujeron a los químicos, en la segunda mitad del siglo XIX, a la institucionalización social (Bowler y Morus, 2007) de su actividad científica (Echeverría, 1998).

Se puede afirmar que hay dos grupos que colaboran estrechamente en este proceso. Por un lado, el europeo orientado por J. Schummer, profesor de la Universidad Técnica de Karlsruhe, y el norteamericano, bajo la dirección de E. R. Scerri, profesor de la Universidad de California. El primero asume que la Filosofía de la Química es una disciplina que está pasando de sus inicios a una etapa en la que alcanzará su madurez (Schummer, 2011). Por su parte, E. R. Scerri (2011), hace una discusión orientadora, con base en revisiones históricas, en torno a la filosofía normativa y la naturalista; al respecto, confiesa que en los inicios de su incursión en la Filosofía de la Química, en cuanto a los orbitales moleculares, adoptó una postura normalista, aun cuando como consecuencia de sus elaboraciones, se vio obligado a cambiarla por una mirada naturalista, ya que concluyó que, en rigor, dichos orbitales solo tienen existencia en el mundo matemático y no representan a entidades del mundo físico. Es en este razonamiento en donde adquiere sentido la pregunta por un regreso al átomo de los químicos (Izquierdo, 2010).

Habría que recordar al respecto, que la Química estructural se construyó partiendo de la idea de J. J. Berzelius (1779 – 1848) de que los químicos debían centrar sus investigaciones admitiendo el modelo atómico de J. Dalton (1766 – 1844) y su “*Ley de las proporciones múltiples*” tanto como de la de J. L. Proust (1755 – 1826) de las “*Proporciones definidas o constantes*”. En la medida en que ese proceso de construcción se fue desarrollando, C. H. Wichelhaus (1842 – 1927) propuso el concepto de “valencia” para designar la atomicidad del carbono. En 1852, F. Rochleder (1819 – 1874) acuñó el concepto de las cadenas de átomos de carbono que A. Kekulé (1829 – 1896) defendió en 1857, con la tetravalencia del carbono. Por los mismos años, A. Butlerow (1828 – 1886), propone el concepto de “estructura”, que no zanjó la discusión entre los partidarios del dualismo bipolar de Berzelius, el modelo de los “tipos” J. B. Dumas (1800 – 1884), el de los “núcleos” de A. Laurent (1807 – 1853) y el de “residuos” de C. Gerhardt (1816 – 1856) (Lockemann, 1960; Gallego Badillo, Pérez Miranda, Gallego Torres y Torres de Gallego, 2006; Gallego Badillo, Pérez Miranda, Uribe Beltrán, Cuellar Fernández y Amador Rodríguez, 2004).

Es preciso señalar que la controversia entre los diferentes modelos explicativos acerca de la estructura de los compuestos, va a empezar a dejarse de lado, como consecuencia del Congreso celebrado en la ciudad alemana de Karlsruhe, en 1860. Aun cuando no le prestaron suficiente atención durante las sesiones, hasta el punto que lo abandonó antes de la clausura, S. Cannizzaro (1826 – 1910), dejó en manos de su colega y compatriota, A. Pavesi (1830 – 1896) su escrito “*Sunto di un corso di filosofia chimica*”, que había elaborado en 1858, para que repartiera copias entre los asistentes al Congreso, en el



que enseñaba una nueva versión de la Química a partir de la hipótesis de A. Avogadro (1776 – 1856), en la Real Universidad de Génova. Uno de los que interpretó positivamente el texto de Cannizzaro, fue J. Lothar Meyer (1830 – 1895) en su texto didáctico de 1864, *Die modernen Theorien der Chemie (Las modernas teorías de la Química)*. El otro joven asistente a este Congreso fue Mendeléiev, que en principio, decidió pensar la sistemática discutida en este Congreso sobre lograda en relación con los elementos químicos (Gallego Badillo, Gallego Torres, y Pérez Miranda, (2012).

Intentando una aproximación histórica, es preciso admitir que, hacia finales del siglo XIX, los químicos orgánicos transformaron de manera radical, el modelo atómico de Dalton de unas esferas rígidas, para dar paso a uno, desde el concepto de estructura, a uno que puede representarse para operar sobre la misma estructura y orientaciones de sus valencias. Si bien Dalton enseñó a representar sus átomos acudiendo a un modelo icónico o gráfico (Caldin, 2002); esa transformación condujo a una representación mucho más detallada, la conocida

como de “esferas y bastones”, con la cual esos investigadores lograron salirse de una “*Química naturalista*” (Sánchez, 2009), para adentrarse en el camino de ser diseñadores y constructores de moléculas; algo que condujo a la afirmación de que el problema de los químicos no era la atomicidad sino la molecularidad (Hoffmann, 1997; Gallego Badillo, Pérez Miranda y Torres de Gallego, 1995).

