



PARA QUITARLE EL POLVO

Del modelo científico del flogisto al modelo de la oxidación. El concepto de frontera



Rómulo Gallego Badillo^{a,*}, Royman Pérez Miranda^a y Adriana Patricia Gallego Torres^b

^a Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C., Colombia

^b Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D.C., Colombia

Recibido el 15 de octubre de 2013; aceptado el 5 de marzo de 2015

Disponible en Internet el 6 de julio de 2015

PALABRAS CLAVE

Modelo científico;
El flogisto;
Oxidación;
El concepto de
frontera y revolución
científica

Resumen En este artículo se presenta el concepto de frontera geográfica y cultural como una analogía para construir una perspectiva diferente sobre un hecho histórico y su principal contribución a los orígenes de la química como una de las ciencias de la naturaleza. Está pensado a partir del origen del modelo del flogisto y de las razones que los químicos ingleses y alemanes tuvieron que admitir y aceptar durante el siglo XVIII. También se demostró que la propuesta de G. E. Stahl era una construcción conceptual y metodológica, que no puede ser abandonada por la «entelequia» simple para el oxígeno. Se ha hecho un análisis de la obra de A. L. Lavoisier con el fin de discutir la categoría de «revolución científica» de T. S. Kuhn, y se concluye que este paso no se puede asumir desde la perspectiva mencionada.

Derechos Reservados © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0.

KEYWORDS

Scientific model;
Phlogiston;
Oxidation;
Scientific revolution

Phlogiston scientific model to the oxidation model. The concept of border

Abstract This article presents the concept of geographical and cultural border as an analogy to construct a different perspective on a historical fact and its main contribution to the origins of Chemistry as one of the sciences of nature. It is thought up on the origin of the model of the Phlogiston and of the reasons English and German chemists had to admit and accept it during the 18th century. It is also demonstrated that the G. E. Stahl proposal was a conceptual and methodological construction, which cannot be abandoned by the simple “entelequia” for

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: rgallego@pedagogica.edu.co (R. Gallego Badillo).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

the oxygen. An analysis of A. L. Lavoisier work was done in order to discuss the category of "scientific Revolution" of T. S. Kuhn, and conclude, that this step cannot be assumed from the above mentioned perspective.

All Rights Reserved © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. This is an open access item distributed under the Creative Commons CC License BY-NC-ND 4.0.

Introducción

Para una comprensión histórica de lo que significó la formulación del modelo del flogisto, los cambios a los que dio origen en el pensamiento de los futuros químicos y el de la oxidación y sus consecuencias, se acude a la introducción del concepto geográfico y cultural de frontera. De conformidad con los estudiosos de los fenómenos que se presentan en las fronteras entre 2 regiones o países, que incluso hablan la misma lengua materna, y, por qué no, con las percepciones comunes y corrientes, se ha concluido que, asumiendo una delimitación este-oeste, por ejemplo, a la izquierda y a la derecha inmediata de esa frontera, los pobladores no pueden ser diferenciados en el uso significativo de la lengua, como tampoco en sus usos y costumbres. No obstante, si el estudioso de los fenómenos sociales y culturales fronterizos se desplaza y se interna en el lado izquierdo, tanto como en el derecho de la misma, concluirá que los significados, los usos y las costumbres cambian de manera progresiva.

Apelando a este concepto como una analogía admisible, se argumentará que el modelo del flogisto puede ser asumido como esa frontera que marcará una diferencia conceptual y metodológica de carácter histórico. En efecto, si se analiza hacia la «izquierda» de su formulación hacia atrás, en el pasado, hay que tener presente una evolución en las concepciones en las que es menester tener en cuenta a J. J. Becher (1635-1682), J. B. van Helmont (1577-1644) y T. P. A. B. von Hohenheim o T. B. von Hohenheim, Paracelso (1493-1541). Ahondando más en ese pasado, aparece el papel desempeñado por los alquimistas artesanos y sus concepciones de las que, incluso, es heredero G. E. Stahl (1660-1683).

En este orden de ideas es preciso discriminar los efectos de este modelo cuando se analiza hacia la «derecha», hacia ese futuro que creó para la praxis química que se deriva del modelo del flogisto. Por primera vez los químicos contaban con un modelo o teoría como se le conoce, para dar origen a una nueva praxis que comenzó a tomar distancia definitiva de las de esos alquimistas artesanos. No obstante, he aquí que, como consecuencia de la solución del problema técnico de la bomba impelente-expelente de Ctesibio de Alejandría (285 a. C.-222 a. C.), por parte de E. Torricelli (1608-1647) y V. Viviani (1622-1703), y posteriormente con los resultados del experimento de los Hemisferios de Magdeburgo, realizado por O. von Guericke (1602-1686), aparecen en escena R. Boyle (1627-1691) y R. Hooke (1635-1703). Sus trabajos dieron origen a la denominada «Química neumática» (Ihde, 1984) o Química de los gases. Seguirán entonces los trabajos de J. Black (1728-1799), H. Cavendish (1731-1810), J. Priestley (1733-1804) y C. W. Scheele (1742-1786).

