

Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química¹

*History of science in science education:
The case of the chemical reaction*

HENRY GIOVANY CABRERA CASTILLO

Universidad del Valle | Cali, Colombia

EDWIN GERMÁN GARCÍA ARTEAGA

Universidad del Valle | Cali, Colombia

RESUMEN El artículo presenta un análisis histórico-epistemológico del concepto de reacción química correspondiente a los siglos XVIII y principios del XIX desde una perspectiva sociocultural del conocimiento con fines educativos. Se hace énfasis en la pregunta por el contenido fundamental de la química, la experimentación asociada y los procesos de organización del conocimiento científico, ya que permitirá identificar cuál es la concepción de ciencia implícita en el desarrollo de este concepto durante la actividad científica de su construcción. En este sentido se destaca la importancia de utilizar la historia de la química para la elaboración de propuestas alternativas para la enseñanza de las ciencias como es la modelización de la reacción química, dado que al identificar el análisis histórico permitirá plantear estrategias metodológicas para lograr transformaciones en el aprendizaje de los estudiantes.

Palabras clave reacción química – enseñanza de las ciencias – historia de las ciencias.

ABSTRACT *This papers presents an epistemological-historical analysis of the concept of chemical reaction in the eighteenth and early-nineteenth centuries from a sociocultural perspective of knowledge for educational purposes. Emphasis is placed on the question of the basic content of chemistry, experiments and associated organizational processes of scientific knowledge, since it will identify which is the conception of science implicit in the development of such concept in the scientific activity of its construction. In this sense, the paper emphasizes the importance of using the history of chemistry for the development of alternative proposals for teaching subjects such as the modeling of the chemical reaction, given that singling out the historical analysis enables one to raise methodological strategies to achieve changes in student learning.*

Keywords *chemical reaction – science teaching – history of science.*

Historia da la ciencia en la educación científica: el caso de la reacción química

Pensar la historia de las ciencias (HC) con una mirada educativa permite identificar aportes para la elaboración de propuestas alternas de enseñanza, buscando con esto que el docente tanto en formación inicial como en servicio logre familiarizarse con la HC, de tal manera que contribuya en el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias y particularmente la enseñanza de la química.

En función de lo anterior, este trabajo se ubica específicamente en la historia de la química y tomaremos como objeto de análisis el concepto reacción química, ya que es considerado fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química. ¿Qué implicaciones para la enseñanza de la reacción química podemos obtener a partir de su estructura histórica? Pues bien, conocer la estructura histórica del desarrollo del concepto científico consiste en abordar la historia de los conceptos científicos bajo la mirada educativa a través del planteamiento de preguntas como ¿Qué científicos jugaron un papel fundamental en el desarrollo histórico de la reacción química? ¿Cuáles son los conceptos que están relacionados con la reacción química? ¿Qué elementos fueron olvidados o no son tenidos en cuenta en la actualidad cuando se enseña reacción química? ¿Cuál es la experimentación asociada?

El sentido de la historia de las ciencias

La importancia de la historia y la epistemología de la ciencia es cada vez más evidente en la didáctica de las ciencias. La reflexión que orienta la filosofía de la ciencia, en cuanto a la pregunta por la naturaleza de la ciencia y la actividad científica, está marcada por corrientes de pensamiento que la determinan y cuya incidencia es evidente en los procesos de enseñanza de las ciencias. La naturaleza de la actividad científica en cuanto a sus fundamentos (¿Qué es la ciencia?) y razón de ser en la dinámica social, y sobre el conocimiento científico mismo, ¿Cómo se producen las teorías? ¿En qué consiste el progreso científico? ¿Cómo es la estructura general de la realidad? ¿Qué papel juega el experimento? ¿Qué se entiende por una teoría científica? ¿Cuál es el objeto de la ciencia? ¿Qué ha de entenderse por evidencia científica? ¿Cuál es el valor de las demostraciones científicas? ¿Cuál es la función de las instituciones científicas? ¿Cuál es la naturaleza del conocimiento científico? ¿Cómo se valida o institucionaliza una ley o una teoría?³ Se ha convertido en una fuente inagotable de exploración, que además de los filósofos de la ciencia ha involucrado otros profesionales como sociólogos, lingüistas, psicólogos, antropólogos, historiadores y por supuesto didácticas de las ciencias. En últimas, es establecer como se considera el conocimiento científico y cuál es la concepción de ciencia en juego.

La respuesta a estas preguntas ha promovido el surgimiento de corrientes filosóficas con orientaciones y enfoques diferentes, aunque algunas de ellas poco reconocidas en las investigaciones en didáctica de las ciencias. Existen dos posturas claramente diferenciadas y excluyentes entre sí en aspectos clave como son los conceptos de verdad y realidad; el positivismo lógico y el socioculturalismo⁴. Para la postura positivista, la ciencia es el producto de la actividad científica, el conocimiento es verdadero, objetivo e incuestionable, las leyes y teorías son verdades establecidas que hacen referencia a hechos reales, descubiertos en la naturaleza. Desde la otra postura, la ciencia es una actividad humana y cultural, el conocimiento es una construcción que se valida y se legitima socialmente, las leyes y teorías responden a un proceso de elaboración que depende del contexto sociocultural en el que surgen. Los hechos son construcciones que responden a modelos mentales que los representan y las verdades son relativas e inherentes a los contextos que las producen⁵. La concepción más divulgada y seguramente la que más impacto ha generado en la educación científica a nivel de formación universitaria es el positivismo lógico, sin embargo en el marco de esta presentación se hace énfasis en la perspectiva sociocultural.

El papel de la historia de las ciencias en la enseñanza

La HC que suele ser presentada en los textos de enseñanza corresponde a descripciones de tipo cronológico, lineal y secuencial del desarrollo de la ciencia. Imagen que si bien ubica espacio-temporalmente a la persona, logros y hazañas de descubrimientos científicos, no permite conocer los procesos de organización y experimentación que realizaron los científicos ni los contextos sociales en los que se realizaron. Este tipo de historia es criticada por los historiadores como Kuhn, para quien los libros de texto tergiversan el sentido de la historia y hacen que se maneje una imagen de ciencia como una constelación de hechos, teorías y métodos y que no se corresponde con las preocupaciones e intereses que han movido el conocimiento científico a lo largo de su desarrollo. Al respecto dice:

es inevitable que la finalidad de esos libros sea persuasiva y pedagógica; un concepto de la ciencia que se obtenga de ellos no tendrá más probabilidad que ajustarse al ideal que los produjo, que la imagen que pueda obtenerse de una cultura nacional mediante un folleto turístico o un texto para el aprendizaje de un idioma⁶.

Más adelante afirma: “La historia de la ciencia se convierte en una disciplina que relata y registra esos incrementos de hechos sucesivos y los obstáculos que han inhibido su acumulación”⁷ y luego invita a que: “Los nuevos historiadores y textos que hacen uso de la historia, comiencen a plantear nuevos tipos de preguntas y a trazar líneas diferentes de desarrollo para las ciencias en las que no se tenga en cuenta lo acumulativo”⁸.

En las investigaciones recientes sobre el problema de la enseñanza de las ciencias, algunos autores asumen como preocupación el papel de la historia con fines pedagógicos en los que los aportes de la historia y la epistemología de las ciencias permiten esclarecer las características fundamentales de la ciencia y el trabajo científico. En este sentido se hace significativo hacer un uso de la historia que permita reconstruir los procesos de las ciencias. A nivel de la enseñanza de las ciencias la obra de Kuhn no produjo efectos inmediatos. No fue sino hasta la década de 1980 cuando empiezan a aparecer investigaciones en enseñanza de las ciencias que consideraban importante la necesidad de incorporar la HC en los planes de estudio y programas curriculares⁹.