La mecánica cuántica de matrices de W. Heisenberg (1901 - 1976), de 1925, y la ondulatoria de E. Schrödinger (1887 - 1961), de 1926. Los modelos para el enlace químico, el del “*orbital molecular*”, fue primero sugerido por John Edward Lennard-Jones (1894 – 1954), en 1929, y el del “*enlace de valencia*” propuestos en 1927, por W. H. Heitler (1904 – 1981) y W. London (1900 – 1964); son los años del apogeo de los físicos cuánticos. Señálese que fue L. Pauling (1901 - 1994) con E. B. Wilson (1908 – 1992) quienes introdujeron en las explicaciones químicas la mirada cuántica, en la monografía “*Introduction to Quantum Mechanics, with Applications to Chemistry*”, que publicaron en 1935. Luego, en 1939, Pauling da a conocer su “*The nature of the chemical bond, and the structure of molecules and crystals*”, en el que desarrolla teóricamente, lo que inicialmente fue un modelo didáctico, la “*hibridación de los orbitales atómicos*” para explicar los resultados de las medidas de los ángulos de los enlaces obtenidos con la espectroscopía de rayos X (Laidler, 1995).

Pocos años después, el modelo atómico de N. Bohr (1885 – 1962), publicado en 1913, tanto como la versión didáctica de la hibridación y el “principio de exclusión”, formulado por W. Pauli (1900 – 1958), son incluidos en los textos para la enseñanza de la Química en la secundaria y en los primeros años de los programas profesionales de esta ciencia y de los de formación de profesores para la socialización de la misma entre la población estudiantil de estos estratos del sistema educativo. El problema por destacar es que esos profesores, por lo general, no tienen la formación matemática para aproximarse significativamente a los fundamentos de la mecánica de matrices y de la mecánica ondulatoria (Avery, 1975). En consecuencia, es posible que no trabajen con sus estudiantes el cambio de significado acerca del comportamiento de la materialidad del mundo, que introdujeron estos modelos científicos.

Estipúlese que el átomo de los químicos fue definitivamente relegado a los anaqueles de la historia (Izquierdo, 2010), ya que los físicos lo convirtieron en su objeto de saber e investigación, en el grupo liderado por J. J. Thomson (1858 – 1940), el del modelo atómico del “*pudding con pasas*”, de 1904; H. Geiger (1882 – 1945) y E. Marsden (1889 – 1970) fueron quienes diseñaron y realizaron el experimento de la dispersión de partículas alfa, para contrastar el modelo de Thomson (Rutherford, 1911). Los resultados no resultaron como se esperaban, esto es, contrastaron negativamente el modelo de



Thomson. Estos fueron explicados por E. Rutherford (1871 – 1937), proponiendo el modelo planetario (Rutherford,

1914). No obstante, la explicación einsteiniana del efecto fotoeléctrico lo desvirtuó, por lo que fue el momento histórico para que Bohr, propusiera su modelo, que explicaba la distribución discontinua del espectro de este elemento químico. Dado que convertir un modelo científico en objeto de enseñanza para sustentar su admisión dentro de la comunidad de especialistas se resalta que para el reconocimiento social de su actividad científica ella ha de ser objeto de enseñanza, sobre el cual es indispensable adelantar una investigación sistemática que está por ser adelantada.

Se está en el análisis de las explicaciones cuántico mecánicas, dado que ellas resultan ser no satisfactorias, ya que como lo sostiene E. R. Scerri (2011), para los modelos de los orbitales moleculares, son representaciones que solo existen matemáticamente y no en el mundo físico. El gran interrogante que se formula es ¿Cuáles fueron las razones por las cuales los químicos dejaron en mano de los físicos el concepto de átomo (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Gallego Torres y Torres de Gallego, 2006). La respuesta más admisible se puede elaborar acudiendo a un capítulo decisivo en la historia de la Química. Como se sabe, la matemática con la que los químicos construyeron la Química Estructural fue el álgebra, introducida por A. L. Lavoisier (1743 – 1794). De ahí que cuando J. H. van't Hoff (1852 – 1911) y W. Ostwald (1853 – 1932) crean la Fisicoquímica con la fundación de “*Zeitschrift für phisikalische Chemie*”, en 1887, introducen en sus explicaciones termodinámicas las ecuaciones diferenciales, para las cuales los químicos mencionados no contaban con la formación requerida. De ahí que a comienzos del siglo XX, se hiciera indispensable modificar el currículo para la formación profesionales de químicos, vía el aprendizaje de esta disciplina (Brock, 1998). Se piensa que esta nueva disciplina, base para la Ingeniería Química, se configuró como el puente por donde se haría entrar finalmente el reduccionismo fisicalista.

Retornando las intencionalidades que motivan este escrito, se estipula que el reduccionismo “fisicalista” fue ya señalado por E. Mayr (2006), al precisar que las aproximaciones epistemológicas de K. Popper (1962), T. S. Kuhn (1972) e I. Lakatos (1983), no podían ser empleadas para dar cuenta de la construcción histórica de la Biología como ciencia, de tal manera que era indispensable elaborar una Filosofía distinta de la de la Física. Por tanto, los biólogos se adelantaron en esta empresa a los químicos. En este orden de ideas, es preciso subrayar que los análisis filosóficos en Biología se han ocupado de discutir los conceptos y estructuras conceptuales y metodológicas creadas por los integrantes de esta comunidad de especialistas (Diéguez, 2012). De ahí que los autores de la presente aproximación se ha de examinar filosófica e históricamente tanto el concepto de sustancia como los de las oposiciones entre sustancia simple, sustancia compuesta, en relación con los de elementos y compuestos.