En ese ir hacia el futuro, no se puede desconocer a H. Boerhave (1668-1738), quien fue el primero en declararse no partidario del modelo del flogisto, y por supuesto los denominados químicos de Oxford, R. Boyle, R. Hooke, J. Mayow (1641-1679) y R. Lower (1632-1691). Ese trabajo sistemático de la identificación de diferentes gases desembocó finalmente en el experimento del análisis síntesis del agua de A. L. Lavoisier (1743-1794), la formulación de la primera nomenclatura y en la redacción del texto *Tratado elemental de química*, que pueden ser considerados como las características de esa nueva frontera que establecerá un antes y un después en la praxis de quienes serán ya considerados como químicos. Seguirá, por supuesto, la creación del primer programa académico para la formación profesional de químicos, por parte de J. von Liebig (1803-1873).

Antecedentes del modelo del flogisto

Los postulados de Paracelso estuvieron basados en el supuesto alquímico de que los cuerpos estaban compuestos de 3 principios (la sal, el azufre y el mercurio), no siendo estos el compuesto y los elementos que posteriormente serán objeto de estudio de los químicos, puesto que para él los metales estaban constituidos por 2 principios, el azufre y el mercurio; la historia hará referencia a estos planteamientos, como la Química de los principios. Así, el principio mercurio, confería el brillo metálico y la fluidez, y el principio sulfúrico la combustibilidad. Estos planteamientos son conocidos como la doctrina de la «*Tría prima*» que, de alguna manera, está conectada con la de los elementos y principios de Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.). El mercurio se corresponde con el agua, lo frío y lo húmedo; el azufre, con lo seco y caliente, la inflamabilidad; y, la sal, con lo frío y seco, la tierra (Brock, 1998).

Por su parte, Paracelso dejó de lado la teoría humoral de los partidarios de Galeno. Su convencimiento lo proclamó no de manera diplomática, sino reclamando que cualquier afirmación acerca del origen de las enfermedades tenía que estar basada en resultados experimentales. Criticó a aquellos médicos y alquimistas que habían fracasado en la transmutación del plomo en oro y se habían volcado en la búsqueda de una medicina universal, la conocida panacea para todas las enfermedades de la humanidad. Sus reflexiones lo llevaron a crear una radical doctrina médica llamada «Yatroquímica», consistente en la aplicación de sustancias químicas específicas como láudano, mercurio, azufre, hierro, derivados del plomo, cinc, sales y arsénico, para tratar enfermedades también específicas. Sus propuestas se hallan contenidas en su *Enfermedades de los mineros*»

(Christianson, 1987). Se dice de él que escribió *Die grosse Wundartzney* (La gran cirugía).

Estos principios fueron rechazados por J. B. van Helmont, cuyas consideraciones fueron punto de partida para las elaboraciones de Boyle, por cuanto, si bien no de manera específica, dio entrada al pensamiento mecanicista y a una racionalidad en la que las descripciones de los resultados experimentales empezaron a sustituir el lenguaje confuso y enmarañado de los alquimistas. Sostuvo que solo podía haber 2 elementos, el aire y el agua, conclusión a la que llegó con su conocido experimento de los árboles, en el que el agua se transmutaba en tierra. De los resultados con otros trabajos como la disolución de material vegetal en ácido nítrico, estipuló que el proceso inverso era factible, la conversión de tierra en agua, de donde dedujo que la tierra no era un elemento puro (Schneer, 1975); es posible pensar que este es el origen temprano de la reversibilidad de lo que se denominará, en el futuro, reacción química. Es reconocido su ensayo sobre la combustión de madera en un recipiente cerrado en la que una explosión lo condujo a explicar el resultado obtenido en términos de pérdida de su «espíritu silvestre» (Schneer, 1975).

Una interpretación anacrónica de los aportes de van Helmont afirmaría que da inicio a la necesidad de fundamentar cualquier afirmación acerca de la constitución de la materialidad, acudiendo a resultados obtenidos en el laboratorio. Apelando a cuantificaciones, dedujo que la materia se conservaba en todos los cambios que sufriera. Es conocido su experimento con el sauce, en donde procedió cuidadosamente y con control de todos los detalles, con lo que inició lo que constituiría el método experimental. Fue perseguido por la Inquisición, que en 1625 le dio la casa por cárcel. Sus escritos fueron publicados después de su muerte. El más celebrado es *Ortus medicinae*, después de 1648, que fue traducido al inglés en 1662, con el título de *Oriatricke or physick refined*. Este libro influyó a los filósofos naturales del siglo XVII, entre ellos, Boyle y Newton. Agréguese que Van Helmont rechazó la doctrina aristotélica de los 4 elementos (Brock, 1998). Se le atribuye la creación del concepto «gas», para referirse a los cuerpos aeriformes.

R. Boyle fue partidario de la aproximación epistemológica empirista elaborada por F. Bacon (1561-1622). Su época se caracteriza por el renacimiento de la filosofía de los atomistas griegos. Se divulga la obra del alquimista árabe Jabir ibn Hayan (Geber), quien vivió hacia el 776 d. C., *Summa perfectionis*, en la que acude a los «minima naturalis», de Aristóteles. En 1473, se redescubre el libro de Lucrecio (99 a. C.-55 a. C.), *De rerum natura*, obra en la que expone la concepción atomista de esos filósofos. El principal defensor de esta mirada fue el francés P. Gassendi (1592-1655), en su libro de 1602, *Philosophiae epicuri syntagma* (Schneer, 1975).

