

10. Implicaciones para la enseñanza de la combustión a partir del análisis histórico de la experimentación de Scheele⁵⁹

*Henry Giovany Cabrera Castillo*⁶⁰

10.1 Introducción

En los últimos 30 años en el campo de la enseñanza de las ciencias hemos identificado un sin número de investigaciones direccionadas hacia la búsqueda de aportes provenientes de la historia y filosofía de las ciencias (HFC), fue así como aparecieron trabajos interesados en la selección de contenido, la elaboración de instrumentos, experimentos, materiales para la enseñanza (unidades didácticas, libros de texto), el análisis de textos, la inclusión dentro de los programas curriculares temáticas o asignaturas basadas en la HFC y la formación de docentes (Cabrera y Villa, 2018; Matthews, 2009; Niaz, 2002, 2011; Valencia, Muñoz y Cabrera, 2014). En lo que se refiere a la formación de docentes en ciencias naturales, pueden identificarse investigaciones sobre el uso, inclusión y desarrollo de actividades desde la HFC para la formación inicial (Amador, Gallego y Pérez, 2008; Membiela y Vidal, 2005) y la formación en ejercicio (Cuéllar, Quintanilla y Camacho, 2008; Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005).

Si nos detenemos en los docentes en formación inicial en ciencias naturales, también podríamos mencionar que algunos resultados de investigaciones indican que el proceso académico por el cual transitaron estuvo centrado en el “dominio” de la conceptualización (conceptos, modelos explicativos, teorías), hay preferencia por la solución de ejercicios de lápiz y papel y se acude a los laboratorios solo para realizar experimentos para demostrar los modelos explicativos, las fórmulas y las ecuaciones vistas en las clases (Cortés y De la Gándara, 2006; Gil *et al.*, 1999; Marín y Cabrera, 2017). Esto significa que

⁵⁹ Capítulo derivado del trabajo de investigación doctoral de Cabrera (2016)

⁶⁰ Universidad del Valle, Colombia, henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co

el panorama académico universitario de las clases de ciencias en la que se les ofrece a los docentes en formación inicial, está marcado continuamente por la separación entre la conceptualización y la experimentación, es decir, que no se promueve la articulación entre ellas.

Otro aspecto que se le suma a la desarticulación anterior, es la importancia y valoración para considerar a los participantes, no aisladamente, sino a través de sus interacciones con otros pares, en los cuales la socialización como una fase de intercambio y defensa de las ideas se vuelve importante, ya que favorece el desarrollo de habilidades cognitivas lingüísticas como la argumentación, la explicación, la justificación, la definición y la descripción (Camacho y Quintanilla, 2008; Castillo, Arellano, Jara y Merino, 2013).

Los dos últimos párrafos permiten decir que la problemática de la fragmentación (a nivel universitario) entre la conceptualización que se ofrecen en las clases de química y la experimentación que practican en los laboratorios, no facilita la adquisición de conocimiento químico en la formación inicial docente en ciencias naturales, por lo tanto, este documento plantea como propósito usar la HFC para encontrar elementos que ayuden a minimizar la fragmentación pero sobre todo que contribuyan en la adquisición de dicho conocimiento por parte de los docentes en formación inicial.

Como estrategia de delimitación, este trabajo tomará como objeto de análisis el caso de la combustión, ya que es considerado fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación de la química (Atkins, 1999, 2005; Gillespie, 1997; Hill, 2010; Kind, 2004a, 2004b) y específicamente abordaremos el análisis histórico de uno de los experimentos reportados en el texto científico histórico *Experiments and observations on different kinds of air*, de Carl Wilhelm Scheele (1742-1786).

10.2 Revisión de antecedentes

En la historia de la química una de las nociones que ha suscitado varios trabajos de investigación ha sido el concepto de combustión. Se han realizado trabajos alrededor de científicos como Hooke (Lysaght, 1937; Turner, 1956), Mayow (Partington, 1956a, 1956b), Stahl (Metzger, 1974), Cavendish (Ducheyne, 2011; Seitz, 2004) y Lavoisier (Gough, 1988; Grimaux, 1888;

Perrin, 1988) con el propósito de sustentar algunas de las contribuciones que ellos realizaron en la consolidación y explicación de la combustión como objeto de estudio. Aquí podemos identificar que los estudios sobre Scheele son escasos, así que aquí radica la importancia de este capítulo.

La revisión de literatura en función de la línea de historia y la filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias naturales y específicamente sobre investigaciones que han tenido como objeto de estudio la combustión, permitió determinar una serie de tendencias que a continuación se destacan.

10.2.1 Concepciones y explicaciones de los estudiantes sobre la combustión

Uno de los trabajos que inicialmente analizó la combustión como objeto de estudio fue el de Pfundt (1981), teniendo como base el propósito de identificar si las concepciones especiales de los estudiantes de 8 a 13 años eran desarrolladas en ciertas concepciones preexistentes sobre la combustión del alcohol. Encontró que los estudiantes tenían concepciones como destrucción irreversible de sustancias, una distribución sin transformación de sustancias y una combinación de ambas. Un análisis de fondo en este sentido muestra que en estos estudiantes la idea fundamental –la transformación de la materia– sobre la cual versa el estudio de la química, es considerada únicamente en un solo sentido y por ello las reacciones reversibles no tienen cabida en sus explicaciones. Por otro lado, asumen que lo único que ocurre en una reacción química es una reorganización de la materia en lugar de una transformación de las sustancias.