SOBRE LA SUSTANCIA

En cuanto al sustancialismo, concebido como la atribución de una materialidad a las magnitudes, dice Aristóteles (1985, 127 y sigts.) en el Libro Quinto, VIII, delimita filosóficamente lo que concibe como sustancia a los cuerpos simples como la tierra, el fuego, el agua y todas las análogas. Agrega que es la causa inmanente de la existencia de los seres y a sus partes que los limitan y determinan individualmente. En el Libro Séptimo, I, II y III (Pags. 179, 180 y 181), estipula que el ser es la esencia que indica que indica precisamente la sustancia, debido a que el ser, absolutamente hablando, ha de ser



la sustancia. Acota que la sustancia es primera en los órdenes lógico y temporal. Pertenecer de manera preferencial a los cuerpos, es su substrato, por lo que la materia es la única sustancia. Se refiere a las cualidades secundarias que son puras determinaciones, acciones y potencias de los cuerpos; no así la longitud, la latitud y la profundidad que son en sí mismas cantidades y no sustancias, dado que la cantidad es el sujeto primero al cual corresponden estos atributos. Agrega que si se suprimen la longitud, la latitud y la profundidad, no queda nada o solo aquello que estaba determinado por estas cualidades. Se sostiene aquí que es de la interpretación que se hizo de esta explicitación que emergió el sustancialismo o, de otra manera, un materialismo ingenuo. Esta concepción sustancialista fue criticada por P. Gassendi (1592 – 1655), en su libro de 1660, “*Philosophiae epicuri syntagma*”, en la que retoma el atomismo de Epicuro.

De cualquier manera, si la sustancia se percibía gracias a las cualidades sensibles a través de las cuales se presentan a la observación no desprevénida, no es difícil postular que esta categoría fue acogida, primero por los alquimistas artesanos, luego por los partidarios del modelo científico del flogisto, por todos los Padres de la Iglesia en la Edad Media, cuando encuadran la filosofía aristotélica con las narraciones bíblicas. Es sustentable que ya desde J. B. van Helmont (1577 – 1644), se comience a establecer una primaria clasificación entre sustancias simples y “mixtos”. R. Boyle (1627 – 1691), en su libro de 1661, “*The sceptical chymist*”, recoge la crítica de Gassendi contra el sustancialismo de las propiedades físicas, el de la espagírica de Paracelso (1577 – 1644) y el de Van Helmont. No obstante y según W. H. Brock (1998), es en un manuscrito anterior “*Reflexions on the experiments vulgarly alledged to evince the four peripatetique elements or the three chymical principles of mixt bodies*”, en el que Boyle hace una referencia confiable a las sustancias compuestas como “mixtos”, sobre todo cuando diferencia entre el aire y el humo; concepto este que dará paso al de sustancia compuesta.

La definitiva distinción entre sustancias simples y sustancias compuestas se desprenderá del desarrollo de la “*Química neumática*”, específicamente con el aislamiento e identificación del dióxido de carbono, que J. Black (1728 – 1799) denominó “aire fijo”; con H. Cavendish (1731 – 1810) quien obtuvo el gas que denominó “aire estable” y determinó sus propiedades, llegando a la conclusión de que con el aire formaba una mezcla explosiva, por lo que llamó “aire inflamable”. Con C. W. Scheele (1742 – 1786) quien aísla e identifica su “aire de fuego” y con J. Priestley (1733 – 1804) quien, en 1774, obtuvo en un experimento una botella de 35 centímetros de ese último “aire” (Schneer, 1975). Cavendish logrará experimentalmente combinar el “aire inflamable” con el “aire del fuego”, para obtener en el recipiente empleado, una condensación acuosa en las paredes del mismo. No obstante estos resultados experimentales, la noción de sustancia continua estando presente en las interpretaciones de los resultados obtenidos. Seguirá históricamente la distinción acerca de la cual trata el siguiente subtítulo.

SUSTANCIAS SIMPLES Y SUSTANCIAS COMPUESTAS

Algunos historiadores, al parecer desde análisis específicos que caen necesariamente en un anacronismo, suelen sostener de manera equívoca, que el primer concepto de “elemento” fue desarrollado por Boyle en su “*The sceptical chymist*”. No obstante cabe examinar aquello que afirma en el texto que se extracta:

“Por elemento entiendo, al igual que aquellos químicos que hablan lisa y llanamente de principios, ciertos cuerpos primitivos y simples, o perfectamente inmiscibles, que, al no estar formados por ningún otro cuerpo, son los ingredientes constitutivos de los que se componen todos aquellos cuerpos denominados perfectamente mixtos, y en los que se descomponen en última instancia” (Brock, 1998: 75; Schneer, 1975: 113).