Pero ¿con qué fin se incorpora la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias? Al hacer una revisión a la literatura existente se encuentra que son tan variados sus usos como las intencionalidades que los orientan¹⁰; permiten recrear situaciones y vivencias, mejorar la comprensión de los conceptos y de teorías de la física, transformar la concepción de ciencia y promover un entendimiento de las relaciones entre ciencia, cultura y sociedad, avanzar en la contextualización de saberes, caracterizar los métodos de investigación y determinar las influencias sociales e ideologías entre muchos otros¹¹. Para algunos, la HC no pasa de ser parte de “la moda actual” sin ningún fundamento ni reflexión sistemática. La historia que se presenta es anecdótica y cronológica, donde lo importante es registrar las fechas en que se hicieron los aportes, ubicar local y cronológicamente el autor, reseñar las anécdotas que lo llevaron a un descubrimiento o al planteamiento de una determinada teoría y dejar constancia de los errores. Para otros la HC permite una mejor comprensión de los conceptos científicos, un mejor entendimiento de los conceptos y teorías de la física, una comprensión de los obstáculos y posibles dificultades de los estudiantes, una concepción de ciencia como empresa colectiva e histórica, un entendimiento de las relaciones ciencia cultura y sociedad¹². En este sentido la ciencia, su enseñanza y aprendizaje puede ser tratado como un sistema complejo que supone en mayor o menor medida una reconstrucción de la actividad intelectual de los científicos¹³ que justifica su aplicación en la enseñanza de las ciencias en muchos aspectos, dentro de los que se destacan los mecanismos de producción de conocimientos y de su filosofía. Sin embargo, se debe tener cuidado al momento de recurrir a la HC, ya que una de las principales tendencias que puede conducir a juicios históricos erróneos es la visión anacrónica del pasado, según la cual se estudia y se valida a la luz del presente. Su contrapartida, la visión diacrónica, consiste en estudiar la ciencia del pasado de acuerdo a las condiciones que existían realmente en ese pasado. Así pues la historia que se utiliza en didáctica de las ciencias ha de ser la historia que surge del trabajo de los historiadores, procurando huir del anacronismo y de la hagiografía¹⁴.

Por su parte, la incorporación de la HC en los libros de texto parece ser más lenta que las investigaciones que la orientan. Los textos no parecen reconocer los aportes de las investigaciones a pesar de consideraciones importantes como la de Kragh¹⁵ para quien la investigación histórica, sobre todo la que tiene como fin último proporcionar recursos docentes para la enseñanza de las ciencias, necesita estar soportada en una estructura, una “trama” epistemológica, metodológica y contextual que le dé sentido al proceso histórico y facilite una visión didáctica y global de dicho proceso. Investigadores como Izquierdo, Audúriz Bravo y Quintanilla¹⁶, Guisasola, Zubimendi, Almundi, y Ceberio¹⁷ y García¹⁸ evidencian la importancia de discutir un modelo para introducir la HC en la formación del profesorado. Además los estudios muestran que el desconocimiento por parte de los libros de texto de la historia de los conceptos y la epistemología de las ciencias son un impedimento en la real comprensión de los fenómenos físicos o químicos.

Existen otros aportes de los historiadores de la ciencia que sugieren reconocer que la ciencia es una manifestación más de la cultura de los pueblos, con sus peculiaridades como cualquier hecho cultural y que el “conocer”, en cuanto actividad social, está unido a las condiciones sociales de los individuos que lo llevan a cabo¹⁹ y sujeta entre otras cosas a las controversias de toda actividad intelectual²⁰. Estas propuestas sugieren una relación diferente con los libros de texto que hacen uso de la HC. Ya no es relevante la ubicación espacio-temporal del científico, lo importante ahora son sus preocupaciones e intereses y como ellas sirven de base para construir significativamente los conceptos. Recurrir a la historia y filosofía de las ciencias en la formación del profesorado es un recurso para afrontar la mejora del interés por la ciencia, para despertar el espíritu crítico ante los hechos en que la ciencia está involucrada y para manifestar que es una forma más de la cultura. La HC se utiliza como respuesta a la necesidad de erradicar esta imagen estereotipada de la ciencia y su método de trabajo, para dar paso a una más realista acerca del quehacer científico y posibilitar un pensamiento crítico en el estudiante, necesario para actuar en la sociedad. En este sentido, el uso de la historia y filosofía de la ciencia hace posible que los estudiantes construyan una amplia red de relaciones entre la producción científica y contexto social, económico y político²¹. Puede ser también una vía para superar las dificultades que se presentan al tratar de darle un contenido cultural a las enseñanzas científicas, que a su vez aporten contenidos provechosos para atender los requerimientos cada vez más acuciantes e irreversibles de la multiculturalidad y la transdisciplinariedad²².

301

Es necesario entonces, que el ciudadano del siglo XXI no solo conozca ciencia sino que comprenda como es creada y validada, como se desenvuelve a través de la historia y como se relaciona con el medio social y cultural. En este sentido el enfoque sociocultural incorpora la HC en la educación científica como parte de la formación de una conciencia ciudadana en los estudiantes.

Un aspecto que no se puede pasar por alto al referirse a la HC es la aportación que desde ella se hace a la contextualización de saberes, métodos, influencias sociales e ideológicas de todo tipo (políticas, científicas, religiosas, económicas...) de donde se hace fundamental la manera como nos relacionamos con el conocimiento, no con los contenidos ni las teorías, sino con la experiencia misma que nos permite comprender los fenómenos físicos y construir explicaciones que sean significativas desde nuestras propias preocupaciones e intereses²³.

Tener un conocimiento de las dificultades y problemas que se detectan en el análisis histórico permiten plantear estrategias metodológicas para lograr los cambios conceptuales en los estudiantes. Por lo tanto se busca con este uso de la historia superar la metodología de transmisión verbal empleada en la enseñanza habitual, lo que le implica ahora al docente involucrarse en la actividad misma de la ciencia; conocer los aspectos fundamentales de las teorías, el desarrollo y el contexto de los conceptos que pretende enseñar. En este sentido puede asumir un papel protagónico, de mayor intervención como mediador que es entre la cultura científica y la cultura común.

Enseñar ciencias

En los últimos años hemos encontrado trabajos y publicaciones en torno a los problemas que presenta la enseñanza de las ciencias en nuestros colegios y universidades. Los nuevos enfoques o tendencias pedagógicas coinciden

en considerar que la enseñanza que tradicionalmente se imparte en la secundaria y los niveles introductorios en la universidad no resulta significativa para el estudiante, pues parece que ésta fuera un recetario que el profesor le da al alumno en paquetes de contenidos que éste debe asimilar en forma incuestionable, creando así, una visión que lleva al estudiante a pensar que la ciencia consiste en una serie de verdades absolutas e incontrovertibles. Ya es un consenso en la investigación sostener que "...este enfoque tradicional está tan remoto del mundo del mundo en que viven los estudiantes que éstos deciden que la mayor parte del asunto... es bastante irrelevante"²⁴.

Ante esta situación pareciera que la enseñanza de la ciencia no tuviera otra opción que a divulgar los productos de la llamada "comunidad científica" y los estudiantes mantener su rol de entes pasivos ante la verdad de la ciencia, donde lo único que toca es copiarla o aprenderla a como dé lugar, para no atrasar sus estudios, o pensar cómo piensan ahora: que la ciencia es un asunto abstracto ininteligible y carente de significado para su vida.

El papel del maestro como mediador entre la cultura científica y la cultura de nuestros pueblos resulta decisivo en la difusión de la imagen de ciencia que orienta a sus estudiantes. Un maestro formado para impartir el conocimiento disciplinar, a través de contenidos teóricos, repitiendo las "verdades de la ciencia" genera una imagen de ciencia como un producto acabado e incontrovertible, donde todo está dado y lo único posible es repetir y adquirir habilidad en el manejo de algoritmos matemáticos así estos no posean significado alguno. En este sentido caben algunas preguntas que invitan a la reflexión sobre nuestro quehacer como maestros y nos permiten cuestionar el alcance de su papel como divulgador: ¿Es consciente el maestro del significado, supuestos que subyacen e implicaciones de los conceptos que enseña? ¿Reflexiona sobre el sentido de la enseñanza de las ciencias en el ámbito escolar donde se encuentra? ¿Posee una imagen epistemológica, ontológica e histórica de los conceptos que enseña de tal manera que pueda dar cuenta del campo fenoménico a los que dichos conceptos hace referencia?