Al igual que el estudio anterior, pero con la intención de identificar y caracterizar la comprensión de los estudiantes sobre el concepto combustión, BouJaoude (1991) señala que la comprensión de los estudiantes sobre la combustión fue fragmentada, inconsistente y variaba con respecto al conocimiento científico. Por ejemplo, los estudiantes asumían que la cera, el alcohol y el oxígeno no participan activamente en la combustión, las sustancias sometidas no presentaban cambios químicos durante la combustión, términos como evaporación y combustión pueden ser usados indistintamente cuando describe la combustión del alcohol y frases como cambio físico y cambio químico eran usadas indistintamente cuando describían la combustión de las cosas. Al finalizar sus conclusiones o implicaciones para la enseñanza expresan que los profesores deberían diseñar actividades en las clases para

exponer este tipo de comprensión sobre diferentes conceptos de ciencias y usarlos para planear sus actividades de clases.

En función de la última idea, Hesse y Anderson (1992) sugieren que los profesores anticipen los errores conceptuales que afectan el pensamiento de los estudiantes sobre cambio químico, y en relación a la formación de los profesores, manifiestan que pocos de ellos son conscientes de la necesidad de la enseñanza del cambio conceptual. Plantean que “los cambios son necesarios en muchos aspectos de la educación en química, incluyendo libros de texto y materiales, enseñanza en las clases y programas de formación de profesores” (Hesse y Anderson, 1992, p. 296). Interpretamos en este antecedente que hay que realizar cambios en los programas de formación inicial y en ejercicio de los profesores.

Otro de los trabajos ampliamente referenciados en la literatura ha sido el de Prieto, Watson y Dillon (1992). Con el propósito de investigar las explicaciones de los estudiantes sobre combustión lograron evidenciar que la mayoría de los alumnos no hicieron mención al oxígeno o al aire como una característica importante del proceso de combustión, muchos pensaban que un cambio en la forma de una sustancia podía causar un cambio en la masa, y en particular que los gases tenían peso cero o peso negativo.

Por su parte, Mortimer y Miranda (1995) ubican a la combustión dentro de la reacción química; además explican que dentro de las mayores dificultades que enfrentan los estudiantes de enseñanza fundamental o media, es que en ocasiones, para muchos estudiantes, la aparición de nuevas sustancias no es visible. Así mismo, se les dificulta comprender que a pesar de que se conserve la masa en una reacción, “aparezcan” nuevas sustancias, ya que, argumentan, esto actúa en contra del “principio de conservación” y para solucionar esto se recomienda que el estudiante observe y analice varias reacciones químicas hasta que saque sus propias conclusiones, de tal manera que asimile que se conservan los átomos de los elementos químicos.

Entrevemos, en estas primeras investigaciones, que los intereses iniciales han estado dirigidos hacia las concepciones y explicaciones de los estudiantes, en otras palabras, lo que buscaban los investigadores era identificar la información con la que ellos llegan al aula de clases y reconocer que el estudiante como sujeto de aprendizaje debería participar activamente en los procesos que se realizan al interior del aula.

10.2.2 Investigaciones encaminadas hacia la enseñanza de la combustión

Una de las propuestas más citadas en la literatura de la investigación educativa sobre la combustión es la de Meheut, Saltiel y Tiberghien (1985), quienes investigaron en qué medida el estudio de la combustión posibilita la introducción de conceptos relativos a las reacciones químicas. Afirman que las observaciones de los estudiantes los llevan a interpretaciones que están muy lejos de los conceptos de una reacción química entre un combustible y oxígeno, la modificación de las propiedades de un objeto durante los resultados de la combustión de transformaciones separadas de cada una de las sustancias que componen el objeto. Se impone el carácter permanente de algunas sustancias, cumpliendo con la conservación de algunas propiedades (color, olor) y es más difícil aceptar la existencia de agua que la de CO_2 entre los productos de combustión.

Mientras que, enmarcados en un Programa de Ciencia, Gabel, Monaghan, Makinster y Stockton (2001, p. 439) se preguntaron sobre:

¿Cuáles son las opiniones de los niños sobre la quema antes y después de la instrucción? ¿Las opiniones de los niños se vuelven más científicas, es decir, más acordes con los puntos de vista de los científicos, con la instrucción, y si es así, cómo? ¿Los cambios en la comprensión de los niños de la quema está correlacionada con sus edades? (p. 439).

Después de un proceso de instrucción encontraron que había inconsistencias entre las respuestas de los estudiantes cuando resolvían un examen de opción múltiple y las entrevistas, es decir, aunque en el examen reconocían la necesidad del oxígeno en la combustión y en la distinción entre la descomposición y la combustión, en las entrevistas pocos niños podían explicar específicamente lo que estaba sucediendo en los fenómenos.

De igual modo, She y Lee (2008) y Lee y She (2009), al aplicar un proyecto de aprendizaje digital adaptativo, denominado Construcción y reconstrucción de conceptos científicos (SCCR, por sus siglas en inglés) que fue desarrollado con base en la teoría de Modelo dual de aprendizaje situado (DSLIM, por sus siglas en inglés) y el razonamiento científico, sobre lo cual concluyeron que los estudiantes que participaron de éste lograron acertar en más conceptos correctos y adquirirlos más eficazmente que aquellos estudiantes que fueron instruidos convencionalmente.

Otras investigaciones avanzaron hacia el uso de mapas conceptuales como un recurso alternativo a los métodos tradicionales (Dunker, Magntorn y Hellen, 2008) y más recientemente al uso de visualizaciones dinámicas como videos, experimentos, películas y discusiones online con el propósito de dar nuevas oportunidades para que los estudiantes den sentido a los fenómenos científicos y sobre todo para que relacionen aspectos tanto macroscópicos como microscópicos (Zhang y Linn, 2011).