Boyle fue partidario de la Alquimia exotérica y adelantó trabajos en este arte. En su *The sceptical chymist* critica la química peripatética derivada de las propuestas de Aristóteles, la espagiria de Paracelso y las elaboraciones de van Helmont sobre la concepción acerca de la sustanciación de las propiedades físicas y químicas, como formas y cualidades sustantivas preexistentes. Acepta la concepción particulista de la materia. Hay que anotar que, a mediados del siglo XVII, la filosofía mecanicista y corpuscular empezó a ser aceptada de manera progresiva. De origen irlandés, Boyle gozó de

una posición acomodada, a la vez que formó parte del grupo que contribuyó a la creación de la «Royal Society», como también a la institucionalización de la actividad científica (Echeverría, 1998; Fara, 2009; Bowler y Morus, 2007).

Sir I. Newton (1642-1727) durante gran parte de su actividad científica se ocupó de la Alquimia, tanto la exotérica como la esotérica o mística, y a la Química, influido, como ya se anotó, por van Helmont y Boyle. El escrito de Boyle que estudió Newton, que lo condujo a interesarse por estas 2 diferentes versiones de la Alquimia y que, además, lo llevó a una concepción atomística, fue *El origen de las formas y cualidades*, de 1666 (Christianson, 1987). Esa mirada corpuscular se encuentra expresada tanto en los «Principia» como en la «Óptica». En la primera apunta que el origen se encuentra en el agua; en la segunda anota que todas las cosas nacen del agua, las cuales después de procesos de putrefacción volvían a convertirse en agua. Se adscribió, sin reparos, a la filosofía corpuscular de Boyle, a la que le agregó los mecanismos de atracción y repulsión, con el fin de explicar las simpatías y antipatías químicas que las sustancias individuales ejercían entre sí (Brock, 1998).

Dado el prestigio que como filósofo natural fue adquiriendo Newton, la afinidad química se convirtió en una explicación de las razones por las cuales las sustancias se unían para formar compuestos. En consecuencia, químicos como E. Geoffroy (1672-1731) y T. Bergman (1735-1784) se dieron a la tarea de elaborar experimentalmente tablas de afinidades. El primero la presentó en 1718 a la «Académie des Sciences» de París y el segundo, en su *Disertación sobre atracciones selectivas*. La intencionalidad que hubo detrás de estos proyectos fue introducir las matemáticas en el discurso químico, proyecto que fracasó, dado que la formación de compuestos se resistía a explicaciones de carácter gravitacional (Stengers, 1989). Es preciso recordar que esta intencionalidad estuvo presente en el discípulo de I. Kant (1724-1804), J. B. Richter (1762-1807), formulador del concepto de estequiometría, en el texto que vio la luz en 3 tomos entre 1792 y 1793, *Principios de estequiometría o ciencia de medir los elementos*, en el que introduce el concepto de «pesos equivalentes» (Lockemann, 1960).

Del modelo del flogisto propiamente dicho

Si bien es problemático intentar una reconstrucción histórica (Lakatos, 1983) centrada en la biografía de los personajes que contribuyeron significativamente a la construcción de una disciplina científica (Kragh, 2007), se ha determinado presentar aquí una sucinta biografía del formulador del modelo del flogisto, nombre este último con el que es conocida la elaboración central de Georg Ernest Stahl. Nació en la ciudad alemana de Ansbach, en 1660 y murió en Berlín en 1734. Ejerció como profesor de Química y de Medicina en la Universidad de Halle, desde 1694 hasta 1716, Universidad en la que se graduó como médico en 1683. Se dice que el emperador de Prusia lo hizo su físico de cabecera. Algunos historiadores puntualizan que Stahl fue inicialmente alquimista (Schneer, 1975).

Se comparte la afirmación de que este modelo ha sido reducido y tergiversado por el hecho de que el problema histórico y epistemológico que presentó fue el del empleo de ese «elemento» hipotético denominado justamente

flogisto o flogistón; problema que sería resuelto cambiándolo por el oxígeno, con lo cual quedaría explicado el paso de este modelo al de la oxidación. Es preciso puntualizar el significado que tuvo la propuesta de Stahl para la construcción histórica de la Química como ciencia. Ella recoge y vincula, bajo una estructura conceptual sólida y lógicamente impecable, interrogantes acerca de la combustión y la oxidación y, por tanto, como prehistoria de lo que se conocerá como Química inorgánica.

Stahl ingresa a la historia de la Química, primero con la publicación, en 1697, de su *Zymotechnia fundamentalis (Classical papers)*, en la que se ocupa de explicar la fermentación de la cerveza, del vino y del pan. En ella hace una propuesta para mejorar la fundición de minerales. Se afirma que su modelo del flogisto se basó en una interpretación que hizo del texto *Physica subterranea* de J. J. Becher (1635-1682), de 1667. De Becher se dice que fundó en Viena una escuela técnica en el mismo año, para fomentar el comercio y la industria. Después se trasladó a Holanda, con la intención de desarrollar un proyecto que buscaba obtener oro a partir de la plata empleando arena del fondo del mar. Parece que murió en Londres, después de llevar a cabo una investigación sobre las técnicas mineras de Cornualles, Inglaterra (Brock, 1998).