Es precisamente ante estas problemáticas que en los últimos años se han venido adelantando muchas investigaciones que buscan transformar esa imagen de ciencia difundida en los colegios y universidades y dar una nueva orientación a la enseñanza de las mismas. Una enseñanza más flexible, donde la ciencia tenga sentido y sea relevante para la persona, una ciencia que haga parte de la cultura y responda a problemas y preocupaciones de la misma. Una enseñanza que posibilite una apropiación racional y crítica de la ciencia, que permita un acceso a la actividad científica y que hagan inteligibles y le den sentido al conocimiento. En este sentido algunos enfoques en la actualidad investigan en aspectos como preconcepciones, esquemas alternativos, cambio conceptual, constructivismo, ecología del pensamiento.

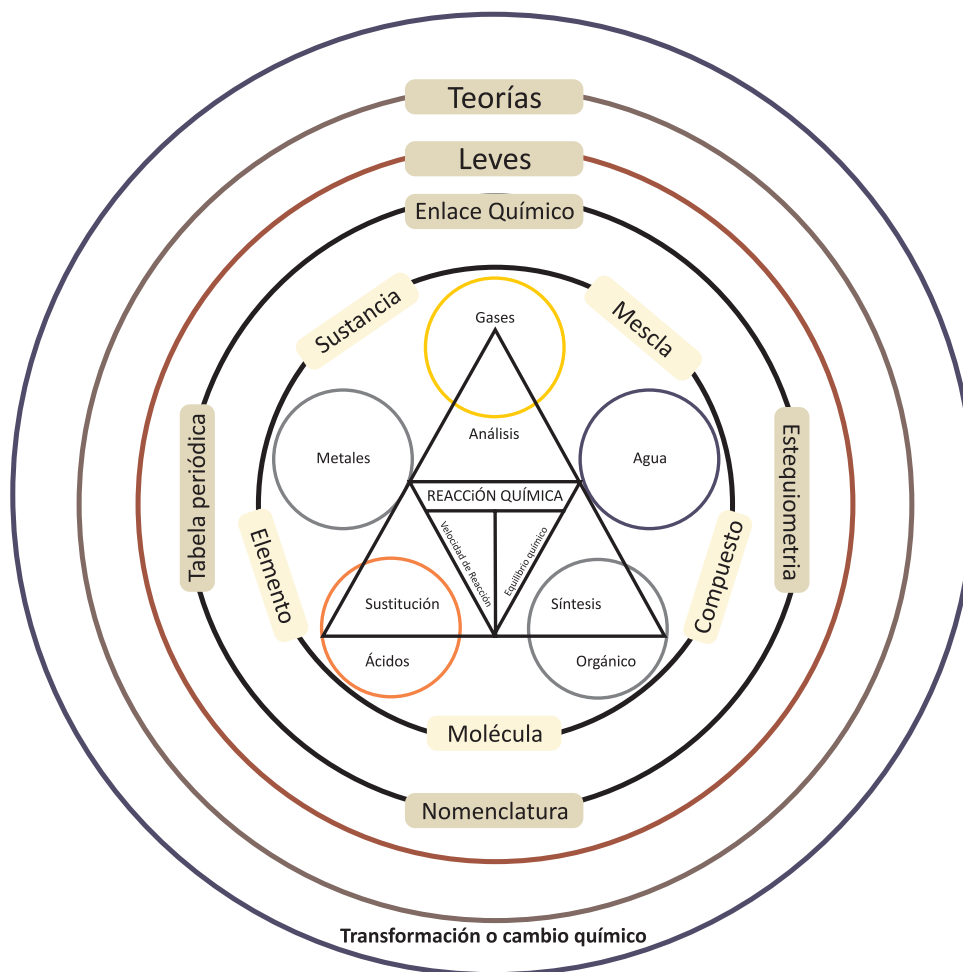
El presente trabajo aporta elementos para un modelo de enseñanza desde una concepción constructivista del conocimiento. En este sentido el estudiante es asumido con formas de pensar y explicarse las cosas de acuerdo con sus esquemas mentales y formas de mirar el mundo, de tal manera que pueda tener una apropiación más racional de la ciencia, acorde con su realidad, pues... "quien se acerca más al conocimiento de la realidad sino es quien interactúa con ella, la construye y la transforma"²⁵.

Desde este enfoque el maestro juega un papel importante en tanto que considera el quehacer de la ciencia como una actividad cultural y por lo tanto ligada a los problemas de dicha cultura en los que busca aportar elementos para su progreso y desarrollo. El maestro se debe reconocer como un sujeto histórico y cognoscente, que puede transformar y ser generador de cambio.

Análisis histórico-epistemológico de la reacción química

Cuando se intenta elaborar un modelo que integre las partes que conformaron el desarrollo de la reacción química entre el siglo XVIII y parte del siglo XIX, obtendríamos lo que podemos ver en la Figura 1.

Figura 1. Panorama histórico de la reacción química entre los siglos XVIII y XIX²⁶.



En ella se identifica que uno de los pilares relacionados con la reacción química y que favoreció el desarrollo de la química fueron los *gases*, por ejemplo, Stephen Hales (1677 – 1761) en los experimentos que presentó en su libro *Vegetable Staticks* (1777) logró recoger por medio de la cuba hidroneumática el aire que se desprendía del calentamiento de sólidos y líquidos, aunque él no logró diferenciar los gases químicamente, “proporciono un aparato que habría de ser de gran valor a los investigadores que le siguieron en el campo de la química de los gases”²⁷.

Por su parte Joseph Black (1728-1799) demostró que “el aire fijo” (dióxido de carbono) que se libera de la *magnesia alba* (carbonato de magnesio) tenía propiedades diferentes del aire atmosférico ordinario en sus propiedades y densidad. Su obra logró “eliminar la idea de Van Helmont de que los gases no podían intervenir en las reacciones químicas, abriendo así el camino a un nuevo modo de estudiar las sustancias”²⁸.

Para el caso de Georg Ernest Stahl (1659-1743) existían tres agentes mecánicos fundamentales para el cambio de propiedades químicas (la mixtión química): 1. El *fuego* (ponía en movimiento la tierra flogística). 2. El *aire* (arrastraba las partes más volátiles de los cuerpos). 3. El *agua* (como disolvente ponía en movimiento las partes de la disolución).

Mientras que la *tierra* era un principio constitutivo de la mixtión química y se componía de la tierra vitrificable (la solidez con peso de los minerales), la tierra grasa o flogística (ligera e inflamable) y la tierra mercurial o metálica (proporciona a los metales su maleabilidad y su brillo). De estas a la que consideraba muy importante era la tierra grasa y para entenderla se dedicó a estudiar lo relacionado con la combustión y la calcinación. A esta tierra grasa o principio inflamable la denominó flogisto y correspondía al componente esencial de todos los cuerpos combustibles que al quemarse lo liberaban.

Henry Cavendish (1731-1810) aisló y caracterizó el “aire inflamable” (hidrógeno) “este lo obtuvo tratando cinc, hierro o estaño con ácidos diluidos, midió las cantidades de gas producidas por pesos iguales de los distintos metales y determinó con gran exactitud el peso específico del hidrogeno por métodos diferentes. Las notables propiedades de este gas lo llevaron a sugerir que podría tratarse de flogisto puro, ya que, como la mayoría de sus contemporáneos, Cavendish era flogisticista. . . Estas investigaciones constituyeron la primera aplicación de los métodos cuantitativos a los gases, y mostraron que sus propiedades físicas tenían tanta importancia como las químicas”²⁹.