Como síntesis de esta tendencia sobre las investigaciones internacionales encaminadas hacia la enseñanza de la combustión, se destaca que aún después de la intervención en el aula a través de propuestas diferentes a las tradicionales, los estudiantes continuaron desconociendo el papel del oxígeno en la combustión y no consideraron al combustible en la reacción. Las causas posibles radican en que los contenidos que fueron secuenciados se redujeron a los conceptuales y se desdibujaron los contenidos procedimentales y actitudinales, esto coincide con lo que N. Blanco (1991), Calvo Pascual y Martín Sánchez (2005) y Texeira y Coppes-Petricorena (2005) mencionan como la importancia exclusiva que los profesores le han dado al uso de los libros de texto, de esta manera, abandonan la realidad sociocultural a la cual los estudiantes pertenecen (Lorenzo, García-Rojeda y Domínguez, 1987) y mucho menos la asocian con los aportes que la HFC pueden ofrecer a la enseñanza de las ciencias.

10.2.3 Uso de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la combustión

En cuanto al uso de la HFC en la enseñanza de la combustión tenemos por ejemplo a Paixao & Cachapuz (2000) quienes, con la intención de presentar y discutir un nuevo método de enseñanza de la conservación de la masa en reacciones químicas, reconsideran el papel de la historia de la ciencia, reorganizan y reorientan el trabajo experimental y toman en consideración la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Por otro lado, Amador (2006) y Amador, Gallego y Pérez (2008) direccionados hacia la identificación de los modelos mentales explicativos que han elaborado los profesores en formación inicial en química acerca del concepto combustión, concluyen que “los modelos mentales explicativos de los profesores en formación inicial en química, se van modificando y acercándose a los consensos de la comunidad científica” (Amador, 2006, p. 122).

Cuando se refieren a que hubo un acercamiento a los consensos de la comunidad científica están considerando que los profesores en formación inicial iniciaron en un modelo que coincidía con las explicaciones de Stahl y que a través de un proceso de intervención en el aula lograron direccionarlos hacia las explicaciones de Lavoisier.

En esta misma dirección, Ayala, Bustamante, Murillo, Perilla y Gallego (2008) partiendo de un análisis histórico – epistemológico de los modelos de dinámica científica del Flogisto y del Oxígeno y considerando un estudio internalista y externalista de las épocas correspondientes a los modelos en cuestión, confirman que la historia de la química es importante para la enseñanza de la misma ya que se convierte en una herramienta que ayuda en la comprensión del desarrollo y aplicación de la química.

10.3 Aspectos metodológicos

Este trabajo de investigación se adscribió a la *metodología cualitativa de enfoque interpretativo*, debido a que enfatiza en la comprensión e interpretación de la realidad educativa desde los significados de las personas implicadas en los contextos educativos (Latorre, del Rinón, & Arnal, 1996).

10.3.1 Contexto de la investigación

Los Textos Científico Históricos (TCH) son fuentes principales de información, en los cuales se describen, esbozan, representan e incluyen datos relevantes que pueden servir para seleccionar elementos que a través de una combinación pueden integrar el conocimiento químico (García-Belmar y Bertomeu, 1999), de igual manera, permiten descubrir, estudiar y analizar circunstancias, fenómenos, hechos en el abordaje histórico que aclaran o revelan hechos que a la luz de la reconstrucción inteligente, nos permiten imaginar lo que pudo haber sucedido (Rodríguez de Romo, 2011).

En este tipo de material los profesores desde una mirada educativa podrán:

- I. Evidenciar el panorama del conocimiento científico compartido sobre la materia en su momento.
- II. Dilucidar los hechos, los datos, las teorías, los procedimientos, los instrumentos.
- III. Buscar intereses, éxitos y fracasos de los científicos implicados en un periodo extenso de su actividad.
- IV. Identificar

el desarrollo cultural, las corrientes ideológicas o políticas influyentes en el trabajo de los científicos. V. Reconocer los presupuestos que los científicos hacen sin ser forzados, las teorías por las que se desencadenan y las que dejan a un lado (Stiefel, 1996, p. 2).

Debido a que la información que podemos obtener a partir de la revisión de los TCH sería diversa y con diferentes matices en sus direcciones, se hace necesario tener claridad sobre qué es lo que se va a identificar y caracterizar. En este sentido, un paso fundamental para la determinación, identificación y selección de los TCH, requirió valorar criterios como:

- Reconocer la importancia del estudio de caso que se va analizar (Justi, 1997).
- Consultar libros de historia de la química para identificar en sus referencias bibliográficas aquellos TCH que son pertinentes consultar (García-Arteaga, 2011).
- Inspeccionar en las bases especializadas en materiales históricos la disponibilidad de los TCH (Stiefel, 1996).
- Incluir TCH en los cuales se identifique explícitamente la descripción de experimentos sobre la combustión diseñados, ejecutados y analizados por los científicos.
- Elegir TCH que describan experimentos que sirvieron como fundamento para la continuidad y consolidación de las explicaciones sobre la combustión.

De acuerdo a los criterios B, la consulta de los libros de historia de la química escritos por Brock (1998), Ihde (1984), Leicester (1967), Bensaude-Vincent y Stengers (1997), y Leicester y Klickstein (1952) y la disponibilidad de los materiales históricos permitió determinar que el TCH en el cual se hace referencia a la combustión fue el elaborado por Carl Wilhelm Scheele, en este caso, el capítulo “Experiments and observations on different kinds of air”, publicado en el libro *Chemical observations and experiments on air and fire*.

10.3.2 Análisis histórico de textos científico históricos

De acuerdo con lo que se ha planteado en trabajos previos (Cabrera y García-Arteaga, 2014; Cabrera y Quintanilla, 2014), en la actualidad los trabajos que se realizan en HFC han acudido a los THC, en los cuales se logra identificar sus observaciones, las explicaciones de los científicos, los modelos

teóricos o conceptuales generados, la instrumentación utilizada y los procedimientos experimentales. Cada uno de los THC debe analizarse para determinar aquellos aportes que puedan recontextualizarse en la actualidad y sobre todo que permitan continuar el estudio de los hechos científicos y sus correspondientes problemas.