Por otro lado, los historiadores registran que el texto en el que Stahl expuso su modelo sobre el flogisto es *Fundamenta chimiae dogmaticae et experimentalis*, de 1723, que gozó de gran divulgación y consulta (Lain y López, 1963) por parte de químicos reconocidos. Las referencias al modelo o la teoría del flogisto como se conoce en la historia de la Química se suelen centrar en este término, precisamente porque desde el trabajo de Lavoisier se ha supuesto que se trató de la simple sustitución del mismo por el oxígeno (Bensaude-Vincent, 1991). Stahl formula una teoría en la que por primera vez se establece una explicación para 2 procesos que hasta entonces se consideraban diferentes y que carecían de una conectividad explicativa: el de la combustión y el de la calcinación. En virtud de que el primero era propio de las sustancias de origen orgánico y que en algunos de ellos solo quedaban cenizas, con las que prácticamente no se podía elaborar una explicación inversa de carácter químico, su atención se desplazó al segundo, el de la calcinación o de producción de cal. Esta atención lo condujo igualmente a explicar el proceso contrario, el de la obtención de los respectivos metales a partir de sus cales, con lo cual introdujo por primera vez la idea de una supuesta reversibilidad (Brock, 1998; Schneer, 1960).

De la misma manera podría afirmarse que alcanzó la posibilidad de explicar estos 2 últimos procesos mediante una representación gráfica, que significará el preludio de lo que será, mucho más tarde, la de la reacción química. En efecto, muchos de los historiadores consultados coinciden en sintetizar la concepción de Stahl de la manera siguiente:

Cal más flogisto produce metal/Metal menos flogisto produce cal.

Puesto que Stahl identificó al carbón vegetal como flogisto puro, la primera representación-explicación que dio cuenta de manera satisfactoria los resultados de trabajadores de la minería que empleaban en sus procesos este carbón para la obtención de los metales correspondientes. Cayendo en anacronismos se diría que, desde una forzada perspectiva lakatosiana (Lakatos, 1983), el modelo del flogisto contó con

un apoyo empírico. Forzada, por cuanto era una explicación posterior y no obedecía a una predicción, cuando este lenguaje epistemológico ni siquiera se sospechaba, es más, cuando las reflexiones acerca de los fundamentos del conocimiento científico no eran objetos de unos especialistas que aparecerán mucho después.

Unos de los argumentos que se esgrimieron contra el modelo de Stahl es el del aumento de peso en la calcinación de los metales. Este problema ya había sido observado por Jean Rey (1552/3-1645), quien en 1630, sometió a un intenso calentamiento en un horno abierto y con agitación constante y sin agregar nada 2 libras y 6 onzas de «estaño inglés» (plomo); una vez enfriado obtuvo 13 libras y 2 onzas de una cal blanca. Al formularse la pregunta por este aumento de peso, concluyó que provenía del aire, lo que generó controversia puesto que para ese entonces el aire carecía prácticamente de peso. En el *Ensayo XVII* anotó, «*That it is not the disappearance of the celestial heat given life to de lead, or the death of the latter, which augments its weight on calcination*». En otras palabras, atribuía el aumento de peso en la calcinación del plomo a la pérdida de un calor celestial que ocurría en los animales muertos. En su tiempo aún tenían gran influencia las ideas de los alquimistas artesanos. En su *Essay sur la recherche de la cause pour laquelle léstain et le plomb calcinés augmenten de poids* confirmó que se debía a la influencia de aire. Agréguese que un ayudante de laboratorio de Boyle, de nombre Hankewitz, comunicó que el fósforo cuando era sometido a combustión también aumentaba de peso (Lockemann, 1960).

Por su parte, J. Mayow (1640-1679), con base en sus trabajos en «Química neumática», apuntó que en el aire se encontraba una sustancia única e independiente que se unía a los metales durante la calcinación, aumentando sus pesos; esta sustancia era la que lograba la conversión de sangre venosa en sangre arterial y que, además, estaba contenida en el salitre, por lo que lo llamó espíritu nitroaéreo. La participación del aire ya había sido puesta en discusión (Bensaude-Vincent, 1991; Lockemann, 1960). No obstante, y siguiendo su *Disertación sobre el flogisto*, estableció que el aumento de peso en la calcinación era un fenómeno general, no específico de algunos metales y que se debía a la naturaleza del flogisto, en especial a la característica que denominó «volatilidad esencial», la que supuso se correspondía con las ideas de la atracción gravitacional de Newton. Guyton de Morveau sugirió, entonces, que el flogisto debía proceder del fuego que calentaba los recipientes, que permeaba las paredes de esos recipientes, en el caso de la calcinación del mercurio. Este planteamiento fue decisivo para elaborar una explicación diferente, en la que no se acudiera a la pérdida o adición del flogisto.

