

Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química

Rómulo Gallego Badillo¹, Royman Pérez Miranda¹ y Adriana Patricia Gallego Torres²

¹Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D. C. Colombia. E-mails: rgallego@pedagogica.edu.co; royman@pedagogica.edu.co

²Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D. C. Colombia. E-mail: adpgallegot@udistrital.edu.co

Resumen: Acudiendo a las aproximaciones epistemológicas propuestas a finales del siglo XX y comienzos del XXI, las denominadas "pospositivistas", en este artículo se intenta un análisis de los contextos conceptuales y metodológicos en los que se formularon las leyes ponderales. El objetivo es demostrar que la denominación de "leyes empíricas" no puede seguir siendo admitida, ya que obedece a la concepción filosófica positivista que ha venido dominando entre los químicos, desde las primeras décadas del siglo XIX. Este marco filosófico, por influencia de J. von Liebig, ha predominado en la enseñanza de la Química, ya que el primer programa académico sistemático de formación que creó, fue netamente "experimentalista" o centrada en el trabajo de laboratorio. Esta versión se impuso primero en Inglaterra y, después, en Estados Unidos, para extenderse poco a poco y definitivamente a la gran mayoría de planes de estudio. Se es del parecer que los análisis histórico-epistemológicos que se han adelantado en torno a estas leyes ponderales, han seguido esta aproximación epistemológica.

Palabras clave: Historia y epistemología, modelos científicos, didáctica, leyes ponderales.

Title: An epistemological and historical approach to foundation laws of Chemistry

Abstract: Based on the proposed epistemological approaches proposed in the late twentieth century and the beginning of twenty first century, the so-called pospositivist, this article attempts an analysis of the conceptual and methodological contexts in which the pounderal laws were formulated.

The aim is to demonstrate that the name of "empirical laws" can no longer be admitted because it reflects the philosophical positivist conception that has been dominating among chemists, since the early decades of the nineteenth century. This philosophical framework, influenced by J. von Liebig, has dominated the teaching of chemistry, as the first academic programme of systematic training that he created was purely "experimental" or focusing on laboratory work. This version was imposed first in England and then in the United States to spread gradually and finally the vast majority of curricula. It is considered that the historical and epistemological analyses that have been carried out till this moment about pounderal laws have followed this epistemological approach.

Keywords: History and epistemology, scientific models, Didactics, poulderal laws.

Introducción

Para comenzar, hay que sostener que la actual didáctica de las ciencias de la naturaleza se empezó a constituir en la segunda mitad del siglo XX, con base en las aproximaciones epistemológicas de K. Popper (1962), T. S. Kuhn (1972) e I. Lakatos (1983); una didáctica que se halla conceptual y metodológicamente fundamentada (Gallego Torres y Gallego Badillo, 2006). Esta constitución ha conducido a la necesidad de discutir su estatuto científico (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002; 2001; Gallego Badillo, 2004). La didáctica de las ciencias dejó de ser una especificidad de la didáctica general, asumida ésta como el componente instrumental de la pedagogía, la ciencia de la educación.

A finales del siglo XX y comienzos del XXI, en la denominada era pospositivista (Laudan, 2005), las aproximaciones epistemológicas se flexibilizaron, se criticaron las posiciones dogmáticas derivadas del positivismo y se entró en el convencimiento de la pluralidad de la historia (Estany, 2005), hasta afirmarse que cada una de las ciencias de la naturaleza poseía un proceso de construcción que la diferenciaba de las demás. En el caso de la Química, cabe mencionar los trabajos del Grupo Hyle en Alemania y el de E. Scerri en Estados Unidos, en el que se ha elaborado una reconstrucción no positivista de la construcción histórica de esta ciencia (Jensen, 1998a; 1998b; 1998c) y de la que se ha derivado una propuesta para la didáctica de la Química (Nelson, 2002), que se aparta de la tradición experimentalista instaurada en Alemania por Justus von Liebig (1803-1873) en la década de los treinta del siglo XIX (Brock, 1998). Fue la primera vez en la historia de la Química que se creó un currículo sistemático para la formación de practicantes profesionales de esta ciencia (Lockemann, 1960).

El dominio de la aproximación epistemológica positivista se generalizó con la creación y desarrollo de la Química orgánica en Alemania, hasta el punto de que cuando un grupo de especialistas "marginales" no inmersos en el paradigma dominante (Kuhn, 1972), W. Ostwald (1853-1932) y J. H. van't Hoff (1852-1911) crearon la fisicoQuímica, los químicos orgánicos la rechazaron como meras especulaciones no deducidas de resultados experimentales (Brock, 1998). Algo análogo sucedió con la propuesta de A. Werner (1866-1919), sobre los compuestos de coordinación, en relación con las explicaciones de S. M. Jørgensen (1837-1914), dado que poseyó inicialmente las necesarias contrastaciones empíricas (Fernandes de Faria, 2005).

Como ha sido analizado por los especialistas en didáctica de la Química, con ocasión del lanzamiento del "Sputnik" de 1957, por parte de la antigua Unión Soviética, en el surgimiento de la "guerra fría", en los Estados Unidos y en Gran Bretaña, se hizo la pregunta por la versión de ciencia que se socializaba entre los estudiantes de educación secundaria y se convocaron instituciones científicas y asociaciones de profesores de ciencias, con el fin de cambiar la enseñanza de las ciencias y lograr que un mayor número de jóvenes se interesaran por estudiarlas profesionalmente. Se redactaron

entonces los denominados "programas alfabeto" (Novak, 1982), en los que se reafirmó la concepción experimentalista en consonancia con la aproximación positivista. Es el caso del "CHEM study" o "The Chemical Education Material Study". Comercializado el material en diferentes países, sobre todo en los de América Latina, su seguimiento afianzó esa aproximación epistemológica señalada, además de un empirismo ingenuo entre el estudiantado (Marinho Oki y Fortuna de Moradillo, 2008).

Las cuatro leyes que aquí se examinan desde una mirada no positivista, constituyen el fundamento desde el cual se construyó esta ciencia de la naturaleza, por lo que se piensa que ellas podrían ser el centro de una nueva versión curricular en la que se superara el "fiscalismo" (Mayr, 2006) habitual desde el cual se plantea su enseñanza. Se deja sentado que para la elaboración de la presente reflexión, se acudió a algunas fuentes primarias y, la mayoría de ellas, a fuentes secundarias.