La duda que surge es la relacionada con la utilización de la palabra “*elemento*” por parte de Boyle, puesto que si bien él se inicia como alquimista artesano y se ocupa de una crítica a la “*doctrina de los cuatro elementos y los cuatro principios*” de Aristóteles, no se puede aludir que haga referencia al concepto actual de elemento químico que maneja la comunidad científica. Faltarán muchos años y otras elaboraciones, para probar que el agua, la tierra, el aire y el fuego, no son elementos, incluso desde el empirismo baconiano del cual fue partidario Boyle. Si se acude de nuevo a la “*Metafísica*” del estagirita, en las citas que se hicieron al respecto, en cuanto al concepto de sustancia, bien podría decirse que Boyle al referirse a “*cuerpos primitivos o simples*”, está haciendo referencia desde otra perspectiva al concepto de “*sustancia simple*”.

Por otro lado y en lo tocante a A. L. Lavoisier, se puede deducir que se encuentra en este mismo orden de ideas, dado que su “*Tratado elemental*”, de 1789, estipula:

“... que si, por el contrario, ligamos el nombre de elementos o de principios de los cuerpos, la idea del último término al que llega el análisis, todas las sustancias que no hemos conseguido descomponer mediante método alguno constituyen elementos para nosotros; no es que no que no podamos afirmar que estos cuerpos que consideramos simples no estén formados a su vez por dos o más principios, pero, dado que estos no se separan nunca, o mejor dicho, puesto que no contamos con ningún medio para separarlos, actúan, en lo que a nosotros respecta, como cuerpos simples y no hay ninguna razón para suponer que sean compuestos, salvo si la experiencia y la observación así lo demuestran” (Bensaude – Vincent, 1998a: 427).

Así interpretaciones didácticas aseguren que Lavoisier definió el concepto de “elemento” con una base experimental, una lectura detenida y crítica del párrafo anterior, conduce a pensar que no hay claridad al respecto. Subráyese que todavía parece mantenerse en la “*Química de los principios*”, al mismo tiempo que al referirse a “*cuerpos simples*”, parece aludir a las “*sustancias simples*”. Destáquese también que habla de “*compuestos*”, por lo que se puede colegir que da una definición de las “*Sustancias compuestas*”. Se pone de presente, que en este análisis se ha intentado dejar de lado posiciones anacrónicas, con la conciencia de que estas suelen resultar, al final, problemáticas (Kragh, 2007).

Al respecto de dicho sustancialismo de origen aristotélico y la distinción entre sustancia simple y sustancia compuesta, hay que recordar que Lavoisier, en 1772, repitió una experiencia ya realizada en 1694, por G. Averani (1662 – 1738) y por C. A. Targioni (1672 – 1748), en la que colocó bajo los rayos concentrados de un espejo ustorio, un diamante para “volatilizarlo” y obtuvo el mismo “*aire fijo*” de Black, lo que lo llevó a concluir que el diamante no podía ser otra cosa que carbono puro (Lockemann, 1960) y que dicho aire fijo estaba compuesto por carbono y oxígeno. Súmese a lo anterior, el hecho de que en Febrero de 1785, con la colaboración del joven ingeniero J. B. Meusnier y de La Place (1754 – 1793), con la invitación a prestigiosos científicos y miembros de la casa real a presenciar el experimento acerca del análisis y síntesis del agua (Bensaude – Vincent, 1998). Los resultados obtenidos lo condujeron a concluir que el agua era una sustancia compuesta, conformada por hidrógeno y oxígeno. Es factible que fue esta la fuente para asegurar la existencia de sustancias simples y de sustancias compuestas; una distinción que recoge tanto en su “*Méthode de nomenclature chimique*”, de 1787, como en el “*Tratado elemental*”, de 1789. Con Lavoisier la distinción queda establecida.

Esta clasificación sobrevivirá y seguirá teniendo peso hasta el cambio de siglo, primero, por las disputas entre “equivalentistas” y “atomistas” y segundo, por la carencia de una sistemática para establecer una nomenclatura racional de los compuestos orgánicos. Destáquese que entre los integrantes de la comunidad química del siglo XIX, si bien el empirismo de F. Bacon (1979) no es el predominante, si lo es la aproximación epistemológica positivista elabora por A. Comte (1984), las dos basadas en la lógica



inductiva. La búsqueda de una solución a esta problemática, fue la que motivó a Kekule (1829 – 1896) y otros químicos interesados, a convocar la realización del Congreso de Karlsruhe. No obstante y dado el dominio de la concepción positivista y otros intereses inspirados en motivaciones nacionalistas, el Congreso se clausuró sin acuerdos fundamentales referentes a los objetivos de su convocatoria (Gallego Badillo, Gallego Torres y Pérez Miranda, 2012).

ELEMENTOS Y COMPUESTOS

Hay que comenzar por resaltar que la palabra “elemento” que es y ha sido utilizada en el lenguaje de los químicos, se deriva del empleo de las letras centrales del alfabeto latino “LMN”, que se corresponden con las del alfabeto griego “stequeion”, que dio origen a la estequiometría como disciplina, creada por J. B. Richter (1762 – 1807). Es, por tanto lo central, lo que está debajo, la “substancia” o “substrato”; de tal manera que esa concepción aristotélica sobre la “doctrina de los cuatro elementos y principios” estuvo presente en la historia de la Química incluso en los resultados del trabajo de Lavoisier y las discusiones que se llevaron a cabo en el Congreso de Karlsruhe.