Otros científicos fueron Carl Wilhelm Scheele (1742- 1786) que con sus experimentos identificó al oxígeno; y, Joseph Priestley (1733-1804) quien logró aislar e identificar lo que actualmente llamamos ácido clorhídrico, el gas amoníaco, el gas sulfuroso, el ácido sulfhídrico, el etileno y el nitrógeno al cual llamaba “aire flogistizado”, cabe recordar que “uno de los primeros gases estudiados por Priestley fue el “aire nitroso” (óxido nítrico), que él preparó tratando ciertos metales con “espíritu de nitro” (ácido nítrico). Le interesó en alto grado el hecho de que se formase un gas soluble de color pardo cuando el “aire nitroso” se mezclaba con el “aire común”, y observó que si se gastaba parte del aire por respiración o por combustión, decrecía la cantidad de gas pardo formado a partir del aire nitroso. De esto dedujo que dicha cantidad de gas pardo venía a ser una medida de la “pureza relativa” del aire. Para determinar esta pureza construyó un aparato, el eudiómetro, cuyo nombre deriva de dos voces griegas y cuyo significado es “medida de la bondad del aire”³⁰.

Como pudimos leer, los aportes experimentales que se realizaron con los gases permitieron interpretar que el aire se podía “fijar” y sobre todo fue el comienzo de la química neumática un factor clave de la revolución química del siglo XVIII.

Continuando con la descripción de los pilares que aparecen en la Figura 1, es ahora el momento de reconocer que otras de las reacciones químicas que más llamaban la atención eran aquellas que ocurrían con los *metales* (calcinación del *precipitado rojo de mercurio* u óxido de mercurio rojo), aquí nuevamente aparece en escena Priestley ya que hacia 1774 “consiguió una lente convergente de gran tamaño, y empezó a estudiar los gases que se desprendían al someter distintas sustancias a la elevada temperatura que aquel instrumento podía producir. Entre las sustancias estudiadas se encontraba el *mercurio calcinatus per se* y el “precipitado rojo” que en realidad eran la misma cosa, óxido de mercurio”³¹.

Otro científico que trabajó con este metal fue Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794)³² y al revisar su memoria titulada *Sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso* se encuentra lo siguiente: El propósito que se planteó Lavoisier para demostrar que el aumento de peso y la formación de cales (óxidos) a partir de la calcinación se debía a la unión de la “*porción más pura y más solubre del aire*” con los metales; en función de este propósito él empieza a desarrollar diversos instrumentos, materiales y sobre todo orientó la búsqueda de las cales necesarias para poder realizar el experimento, esto lo hace explícito cuando dice: “. . . para desentrañar el misterio de la reducción de las cales metálicas, utilizar en todas mis experiencias las cales que son susceptibles de reducción sin adición”³³.

Planteado ese propósito, Lavoisier emprende la descripción de dos experimentos, en los cuales se hace evidente el modelo instrumental que permite comprender el funcionamiento de los instrumentos, las cantidades necesarias para realizar el experimento y sobre todo, los pasos que debe seguir para obtener resultados más precisos.

Con el primer experimento, buscó asegurarse que el mercurio precipitado *per se* era una verdadera cal metálica y que daba los mismos resultados al adicionarle flogisto, por ello describe:

*mezcle 1 onza (unos 30 gramos) de esta cal con 48 granos (unos 2,5 gramos) de carbón en polvo, e introduje todo en una pequeña retorta de vidrio de, cuanto más, unas 2 pulgadas cúbicas (unos 40 mililitros) de capacidad, que puse en un horno de reverbero proporcionado a su tamaño. El cuello de la retorta tenía más o menos 1 pie (32 centímetros) de largo y de 3 a 4 líneas (6 a 8 milímetros) de diámetro, había sido acotado en diferentes sitios con una lámpara de esmaltador, y su extremidad estaba dispuesta de modo que podía ponerse debajo de una campana de vidrio bastante grande, que estaba bastante llena de agua [...]*³⁴.

Los resultados que logró Lavoisier fueron que el aire obtenido:

1° es susceptible de combinarse con el agua por agitación y de comunicar al agua todas las propiedades de las aguas acídulas, gaseosas o aéreas, tales como son las de Selk, de progues, de Bussang, de Pymont, etc.; 2° provoca la muerte de los animales que se ponen en él; 3° las bujías y, en general, todos los cuerpos combustibles, se extinguen al instante en él, 4° precipita el agua de cal; 5° se combina con gran facilidad con los álcalis, sean fijos o volátiles, quitándoles su causticidad y dándoles la propiedad de cristalizar³⁵.

Lavoisier después de asegurarse que el mercurio precipitado *per se* era una cal, prosiguió con el segundo experimento con la intención de examinar esa cal aisladamente, reducirla sin adición y ver si desprendía un fluido elástico (gas) para determinar su naturaleza, en este caso:

puso en una retorta, también de dos pulgadas cúbicas de capacidad, 1 onza (unos 30 gramos) de mercurio precipitado per se, sin ningún agregado; dispuso el aparato en la misma forma que para el experimento anterior y procedió de modo que todas las circunstancias fueran exactamente las mismas. Esta vez la reducción se hizo un poco más difícilmente que por la adición de carbón; requirió más calor, y no hubo efecto sensible hasta que la retorta comenzó a enrojecer ligeramente; entonces el aire se desprendió y, poco a poco, paso a la campana. Manteniendo la misma fuerza del fuego durante dos horas y media, se redujo la totalidad del mercurio [...]³⁶.

Al igual que con el experimento anterior, los resultados le permitieron decir que el aire:

1° no era susceptible de combinarse con el agua por agitación; 2° no precipitaba el agua de cal, sino que apenas la enturbiaba; 3° no se unía con los álcalis fijos ni volátiles; 4° en nada disminuía su calidad cáustica; 5° pude servir para calcinar los metales otra vez; 6° en fin, no tenía ninguna de las propiedades del aire fijo; lejos de matar, como él, a los animales, parecía, por el contrario, muy apropiado para mantener su respiración [...]³⁷.

De los resultados obtenidos con los dos experimentos, concluye que no todas las cales metálicas se reducen; el aire obtenido en el segundo experimento es más respirable, más combustible, y, más puro que el aire que respiramos; en último lugar, dice que "parece probado que el principio que se combina con los metales durante la calcinación, y que aumenta su peso, no es otra cosa que la porción más pura del aire que nos envuelve y que respiramos, el que pasa, en esta operación, del estado de expansibilidad al de solidez"³⁸.

La cita anterior se podría catalogar como contundente en las pretensiones que tenía Lavoisier, ya que sirve como fundamento para postular al *oxígeno* como el principio que participa activamente en la combustión, calcinación, corrosión, reducción, respiración y fermentación.

Finalmente, al leer los dos experimentos se identifica que dentro del procedimiento material Lavoisier utilizó lentes, cales (de hierro y de mercurio precipitado *per se*), campanas de vidrio, retorta (recipiente de vidrio), horno de reverbero, lámpara de esmaltador y herrada (cubo de madera con grandes aros de hierro) los cuales eran diseñados por él de acuerdo a las necesidades que tenía. En la Figura 2 se señalan algunos de ellos.