Algunas consideraciones epistemológicas

El siglo XX comienza con el predominio de las aproximaciones positivistas, del determinismo formulado por Laplace y el convencimiento de que había una sola y única ciencia: la física, escrita a partir de Newton en el lenguaje de las definiciones, postulados, demostraciones y corolarios (Assis, 1998). Una ciencia que llevó a su máximo desarrollo la iniciativa de Galileo de basarla en la axiomática de los matemáticos. Entre 1905, con los famosos artículos de A. Einstein y los de W. Heisenberg y de E. Schrödinger, para sólo mencionar algunos, se produce una revolución en la física y en la concepción de ciencia, tanto como en la mirada generalizada propia del determinismo. En este punto de la incertidumbre epistemológica, en 1935 el profesor K. Popper (1962) dio a conocer su libro "*Logik der Forschung*" en el que demuestra que la lógica inductiva no permite dar cuenta de lo acaecido en la física y retoma la lógica deductiva. La física sigue determinando el criterio para decidir acerca de si sí o no una elaboración ha de considerarse científica.

Surgió la discusión en torno a la admisión de los análisis epistemológicos en relación con los históricos y particularmente con los de los historiadores sociales de la ciencia. Se conoce como el problema de los "internalistas" y "externalistas" (Barona, 1994). En 1962, T. S. Kuhn (1972) propuso una especie de reconciliación entre las dos posiciones, al precisar que todo examen epistemológico ha de estar basado en una revisión histórica. Luego I. Lakatos (1983), estipuló que toda revisión histórica se halla epistemológicamente comprometida, por lo que habría que hablar de reconstrucciones racionales y, en este sentido, se tendrían diferentes versiones sobre lo mismo: la empirista, la positivista, la deductivista, la racionalista y demás.

Hacia finales del siglo XX con la denominada era pospositivista, algunos químicos se dedicaron a la reconstrucción de la historia de esta ciencia, como el ya citado B. J. Jensen, tomando como base la propuesta de T. S. Kuhn (1972). Se demostró que la construcción histórica de las estructuras conceptuales y metodológicas características de esta ciencia, no ha obedecido a la metodología instaurada por Newton en su "*Principia*" de 1687 y su *Óptica* de 1704; una metodología fundada, en general, en la

formulación de definiciones, postulados, demostraciones y corolarios (Assis, 1998). En el caso de la ley de periodicidad, enunciada por D. Mendeléiev (1834-1907) en 1869, se ha demostrado que no se desprendió de procesos derivados de una axiomatización (Scerri, 1997). De hecho las discusiones en torno al problema de la axiomatización de las leyes de la naturaleza continúan sin que se haya llegado a acuerdos entre los filósofos de la ciencia (Chamizo e Izquierdo, 2007).

Hay que comenzar afirmando que la Química, en rigor epistemológico, no posee teorías en el sentido que esta categoría ha tenido entre los físicos. Además, un análisis crítico de las propuestas de K. Popper (1962), T. S. Kuhn (1972) e I. Lakatos (1983), conducen a afirmar que estos autores tienen como referente esta categoría epistemológica, aun cuando Kuhn acude a algunos ejemplos de la historia de la Química para explicitar su idea de cambio paradigmático y período revolucionario. Frente a dicho problema algunos interesados decidieron retomar la categoría de modelo científico y su taxonomía, que venían utilizando los investigadores en las ciencias sociales (Tomasi, 1999). Esa taxonomía de modelos icónicos o gráficos, analógicos y simbólicos, siendo estos últimos los propios de la física, basados en la axiomática de las matemáticas (Lombardi, 1998), parece ser enriquecedora.

Frente al problema de cuáles son los modelos que han dominado en el desarrollo de la Química, se recomienda que se acuda a una reconstrucción histórica, incluso para hacer la diferenciación entre física y Química (Greca y Dos Santos, 2005). Esta taxonomía, sin embargo, ha de ser asumida como una idealización, ya que esas reconstrucciones históricas han demostrado que no hay modelos científicos puros, aun cuando predomine uno de ellos. En el caso de los propiamente químicos, desde J. Dalton hasta las sucesivas modificaciones que fueron necesarias con los conceptos de valencia (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Uribe Beltrán, Cuéllar Fernández y Amador Rodríguez, 2004), de estructura y de enlace químico y que terminó por ser abandonado definitivamente, ha predominado en las elaboraciones conceptuales y metodológicas de los químicos el modelo icónico o gráfico (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Gallego Torres y Torres de Gallego, 2006).

Dado que cada modelo científico es una representación de un objeto de conocimiento, y no es la "naturaleza en sí", por lo que la explicación del desarrollo científico de cada una de las ciencias de la naturaleza puede ser elaborada en términos de formulación, desarrollo, modificación y sustitución de modelos, proceso éste en el que el objeto de conocimiento es también redefinido (Bachelard, 1979). De ser aceptada esta versión, obligaría a un cambio significativo de la enseñanza de la Química en la educación básica, media e inclusive en la universitaria, que apuntaría al problema didáctico de la construcción de modelos en el colectivo aula (Gallego Torres, Gallego Badillo y Pérez Miranda, 2006), en la perspectiva actual de la reconstrucción de competencias (Gallego Badillo, Pérez Miranda y Torres de Gallego, 2007).

De hecho, reclamar un tratamiento histórico-epistemológico propio para la Química, no significa desconocer que esta ciencia y las demás de la naturaleza se apoyan entre sí y que los diferentes colectivos retoman las elaboraciones conceptuales y metodológicas de las otras en las necesarias

actividades de producción de conocimiento, sin que ello justifique las identificadas reducciones "fiscalistas" (Mayr, 2006), para dar cuenta de sus respectivos estatutos epistemológicos. Es el caso, en Química, por ejemplo, de G. Bachelard (1976), quien en 1953 argumentó que ese estatuto para la Química se le concedió con las elaboraciones de la mecánica cuántica al final de los años veinte del siglo XX; y, en consecuencia, todos los esfuerzos anteriores carecerían de ese estatuto.