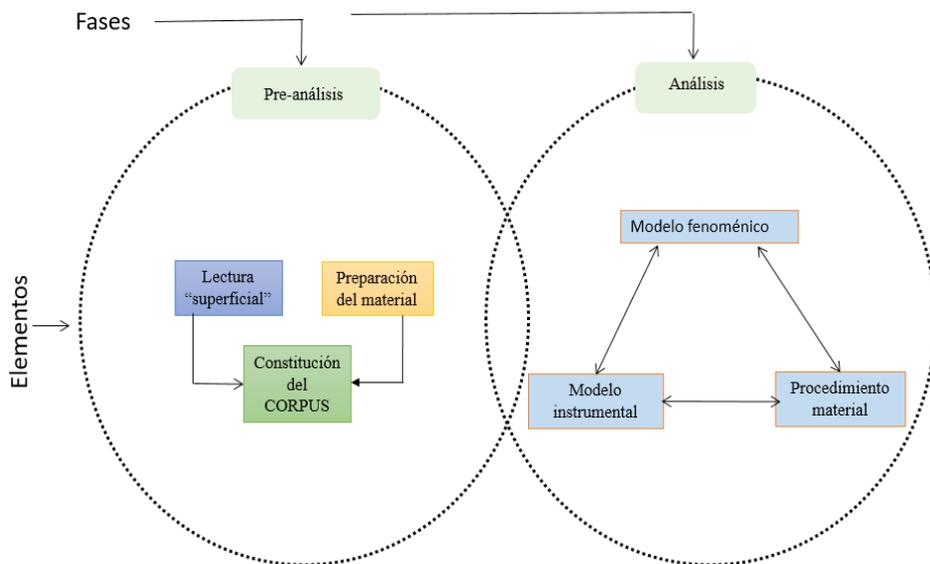
Una opción para alcanzar este propósito es acudir al Análisis Histórico (AH) para establecer un diálogo con él o los científicos que escribieron los THC a través de la formulación de preguntas que permitan escudriñar la lógica que los estructuraba (M. M. Ayala, 2006; García-Arteaga, 2014). Esta indagación permite recuperar ideas, modelos y experimentos que han sido olvidados y relegados en el pasado por la influencia de factores políticos, económicos, sociales y religiosos.

Como ya ha sido presentado previamente en Muñoz, Valencia y Cabrera (2017) y Cabrera (2017) (Figura 10.1), procedimentalmente, el análisis del THC se efectúa en dos fases en las que se involucran aspectos que conforman el procesamiento de los datos obtenidos al analizar el THC: preanálisis y análisis. La fase de preanálisis consiste en disponer del corpus de datos que fueron analizados, para luego iniciar la lectura “superficial” y acercarse a las ideas y explicaciones contenidas en el THC, una tarea paralela que se ha de ejecutar consiste en proceder a la preparación del material; es decir, el THC, que suele ser una imagen digital, se transcribe por medio de un procesador de textos comercial (Word) para llevar a cabo posteriormente el análisis.

La fase de análisis consiste en aplicar el AH para estudiar los THC escritos por los científicos (Scheele en este caso). El propósito es instaurar un diálogo con ellos, para construir desde una perspectiva educativa vínculos con el conocimiento (M. Ayala, 2006; García-Arteaga, 2014). Las acciones que se realizan sirven para identificar lo que Pickering (1989) denomina los elementos estructurales que están presentes en la experimentación, estos son:

- Un procedimiento material (PM), que corresponde a la utilización o manipulación adecuada de los aparatos.
- Un modelo instrumental (MI), que debe tener el investigador para comprender e interpretar el funcionamiento de los instrumentos enfocado hacia la comprensión conceptual del funcionamiento del aparato por parte del experimentador (diseño, realización e interpretación del experimento).
- Un modelo fenoménico (MF), que le sirve al investigador para establecer la conceptualización del fenómeno que se está analizando.

Figura 10.1. Procesamiento de análisis del THC.



Fuente: Tomado de Muñoz, Valencia y Cabrera (2017).

Aunque a simple vista pareciese que no existe relación entre estos tres elementos, es pertinente indicar que en el momento de la producción de los hechos, su relación es coherente, ya que se refuerzan entre ellos; es decir, el procedimiento material se hace explícito cuando se ha interpretado un modelo instrumental y cuando producen hechos dentro del marco de un modelo fenomenico (Pickering, 1989). Reconocer la relación entre estos elementos permite destacar y promover la idea de que a través de las diversas investigaciones de índole científico existe una sincronía entre teoría y experimento. Dicha sincronía se puede evidenciar a través del AH de THC escritos por los científicos, en otras palabras, lo que se pretende es reivindicar que la teoría y la experimentación están en interacción constante, y que su uso o aplicación dependerá de los intereses investigativos; por lo tanto, la realización del análisis del THC de Scheele es un ejemplo mediante el cual se logra visualizar la relación a la que se hace mención.

10.4 Resultados

La consulta e indagación de libros de historia de química permitieron determinar que un científico como Carl Wilhelm Scheele, llevo a cabo diversas investigaciones que circularon en el ámbito académico científico al cual pertenecía. Las investigaciones fueron descritas y narradas en los THC, y los acompañaban de ilustraciones que representaban el montaje de los aparatos e instrumentos que utilizaban. En dichos THC se incluían ideas y explicaciones de los experimentos que ejecutaban en sus laboratorios personales o de las instituciones a las que pertenecían. En las explicaciones de los experimentos se articulaban la teoría y la práctica, es decir, se estructuraban aspectos conceptuales y procedimentales que en conjunto conformaban el conocimiento químico (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997; Brock, 1998; Ihde, 1984; Leicester, 1967; Leicester y Klickstein, 1952).