La “doctrina” de los “cuatro elementos” de Aristóteles inicialmente expuesta en uno de sus primeros libros recuperado, “*La Física*”, en la que adopta la propuesta de Empédocles, justificando “*a priori*”, por qué se trata de solo cuatro elementos, con sus cualidades correspondientes, y que no puede haber más de cuatro, ya que con ellos y sus uniones se explica la diversidad de los cuerpos existentes en el mundo. La “tierra” es el elemento frío y seco que tiende hacia abajo, que debe estar contrabalanceada por su elemento contrario, el “fuego”, que es caliente y seco, y tiende hacia arriba. Entre estos han de existir otros dos elementos con funciones mediadoras, el “agua”, fría y húmeda, y el “aire”, cálido y húmedo (Geymonat, 1998). Cuando la Alquimia esotérica, desarrollada definitivamente en Alejandría durante el dominio de los árabes llega a Europa, sus partidarios adoptan esta “doctrina”, ya que les permite comprender la “transmutación”.

La concepción aristotélica que afirmaba que el agua podía transformarse en tierra, llega parcialmente a su fin, con la conocida experiencia de Lavoisier de hervir agua por varios días en un recipiente, para luego demostrar mediante el análisis, que el sólido que aparece no es tierra sino restos del material de vidrio del que estaba hecho el recipiente (Bensaude – Vincent, 1998a), por lo que concluye que el “elemento agua” no se transmuta en el “elemento tierra”. Después, echó abajo la idea de que el agua era un elemento, con el experimento del análisis – síntesis ya mencionado, sino una sustancia compuesta. En cuanto al “elemento aire”, como resultado de la “Química neumática”, se llegó paulatinamente a la conclusión de que el aire ordinario que constituye la atmósfera que rodea al planeta, es una mezcla de alguno de los otros “aires”, que pasaron finalmente a llamarse “gases”, de conformidad con la propuesta de Van Helmont.

La parcialidad crítica del abandono de la perspectiva aristotélica tiene que ver con el hecho de que Lavoisier sigue sosteniendo que el “fuego” es un elemento al que rebautizó como “Calórico”, en su propuesta de nomenclatura. Se estuvo entonces la conocida e histórica “*concepción sustancialista del calor*”, admitida, entre otros, por J. Black (1728 – 1799), J. Watt (1736 – 1819), incluyendo a S. Carnot (1796 – 1832). Como lo relatan los historiadores de la Termodinámica clásica, fue B. Thompson (1753 - 1814), conocido como “Conde Rumford”, el maestro de escuela que conquistó a H. Davy (1778 – 1829) para que se hiciera miembro de la “Royal Society”, a partir del trabajo de fabricación de cañones en la ciudad de Múnich, quien explicó sus observaciones postulando la concepción mecánica del calor (Schnner, 1975). En principio, esa concepción sustancialista del calor y del “fuego como elemento” llegó por fin a



ser parte de la historia. Sin embargo, los profesores de ciencias y los textos didácticos cuando explican aquello que se presenta cuando dos sistemas, entre los que se presenta una diferencia de potencial térmico, terminan estableciendo que “fluye” una cantidad medible de calor del sistema que está a mayor temperatura a aquel cuya temperatura es significativamente menor.

LA NECESARIA DISTINCIÓN ENTRE SUSTANCIAS SIMPLES Y ELEMENTOS

Todo empezaría con la formulación del primer modelo atómico por parte de J. Dalton (1766 – 1844), su ley de las proporciones múltiples, como también con la de las proporciones definidas de J. L. Proust (1755 – 1826), incluyendo la de los volúmenes de Combinación de J. L. Gay - Lussac (1787 – 1850). Dalton, se desprenderá de la mera categoría filosófica de Demócrito y Leucipo para proponer la primera tabla de pesos atómicos, con lo que dio origen a la disputa entre los químicos partidarios del atomismo y quienes le apostaban al equivalentismo, que desde la filosofía kantiana, había propuesto J. B. Richter; este se mantendrá hasta el Congreso de Karlsruhe (Gallego Badillo, Gallego Torres y Pérez Miranda, 2012).

Se resalta que fue A. Laurent (1807 – 1853), mucho antes del Congreso citado, el primero en admitir la “Hipótesis de Avogadro”. Con base en esta admisión, definió el peso molecular de una sustancia simple en estado gaseoso y especificó que molécula es la cantidad mínima necesaria para la formación de una sustancia compuesta; átomo, la cantidad más pequeña de una sustancia simple contenida en una compuesta; y, equivalente, “la cantidad del mismo valor de cuerpos análogos. Cincuenta años antes, en 1811, J. L. Gay-Lussac ideó un método para la determinación de pesos moleculares, basado en la medida de las densidades de vapor (Lockemann, 1960).