En la era denominada "pospositivista", en la que ha entrado a dominar una epistemología no dogmática, dentro de la que se reconocen las distintas reconstrucciones racionales (Lakatos, 1983) y la existencia de historias regionales específicas (Estany, 2005), se hace urgente dejar ya de lado la habitual idea que se ha amparado en la física, para dar cuenta de las razones por las cuales la Química es una de las ciencias de la naturaleza. Ha habido, por su puesto una fascinación con los modelos atómicos, dada la espectacularidad que la aceptación del carácter discontinuo de la materialidad implicó, lo que ello significó para la construcción de las bombas atómicas sobre Nagasaki e Hiroshima y la competencia por el poder político mundial durante la "Guerra Fría". La relación entre investigación científica y, desarrollo tecnológico - que apuntaló el prestigio ya consolidado desde la dinámica de Newton -, probablemente es uno de los factores que contribuyeron a que los químicos justificaran su ocupación como una práctica científica.

Es justificable pensar que fue su adherencia a la aproximación positivista, cuyo autor no recurrió a reconstrucciones históricas fundamentadas, la que condujo a algunos químicos autores de libros de historia sobre su ciencia, a seguir, precisamente, el convencimiento de que el desarrollo de esta ciencia ha obedecido a una serie lineal de descubrimientos, realizados por individuos geniales que los hicieron, independientemente del contexto histórico, político y económico en el que vivieron y, además, sin hacer referencia a un sistema educativo que, de una manera u otra se institucionalizó como proyecto de desarrollo y de poder, en aquellos países cuyos compromisos religiosos e ideológicos se opusieron a esa fuerza de transformación de la sociedad y de las relaciones entre los seres humanos, que ha sido el capitalismo.

En este artículo se tiene la opinión de que las "elucubraciones" de los "químicos", (desde el libro de R. Boyle), y sus ocupaciones no habrían adquirido apoyo institucional y de la sociedad en general, si algunos de ellos - que no se mencionarán en esta reconstrucción - además de los aportes teóricos, no hubieran creado las industrias Químicas de la época que aún siguen dominando. Ya se habló de J. von Liebig, que es la versión de formación de químicos, de manera indiferente y por fuera de lo que significa la formación de un químico, ya que otro problema distinto es la formación de un profesor de Química.

El contexto histórico, instrumental y social

Se comparte en este subtítulo la idea de que las investigaciones de los químicos estuvieron soportadas por su relación con el desarrollo de una cultura determinada por las exigencias del desarrollo industrial. Hay entonces, que acudir a las elaboraciones de la historia social de la ciencia,

que se inaugura con los trabajos de R. K. Merton, en su "*Science, technology, and society in seventeenth century England*", de 1938 y en "*Theory and social structure*" de 1949. Demuestran que el desarrollo de la ciencia obedeció al contexto específico de relaciones entre cultura, ciencia, técnica y poder político y militar. Indica que antes de que se produjera el proceso de institucionalización y de la admisión de la ciencia, la física se convirtió en valor cultural. En Inglaterra a lo largo del siglo XVII, los miembros de esta comunidad de especialistas, acudieron a los valores morales y utilitarios del puritanismo, por cuanto los trabajos en aquellas ciencias que, para la época, tenían mayor utilidad, fueron las que mayor apoyo recibieron (Barona, 1994).

Se afirma igualmente, que tanto el origen como el desarrollo de la ciencia moderna se hallan estrechamente ligados al origen y desarrollo de la sociedad moderna. De esta manera, se sostiene que tal ciencia se encuentra fundamentalmente ligada a la tecnología moderna, a los valores, intereses y estructuras básicas del capitalismo. Surgió en el marco ideológico del capitalismo y se institucionalizó como el modelo cognoscitivo de la industrialización. Llegó a dicho mundo como un bien de consumo y se desarrolló en íntima relación con los constructores de tecnología (Restivo, 1992). El problema de qué es lo que hizo que el conocimiento científico se haya constituido como único entre las instituciones productoras de cultura y de qué manera elaborar una explicación admisible en torno a los orígenes de la física en el siglo XVII y su ascenso en cuatro siglos a una posición de monopolio cognitivo (Vessuri, 1992), es el objeto de estudio que conforma el denominado punto de vista "externalista".

Los estudios de la historia social de la Química presentan una diferencia en relación con la de la física. En lo tocante a la formulación de las leyes ponderales, es factible afirmar que en las interpretaciones de los químicos de entonces, parecería predominar aún el espíritu de los alquimistas, es decir, conocer para manipular la estructura en sí de la naturaleza con el fin de crear nuevos materiales; un espíritu que se empezó a cuestionar a partir de R. Boyle. De ahí entonces, que la finalidad de los trabajos cognoscitivos de la comunidad de los químicos haya seguido siendo históricamente el mismo (Hoffmann, 1995). Ésta podría ser la diferencia en relación con los físicos, dejando sentado que I. Newton ocupó mucho de su tiempo en manipulaciones alquimistas.

Hay que decir que para los químicos de la época, las exigencias provienen de la producción textil, por cuanto se halla ligado a la necesidad de blanqueadores (Kemp, 1974). Para entonces hablar de una industria Química es hacer referencia a la fabricación del ácido sulfúrico, proceso cuyos comienzos se remontan al siglo XVII; una industria química que se desarrolló en Inglaterra a mediados del siglo XVIII. Fue el boticario J. Ward el primero que creó una fábrica en 1736 en la que se quemaba azufre con nitrato de potasio en presencia de vapor de agua, para producir ácido sulfúrico en gran escala. En 1746 J. Roebuck, médico de Birmingham, utilizó las primeras cámaras de plomo (Mason, 2001). En 1818, en Alemania se sustituyó la combustión del azufre por la de la piritita y en la década de los treinta se emplearon pirititas cupríferas para la obtención de gas sulfuroso (Lockemann, 1960).

De nuevo, en Alemania en 1843 se establece la primera fábrica de carbonato de sosa y en 1865 se funda la "Badische Anilin und Soda Fabrik" (BASF). A. W. Hofmann (1818-1892), fundador de la enseñanza de la Química en Inglaterra, regresó a Alemania en 1865 y en 1867 fundó la "Deutschen Chmischen Gesellschaft". El verdadero fundador de la industria de los colorantes de anilina, fue H. Perkin padre (1838-1907), en 1856, y quien fuera discípulo de Hofmann. La industrialización del conocimiento químico durante el siglo XIX fue un factor decisivo en la consolidación de una comunidad que producía conocimiento útil para las exigencias del capitalismo y que había superado conceptual y metodológicamente las elucubraciones alquimistas.