La química desde 1770 y con el trabajo riguroso de Lavoisier promovió el uso de la experimentación como un elemento clave en el estudio de hechos y fenómenos, como por ejemplo, la combustión orgánica e inorgánica, la calcinación y la corrosión de los metales. Con esto se destaca que

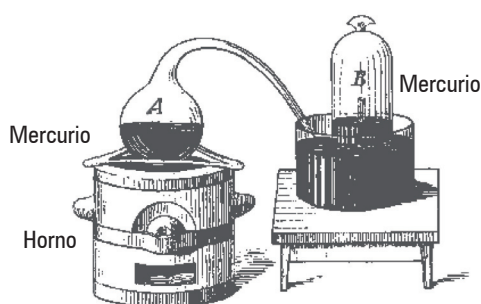


Figura 2. Montaje usado por Lavoisier para calentar mercurio.³⁹

fue el siglo XVIII un momento clave en el desarrollo de la química ya que marca una ruptura entre quienes la ejercían de forma cualitativa y se conformaban solamente con las explicaciones, y aquellos como Lavoisier quien pretendía demostrar sistemáticamente a través de lo que él llama experiencias lo que estaba ocurriendo en la naturaleza o el sistema investigado.

Continuando con la revisión de la Figura 1 encontramos que los *ácidos* (obtención de *gas hidrogeno sulfurado* o ácido sulfhídrico a partir de la reacción entre hidrogeno y azufre) y los fenómenos *orgánicos* (fermentación, transpiración y respiración) también integraron e hicieron parte de las reacciones químicas estudiadas.

Todos los adelantos que se llevaban a cabo en función de los metales, los ácidos y lo orgánico, llegaban a Lavoisier a través de conversaciones, cartas y presentaciones y es así como inicia una ardua labor del análisis del yeso (sulfato de calcio bihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), gases, la combustión, la calcinación, los ácidos, sin embargo, es el trabajo con el *agua* el que podría catalogarse como el paso definitivo hacia la consecución de su propósito por atacar el flogisto e iniciar una transformación en el pensamiento de sus colegas, en otras palabras se podría decir que hacia 1783 Pierre-Simon Laplace (1749-1827) y Lavoisier: "tras abrir los grifos de los dos depósitos de gas, recogieron algunas gotas de agua en el tubo de un embudo, . . . , tras doce años de trabajos diversos sembrando dudas acerca de las bases de la química de los elementos, ésta fue la "gota de agua" que apago el flogisto"⁴⁰.

Otro hecho que se destaca en la transición entre la teoría del flogisto defendida por Stahl y la teoría de la oxigenación argumentada por Lavoisier, fue que los partidarios del modelo de Stahl sostenían que el flogisto era como un "espíritu" que entraba y salía de los cuerpos que estaban en combustión, sin embargo, esta teoría no explicaba satisfactoriamente el aumento del peso en la calcinación de los metales, frente a esto Lavoisier dijo:

[...] los químicos han hecho del flogisto un principio vago que no ha sido rigurosamente definido y por lo tanto se adapta a todas las explicaciones en que se lo quiera utilizar; tan pronto es pesado como no lo es; tanto es el fuego libre como el fuego combinado con el elemento terroso; tanto pasa por los poros de los vasos, como éstos le resultan impermeables. Explica a la vez la causticidad y la no causticidad, la diafanidad y la opacidad, los colores y la falta de color. Es un Proteo que cambia de forma a cada instante⁴¹.

Lo anterior le sirvió a Lavoisier para considerar la explicación que realizaban los partidarios del flogisto al aumento de peso de los metales como una anomalía e inicia un proyecto de investigación arduo con el propósito de explicar de forma categórica lo que allí ocurría, de esta manera, encomienda la elaboración y el perfeccionamiento de instrumentos especiales para poder llevar a cabo sus experimentos con lo cual llegaría a la negación del flogisto e inicia su camino el oxígeno⁴².

Destaquemos que el camino que emprendió el oxígeno estuvo acompañado por la aparición de novedades en el lenguaje, en el pensamiento, en la forma de proceder e interpretar las experiencias que se realizan al interior de la comunidad científica, gracias a la publicación del *Méthode de Nomenclature Chimique* (1787), el *Traité Élémentaire de Chimie* (1789), y la publicación de los *Annales de Chimie* (1789), por ejemplo, paulatinamente reemplazaron en sus publicaciones términos como espíritu del vitriolo, azafrán de Marte y álcali volátil cáustico por ácido sulfúrico, óxido de hierro y amoníaco respectivamente.

Lo anterior sirve para destacar el papel de la *nomenclatura*, es decir, después de la publicación de los libros y la revista mencionada, existía el afán o premura de conocer los nombres de los productos de las reacciones que llevaban a cabo en las investigaciones que realizaban personajes como Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), Claude Louis Berthollet (1748-1822), Lavoisier y Antoine-François de Fourcroy (1755-1809), por ello los químicos iniciaron la adquisición de este nuevo lenguaje para poder comprender lo que se publicaba y sobre todo para establecer una comunicación fluida entre ellos.

Esto también trajo consigo el uso de las *fórmulas* que servían para denotar la constitución y la cantidad. El sentido con el que las utilizamos actualmente, se dio hacia la década de 1830 gracias a Jöns Jacob Berzelius (1779-1849) e

inmediatamente los químicos se vieron en la necesidad de elaborar *ecuaciones químicas* para representar las reacciones químicas que llevaban a cabo con los experimentos realizados en los laboratorios.

Debido a que los químicos querían obtener respeto de los partidarios de ciencias como la física y la matemática, aparece en escena Jeremias Benjamin Richter (1762-1807) en 1792 con su tesis doctoral asesorada por Kant donde pretendía introducir la matemática a la química es por ello que surge la propuesta de utilizar la *estequiometría* con el propósito de medir las proporciones cuantitativas de los elementos químicos que interactúan en las reacciones químicas, es decir, que buscaba las relaciones aritméticas de la química⁴³.

Teniendo en cuenta que el análisis de las reacciones químicas iba permitiendo el descubrimiento de nuevas sustancias, elementos y sobre todo se hacía necesario enseñar el conocimiento químico que manejaban en la época, Dmitri Mendeléiev (1834-1907) se vio evocado a elaborar el libro *Principles of Chemistry* (1869) donde establecía la ley periódica como un principio de organización que serviría para clasificar en la *tabla periódica* los elementos existentes y aquellos que estaban por descubrirse.

Hacia 1881 aparece en escena Jacobus Henricus van `t Hoff (1852-1911) con preocupaciones sobre cómo y por qué la mayoría de compuestos orgánicos siendo inertes producían reacciones, esto lo llevo a adentrarse en el estudio de la cinética química o dinámica química como también era conocida. Junto a ello emerge en el plano científico la *velocidad de reacción* y el *equilibrio químico* como procesos que se evidencian en las reacciones químicas.

También en la Figura 1, observamos el concepto *enlace químico*, el cual tiene su origen en el término afinidad química, sobre éste, personajes como Bergman realizaron tablas para explicarlas y Berzelius propuso una teoría de combinación química, para explicar los átomos que se combinaban.

Amplíemos un poco el concepto *enlace químico* y aquellos científicos que participaron en su consolidación. Los intereses de los "químicos" en los primeros años del siglo XX fueron los mecanismos de reacción, con esto se demuestra que la preocupación por los aspectos inobservables ha sido fundamental para el avance de las ciencias. Este interés lleva a la formulación del enlace químico (inicialmente el iónico) y que lo posiciona como la clave hacia la nueva química. Cabe destacar que en estos primeros años el enlace químico para los químicos era una simple línea, pero comprender cómo los enlaces se formaban, rompían y reorganizaban era esencial tener una imagen detallada y concreta del enlace químico en términos de estructura química⁴⁴.

El primer personaje que aparece en escena es el alemán Richard Abegg (1869-1910) con su propuesta sobre la teoría de la valencia, con esta teoría, propuso en sus trabajos investigativos que la diferencia entre la máxima valencia positiva y la máxima valencia negativa de un elemento tiende a ser ocho.

La teoría de electrovalencia propuesta por Abegg sostenía que cada elemento tenía un número máximo definido de valencias principales (o positivas o negativas) y también un cierto número de contravalencias (con signo opuesto a las valencias principales), la suma de las dos fue siempre ocho. Los enlaces entre un átomo electropositivo y un átomo electronegativo se formaban por acción simultánea entre una valencia negativa y una valencia positiva. Pero si ambos átomos eran electronegativos o electropositivos, era necesario poner en juego el signo de la contravalencia⁴⁵.