La identificación y caracterización de los gases

Van Helmont fue el primero que se percató de la existencia de un gas en la combustión del carbón vegetal y lo denominó «espíritu silvestre». S. Hales (1677-1761), quien repitió los trabajos de van Helmont y midió cuidadosamente el volumen de cada uno de los «aires» desprendidos de diversas sustancias, lo denominó «aire estable». J. Black (1728-1799), en su trabajo con los carbonatos de calcio y magnesio, cuando lo hizo interactuar con ácidos obtuvo el mismo «aire» y le dio a

la denominación de «aire estable» de S. Hales (1677-17619) la de «aire fijo». Van Helmont puntualizó que se comportaba siguiendo la ley de Boyle-Mariotte (E. Mariotte, 1620-1684), y afirmó que carecía de peso. Si bien precipitó el carbonato de calcio haciendo burbujear este gas en una lechada de cal, no alcanzó a conceptualizar la idea de reacción reversible. H. Cavendish, por el contrario, pesó por primera vez la cantidad de «aire estable» que obtuvo a partir del mármol por medio de la acción de un ácido. Van Helmont fue el primero que se percató de la existencia de un gas en la combustión del carbón vegetal y lo denominó «espíritu silvestre». S. Hales (1677-1761), replicó los trabajos de van Helmont y midió cuidadosamente el volumen de cada uno de los «aires» desprendidos de diversas sustancias y lo denominó «aire estable».

Priestley, quien disponía de un laboratorio bien dotado para la época y lejano ya de las ideas de los alquimistas artesanos, aisló, conservó y determinó las propiedades de varios gases. Uno de ellos, al que dio el nombre de «aire desflogistizado» lo obtuvo en 1774, por la acción de la luz solar concentrada, sobre una botella que contenía cal roja de mercurio. En este aire un ratón podía vivir por largo tiempo, aparte de que avivaba la combustión. Aisló también el «aire nitroso» y el «vapor nitroso», entre otros. C. W. Scheele (1742-1786), de sus experimentos con los «aires», conceptuó que el aire ordinario estaba conformado por la mezcla de 2 fluidos diferentes, uno de los cuales no manifestaba atracción por el flogisto, mientras que el otro la sentía de una manera bastante acusada; llamó al primero «aire sucio» y al segundo «aire de fuego», el mismo que Priestley había llamado «aire desflogistizado» (Schneer, 1975; Lockemann, 1960).

En 1781, H. Cavendish hace arder el «aire inflamable» en el seno de un recipiente con «aire desflogistizado» y se percató de que sobre las paredes de la campana neumática se formaba un vaho húmedo. Propone entonces que se redefina el «aire desflogistizado» de Priestley como «agua desflogistizada», a lo que este último replica que es el «aire inflamable» el que es agua sobrecargada de flogisto y que en la combustión este flogisto es cedido al «aire desflogistizado». Se podría afirmar sin caer en anacronismos que A. L. Lavoisier recogió y sistematizó en un modelo científico, que pasó a la historia como un ejemplo de revolución científica, esta categoría epistemológica que es hoy objeto de críticas por parte de los historiadores de las ciencias (Bowler y Morus, 2007).

Téngase en cuenta que R. Watson (1737-1816), en 1789, escribió varios ensayos en los que trató de explicar las propiedades del flogisto. En su *Ensayo IV, Del fuego, azufre y flogisto, ensayo químico*, publicado en Londres, por T. Evans, se refiere al fuego como un agente de la naturaleza que sirve para calentar los cuerpos y que dilata en ocasiones todos los órganos, ya sean estos sólidos o líquidos o luz dura o pesada. Durante la combustión del azufre identificó un vapor abundante de naturaleza ácida, que afectaba la vista, el olfato y la acción de los pulmones. Estos vapores no podían ser quemados. Dedujo que el ácido no podía ser la única parte constituyente del azufre, ya que algo más debía de haber entrado en su composición que hacía posible su combustión. Este algo debía ser su propiedad más notable, la comida del fuego, el principio inflamable, el flogisto. Si se toma como referencia el año 1775, el de la conferencia de

Lavoisier en la Academia de Ciencias, en la que sustenta la «*Naturaleza del principio que se une a los metales y les hace aumentar de peso*», entonces, este «*Ensayo*» constituye una muestra de lo arraigado que estaba entre los especialistas el modelo del flogisto.

El modelo de la oxidación

Antoine Laurent Lavoisier nace en París el 27 de agosto de 1743. El 8 de mayo de 1794, el Tribunal revolucionario, junto con 27 cobradores de impuesto, acusados de «un complot destinado a favorecer por todos los medios posibles la victoria de los enemigos de Francia», son declarados culpables y sentenciados a muerte. En la tarde de ese mismo día, son guillotizados en la Plaza de la Revolución (Bensaude-Vincente, 1998). Hijo de un abogado que ocupaba el cargo de procurador del Parlamento parisino, el Tribunal más importante de Francia, obtuvo el título de nobleza de «*Conseiller-Secrétaire*». La madre, que procedía también de una acomodada familia de juristas, murió cuando Lavoisier solo tenía 5 años. Estudió durante 9 años en el Collège Mazarin, y se graduó de abogado. Uno de los amigos de la familia, el geólogo J. É. Guettard (1715-1786), dado el interés manifiesto de Lavoisier por las ciencias de la naturaleza, le aconsejó, cuando aún asistía al Collège Mazarin, que se matriculara en un curso divulgativo de Química que impartía G. F. Rouelle (1703-1770), un químico que trabajó sobre la urea y al que se le reconoce como profesor de quienes serán posteriormente químicos destacados (Brock, 1998). En 1771, Lavoisier cimentó su posición de socio de la «*Ferme Générale*», al casarse con Marie Anne Pierrette Paultze (1758-1836), que a la sazón contaba con 14 años de edad; hija de otro socio de dicha «*Ferme*». Ella se convirtió en su secretaria y ayudante personal, y aprendió inglés para traducirle las publicaciones de Priestley y Cavendish, como también el libro *Essay on phlogiston* de R. Kirwan (1735-1812).