De las leyes ponderales

La categoría de ley en las ciencias de la naturaleza ha sido objeto de discusiones (Hanson, 1977). La mayoría de los tratadistas que se han ocupado de este problema se han centrado en las propias de la física desde las elaboraciones newtonianas. Desde esta perspectiva, estas leyes son explicables en cuanto hacen parte y se deducen de todo un planteamiento teórico, a partir de supuestos básicos acerca de que el comportamiento del universo que se hace análogo a un gran mecanismo de relojería (mecanicismo) en el que la relación de proporcionalidad simple, de la relación entre causa y efecto, funciona en el ámbito dentro del cual esas leyes se formulan y se cumplen. Hay que sostener que toda ley que aspire a ser considerada como científica, es formulada en el interior de una delimitación admisible del objeto de conocimiento en el que se da cuenta, con propósitos demostrativos y de contrastación experimental, de aquello que finalmente se incorpora a la tradición histórica de producción de conocimiento en una ciencia particular.

En la naturaleza, los seres humanos observan y se ven sometidos a regularidades de distinta índole, como, por ejemplo, las estaciones en el hemisferio norte o las fases de la luna. Todas estas regularidades explicables desde mediados del siglo XVII, acudiendo al modelo científico de la dinámica clásica newtoniana. No obstante, en lo que a las razones de la estabilidad de las órbitas de los planetas se hace referencia, tales leyes son utilizables y admisibles en el interior de tal dinámica, no así cuando se cambia de modelo explicativo, puesto que en el esquema einsteniano, en el que el concepto de fuerza no se requiere, tal hecho obedece a la estructura geométrica del espacio-tiempo (Mackeown, 1984). Las leyes son admisibles y funcionan dentro del modelo científico de cuya estructura conceptual y metodológica son constituyentes centrales; en otro modelo diferente no sucedería así.

Si se toma como ejemplo el segundo postulado de Newton en los "Principia", expresado en el lenguaje actual en la siguiente expresión: $F = m(d^2x/d^2t)$ o $F = m(dv/dt)$, en las que "x" es el espacio, "t" el tiempo y "v" la velocidad del móvil de masa "m", las discusiones que se mantienen se hallan distribuidas entre quienes afirman que dicho postulado es una ley de la naturaleza, y aquellos que la asumen como la definición conceptual y metodológica del concepto científico de fuerza. Cualesquiera sean las discusiones al respecto, ninguna de ellas podría negar el carácter predictivo

de dicha ley. En otras palabras, con esta ley, conocidas las condiciones iniciales, se puede predecir la trayectoria futura de un móvil cualquiera.

Desde esta referencia, en este artículo se adentra en los fundamentos iniciales de la construcción de la Química como una de las ciencias de la naturaleza. Se trata de apartarse críticamente de la tradición alemana creada por J. von Liebig, que se impuso en la enseñanza de esta ciencia y a partir de la cual se generalizó el dominio de la concepción positivista. ¿Cuál es el estatuto epistemológico de esas regularidades que son recogidas en las leyes ponderales?, ¿a qué modelo científico químico pertenecen?, ¿desde dónde discuten la constitución de la Química como ciencia?

Como se sabe, Galileo es el creador de la nueva ciencia; una ciencia de carácter matemático e instrumental. Lo de una ciencia matemática de la naturaleza venía ya desde los griegos, pero es el italiano el que le confiere una dimensión diferente en el contexto de lo instrumental o tecnológico. Es así por cuanto Galileo, desde las propuestas de Leonardo (Gallego Badillo, 1994) crea el concepto de experimento, un tramado de instrumentos formulado para contrastar las hipótesis matemáticas acerca del comportamiento del objeto de saber y de investigación, justamente delimitado por ese espacio tecnológico.

Para el tiempo de la formulación de las leyes ponderales, en la especificidad de la Química, cuando el objeto de saber y de conocimiento los especialistas estaban apenas constituyéndolo, resulta un despropósito hacer alusión a retortas y otros de la misma cualidad, normalmente heredados de esa tradición alQuímica que le viene de los metalurgistas. Incluso, lo que más tarde será el "análisis instrumental, el diseño de los instrumentos tecnológicos de análisis sus fundamentos serán de la física y no de la Química; cuyos fundamentos tecnológicos y epistemológicos, siguen siendo objeto de controversia.

La ley de la conservación de los pesos

Una interpretación de lo desarrollado por A. L. Lavoisier permite pensar que en él podría estar presente el espíritu galileano, esto es que la constitución de la Química como una de las ciencias de la naturaleza, tenía que derivarse de una relación conceptual y metodológica con los constructores de instrumentos. La Química que crea Lavoisier tiene también ese doble carácter de ser matemática e instrumental. Matemática por cuanto en la formulación que hace Lavoisier del concepto de reacción Química establece relaciones de proporcionalidad entre los pesos de los reactantes y los de los productos; relaciones que luego se expresaron de manera algebraica, aun cuando inicialmente solo aludieran a una regla de tres simple (Schneer, 1975).

Es posible que Lavoisier se representara la reacción Química y las relaciones ponderales entre reactantes y productos hacia 1783 o 1790, aun cuando no demostró esa relación, cuando repitió la síntesis del agua a partir del hidrógeno y del oxígeno, realizadas por Cavendish y Priestley. Se afirma que señaló al respecto, que en física y en geometría el todo es igual a sus partes (Mason, 2005). La ley como tal la sugiere en una sección sobre la fermentación de los vinos, en el Vol. 1 de sus "Oeuvres", que aparecieron publicadas entre 1862 y 1893, debido a Dumas y Grimaux (Lockemann,

1960). Es este trabajo en el que representa la reacción Química en términos de un modelo analógico, representándola como una balanza ideal, y establece que los pesos de los reactantes podrían ser iguales al peso de los productos; una idea que había ya sido utilizada pero no publicada por Black y Cavendish (Ihde, 1984).