El segundo personaje fue Joseph John Thomson (1856-1940) quien también realizó una propuesta del enlace químico en su libro *The corpuscular theory of matter* (1907) y especialmente en su artículo *The forces between atoms and chemical affinity* (1914). Otro aporte por el que se lo conoce es por el diseño del modelo atómico de pudín de pasas, sin embargo, hay que aclarar que este modelo cuando es usado analógicamente tanto por profesores como en los libros de texto, tiende a ser distorsionado y muy distante del propuesto por J. J. Thomson ya que lo presentan de manera estática⁴⁶.

Diversos científicos, entre ellos Gilbert Newton Lewis (1875-1946), empiezan a identificar problemas anomalías como:

- Los numerosos elementos que formaban menos compuestos con el número máximo de enlaces, por ejemplo, sin completar el octeto.

- Compuestos de dos elementos electronegativos o electropositivos, como Cl_2 o NCl_3 , también le traían problema, ya que en este tipo de compuestos ambos octetos no se podían completar al mismo tiempo.

- No fue tanto el átomo cúbico per se lo que resultó problemático, sino la premisa básica detrás de él – que los octetos se podrían llenar sólo por transferencia de electrones, por ejemplo, que todas los enlaces eran polares. Los problemas que preocupaban a Lewis fueron precisamente los que en 1913-1914 a él y a otros los llevó a adoptar puntos de vista dualistas que además del enlace polar habitual también debía existir un enlace no polar especial

Esto lleva por un lado a William Crowell Bray (1879-1946) y G. Branch a plantear la compartición de electrones pero manteniendo elementos teóricos del enlace iónico y por otro a W. C. Arsem a sostener que el enlace no polar se daba por la compartición de un electrón entre los dos átomos que conformaban la molécula. Por su parte Alfred Locke Parson concebía la idea de que las fuerzas responsables del enlace químico no eran eléctricas sino magnéticas, esto lo llevo a proponer la teoría del magnetón. El átomo de Parson consistía de una esfera positiva Thomsoniana en la cual los magnetones eran arreglados no en un anillo concéntrico sino en las esquinas de octetos cúbicos. Propuso tres tipos de enlace el positivo (no polar), neutro (polar) y negativo.

Lewis basado en el modelo del magnetón del átomo de Parson le sirvió para “postular que la formación de pares de electrones o la “regla de dos”, como él lo llamaba, fue un principio del enlace más importante que la regla de ocho”⁴⁷.

La primera puesta en escena del enlace covalente por parte de Lewis se dio con la publicación del artículo *The Atom and the Molecule* (1916), posteriormente aparecen una serie de publicaciones entre 1919 y 1921 en colaboración con Irving Langmuir (1881-1957), hasta que publica su obra cumbre *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*, esto es lo que le permite a Jensen⁴⁸ postularlo como el precursor de la tercera revolución química relacionada explícitamente con el aspecto eléctrico o nanoscopico.

Las ideas principales que se pueden extraer del texto anterior son las siguientes:

1. El enlace de compartición del par-electrón.
2. La continuidad y polarización del tipo de enlace
3. La relación entre polaridad y electronegatividad en el enlace
4. El efecto inductivo
5. La definición del ácido-base de Lewis
6. Las limitaciones de la regla del octeto
7. La interpretación electrónica de los radicales libres
8. El enlace coordinado y las estructuras de oxianiones
9. La importancia del enlace de hidrogeno

Era absurda la idea propuesta por Lewis sobre la compartición de electrones en el enlace covalente ya que solo se concebía la transferencia total de electrones en los enlaces iónicos, de igual manera no se aceptaba la idea que dos electrones negativos se atraieran entre sí⁴⁹.

Al igual que Lavoisier, Lewis podría ser considerado como un irreverente en el campo de la química ya que gracias a sus habilidades y creatividad fue capaz de formular una propuesta alterna al tipo de enlace con el cual explicaban lo que ocurría al interior de las reacciones químicas, es decir, que sus hallazgos experimentales le permitieron argumentar la existencia de la compartición de electrones (enlace covalente) a diferencia de la transferencia de electrones en los átomos reaccionantes (enlace iónico).

En la caracterización, explicación y comprensión de la reacción química se han establecido leyes (Ley conservación de la masa de Lavoisier, Ley de las proporciones recíprocas de Richter, Ley de proporciones múltiples de Dalton, Ley

de los volúmenes de los gases de Gay-Lusac, Ley periódica de Mendeleiev) y se han elaborado y consolidado teorías (atómica, cinética, electrónica de los enlaces).

Podemos decir entonces que la reacción química como programa de investigación atravesó tres momentos:

1. El *análisis*, que había sido instaurado por Lavoisier por medio de su libro *Tratado Elemental de Química* donde los esfuerzos se encaminaban hacia la descomposición, identificación y clasificación de los cuerpos y la balanza es el instrumento preferiblemente utilizado. Como ejemplo tenemos a Fourcroy con el uso del análisis gravimétrico con la ayuda del ácido sulfhídrico para detectar las huellas de plomo en el vino; Berthollet inicio el análisis volumétrico para controlar la cantidad de cloro en la lejía (hipoclorito de sodio – $NaClO$); Liebig analiza compuestos orgánicos a través de un aparato de combustión que preparó y sobre todo el método de análisis orgánico revolucionario que utilizó.
2. La *sustitución*, se denomina de esta manera el hecho de reemplazar elementos dentro de los compuestos orgánicos y es tanto su potencial que da origen a la química orgánica. Por ejemplo, reemplazar un átomo de hidrogeno por un átomo de cloro en un hidrocarburo.
3. La *síntesis*, que podría catalogarse como la fabricación y producción de nuevas moléculas, nuevas sustancias y nuevos materiales ya sea partiendo de elementos (hidrogeno, carbono, nitrógeno) o partiendo de otros compuestos más simples, por ejemplo se destaca la síntesis de la urea a partir de cianatos (obtenido por la oxidación de un cianuro presente en los cuernos y pezuñas de los animales) alcanzada por Friedrich Wöhler (1800-1882) en 1828 el cual es catalogado como uno de los experimentos más bellos en la historia de la química según la *American Chemical Society*⁵⁰ y la *Royal Society*⁵¹.

Finalmente cabe resaltar que en el desarrollo de estos tres momentos, la reacción química como programa de investigación permitió la aparición y uso continuo de conceptos como *sustancia*, *elemento*, *compuesto*, *mezcla* y *molécula*, sin embargo, es necesario aclarar que su uso no corresponde a lo que actualmente conocemos.

309

Implicaciones pedagógicas

Con el uso de la HC lo que se persigue va más allá de un uso adecuado de la teoría – ya sea en la solución de problemas o explicación de fenómenos – o de una comprensión adecuada de la misma. Se tiene la firme convicción de que la actividad científica es una actividad cultural que se desarrolla en torno a la comprensión del mundo y depende, por lo tanto, de las personas que ejercen dicha actividad. En este sentido el conocimiento de la química se establece en la necesidad de construir una imagen en torno al fenómeno de reacción química que responda a criterios de organización del individuo, que pueda confrontar y socializar con su entorno. En consecuencia, no hay, en sentido estricto, conocimiento separable de los individuos y colectividades que lo producen o generan significados, que pueda ser transmitido y usado.

Construir el fenómeno a partir de la organización de la experiencia sensible plantea una serie de problemas cuando nos referimos a las reacciones química, ya que en nuestra cotidianidad hay una experiencia significativa que podamos evocar. En el caso del presente artículo brindamos elementos para construir la experiencia sensible y elaborar parámetros para orientar la construcción de la reacción química como tal.