De acuerdo con lo anterior, es fundamental realizar un AH desde una mirada educativa y didáctica que permita alcanzar el propósito que se formuló al inicio del capítulo. Por ello, a continuación se presenta un estudio de caso focalizado principalmente en los experimentos que aparece en el THC, titulado “Experiments and observations on different kinds of air”, capítulo publicado en el libro *Chemical observations and experiments on air and fire*, escrito por Carl Wilhelm Scheele (1780).

10.4.1 Preanálisis del THC

La información que se puede destacar de la lectura superficial es que en el capítulo se describen diversos experimentos vinculados explícitamente con la combustión. Sin embargo, el AH de este apartado se centrará en los experimentos 1 (pp. 16-17), 2 (pp. 79-80), 3 (pp. 17-19) y 4 (pp. 19-20) Scheele (1780) (ver Anexo 1.1).

Como se mencionó en el aspecto procedimental, la preparación del material consistió en transcribir el THC en Word (procesador de textos comercial) para agilizar su revisión, análisis y traducción de términos que en la actualidad han desaparecido. Se debe tener en cuenta y reconocer que los tres elementos (procedimiento material, modelo instrumental y modelo fenoménico) están estructurados, sin embargo, la presentación se hará de manera individual por motivos de organización de escritura.

10.4.2 Análisis del THC

En la historia de la química uno de los experimentos que es ampliamente referenciado y replicado es el que se realiza con la vela, esto se puede evidenciar en el PM siguiente:

Puse una vela encendida en un plato lleno de agua, y luego cubrí la vela con una retorta invertida: inmediatamente después de esto, grandes burbujas de aire salieron del agua, que fueron causadas por el aire expandido por el calor en la retorta; cuando la llama disminuyó en tamaño, el agua comenzó a aumentar en la retorta; después de que el fuego se extinguió, y la retorta se enfriara, encontré que su cuarta parte estaba llena de agua. (Scheele, 1780, p. 19).

La cita anterior desde un punto de vista químico se puede interpretar como el reconocimiento de la reacción de combustión que ocurre al interior de la retorta, es más, destaca la importancia del aire en el recipiente y posiblemente esto lo lleva a justificar que algo se absorbe o libera de la reacción. Aunque para el PM citado no existe una ilustración, Scheele sí incorporó y describió algunos instrumentos (Figura 10.2), en los cuales se logra identificar su MI; por ejemplo, para él era fundamental que existiera la forma de visualizar la diferencia entre la cantidad de aire que estaban al interior de la retorta invertida al inicio del experimento y lo que obtenía al finalizar, es así que la llama de la vela era un indicador del consumo o desprendimiento de algún tipo de aire.

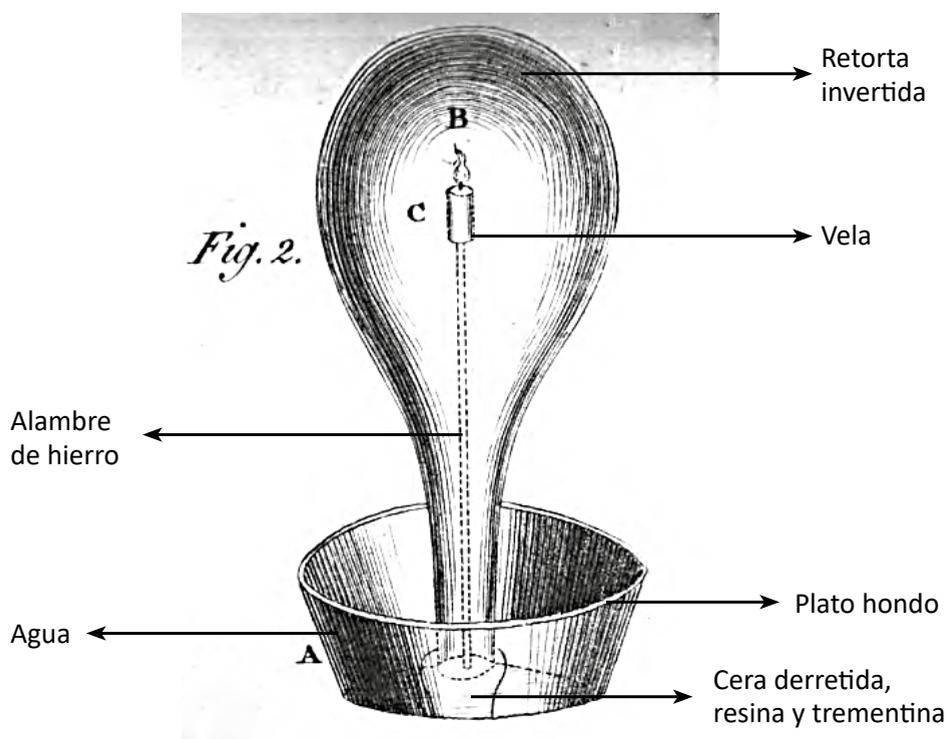
Para Scheele este proceso de experimentar sobre las partes constituyentes del fuego favoreció en su época generar investigaciones sobre el aire, razón por la cual el presenta pruebas mediante las cuales indicaba que una clase de aire, que decidió llamarla *empyreal air* (Aire del Fuego) y que existía en la atmósfera, era uno de los constituyentes que contribuía a la existencia y soporte de la llama.