Lavoisier registra los resultados de su actividad científica con una serie de publicaciones. En 1765, *Memoria del análisis del Yeso*; en 1772, *Experimentos sobre la calcinación*, que entregó en sobre lacrado a la Academia de Ciencias; en 1773, *Calcinación del plomo y del estaño en una retorta*; en 1783, *Memoria de la composición del agua y Reflexión acerca del flogisto*; en 1785, *Experimento de síntesis y análisis del agua*; en 1787, *Méthode de nomenclature chimique*; y, en 1789, *Traité élémentaire de Chymie présenté dans un order nouveau et d'après les découvertes modernes*.

Lavoisier contó con la colaboración de P. S. de Laplace (1749-1827) y después se le unieron A. E. Furcroy (1755-1809) en ese proyecto que emprendió y que para entenderlo es menester incorporar reflexiones acerca de los fundamentos tecnológicos que venían de los alquimistas artesanos; asimismo con Cl. Berthollet (1748-1822) y G. de Morveau (1786-1816), sin dejar de lado a los constructores de balanzas y a otros ingenieros, sin los cuales su trabajo no sería explicable. Lavoisier lideró un colectivo de especialistas. Hay que traer a colación la afirmación de que supuestamente se propuso ser el Newton de la Química. Añádase que I. Newton da a conocer su *Principios matemáticos de filosofía natural* en 1687 y su *Óptica* en 1704.

Muchos autores de textos didácticos suelen afirmar que A. L. Lavoisier introdujo la balanza en las investigaciones

químicas. Es una tergiversación histórica que desconoce que esta ya era parte de los instrumentos de laboratorio de los alquimistas artesanos (Fara, 2009), aun cuando él le dio un nuevo significado a su uso, convirtiéndolo en un instrumento científico. Se asevera que, como consecuencia de su papel como recolector de impuestos, adquirió la metódica de un contable, esto es de revisar los «debes», los «haber» y los «saldos», de manera metódica. Esta actitud la trasladó a la actividad que guiaba sus propósitos (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Por otro lado, se ha afirmado que Lavoisier introdujo en la práctica química la metodología cuantitativa, otro error histórico, dado que esta ya venía siendo empleada por químicos como Cavendish y Priestley con la utilización de los empleados para la volumetría.

Antes de analizar la reconocida «revolución científica» llevada a cabo por Lavoisier, es preciso anotar que su trabajo experimental contra la idea de la transmutación del agua en tierra heredada de los alquimistas fue en el que demostró que el peso del precipitado originado por ebullición del agua era equivalente al peso perdido por el recipiente de vidrio; para ese tiempo las técnicas de fabricación de los instrumentos de vidrio tenían esa calidad. En 1772 repitió el ensayo realizado en Florencia en 1694, por G. Averani (1662-1738) y C. A. Targioni (1672-1748), en el que en el foco de un espejo ustorio colocó un diamante para volatilizarlo y obtuvo el mismo «aire fijo», de Hales, Black y Cavendish. Concluyó que el diamante era carbono.

Lavoisier emprende su trabajo repitiendo la experiencia sobre el aumento de peso del azufre e interpretándolo en términos del papel desempeñado por el oxígeno. Para asegurarse la prioridad de su autoría, en 1772 la envía en sobre lacrado a la Academia de Ciencias, aun cuando parece que no se hallaba en posesión de un convencimiento demostrable. Algunos historiadores de la Química (Lockemann, 1960) afirman que en 1774, Priestley, quien había llegado a París como secretario de Lord Shelburn, asistió a una comida que Lavoisier y Marie Anne ofrecieron a los viajeros y a la que asistieron varios sabios parisienses. En ella, Priestley refirió con detalle sus ensayos con el «aire desflogistizado», obtenido a partir del rojo «praecipitatus per se» y describió las extraordinarias propiedades de dicho «aire». Lavoisier repitió con su mentalidad de contable paso a paso y de manera metódica los ensayos de Priestley. El año siguiente, 1775, dio una conferencia en esta Academia que tituló «Acerca de la naturaleza del principio que se une a los metales en la calcinación y les hace aumentar de peso». En ella no hizo reconocimiento alguno de Priestley, de Scheele ni de P. Bayen (Lockemann, 1960).

Sin embargo, tardó varios años en liberarse completamente de las ideas que procedían de los alquimistas artesanos (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997), ya que consideró inicialmente que el «aire del fuego» o «aire desflogistizado» era una combinación del «principio acidificante» o «principio oxígeno» con la sustancia del calor. El lector no ha de confundir este «principio oxígeno» con el elemento «oxígeno». Lavoisier se halla aún en la «Química de los principios», reflejada en su comunicación de 1777, *De la combustión en general* (Bensaude-Vincent, 1998), por lo que reducir el proceso histórico a un simple remplazo del «principio flogisto» por el «principio oxígeno», deja de lado toda la complejidad que ello significó.