Recuérdese que en 1820, A. Avogadro (1776 – 1856) publica un trabajo sobre la hipótesis que lleva su nombre. Se relata que una idea análoga fue dada a conocer tres años después por A. M. Ampère (1775 – 1836), generándose una disputa por la autoría de la misma; sin embargo, y dadas las controversias existentes, la propuesta de Avogadro pasó inadvertida durante cuarenta y cuatro años, hasta cuando, primero, S. Cannizzaro la lleva en 1860, al Congreso de Karlsruhe y, segundo que, en 1864, es acogida y puesta a circular por E. L. Meyer (1830 – 1895) en su texto “*Las modernas teorías de la Química*”. Cannizzaro se retira del Congreso y encarga a su amigo y compatriota, A. Pavesi (1830 - 1896) que distribuya entre los asistentes, el texto que había elaborado como profesor, en 1858, “*Sunto di un corso di filosofia chimica, fatto nella Reale Università di Genova*”. Además de Meyer, Mendeléiev, saldrá también del Congreso influenciado por el “*Sunto*”.

No se puede dejar de lado el desarrollo de la Química analítica y el recurso de la pila voltaica, cuya utilización hizo posible que H. Davis (1778 – 1829), aislara entre 1807 y 1808, nuevos cuerpos o sustancias simples, como el sodio, el potasio, el estroncio, el boro, el calcio y el magnesio; el cloro, en 1810, el yodo en 1812 y el bromo en 1826. Años antes, J. Berzelius, identifica el cerio, 1801, el selenio, 1817, el silicio y el circonio, 1824 y el torio en 1828. Con el invento del mechero, por parte de R. W. Bunsen (1811 – 1889), en 1855, surge en 1859, el “*análisis espectral*”, en el que colaborará G. Kirchhoff (1824 - 1887) y se identificaran sustancias simples que solo se encontraban en cantidades ínfimas o en trazas, lo que contribuyó al aumento del número de los cuerpos simples conocidos.

Sin embargo, dado que el interés que motiva este análisis no es la formulación de la “*Ley de periodicidad*” ni su concreción en la “*Tabla Periódica*”, al respecto de lo cual se han adelantado algunos trabajos (Camacho González, Gallego Badillo y Pérez Miranda, 2007; Pérez Miranda, Gallego Badillo y Garay Garay, 2006), puesto que este es discurrir sobre el abandono de los conceptos de sustancias simples y



sustancias compuestas y la emergencia de los conceptos de “elemento” y “compuesto”, no se ahondará en esta temática; no obstante hay que recordar que, Mendeléiev escribió:

“Las propiedades de los cuerpos simples y compuestos dependen una función periódica de los pesos atómicos de los elementos, por la única razón de que estas propiedades son en sí mismas las propiedades de los elementos de los que derivan dichos cuerpos”... “Al igual que hasta Laurent y Gerhardt se utilizaron indistintamente las palabras “molécula”, “átomo”, “equivalente”, actualmente se confunden a menudo las expresiones “cuerpo simple” y “elemento”. No obsta que cada una de ellas tenga un significado muy distinto y que sea de importancia precisarlo con objeto de evitar confusiones en los términos de la filosofía química. Un cuerpo simple es algo material, metal o metaloide, dotado de propiedades físicas, y capaz de intervenir en las reacciones químicas. (Por tanto) A la expresión de cuerpo “simple” corresponde la idea de molécula. (...) Es menester reservar, sin embargo, el nombre de elemento para caracterizar las partículas materiales que forman los cuerpos simples y compuestos, y que determinan la forma en que se comportan desde el punto de vista físico y químico. La palabra “elemento” evoca la idea de átomo” (Bensaude – Vincent, 1998b: 516).

De la misma manera que Cannizzaro con su “*Sunto*” logró que se admitiera finalmente la Hipótesis de Avogadro y la distinción entre átomo y molécula, Mendeléiev estableció la diferencia conceptual entre “*cuerpo o sustancia simple*” y “*elemento*”, a lo que forzando la interpretación, diferenció también la de “*sustancia compuesta*” y “*compuesto*”, para que fueran los términos propios del lenguaje de la nueva filosofía química. Esta diferenciación fue capital para él, ya que de otra manera no habría resuelto los problemas iniciales que se le presentaron cuando abordó el trabajo de elaborar una sistemática que le permitiera organizar los elementos identificados en su tiempo según la concepción de partida de que debía obedecer a una “Ley natural” y dejar “cuadros en blanco”, en los que de acuerdo con sus pesos atómicos relativos y propiedades, tendrían que ser ubicados aquellos que en el futuro se identificarían.

El concepto de elemento químico era el que mejor concordaba con la Hipótesis de Avogadro, de conformidad con la interpretación y el uso que de ella hacía Cannizzaro en su “*Sunto*”, en otras palabras, con la admisión de la existencia de átomos y de moléculas. Una vez admitida la propuesta de Mendeléiev por parte de la comunidad de los químicos, la introdujeron estos especialistas en su nomenclatura, ya que empezaron poco a poco a emplear los conceptos de “Elementos y Compuestos”. La doctrina de los elementos y de los principios de Aristóteles, pasará a ser parte de la historia de las ciencias y de la cultura; a la vez que el empleo de la palabra “sustancia” tanto con los apelativos de simples o de compuestas, quedará como un simple anacronismo y la supervivencia no crítica de una ciencia química “lavoiseriana” del siglo XVIII.