Ahora bien, la revisión, estudio y análisis de diversos experimentos históricos permitió identificar que Mayow también lo había realizado previamente, la manera como describió su PM fue así:

Coloque una vela encendida en agua de tal manera que la mecha quede cerca de seis dedos de ancho por encima del agua, y luego deje que una copa de cristal invertida de altura suficiente sea expuesta a la luz y sea sumergida inmediatamente en el agua que rodea la luz...debe tenerse en

cuenta que la superficie del agua encerrada dentro del vidrio esté al mismo nivel que el agua... dejar que la copa de cristal se fije firmemente para que pueda descender en el agua, y usted verá, mientras que la luz todavía se quema, que el agua se levanta poco a poco en la cavidad de la copa de cristal. (1907, p. 68).

Figura 10.2. Instrumentos utilizados por Scheele.



Fuente: Tomada de Scheele (1780).

Tenemos entonces que en los PM de Scheele y Mayow se describen observaciones que difieren exclusivamente en la identificación de burbujas que salían del agua, pero coinciden en el aumento de nivel del agua al interior de la retorta y copa de cristal y que la llama de la vela se extinguía, para ambos las preguntas que posiblemente los orientaron fueron ¿A qué se debe la extinción de la llama? ¿La vela encendida qué absorbe del interior de la retorta y copa de cristal? ¿Qué se libera de la vela cuando se apaga en la retorta y copa de cristal?

Orientado por los resultados experimentales que obtenían y la enunciación de las preguntas anteriores, Scheele logró formular un MF mediante el cual afirmaba que “el calor es el fuego elemental; y allí de nuevo, es el efecto del fuego...la luz se difunde a través de todo el espacio de nuestro mundo, por el impulso del fuego elemental, que se pone en un movimiento rectilíneo” (Scheele, 1780, p. 101), de esta manera, se alejaba de las contradicciones a las que habían llegado los químicos sobre el fuego ya que unos decían que el calor era fuego y otros que la luz era fuego.

Dice Ihde (1984, p. 52) que Scheele

creía que el aire combinado con el flogisto escapaba de la sustancia combustible y como resultado se reducía el volumen. *Él* asumía que el flogisto combinado con un componente del aire común y escapaba como calor. Este componente lo llamó “Aire del Fuego” y *él* lo había aislado.

De acuerdo a lo anterior, el término que soportaba el MF de Scheele (1780) era el flogisto al que consideraba como

1. Un elemento verdadero y un principio simple. 2. Puede, por el poder de retención transferirse de un cuerpo a otro; estos cuerpos luego de someterse a cambios importantes, a las que pocas veces están habitados, por el efecto de las partículas de insinuarse en los intersticios de los cuerpos, para repasar sobre la fusión, o incluso en vapores elásticos; y esto indica que es la causa principal de su olor...5. Este elemento entra y sale de las sustancias y se unen con el empyreal Air, el cual penetra los poros de todos los cuerpos. (pp. 103-104).

10.5 Actividades para la enseñanza de la combustión

Desde los análisis de los resultados, la principal implicación para la enseñanza de la combustión, es la formulación del núcleo temático denominado: *Emisión de llama*. Este núcleo puede considerarse como una respuesta a la pregunta ¿qué enseñar de la combustión?

La *emisión de llama* históricamente ha despertado la curiosidad de científicos y científicas ya que se han dado a la tarea de conocer por qué en algunas reacciones químicas se lograba observar este fenómeno particular, sin embargo, en la actualidad esto se ha vuelto tan común que esta situación no alberga ningún sentido ni tampoco implica un esfuerzo o elaboración de

preguntas sobre las razones por las cuales la llama se emite. Es importante resaltar que con solo encender una vela se puede desencadenar un sin número de explicaciones en las que se enfatice en la importancia y necesidad del oxígeno y del material combustible, el papel del fuego/llama, los productos obtenidos y la función de la chispa.

Desde una mirada educativa, el análisis de los resultados permite la formulación de situación problemática como la siguiente:

10.5.1 Situación problema

En la historia de la química uno de los experimentos que es ampliamente referenciado y replicado es el que se realiza con la vela, esto se puede evidenciar en la siguiente narración de (Scheele, 1780, p. 19):

Puse una vela encendida en un plato lleno de agua, y luego cubrí la vela con una retorta invertida: inmediatamente después de esto, grandes burbujas de aire salieron del agua, que fueron causadas por el aire expandido por el calor en la retorta; cuando la llama disminuyó en tamaño, el agua comenzó a aumentar en la retorta; después de que el fuego se extinguió, y la retorta se enfriara, encontré que su cuarta parte estaba llena de agua. (Fragmento de un experimento tomado del libro *Chemical observations and experiments on air and fire*).

Preguntas:

- ¿De qué manera influye el medio en la combustión?
- ¿Basta con que un cuerpo se halle en estado de expansibilidad para que constituya una especie de aire?
- Si tuvieras que determinar los gases que componen el aire atmosférico ¿qué procedimientos experimentales realizarías?
- Realizar variaciones al experimento elaborado por Scheele para determinar la importancia y las características del aire.

En función de lo anterior, existe una tendencia que consiste en la revisión y análisis de TCH con el propósito de identificar las preocupaciones, preguntas, inquietudes, valores, experimentos, procedimientos, fenómenos, instrumentos, materiales y modelos explicativos que eran inherentes a los científicos que participaron en el desarrollo de las ciencias. Como vimos en este caso, el estudio de esta TCH de Scheele sirvió para identificar los elementos estructurales que

hicieron parte de los experimentos que él realizó. Sin embargo, esta información está ausente o ha sido olvidada en la actualidad ya que no es trascendente en los procesos de enseñanza de la química que se llevan a cabo en las universidades donde están formándose actualmente los docentes.

Si rescatamos información a partir del estudio de los TCH, por ejemplo, el diseño y uso de instrumentos y el desarrollo de procedimientos alternativos, podremos ofrecer oportunidades alternas para la adquisición de conocimiento teórico experimental.