Es igualmente posible pensar que Lavoisier formuló esa nueva consideración de la reacción química como una representación de la balanza. No resulta complejo imaginar que en el platillo de la izquierda estaban los reactantes y en el de la derecha los productos. De ahí a pensar que para el francés la posición del "fiel" indicaba un "equilibrio" de pesos, es ir más allá o caer en anacronismos. La introducción de la balanza para hacer de la Química una ciencia cuantitativa, no pudo ser un "descubrimiento" al azar, una idea descontextualizada de los fundamentos dentro de los cuales Lavoisier generó la revolución en el saber de los químicos. Lo cierto parece ser que en su colectivo de trabajo contó con técnicos en el diseño y fabricación de balanzas a los que les pidió que perfeccionaran dicho instrumento (Bensaude-Vincent, 1998). Podría sostenerse entonces, que el concepto de reacción Química es un modelo analógico (Tomasi, 1999).

En esa preocupación por hacer de la Química una rama de la filosofía natural, hay que destacar a J. B. Richter (1762-1807) quien tuvo como programa de trabajo introducir en ella las matemáticas, sobre todo porque fue alumno de I. Kant (1724-1804) y debido al concepto que el filósofo tenía acerca de lo que debía ser una ciencia, tomando como modelo la física de Newton y la geometría de Euclides. En este contexto, para Kant la Química alcanzaba a ser tan sólo un arte sistemático. Richter es el creador del concepto de estequiometría y entre 1791 y 1802 publica, en once tomos, su *"Acerca de los nuevos temas de la Química"*, siguiendo el lema del Libro de la sabiduría: Todo ha sido ordenado por Dios según medida, número y peso. En tres tomos que vieron la luz entre 1792 y 1793, da a conocer su Principios de estequiometría o ciencia de medir los elementos químicos, en los que hace una propuesta sobre los pesos de combinación o pesos equivalentes. Se afirma que es Richter quien formula por primera vez la ley de neutralidad (Lockemann, 1960).

Dada la colaboración con P. S. de La Place, Lavoisier se inscribe en el firme propósito de introducir la matemática en las elaboraciones Químicas. Siguiendo al filósofo E. B. Condillac, Lavoisier estuvo firmemente convencido de que el álgebra era el lenguaje en el que se deberían expresar las formulaciones científicas. Por tanto, que la "ley de la conservación de los pesos" tenga intrínsecamente una estructura algebraica (Brock, 1998). No es, en consecuencia una "ley empírica". Son significativas estas colaboraciones para el químico francés, un físico-matemático y un filósofo; algo que puede servir de apoyo para pensar que la formulación de la ley de la conservación de los pesos en las reacciones Químicas no fue un "descubrimiento meramente empírico", máxime si Lavoisier partió de una representación instrumental (una balanza ideal) de la reacción Química.

Algunos textos de Química de educación secundaria e incluso universitaria, suelen referirse a la ley de Lavoisier como de la conservación de la materia o de la masa. Al respecto hay que precisar que materia, más

que un concepto científico en estricto sentido, es una categoría filosófica. En cuanto a ser una ley de la conservación de la masa, es algo que ha de ser objeto de discusión. Si bien los químicos miden la cantidad de masa de un compuesto determinado o una muestra comparándola con "pesas patrones", acudiendo a la dinámica clásica de que en un mismo punto de la tierra la muestra y la "pesa" con la que se equilibra son atraídas por la misma magnitud de la fuerza de gravitación, de tal manera que algebraicamente se puede deducir de manera derivada la magnitud de las masas implicada, lo cierto es que la determinación de las masas se realiza por el cambio de momento.

La ley de las proporciones definidas o constantes

Su formulación se debe al trabajo de J. L. Proust (1755-1826). Este químico fue llevado a Madrid por Carlos IV, y fue allí donde sus trabajos analíticos lo condujeron a deducir en los óxidos y sulfuros de cobre, esta ley ponderal, que enunció en 1779 y confirmó en 1806, primero en una comunicación en "Ann. Chim." y luego en otra, también corta comunicación, en el "Journal de Physique" aceptada definitivamente por la comunidad de químicos en 1800 (Schneer, 1975). La admisión de esta ley estuvo precedida por una larga controversia con C. L. Bertholet (1748-1822) quien la negó sosteniendo que la composición Química de los compuestos no era constante, ya que dependía de las cantidades que reaccionaban entre sí en cada caso (Lockemann, 1960).

A pesar de ser Bertholet uno de los más reconocidos químicos franceses, cometió el error de no distinguir las mezclas de los componentes en los óxidos y los sulfuros que eligió para su trabajo. Es ésta, quizás, la razón por la cual sus análisis lo condujeron a resultados incongruentes y disparatados (Schneer, 1975). Los hechos se aclararon cuando E. Mitscherlich (1794-1863), entre 1818 y 1821, formuló la ley del isomorfismo. No obstante, esta explicación anacrónica que le atribuye a Bertholet esa equivocación, es desde cualquier reconstrucción histórica inaceptable. La controversia de Bertholet con la propuesta de Proust, podría ser interpretada en su momento desde otra perspectiva. En términos kuhnianos se habría de comprender aludiendo a que los dos científicos estaban ubicados conceptual y metodológicamente en dos paradigmas distintos sobre lo mismo; el que interpretó estos valores cuantitativos desde el concepto de mezcla y el que dio cuenta de ellos en términos de combinación, posiblemente de lado de los partidarios del atomismo.

Los trabajos analíticos de Proust hay que inscribirlos en los de M. H. Klaproth (174-1817), considerado por J. J. Berzelius (1779-1848), uno de los químicos analíticos más destacados de la Europa de entonces. Introdujo la desecación y la calcinación cuidadosa de los precipitados y se volvió norma no sólo informar los resultados finales, sino acompañarlos de los pesos parciales de los precipitados obtenidos. Es, pues, Klaproth el fundador de la Química analítica cuantitativa. En 1789, comprobó en la peblendra la existencia del uranio, hasta entonces desconocido (Lockemann, 1960).

A diferencia de la ley de la conservación de los pesos en las reacciones Químicas de Lavoisier, la de las proporciones definidas o constantes de Proust aparentemente parece tener ese tinte empirista, puesto que en las

comunicaciones mencionadas no suministra mayores detalles para pensar lo contrario. Sin embargo, considerando la obra de Lavoisier, circula entre la comunidad de especialistas un modelo científico, el de la oxidación, de carácter algebraico e instrumental que empezó a servir de marco conceptual y metodológico para la producción de conocimiento en Química.