Enuncia la Ley de la conservación de los pesos en las reacciones químicas. Es posible que para ello acudiera a la analogía de la balanza en equilibrio, en la que los pesos de los reactantes, en el platillo de la «izquierda», son equivalentes a los de los productos, en el platillo de la «derecha». Establece una representación algebraica de la reacción química, posiblemente con la asesoría de P. S. de Laplace. Esta matemática será introducida en las explicaciones químicas. Propondrá también una concepción de «elemento», de carácter operacional, ya que especificará que es aquella «sustancia simple» que no es posible descomponer en el laboratorio en otras más elementales (Bensaude-Vincent, 1989). Esta noción aparece por primera vez en la historia de la Química en 1661, con una connotación distinta de la aristotélica, en *Chymista scepticus* de Boyle, en la que se refiere a ciertos cuerpos primitivos y simples en los que no hay mezclas y que no son productos de otros (Schneer, 1975). Ha de resaltar, para evitar equívocos históricos y conceptuales, que el concepto de elemento químico que se maneja en Química tiene su origen, con las modificaciones posteriores, en la tabla periódica de D. Mendeléiev (1834-1907).

No obstante, es la conceptualización operacional de «elemento» de Lavoisier (Brock, 1998) la que habría de posibilitar una representación específica de las reacciones químicas. Para que esta fuera ajustada en términos de pesos como la equivalencia del número de moles de reactantes y de productos, habrá que esperar a la propuesta que llevó al congreso celebrado en la ciudad alemana de Karlsruhe, en 1860, S. Cannizzaro (1826-1910), una de cuyas consecuencias fue la admisión definitiva de la «Hipótesis de Avogadro» (1776-1856), según una reconstrucción histórica que se ha adelantado (Gallego Badillo, Gallego Torres y Pérez Miranda, 2012). Los autores de esta reconstrucción, con propósitos didácticos, se atreven a proponer el supuesto principio de esa representación.

Cal más flogisto produce el metal/Oxido metálico más carbón vegetal produce el metal más bióxido de carbono.

Metal menos flogisto produce cal/Metal más oxígeno produce óxido del metal.

«Aire inflamable» más «Aire desflogistizado» produce agua/Hidrógeno más oxígeno produce agua.

El interrogante que surge es el que pregunta, en relación con el modelo del flogisto ¿en qué consistió el modelo de la oxidación o del oxígeno? Responder que tuvo una estructura conceptual y metodológica del primero carece de argumentos. Podría afirmarse que se restringió, primero, a la simple sustitución del flogisto por el oxígeno, que entró a explicar con otros argumentos los fenómenos de combustión y oxidación, introduciendo la relación cuantitativa de los pesos de los reactantes y de los productos. Lo extendió en su afirmación de que todos los ácidos contenían oxígeno, acorde con el nombre que le dio a esta sustancia simple. Más allá, si bien se le ha asignado aquí la categoría de modelo científico, al final se piensa que no tuvo las características epistemológicas para ser considerado como tal.

¿Una revolución científica?

La categoría epistemológica de «revolución científica» propuesta por T. S. Kuhn (1972) ha sido objeto de crítica por parte de investigadores en la historia de las ciencias (Bowler

y Morus, 2007), y en este caso Kuhn trae como ejemplo ilustrativo el trabajo científico realizado por Lavoisier. Estos historiadores sostienen que del esfuerzo llevado a cabo por Lavoisier, muy poco del mismo pasó a la posteridad. Se señala que su propuesta de que todos los ácidos estaban conformados por oxígeno fue echada abajo con la determinación de la composición del cloruro de hidrógeno. Otro hecho fallido fue que en su propuesta de nomenclatura incluyó el «calórico» como una de estas sustancias elementales.

Se ha dejado para este párrafo, el «experimento» realizado con Laplace en 1783, frente a los miembros de la Academia de Ciencias y otras personalidades, con el cual demostraron que el agua no es una «sustancia simple», dado que está compuesta, peso a peso, de «aire inflamable» y de «aire vital» o «aire desflogistado», momento este en el que al primero denominan hidrógeno y al segundo oxígeno. Luego, en 1785, dada la capacidad histriónica de Lavoisier, lleva a cabo tanto el análisis como la síntesis del agua, con la que reafirma que esta es un «elemento». He aquí que Lavoisier establece para los químicos una metodología, la de la dialéctica del análisis-síntesis (Gallego Badillo, Pérez Miranda y Torres de Gallego, 1995; Hoffmann, 1997).

Hay que subrayar la ya mencionada propuesta de la primera nomenclatura, que da a conocer en 1787, y, finalmente, el *Tratado elemental* de 1789. Estas 2 realizaciones demarcarán una nueva frontera, puesto que la comunidad de especialistas empezará a hablar un nuevo lenguaje químico, como también a desarrollar una nueva actitud frente a la pregunta sobre la composición de la materialidad del mundo. El primer lindero es posicionado por G. Stahl, mientras que el segundo lo es por A. L. Lavoisier. No habrá vuelta al pasado, sino un futuro por construir. El primero en declararse antiflogista fue H. Boerhaave (1668-1738), al que le siguió J. Black.