ANOTACIONES COMPLEMENTARIAS

Se inició este artículo con una síntesis en torno a la empresa intelectual emprendida por químicos interesados en construir una Filosofía de la Química, que se apartara de esa versión habitual que le confería su estatuto epistemológico desde la perspectiva “fiscalista”, esto es, que ese atributo se debía a una supuesta analogía con los problemas de conocimiento formulados y resueltos por los físicos, particularmente en lo referente a la estructura de los átomos, a la mecánica cuántica y, con base en ella a las justificaciones de los valores energéticos de los enlaces químicos, cálculos tanto por el modelo del “*Orbital molecular*” como por el del “*Enlace de Valencia*”; cuyos cálculos matemáticos, después de las aproximaciones al límite, tana admisibles como se quiera, no permiten una especie de reinterpretación anacrónica, de la construcción de la Química, en la segunda mitad del siglo XIX.



Con las pretensiones de aportar a la construcción de una “Filosofía de la Química”, se quiere recordar aquí que la palabra “ciencia” se empezó a utilizar en el siglo XIX, 1824, en la revista “*Edinburgh Journal of Science*” y que los miembros de las distintas comunidades de especialistas se resistieron en un principio a ser considerados como científicos (Laidler, 1995). Quizás solo hasta finales de ese siglo se dejó de emplear la denominación de “*Filosofía natural*” para identificar el ámbito de actuación de estos colectivos. No resulta extraño, entonces, que J. Dalton titulara su libro, de 1808, “*A new system of chemical philosophy*” y, para reiterarlo, y que el texto de Cannizzaro, de 1858, se llamara “*Sunto di un corso di filosofia chimica*”; incluso, que Mendeléiev acudiera a la expresión “*filosofía química*”.

CONCLUSIONES

Desde una revisión histórica y bibliográfica, que partió de la lectura de la “*Metafísica*” de Aristóteles y de fuentes secundarias referidas al significado de la obra de Lavoisier y de Mendeléiev, se puso de presente, primero, el origen del sustancialismo y se destacó el significado que el primero le dio a la “categoría filosófica” de elemento, ligado a ese sustancialismo. Se puso de presente como el ataque contra las ideas de Aristóteles sobre el movimiento de los graves, fue iniciado por Galileo, al que le seguiría Lavoisier al contrastar que el agua no se transformaba en tierra y que esta no era un elemento sino una sustancia compuesta. El francés no contó con los argumentos teóricos para separarse de la concepción sustancialista del calor, por lo que siguió considerándolo como un elemento; en esto se adscribió a la concepción de J. Black. De hecho, S. Carnot desarrolló su estudio y su teorema, dentro de esta misma concepción; concepción que va a ser objeto de la interpretación mecánica que dio el “Conde de Rumford”.

Las revisiones críticas apoyadas bibliográficamente, pusieron de presente que ha existido una interpretación errónea cuando se afirma que el concepto de elemento químico fue inicialmente delimitado por Boyle, e igualmente, que Lavoisier lo precisó experimentalmente. Ambos se mantuvieron en la concepción sustancialista, sobre todo el segundo, puesto que siguió refiriéndose a las sustancias simples. Se destaca que fue Mendeléiev, de conformidad con el proyecto de elaborar un cuadro sistemático de las sustancias simples conocidas en su época, quien requirió para tal efecto, acudir al concepto de elemento químico. Resáltese que en la realización de este hecho histórico – científico, la mecánica cuántica de matrices y la ondulatoria, aún no habían sido formuladas; no obstante es preciso decir que en la mecánica cuántica y los modelos del enlace de valencia y del orbital molecular, la sustancia no existe. Se resalta, por tanto, que este concepto como el compuesto no se derivan de tales desarrollos matemáticos, por lo que son netamente propios de la filosofía de la Química y no de la de la Física. Agréguese a lo afirmado, que la Ley de periodicidad no se dedujo de una axiomatización congruente con los principios de la mecánica cuántica (Scerri, 1997).