La ley de las proporciones múltiples

Fue formulada por J. Dalton (1766-1844) en 1804. Una referencia, para contextualizarla es el hecho de que en 1803, Dalton pronunció una conferencia en la "Literary and Philosophical Society" de Manchester, en la que dio a conocer las ideas que estaba desarrollando en relación con el carácter corpuscular de los constituyentes de los fluidos gaseosos. La primera puesta en circulación de este modelo científico se debió a T. Thomson (1773-1852), su amigo, en la tercera edición de su libro "A new system of chemistry", que apareció en 1807. El texto en el que Dalton hace su propuesta es "A new system of chemical philosophy" de 1808. En este expone su modelo atómico en los capítulos "Acerca de la constitución de los cuerpos" y "Acerca de la composición Química". W. H. Wollaston (1766-1828) fue quien en 1809 contrastó esta ley, para lo cual recurrió al concepto de equivalente (Lockemann, 1960).

Señálese que los originales en los que Dalton puso a disposición de la comunidad de especialistas sus propuestas y trabajos, se perdieron en las conflagraciones producidas en Londres por los bombardeos de los nazis. No obstante, lo que se conservó, dadas las referencias de Thomson y los cuadernos de notas de Dalton, dan pie para pensar que esta ley ponderal la formuló desde el modelo icónico para el átomo que propuso, por lo que carece de sentido pensar que es "empírica". Detrás de esta ley, hay una representación mental de la reacción Química que apoya tal afirmación. Dalton le sigue a Lavoisier en la construcción de la Química como ciencia.

Hay que decir aquí que, si bien Dalton empezó a formular sus supuestos desde su profesión de meteorólogo, se apoyó en el concepto de átomo de Newton, específicamente en la Proposición XXIII, del Libro II de la "Principia" (Schneer, 1975). Su ley, la contrastó mediante el análisis cuantitativo del metano y del etileno. Sin embargo, es preciso establecer que el modelo de Dalton, por algunas razones políticas, dividió a la comunidad de químicos entre atomistas y equivalentistas, estos últimos franceses. Algunas versiones históricas suelen reconocer que M. Faraday (1791-1867) sostuvo que la idea de átomo era tan solo una entidad metafísica (Schneer, 1975). W. Ostwald (1853-1932) solo la aceptó, a partir de la explicación que J. H. van't Hoff (1852-1911) da en 1886 al fenómeno de osmosis, acudiendo al modelo molecular de los gases (Lockemann, 1960). La admisión definitiva del concepto de átomo y de la discontinuidad de la materia, vendrá con la explicación del fenómeno fotoeléctrico y del movimiento browniano de A. Einstein de 1905, propuestos en sus artículos publicados en la revista "Annalen der Physik".

El primero en adoptar el modelo atómico de Dalton y las leyes ponderales fue Berzelius, en razón de que este modelo y dichas leyes constituían los esclarecimientos más significativos de los problemas de la Química de ese entonces, adoptándolos como el marco conceptual y metodológico de todas

las investigaciones que emprendió y que fructificaron en sus grandes aportes a la constitución de la Química como ciencia durante el siglo XIX. No se cae en error, cuando se afirma, desde una mirada epistemológica lakatosiana, que ese modelo icónico y las leyes ponderales, pasaron a ser el núcleo firme de los programas de investigación científica que emprendieron los químicos.

La ley de los volúmenes de combinación

Obra de J. L. Gay-Lussac (1787-1850), enunciada por, inicialmente en 1805, con algunos errores cuantitativos y tuvo que rectificar la base experimental entre 1808 y 1809, para expresarla definitivamente. Esta ley hace referencia a reactantes y productos en fase gaseosa. Esta ley introdujo una aritmética extraña en relación con las anteriores, en virtud de que la suma de los volúmenes de los reactantes en relación con la suma de los volúmenes de los productos no se conservaba en todos los casos examinados, aun cuando las relaciones de proporcionalidad en las aproximaciones aritméticas seguía la lógica de de números enteros. Gay-Lussac es el creador del análisis volumétrico y es de quien proceden los nombres de "bureta" y "pipeta" (Lockemann, 1960).

J. Dalton, por una interpretación basada en su modelo atómico icónico, que no "cuadraba" con su ley de las proporciones múltiples, fue uno de los principales contradictores de esta ley. Señálese que Dalton y Gay-Lussac en 1802, determinaron el coeficiente de dilatación térmica de los gases y ambos obtuvieron el valor de $1/266$. El valor de $1/273$ fue obtenido por otros dos investigadores también de manera independiente, H. G. Magnus (1802-1870) y H. V. Regnault (1810-1878), años después. Es factible pensar entonces, que había entre los dos una rivalidad. Anótese de paso, que muchos profesores de Química de la secundaria, por desconocimiento de la historia de las ciencias, cuando enseñan la conversión de grados Celsius a grados Kelvin no saben de donde procede el "273"; la escala Kelvin no es termométrica.

De hecho, la ley de los volúmenes de combinación algebraicamente era para ese tiempo inexplicable. La aceptación de esta ley vendrá de A. Avogadro (1776-1856), en su publicación de 1811, con base en la propuesta daltoniana. La explicación de esa relación de proporcionalidad entre los volúmenes de reactantes y productos no se desprendió de ningún análisis estrictamente empírico. Su comunicación empieza justamente, mencionando esta ley enunciada por J. L. Gay-Lussac y pasa a dar una versión crítica de las suposiciones de J. Dalton. Avogadro llegó a la conclusión de que los gases estaban formados por moléculas compuestas de por lo menos dos átomos. Enunció entonces, en lenguaje actual, que volúmenes iguales de gases a las mismas condiciones de presión y temperatura contienen el mismo número de moléculas. La misma idea fue propuesta tres años después por A. M. Ampère (1775-1836) y surgió entre los dos una disputa por la autoría que se zanjó a favor de Gay-Lussac.

La denominada hipótesis de Avogadro

Es formulada en 1811, pasó inadvertida durante casi cincuenta años, hasta cuando ella fue presentada a la comunidad de especialistas por S.