A este respecto, llama la atención como usualmente la experiencia sensible que sirve de referente a la presentación del fenómeno se la muestra en los textos correspondiendo o ajustándose de manera directa al argumento teórico. Al introducir el concepto de reacción química, por ejemplo, se suele acudir a los las teorías de Lewis o en el mejor de los casos a aspectos históricos aislados de Lavoisier, pero la experiencia realizada se la presenta como si se acomodara directa y perfectamente con el enunciado que los reaccionan y se transforman las sustancias de acuerdo

con modelos explicativos preestablecidos. Los presupuestos que son base de la organización de la experiencia sensible son omitidos, por eso nuestro esfuerzo de mostrar aspectos historico-epistemológicos que no suelen ser considerados: estas formas de presentación de la experiencia no se distinguen entre la hipótesis y el hecho, entre el enunciado teórico y la experiencia sensible, entre la organización y lo organizado, dándole de esta manera un carácter realista a las teorías. Y es entendible que ello ocurra, dada la intencionalidad que anima a la mayoría de los textos de química: presentar los resultados, los puntos de llegada. La separación entre experiencia sensible y formas de organización se torna imprescindible cuando se trata de involucrarse en la actividad de organizar, construir y ampliar su experiencia en torno a una clase de fenómenos.

En contraste con la anterior imagen de ciencia no se busca encontrar en la historia los saltos cualitativos más importantes en el desarrollo de las teorías científicas, sino que se centra la actividad en elaborar a partir del análisis de los escritos originales una recontextualización y organización de los fenómenos de acuerdo a los intereses y necesidades por parte de quien hace uso de la historia. Por ejemplo, si analizamos con detalle como Lavoisier promovió el uso de la experimentación como un elemento clave en el estudio de hechos y fenómenos para la combustión orgánica e inorgánica, la calcinación y la corrosión de los metales, encontramos una preocupación importante por la actividad misma, esto es la experimentación. La manera de abordar los escritos originales desde esta imagen de ciencia hace posible construir historia y validarla en un contexto particular. La historia deja de ser objetiva y única, es decir deja de ser ahistórica. En este sentido el maestro se reconoce a sí mismo como sujeto cognoscente capaz de intervenir en el desarrollo del conocimiento, transformarlo y enriquecerlo de acuerdo a sus necesidades particulares. Se pierde la relación de exterioridad y se entra en un plano en el que sus acciones son determinantes para la orientación de la enseñanza de las ciencias en el contexto particular donde se desempeña. El maestro es constructor de conocimiento científico.

El trabajo, por ejemplo de Lavoisier con la cuba neumática es una muestra clara del tipo de relación que se asume con la historia y lo que se analiza en los escritos originales. Los historiadores y quienes divulgan el conocimiento científico se refieren a Lavoisier como la persona que aportó sobre combustión, pero poco se ha destacado la importancia de la experimentación con la cuba neumática para la posterior teoría de la combustión, importancia que se hace explícita y manifiesta en esta investigación debido a la necesidad particular de construir y darle sentido a los fenómenos químicos.

En la propuesta que se presenta se pretende generar condiciones que favorezcan una nueva relación frente al conocimiento, en la que sea posible organizar y ampliar la experiencia y en esa medida establecer una relación de diálogo con los aportes de otros pensadores y con la información que circula en nuestro medio. Dentro del enfoque que nos orienta se aborda el conocimiento como una construcción de sentidos, significados y de explicaciones, en la que se pone de presente una imagen de ciencia como actividad cultural. Ello implica, según nuestra perspectiva, elaborar formas de organización de acuerdo a las preocupaciones individuales en torno a los fenómenos abordados. Dichas formas de organización son dinámicas y se transforman en la medida que se amplían las explicaciones. En este enfoque el compromiso no es con las teorías o modelos de explicación establecidos; en este sentido se hace posible tomar distancia frente a los modelos explicativos y entrar a analizar la experiencia misma. Tener este distanciamiento frente a las formas explicativas usuales permite establecer que las verdades no son reveladas por la autoridad del modelo, sino que ellas se construyen en la medida que podemos validar nuestras formas de organización y socializarla en el contexto cultural en el que nos movemos. En la ruta usual esta dinámica no es posible ya que la organización viene dada por el modelo explicativo y la actividad cognitiva se reduce, en el mejor de los casos, a explicar situaciones desde el modelo y por lo tanto no genera inquietudes frente a la experiencia como tal. En esta nueva relación con el conocimiento la manera de abordar los libros de texto cambia, lo mismo la información que se tiene en general. Se analiza de los libros aquello que aporta elementos en la organización del fenómeno; no todo lo que dicen los libros se asume como válido o relevante. Los textos son sometidos a análisis en un contexto muy particular, donde se posibilita un diálogo con el autor. Al asumir una posición crítica y reflexiva, los criterios de verdad no son impuestos, sino producto de la constante reflexión y generación de significados acordes con la manera de organizar el mundo. Tal actividad a la vez que le permite a la persona construir una imagen del mundo y de sí mismo, le exige su confrontación continua en los diferentes espacios posibles con las organizaciones elaboradas por otros grupos e individuos, buscando estructurar y validar su pensamiento en el contexto cultural donde se desenvuelve.

Finalmente se destaca la importancia de la experimentación histórica en la recontextualización o reconstrucción de ella con fines pedagógicos. En los procesos de enseñanza de las ciencias, la experimentación suele estar presente; los estudiantes hacen prácticas, observan fenómenos, toman datos, hacen registros y a veces manipulan aparatos. Los libros de texto sugieren en muchos casos la realización de tales experimentos; pero cabe preguntarnos: ¿Cuál es la finalidad de los experimentos sugeridos? ¿Qué modelos se promueve desde las prácticas sugeridas? Y ¿qué intención orienta al autor cuando presenta experimentos?⁵² Una revisión del tema nos lleva a considerar la poca importancia dada a la experimentación en los libros de texto y menos aún, a la experimentación cualitativa, la finalidad de los experimentos sugeridos en los textos es fundamentalmente demostrativa, esto es, validar o confirmar lo que dice la teoría⁵³. La HC por el contrario, es rica en experimentación y aporta significativamente en esta dirección. Considerar estos aspectos en la enseñanza de la física a través de la recontextualización de saberes permite avanzar en la construcción significativa del conocimiento:

a) Experimentos cualitativos: no solamente para describirlos, sino para mostrar su relevancia en la construcción de conocimiento. En este sentido la historia de la física es rica y variada para seleccionar este tipo de experimentos y encontrar la riqueza conceptual que poseen. Construir modelos explicativos en torno a la experimentación cualitativa es pues una necesidad en la comprensión fenoménica de la física.

b) La creación de artefactos y el procedimiento material: el conocimiento práctico que se encuentra en el diseño, creación, construcción y funcionamiento de aparatos e instrumentos son relevantes en la construcción de conocimiento. No se trata necesariamente de hacer replicas iguales a los originales, es más bien la comprensión conceptual que encierra. Construir modelos explicativos sobre el diseño y funcionamiento de aparatos e instrumentos de medida permite comprender los fenómenos de manera significativa.

c) Contextualizar la experimentación: la riqueza conceptual que no se ha considerado en la experimentación, al mantener el papel subsidiario, se hace ahora significativa. Las problemáticas, dificultades, necesidades e intereses de los científicos se hacen relevantes, en tanto que permite considerar los aspectos del mundo que están en juego: las problemáticas sociales e ideológicas, los conflictos entre teorías o visiones de mundo y el sentido mismo de los experimentos cruciales.

Cada uno de estos aspectos aporta elementos para la construcción de modelos de explicación de los fenómenos físicos, modelos que se contrastan y enriquecen, modelos que se amplían y reorganizan, modelos dialógicos, en fin, modelos que permitan intervenir y transformar el mundo en el que se vive.