10.6 Implicaciones para la formación inicial de profesores de ciencias naturales

Es recomendable en futuras investigaciones avanzar hacia la contrastación entre las ideas de los estudiantes con los obstáculos y dificultades históricas, de esta manera, las asignaturas de química del programa académico de licenciatura, podrán estructurarse con la intención de establecer acciones en la enseñanza de la química que permita reconocerlas para posteriormente superarlas.

Actividades como las anteriores, pueden utilizarse para que los futuros licenciados elaboren escritos mediante los cuales se puedan promover reconstrucciones experimentales por medio de narrativas experimentales que no se limiten en presentar el método científico sino que diversifiquen procedimientos experimentales, se desarrollen habilidades manipulativas y se reflexione sobre las actividades prácticas, cuando se logre lo anterior, se dará un paso fundamental en la articulación entre la teoría y la experimentación, por ello es necesario que los futuros profesores socialicen al interior de las clases de química para construyan el conocimiento que hace parte de cada uno de los instrumentos y los materiales que acompañan la experimentación, en última instancia, se debe promover la elaboración de experimentos mentales como una estrategia para visualizar, predecir y generar nuevos escenarios en los cuales puedan observar diversos comportamientos de los materiales e instrumentos que utilizan en los experimentos.

Finalmente, si se lleva a las clases de ciencias y en este caso química, el estudio de este tipo de actividades, los estudiantes podrán apreciar la creatividad en la elaboración de materiales y los misterios que encierran el diseño de experimentos, los cuales investigados desde una mirada educativa servirán tanto para su propio aprendizaje como para el diseño de propuestas alternas de enseñanza.

10.7 Bibliografía

Amador, R. (2006). *Del modelo del flogisto al modelo de la oxidación. Una aproximación didáctica a la determinación de modelos mentales en la formación de profesores en química*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Amador, R., Gallego, R. y Pérez, R. (2008). Desde qué versiones epistemológicas construyen modelos mentales los profesores en formación inicial: una investigación didáctica. *Tecné, Epistémé y Didaxis*, (24), 8-22. Recuperado de: <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/388>

Atkins, P. (1999). Chemistry: the great ideas. *Pure Applied Chemistry*, 71(6), 927-929.

Atkins, P. (2005). Skeletal chemistry. *Education in Chemistry*, 42(1), 20-25. Recuperado de: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:SKELETAL+CHEMISTRY#9>

Ayala, A., Bustamante, A., Murillo, M., Perilla, J. G. y Gallego, R. (2008). El flogisto y la oxidación: dos modelos de dinámica científica. *Investigación e Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), 33-41.

Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19-37.

Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamerica, S.A.

Blanco, N. (1991). Materiales curriculares: los libros de texto. En J. Angulo y N. Blanco (Eds.), *Teoría y desarrollo del curriculum* (pp. 175-185). Madrid.

BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of research in science teaching*, 28(8), 689-704.

Brock, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.

Cabrera, H. G. (2016). *Aportes a la enseñanza de la química a partir de un estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión para profesores en formación inicial*. Cali: Universidad del Valle.

Cabrera, H. G. (2017). Diseño de situaciones-problema para la enseñanza de la química, a partir del análisis histórico de experimentos de combustión. En M. Quintanilla (Ed.), *La historia de la ciencia en la investigación didáctica, aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias* (pp. 103-120). Santiago de Chile: Editorial Bellaterra.

Cabrera, H. G. y García-Arteaga, E.G. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(2), 298-313.

Cabrera, H. G. y Quintanilla, M. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. En M. Quintanilla, S. Daza y H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (pp. 202-216). Bogotá: Belaterra.

Cabrera, H. G. y Villa, M.D. (2018). Diseño de unidades didácticas a partir de estudios de caso histórico científicos. En H.G. Cabrera (Ed.), *Educación en biología: aportes de estudios históricos al diseño de unidades didácticas* (pp. 15-30). Cali: Universidad del Valle.

Calvo, M. A. y Martín-Sánchez, M. (2005). Análisis de la adaptación de los libros de texto de eso al currículo oficial, en el campo de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 17-32.

Camacho, J. y Quintanilla, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivo lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, 14(2), 197-212.

Castillo, C., Arellano, M., Jara, R. y Merino, C. (2013). Identificación de las habilidades cognitivo lingüísticas en el laboratorio de química en profesores en formación. En *IX* (pp. 9-12). Girona.

Cortés, A. y De la Gándara, M. (2006). La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: una experiencia didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 435-450.

Cuéllar, L., Quintanilla, M. y Camacho, J. (2008). Introducción de la historia de la química en la formación docente. Aportes para un debate teórico

y campo. *III Jornada D`Història de la Ciència I Ensenyament*, 1(2), 109-117. <https://doi.org/10.2436/20.2006.01.64>

Ducheyne, S. (2011). The Cavendish Experiment as a Tool for Historical Understanding of Science. *Science & Education*, 21(1), 87-108. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9382-z>

Dunker, N., Magntorn, O. y Hellden, G. (2008). Efficiency of concept mapping for the conceptual understanding of burning and underlying processes of combustion for elementary school students. En A. J. Cañas, P. Reiska, M. Ahlberg y J. D. Novak (Eds.), *Concept Mapping: Connecting Educators* (pp. 1-6). Helsinki: Tallinn.

Gabel, D. L., Monaghan, D. L., Makinster, J. G. y Stockton, J. D. (2001). Changing children's conceptions of burning. *School Science and mathematics*, 101(8), 439-451.

García-Arteaga, E. (2011). *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje. Aporte histórico y filosófico en la física de campos*. Universidad Autónoma de Barcelona.