Palabras finales

Las lecturas hoy olvidadas acerca de la historia de la construcción de la Química como una de las ciencias de la naturaleza han sido pervertidas por una versión reducida didácticamente a sus aspectos meramente técnicos. Por otro lado, al modelo de Stahl se le atribuyó como elemento central y único ese hipotético artificio explicativo que él llamo flogisto, algo que es un gran equívoco. En este sentido, se transmite la idea de que el papel de Lavoisier fue reemplazarlo por el oxígeno. Ambos modelos pasaron a ser parte de la historia de la Química. No obstante, con el modelo de la oxidación o del oxígeno, Lavoisier enseñó a los químicos que debían concentrar su atención en el peso, el número y la medición. Así, al terminar el siglo XVIII, J. B. Richter (1762-1807), desde la creencia de que «Todo ha sido ordenado por Dios según medida, número y peso», tomada del «Libro de la Sabiduría», Cap. XI, v., 22, crea la «Estequiometría o ciencia de medir los elementos químicos», que consigna en 3 tomos, entre 1792 y 1793 (Lockemann, 1960).

En esta línea de pensamiento, J. L. Proust (1755-1826) establecerá la constancia de la composición de los compuestos, con la Ley de las proporciones definidas o constantes (*Classical papers*), en oposición a C. L. Berthollet (1748-1822) que la negaba. J. Dalton (1776-1844) en 1807, publica su *A new system of chemical philosophy* en el que, expone

su modelo atómico en los capítulos «Acerca de la constitución de los cuerpos» y «Acerca de la composición química». En 1804, Dalton enuncia la Ley de las proporciones múltiples, la tercera a partir de la cual fue posible que en la segunda mitad del siglo XIX, con la construcción de la Química estructural, esta actividad fuera admitida socialmente y adquiriera el estatuto institucional. La cuarta Ley es la formulada por J. L. Gay-Lussac (1787-1850). Para explicar esta Ley que aparentemente contenía una extraña aritmética, A. Avogadro (1776-1856) formuló en 1811, el «Principio o Ley» que lleva su nombre (Lockemann, 1960). Sin embargo, su importancia no será reconocida sino después del Congreso de Karlsruhe (Gallego Badillo et al., 2012).

Hay que destacar que el *Tratado elemental* introdujo un cambio en la versión de Química que se convertía en objeto de enseñanza. Y, se supone en esta comunicación, que cambió la labor didáctica desempeñada por Gay-Lussac en la Escuela Politécnica y en el Jardín de Plantas; de L. J. Thénard (1777-1857), decano de la Facultad de Ciencia de París; y M. Berthelot (1827-1907), profesor del Colegio de Francia, de la Escuela de Farmacia, entre otros (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Estos personajes se constituyeron como líderes en la enseñanza de esa nueva actitud frente al proceso de producción de conocimiento químico, establecido por Lavoisier. Su resonancia alcanzará la década de los cuarenta del siglo XIX, cuando J. von Liebig (1803-1873) organizará el primer programa académico para la formación profesional de químicos, que incorporará la tradición de los alquimistas artesanos de que la química se construye a partir de una inmersión de muchas horas diarias en el «Laboratorium».

Por tanto, se ha demostrado que el concepto geográfico-cultural de frontera puede resultar significativo para una explicación no habitual de la reconstrucción histórica del desarrollo de cada uno de los eventos que contribuyeron a la constitución de una ciencia en particular, en este caso, la Química. Se es del parecer que se trasciende la aproximación evolutiva darwiniana de S. Tolulmin (1977) y podría abrir el camino para reconstrucciones históricas de esta ciencia, no marcadas por la reducción fiscalista (Lombardi y Pérez, 2010), cambio de paradigma (Kuhn, 1972) o abandono de programas de investigación que se hicieron regresivos (Lakatos, 1983).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Bensaude-Vincent, B. (1991). *Lavoisier: una revolución científica*. En M. Serres (Ed.), *Historia de las ciencias* (pp. 410-435). Madrid: Cátedra.
- Bensaude-Vincent, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison-Wesley.
- 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.
- Christianson, G. E. (1987). *Newton (1)*. Barcelona: Salvat.
- Echeverría, J. (1998). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.
- Fara, P. (2009). *Breve historia de la ciencia*. Madrid: Ariel.

- Gallego Badillo, R., Gallego Torres, A. P. y Pérez Miranda, R. (2012). El Congreso de Karlsruhe. Los inicios de una comunidad científica. *Educación Química*, 23(Extr. 2), 280-289.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R. y Torres de Gallego, L. N. (1995). La química como ciencia: una propuesta constructivista. *Química, Actualidad y Futuro*, 5(1), 55-63.
- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ihde, A. J. (1984). *The development of modern chemistry*. New York: Dover.
- Kragh, H. (2007). *Introducción a la historia de la ciencia*. Madrid: Crítica.
- Kuhn, T. S. (1972). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lain, P. y López, J. M. (1963). *Panorama histórico de la ciencia moderna*. Madrid: Guadarrama.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- 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: J. A. Chamizo (Coord.), *Historia y filosofía de la química* (pp. 195-209). México: Siglo Veintiuno.
- Schneer, C. J. (1975). *Mente y materia*. Barcelona: Bruguera.
- Stengers, I. (1989). La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII. En M. Serres (Ed.), *Historia de las ciencias* (pp. 317-361). Madrid: Cátedra.