Cannizzaro (1826-1910) en su libro de 1858, "*Sunto di un corso di filosofia chimica*" que distribuyó en el "Primer Congreso Internacional de Química" celebrado en la ciudad alemana de Karlsruhe, en 1860. La controversia que despertó entre los participantes fue tan enconada, que Cannizzaro estuvo a punto de lamentarse de la admisión de esta hipótesis. Fue A. Laurent (1807-1853) quien basándose en dicha hipótesis definió el peso molecular de un elemento o de un compuesto químico como la cantidad en peso que en estado gaseoso, en iguales condiciones de presión y temperatura, ocupa el mismo volumen que dos partes en peso de hidrógeno. Los procedimientos para la determinación experimental de los pesos moleculares se deberán finalmente a J. B. Dumas (1800-1884), en 1827, y finalmente a V. Meyer (1848-1897), en 1878.

Hay que destacar que después del paso del modelo del flogisto de G. Stahl al de la oxidación de A. L. Lavoisier, los químicos iniciaron conceptual y metodológicamente un cambio significativo en los fundamentos de su ciencia. Las reformulaciones que siguieron fueron consecuencia del establecimiento y aceptación de estas leyes ponderales, que se constituyeron en el núcleo firme (Lakatos, 1983) de esta ciencia como programa de colectivo de producción de conocimiento, en consonancia con una industria Química floreciente.

Las leyes a las que se ha aludido son epistemológicamente distintas de las creadas por los físicos. No gozan de manera intrínseca de un carácter predictivo. Dichas leyes, sin embargo, fueron el camino para la posterior comprensión de la naturaleza corpuscular o discontinua de la composición de los materiales, particularmente entre los químicos atomistas. Los equivalentistas no fueron más allá de la expresión de esa composición en términos de porcentajes; fueron los últimos en admitir la hipótesis atómica.

A manera de conclusiones

Este artículo despertará polémicas, y esa es la intención de los autores, puesto que se inscribe en una versión diferente de la que se socializa entre el estudiantado sobre la formulación y admisión de las denominadas leyes ponderales de la Química, leídas desde una versión epistemológica empirista y positivista. Cualesquiera de esas versiones suelen desconocer que los químicos no podían observar directamente lo que ocurría en los procesos que habían hecho objeto de saber y de investigación. Requerían crear una representación mental de dichos procesos; representación que adquiere una nueva mirada a partir de Lavoisier, quien inaugura una Química algebraica e instrumental. Una afirmación que de ser aceptada, podría tener consecuencias para la propuesta de una didáctica diferente de esta ciencia.

Una necesaria inscripción en la historia de la Química, cuya construcción como una de las ciencias de la naturaleza empezó a conformarse como tal, centrada en los "fluidos aereiformes". Esta precisión lleva consigo consecuencias didácticas, puesto que fue a partir de la denominada "Química neumática" creada por los trabajos del grupo de los "químicos de Oxford", liderado por R. Boyle, R. Hook y J. Mayow, que se inició ese proceso de esa construcción. Lavoisier todavía habla de "aires". Al respecto de una enseñanza de la Química siguiendo su desarrollo histórico, se

realizaron en 2002 y 2003 dos proyectos de investigación didáctica en los grados décimo y undécimo del nivel de educación media, del sistema educativo colombiano (Pérez Miranda, Gallego Badillo, Torres de Gallego y Cuellar Fernández, 2004; Gallego Badillo, Pérez Miranda, Torres de Gallego, 2007), cuyos resultados fueron satisfactorios.

No obstante, es preciso subrayar que tan sólo en el grado décimo los programas curriculares y la mayoría de los textos de enseñanza hacen alusión a la ley de la conservación de los pesos, por cuanto es necesaria para la unidad "balanceo de las ecuaciones Químicas"; que, por lo general sigue después de la clasificación de las reacciones su desarrollo histórico, se realizaron en 2002 y 2003 dos proyectos de investigación didáctica en los grados décimo y undécimo del nivel de educación media, del sistema educativo colombiano (Pérez Miranda, Gallego Badillo, Torres de Gallego y Cuellar Fernández, 2004; Gallego Badillo, Pérez Miranda, Torres de Gallego, 2007), cuyos resultados fueron satisfactorios.

No obstante, es preciso subrayar que tan sólo en el grado décimo los programas curriculares y la mayoría de los textos de enseñanza hacen alusión a la ley de la conservación de los pesos, por cuanto es necesaria para la unidad "balanceo de las ecuaciones Químicas"; que, por lo general sigue después de la clasificación de las y la introducción a la nomenclatura. Este proceder se salta el hecho histórico señalado, de que la Química se inicia justamente con el proceso de elaboración de un modelo para el comportamiento mecánico de los gases. Los programas curriculares para ese grado décimo y los textos de enseñanza que siguen los profesores, introducen a los estudiantes en la definición de átomo, con un recuento lineal y anecdótico de la sucesión que va del modelo de J. J. Thomson, pasando por el de E. Rutherford, para desembocar en el de N. Bohr, para caer en una confusión conceptual y metodológica que "solapa" el de Bohr con el derivado de la mecánica cuántica, dejando de lado las precisiones históricas indispensables.

En la unidad de "balanceo de las ecuaciones Químicas" se introduce la definición descontextualizada del concepto de mol, cuyos problemas epistemológicos, didácticos y de aprendizaje han sido objeto de investigación, cuyos resultados se hallan disponibles en las revistas especializadas; incluso, cuando se les presenta a los estudiantes, primero, la "ley combinada de los gases" y luego se pasa a la enseñanza de la ecuación de los gases ideales ($PV = nRT$), el dominio de la concepción positivista-experimentalista parece dejar la impresión en el estudiantado de que el concepto de mol tanto como la constante "R" se obtuvo por observación, vía la aplicación de la lógica inductiva.

Finalmente hay que afirmar que la mayoría de las reconstrucciones históricas habituales de la Química dedican poco espacio al análisis de la importancia de las leyes ponderales, y sí tratan de manera amplia la construcción de la Química orgánica estructural lo mismo es preciso subrayar con respecto a los textos de enseñanza, en los que se reducen a una mera enunciación de ellas, para pasar a ejercicios de lápiz y papel. La Química es socializada como una ciencia sin historia.