En este contexto histórico, elemento y compuesto son conceptos comparativos que llevan aparejados escalas de comparación no métricas (Mosterin, 1978). Serán transformados en métricos a partir del momento en que se haga una redefinición basada en el número atómico y se introduzcan en el plano de la Tabla Periódica resultados de medidas tecnológicas que tienen que ver con “radio atómico”, “energía de ionización” y demás conceptos relacionados; conceptos estos que entraron a complementar ese saber que los químicos ya habían logrado con la construcción de la Química Estructural y cuyo horizonte teórico se debió a la participación de Cannizzaro en el Congreso de Karlsruhe.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristóteles. (1985). *Metafísica*. Traducción de R. Blánquez Augier y J. F. Torres Samsó. Madrid: SRPE.
- Avery, J. (1975). Teoría cuántica de átomos, moléculas y fotones. Madrid: Alhambra.
- Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.
- Bacon, F. (1979). *Novum organum*. México, Porrúa.
- Bensaude – Vincent, B. (1998a). Lavoisier: una revolución científica. En: *Historia de las ciencias*, Serres, M. (ed.), pp. 410 – 435. Madrid: Cátedra.
- Bensaude- Vincent, B. (1998b). Mendeléiev: historia de un descubrimiento. En: *Historia de las ciencias*, Serres, M. (ed.), pp. 503 – 526. Madrid: Cátedra.
- Bohr, N. (1913). On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, Serie 6, 26, 1 – 25.
- Bowler, P. J. y Morus, I. (2007). *Panorama general de la ciencia moderna*. Barcelona: Crítica.
- Brock, W. H. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza.
- Caldin, E. F. (2002). The Structure of Chemistry In Relation to the Philosophy of Science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, Vol. 8, No. 2, 103 – 121.
- Camacho González, J. P., Gallego Badillo, R. y Pérez Miranda, R. (2007). La ley periódica. Un análisis histórico, epistemológico y didáctico de algunos textos de enseñanza. *Educación Química*, Vol. 18, No. 4, 278 – 288.
- Comte, A. (1984). Curso de filosofía positiva (Lecciones 1 y 2). Barcelona: Orbis.
- Diéguez, A. (2012). *La vida bajo escrutinio. Una introducción a la Filosofía de la Biología*. España: Buridán.
- Echeverría, J. (1998). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.
- Fara, P. (2009). *Breve historia de la ciencia*. Madrid: Ariel.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R. y Torres de Gallego, L. N. (1995). La química como ciencia: Una propuesta constructivista. *Química, Actualidad y Futuro*, Vol. 5, No. 1, 55 – 63.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Gallego Torres, A. P. y Torres de Gallego, L. N. (2006). El objeto de saber de los químicos. Formulación, modificación y abandono del modelo icónico inicial. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 11, No. 3, 365 – 381.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Uribe Beltrán, M. V., Cuellar Fernández, L. y Amador Rodríguez, R. Y. (2004). El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciência & Educação*, Vol. 10, No. 3, 571 – 584.
- Gallego Badillo, R., Gallego Torres, A. P. y Pérez Miranda, R. (2012). El Congreso de Karlsruhe. Los inicios de una comunidad científica. *Educación Química*, Vol. 23, No. Extra. 2, 280 – 289.
- Geymonat, L. (1998). *Historia de la Filosofía y de la Ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Heisenberg, W. (1925). Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer Beziehungen. *Zeitschrift für Physik*, 33, 879 – 893.



- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Izquierdo, M. (2010). La transformación del átomo químico en una partícula Física ¿Se puede realizar el proceso inverso? En: *Historia y filosofía de la Química*, Chamizo, J. A. (Coord.), pp. 169 – 194. México, Siglo XXI.
- Kragh, H. (2007). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Laidler, K. J. (1995). *The world of Physical Chemistry*. New York: Oxford University Press.
- Lockemann, G. (1960). *Historia de la química*. México: UTEHA.
- Lombardi, O. y Pérez, A. R. (2010). En defensa de la autonomía de la Química frente a la Física. Discusión de un problema filosófico. En: *Historia y Filosofía de la Química*, Chamizo, J. A. (Coord.), pp. 195 – 209. México: Siglo XXI.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz.
- Mosterín, J. (1978). La estructura de los conceptos científicos. *Investigación y Ciencia*, No. 16, 82 – 93.
- Pérez Miranda, R., Gallego Badillo, R. y Garay Garay, F. (2006). A construção de modelos na formação inicial e continuada de profesores de Química; En: *Analogías, leituras e modelos no ensino da ciencia. A sala de aula em estudo*; Nardi, R. e De Almeida, M. J. P. M. (Org.); pp, 141 – 159. São Paulo: Escrituras.
- Rutherford, E. (1911). The scattering of the atom, α and β particles by matter and structure of atom. *Philosophical Magazine*, serie 6(21), 669 – 688.
- Rutherford, E. (1914). The structure of atom. *Philosophical Magazine*, serie 6(21), 488 – 498.
- Thomson, J. J. (1904). On the structure of atom. *Philosophical Magazine*, serie 6,7(39), 237 – 265.
- Sánchez, J. M (2009). *El jardín de Newton. La ciencia a través de la historia*. Barcelona: Crítica.
- Scerri, E. R. (2011). Filosofía normativa y descriptiva de la ciencia y el papel de la Química. En: *Filosofía de la Química. Síntesis de una nueva disciplina*; Baird, D., Scerri, E. y McIntyre, L, (Coords.); pp. 177 – 191. México: Fondo de Cultura Económica.
- Scerri, E. R. (1997). Has the periodic table successfully axiomatized? *Erkenntnis*, 47, 229 – 343.
- Schneer, C. J. (1975). *Mente y materia*. Barcelona: Bruguera.
- Schummer, J. (2011). La Filosofía de la Química. De la infancia hacia la madurez. En: *Filosofía de la Química. Síntesis de una nueva disciplina*; Baird, D., Scerri, E. y McIntyre, L, (Coords.); pp. 36 – 70. México: Fondo de Cultura Económica.