A manera de conclusión

La importancia del uso de la HC va más allá de ser reconocida por sus aportes anecdóticos y hagiográficos y se convierte en un instrumento de reconocimiento de los procesos, problemáticas y necesidades de los científicos en la construcción y validación del conocimiento. Apropiar esta manera de caracterizar la HC le permite al docente enriquecer sus propias prácticas, desde la manera de entender, construir, organizar y validar sus pensamientos hasta diseñar propuestas alternativas de enseñanza que hagan de la química una disciplina más comprensible y accesible a los estudiantes, desde la comprensión fenomenológica de la química hacia los procesos de experimentación y llegando a los aspectos formalización y validación.

Notas y referencias bibliográficas

Henry Giovany Cabrera Castillo es Magister en Educación de la Universidad del Valle, Estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación UV-UDFJC-UPN (Becario Colciencias). Es profesor en Comisión de Estudios de la Universidad del Valle miembro del Grupo de Investigación Ciencia, Educación y Diversidad, Email: henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co.

Edwin German García Arteaga es Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona, profesor de la Universidad del Valle, miembro del Grupo de Investigación Ciencia, Educación y Diversidad, Email: edwin.garcia@correounivalle.edu.co.

- 1 Este documento hace parte de la línea de investigación historia, filosofía y enseñanza de las ciencias que actualmente se adelanta en la Universidad del Valle.
- 2 HILL, J. Atkins' *Nine principal ideas of Chemistry: Cornerstone concepts of a tertiary foundation chemistry course*. *Chemistry Education in New Zealand*, n. 12–13, noviembre, 2010. Disponible en <http://nzic.org.nz/chemed-nz/issue-archive/ChemEdNZ_Nov2010_Hill.pdf>.
- 3 GUERRERO, G. *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2009.
- 4 ECHEVERRÍA, J. *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal Ediciones, 1998.
- 5 STENGERS, I. y PRIGOGINE, I. *La nueva alianza*. Barcelona: Circulo de Lectores, 1997.
- 6 KUHN, T. S. *La estructura de las revoluciones científicas*. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, 2004, p.20.
- 7 KUHN, op. cit., 2004, p.21
- 8 Idem.
- 9 RUDGE, D. y HOWE, E. *Incorporating history into the science classroom. Revisit the science teacher*. Michigan, 2004.
- 10 MORENO, A. G. La historia de las ciencias; ¿saber útil o curioso complemento? *Revista Alambique*, n. 24, 2000, p. 99 – 122.
- 11 ABD-EL-KHALCK, F. History of Science, Science Education, and Nature of Science: Conceptual Change, Discourse, Collaboration an Other Oversight! *History of Science Newsletter*, 30, 1, 2001.
- 12 MATTHEWS, M. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. Rutledge. New York, 1998.
- 13 HOLTON, G. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. 2. ed. corregida y revisada por Stephen G. Brush. Barcelona: Reverte, 1988.
- 14 IZQUIERDO, M. y ALIBERAS, J. *Pensar, actuar y hablar a la clase de ciencias*. Universidad Autónoma de Barcelona, 2007.
- 15 KRAGH, H. *Una introducción a la historia de la ciencia* Cambridge: Editorial Crítica, 1990.
- 16 IZQUIERDO, M.; AUDURIZ-BRAVO, Y.; QUINTANILLA M. Discusión en torno a un modelo para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias. In: *Investigar en la enseñanza de la química, nuevos horizontes; contextualizar y modelizar*. Barcelona: Editorial UAB, 2007.
- 17 GUIASOLA. J., ZUBIMENDI, J., ALMUNDI, J. y CEBERIO, M. Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad. Estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. v. 26, n. 2, p. 177-192, 2008.
- 18 GARCÍA, A. Aportes de la historia de la ciencia al desarrollo profesional de profesores de química. Universitat Autònoma de Barcelona, 2009.
- 19 FLECK, L. *La génesis y el desarrollo de un hecho científico. Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*. Madrid: Alianza Editorial, 1986.
- 20 MORENO, A. G. Atomismo Vs energetismo, controversia científica a finales del siglo XIX. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, v. 24, n. 3, p. 411 – 427, 2006.
- 21 RAÑADA, A. F. *De la esencial multidimensionalidad de la ciencia*. Edición Las Palmas de Gran Canaria: La Universidad, 1996.
- 22 BRUSH, S.G. The role of history in the teaching physics. *The Physics Teacher*, 1969, p. 271 -280.
- 23 GARCIA, E. Construcción del fenómeno eléctrico en la perspectiva de campos. Elementos para una ruta pedagógica. Tesis de maestría. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, 1999.
- 24 DRIVER, R. Un enfoque constructivista para el desarrollo de currículos en ciencias. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 2, 1988.
- 25 Idem.
- 26 CABRERA CASTILLO, H. G. História da ciência na educação científica: o caso da reação química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, *Anais...*, Águas de Lindóia, 2013.
- 27 LEICESTER, H. M. *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra, 1967, p. 159.
- 28 LEICESTER, op. cit., 1967, p. 161.
- 29 LEICESTER, op. cit., 1967, p. 162.
- 30 LEICESTER, op. cit., 1967, p. 163.
- 31 Idem.
- 32 LAVOISIER, A. Memorias sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración*. Buenos Aires: EMECÉ, [1775], p. 81 – 90.
- 33 LAVOISIER, op. cit., 1775, p. 82.
- 34 LAVOISIER, op. cit., 1775, p. 84.
- 35 LAVOISIER, op. cit., 1775, p. 86.
- 36 LAVOISIER, op. cit., 1775, p. 87.

- 37 Idem.
- 38 LAVOISIER, op. cit., 1775, p. 88.
- 39 CUBILLOS, G. *Introducción Al Pensamiento Científico. De Los Átomos De Demócrito Al Carbono Tetraédrico De Van 't Hoff*. Bogotá: Universidad Nacional de Bogotá, 2003.
- 40 BENSUAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. *Historia de la química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamerica, S.A, 1997.
- 41 LAVOISIER, A. Reflexiones sobre el flogisto. In: MUÑOZ, L. Leloir; BRAUN, E. (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración*. Buenos Aires: EMECÉ, [1783].
- 42 CABRERA CASTILLO, H. G. *Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión*. Universidad del Valle, 2010.
- 43 BROCK, W. *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial, 1998, p. 125.
- 44 KOHLER, R. E. The Origin of G. N. Lewis's Theory of Shared Pair Bond. *Historical Studies in the Physical Sciences*, v. 3, 1971, p. 343.
- 45 KOHLER, op. cit., 1971, p.349.
- 46 LOPES, C. M. & MARTINS R. J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o "pudim de passa" nos livros texto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, *Anais...*, Florianópolis.
- 47 BROCK, op. cit., 1998, p. 404.
- 48 JENSEN, W. B. Logic, history, and the chemistry textbook III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75(8), 1998, p. 961–969. JENSEN, W. B. Lógica, historia y los textos de química: replanteamiento y actualización. In A. Stip, R. E. Sánchez, & M. C. Gamboa (Eds.), *Química: Historia, Filosofía y Educación*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional, 2011. p. 11-24
- 49 NIAZ, M.; RODRÍGUEZ, M. A. Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already "inside" chemistry? *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, v. 2, n. 2, 2001, p. 159–164.
- 50 FREEMANTLE, M. Chemistry at its most beautiful. *C & E News*, 81, 34, 2003, p. 27 – 30.
- 51 BALL, P. *Elegant Solutions: Ten Beautiful Experiments in Chemistry*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2005.
- 52 GARCIA, E. y ESTANY, A. Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Revista Praxis Filosófica*. Cali: Universidad del Valle, n. 31, 2010.
- 53 GARCIA, E. *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje. Aporte histórico y filosófico en la física de campos*. 2011. Tesis (Doctoral) – Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.

[Recebido em Dezembro de 2013. Aprovado para publicação em Setembro de 2014]