Referencias bibliográficas

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1, 3, Art.1. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). La didáctica de las ciencias experimentales como disciplina tecnocientífica autónoma. En F.J. Perales, A.L. García, E. Rivera et. al. (Eds). *Congreso Nacional de didácticas específicas. Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, (pp. 291-302). Granada: Grupo Editorial Universitario.

Assis, A.K.T. (1998). Newton e suas grandes obras: o Principia e o Óptica. En Almeida, M.J.P.M. e Da silva, H.C. (Org.), *Liguagens leituras e ensino da ciencias* (pp. 37-52). Campinas: Unicamp.

Avogadro, A. (1811). Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies, and the proportions in which they enter into these compounds. *Journal de Physique*, 73, 58-76. [Alembic Club Reprint No. 4]. En: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/avogadro.html>

Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.

Bachelard, G. (1979). *El racionalismo aplicado*. Buenos Aires: Paidós.

Barona, J.L. (1994). *Ciencia e historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia*. Valencia: Guada.

Bensaude-Vincent, B. (1998). Lavoisier una revolución científica. En Serres, M. (Ed.), *Historia de las ciencias* (pp. 411-436). Madrid: Cátedra.

Brock, W.H. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza.

Chamizo, J.A. e Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Educación Química*, 18, 1, 6-11.

Einstein, A. (1905), "Die von der molekularkinetische Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen", *Annalen der Physik*, 17, 549-560.

Estany, A. (2005). El papel de la historia de la ciencia en los estudios interdisciplinarios de la ciencia. En S.F. Martínez y G. Guillaumin (Comp.), *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia* (pp. 291-303). México: UNAM.

Fernandes de Faria, R. (2005). *Para gostar de ler a historia da Química*. Vol. 1, Cap. 4. Campinas: Átomo.

Gallego Badillo, R. (1994). *Discurso constructivista sobre las tecnologías. Una mirada epistemológica*. Bogotá: Magisterio.

Gallego Badillo, R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3, 3, Art. 4. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>

Gallego Torres, A.P. y Gallego Badillo, R. (2006). Acerca del carácter tecnológico de la nueva didáctica de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5, 1, Art. 6. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec>

Gay-Lussac, J. L. (1809). Memoir on the combination of gaseous substances with each other. *Mémoires de la Société d'Arcueil*, 2, 207. [From

Henry A. Boorse and Lloyd Motz, eds. *The World of the Atom*, vol. 1 (New York: Basic Books, 1966) (translation: Alembic Club Reprint No. 4)]. En: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/gaylussac.html>

Hanson, N.R. (1977). *Patrones de descubrimiento, observación y explicación*. Madrid: Alianza.

Hoffmann, R. (1995). *Lo mismo y no lo mismo*. México: Fondo de Cultura Económica.

Ihde, A.J. (1984). *The development of modern chemistry*. New York: Dover.

Jensen, B.J. (1998a). Logic, history, and chemistry textbook. II. Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75, 7, 817-828.

Jensen, B.J. (1998b). Logic, history, and chemistry textbook. III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75, 8, 961-969.

Jensen, B.J. (1998c). Logic, history, and the chemistry book. I. Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75, 6, 679-687.

Kemp, T. (1974). *La revolución industrial en la Europa del siglo XIX*. Barcelona: Orbis.

Kuhn, T.S. (1972). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.

Laudan, R. (2005). La "nueva" historia de la ciencia: implicaciones para la filosofía de la ciencia. En S.F. Martínez y G. Guillaumin (Comp.), *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia* (pp. 121-130). (Traducción de R. Bárcenas de Anda). México: UNAM.

Leidler, K.J. (1995). *The world of physical chemistry*. Oxford: Oxford University Press.

Lavoisier, A.L. (1862-1893). Mémoire sur la combinaison du principe oxygène avec l'esprit-de-vin. L'huile et différents corps combustibles. *Lavoisier's, Euvres*, Vol. II, Tomo 2, 586-600. En línea: http://moro.imss.fi.it/lavoisier/Lavoisier_opere.asp

Lockemann, G. (1960). *Historia de la Química*. Tomo II. México: UTEHA

Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, 2, 4, 5-13.

Mckeown, P.K. (1984). Gravity is geometry. *The Physics Teacher*, Vol. 22, 9, 557-564.

Mason, S. (2001). *Historia de las ciencias. 4. La ciencia del siglo XIX*. Madrid: Alianza.

Mason, S.E. (2005). *Historia de las ciencias. 3. La ciencia del siglo XVIII*. Madrid: Alianza.

Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz.

Morinho Oki, M. de C. y Fortuna de Moradilo, E. (2008). O ensino de historiada Química: Contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. *Ciência & Educação*, 14, 1, 67-88.

Nelson, P.G. (2002). Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3, 2, 215-228.

Novak, J.D. (1982). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Alianza.

Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.

Pérez Miranda, R., Gallego Badillo, R., Torres de Gallego, L.N. y Cuellar Fernández, L. (2004). *Las competencias interpretar, argumentar y proponer en Química. Un problema pedagógico y didáctico. (Memoria de investigación)*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Proust, J.L. (1799). Researches on Copper. Excerpted from *Ann. Chim.* 32, 26-54. [As translated and reproduced in Henry M. Leicester and Herbert S. Klickstein, *A Source Book in Chemistry, 1400-1900* (Cambridge: Harvard, 1952). En: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/proust.html>

Proust, J.L. (1806). Sur les mines de cobalt, nickel et autres. *Journal de Physique*, 63, 566-8. Translated by Maurice Crosland (From Maurice Crosland, ed., *The Science of Matter: a Historical Survey*). Harmondsworth, UK: Penguin, 1971). En: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/proust2.html>

Restivo, S. (1992). La ciencia moderna como problema social. *Fin de Siglo*, 3, 20-39.

Scerri, E.R. (1997). Has the periodic table successfully axiomatized. *Erkenntnis*, 47, 229-343.

Schneer, C.J. (1975). *Mente y materia*. Barcelona: Bruguera.

Tomasi, J. (1999). Towards "chemical congruence" of the models in theoretical Chemistry. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 5, 2, 79-115. En: <http://hyle.org/journal/issues/5-2/tomasi.html>

Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. Vol. 1. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

Vessuri, H.M.C. (1992). Perspectivas recientes en el estudio social de las ciencias. *Fin de Siglo*, 3, 40-52.