García-Arteaga, E. (2014). Análisis histórico-crítico del fenómeno eléctrico: hacia una visión de campos. *Física y Cultura*, (9), 1-29.

García-Belmar, A. y Bertomeu, J.R. (1999). *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

Gil, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas de Sandoval, J., Martínez-Torrefrosa, J., Guisasaola, J. y Pessoa de Carvalho, A. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=94962&orden=23666&info=link>

Gillespie, R.J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862-864.

Gough, J. B. (1988). Lavoisier and the Fulfillment of the Stahlian Revolution. *Osiris*, 4, 15-33. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/301741>

Grimaux, E. (1888). *Lavoisier 1743-1794*. Paris: Félix Alcan.

Hesse, J. y Anderson, C. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of research in science teaching*, 29(3), 277-299.

Hill, J. (2010). Atkins nine principal ideas of chemistry: Cornerstone concepts of a tertiary foundation chemistry course. *Chemistry Education in New Zealand*, (November), 12-13. Recuperado de: http://nzic.org.nz/chemed-nz/issue-archive/ChemEdNZ_Nov2010_Hill.pdf

Ihde, A. (1984). *The Development of Modern Chemistry*. New York: Dover Publications, Inc.

Justi, R. (1997). *Models in the teaching of chemical kinetics*. University of Reading.

Kind, V. (2004a). *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (Second Ed.). London: Royal Society of Chemistry.

Kind, V. (2004b). *Más allá de las apariencias: Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química* (Primera ed). México, D. F.: Santillana.

Latorre, A., del Rinón, D. y Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Gràfiques.

Lee, C. y She, H. (2009). Facilitating Students' Conceptual Change and Scientific Reasoning Involving the Unit of Combustion. *Research in Science Education*, 40(4), 479-504. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9130-4>

Leicester, H.M. (1967). *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra.

Leicester, H.M. y Klickstein, H. (1952). *A source book in chemistry 1400-1900*. New York: McGraw-Hill.

Lorenzo, F., García-Rojeda, E. y Domínguez, J. (1987). Combustión: una actividad abierta (AcAb) para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales. En: *Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico* (pp. 73-79). Santiago de Chile: Universidad de Santiago.

Lysaght, D. J. (1937). Hooke's theory of combustion. *Ambix*, 1(2), 93-108.

Marín, M. y Cabrera, H. (2017). Las prácticas experimentales en el libro de texto universitario. Una discusión histórico-didáctica de la reacción química. En: E. G. García-Arteaga (Ed.), *Prácticas experimentales en textos universitarios. Implicaciones en la enseñanza de las Ciencias Naturales* (pp. 67-130). Cali: Universidad del Valle.

Matthews, M. R. (2009). Enseñando las componentes filosóficas y de las formas de ver el mundo de la ciencia: algunas consideraciones. *Revista de enseñanza de la física*, 22(1), 31-42.

Mayow, J. (1674). *Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-physici*. London: The Alembic Club.

Meheut, M., Saltiel, E. y Tiberghien, A. (1985). Pupils (11 - 12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.

Membiela, P. y Vidal, M. (2005). Una investigación sobre actividades prácticas de germinación y combustión en la formación inicial de los maestros. *Enseñanza de las Ciencias* (Número Extra. VII Congreso), 1-4.

Metzger, H. (1974). *Newton, Stahl, Boerhaave, et la doctrine chimique*. Paris: Alcan.

Mortimer, E. F. y Miranda, L. C. (1995). Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova na Escola*, (2), 23-26.

Muñoz, F., Valencia, E. y Cabrera, H. (2017). Situaciones científicas escolares problematizadoras a partir del análisis del Experimento V de Robert Boyle. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(1), 115-125.

Niaz, M. (2002). Historia y filosofía de las ciencias: necesidad de su incorporación en los textos universitarios de ciencias. *Saber*, 14(1), 68-77.

Niaz, M. (2011). Formación de profesores de ciencias: Una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia. *Tecné, Epistémé y Didaxis* (30), 83-90.

Paixao, M. F. y Cachapuz, A. (2000). Mass conservation in chemical reactions: the development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and practice*

in *Europe*, 1(2), 201-215. Recuperado de: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2000/rp/a9rp90022e>

Partington, J. R. (1956a). The Life and Work of John Mayow (1641-1679). Part One. *Isis*, 47(3), 217-230. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/226889>

Partington, J.R. (1956b). The Life and Work of John Mayow (1641-1679). Part two. *Isis*, 47(4), 405-417. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/226889>

Perrin, C.E. (1988). Research traditions, Lavoisier and the chemical revolution. *Osiris*, 4, 53-81.

Pfundt, H. (1981). Pre-instructional conceptions about transformations of substances. *Representation of physics and chemistry knowledge*, 320-341.

Pickering, A. (1989). Living in the material world. En: D. Gooding, T. Pinch y S. Schaffer (Eds.), *The uses of experiment: Studies in the natural sciences* (pp. 275-298). Cambridge: Cambridge University Press.

Prieto, T., Watson, J. y Dillon, J. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22, 331-340.

Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2005). Avances en la construcción de marcos teóricos para incorporar la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias* (número extra), 1-4.

Rodríguez de Romo, A. C. (2011). La importancia de los documentos originales para el historiador. *Boletín Mexicano de Historia y Filosofía de la Medicina*, 14(1), 23-25.

Scheele, C. W. (1780). *Chemical observations and experiments on air and fire*. London: J. Johnson.

Seitz, F. (2004). Henry Cavendish: The Catalyst for the Chemical Revolution. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 148(2), 151-179.

She, H.C. y Lee, C.Q. (2008). SCCR digital learning system for scientific conceptual change and scientific reasoning. *Computers & Education*, 51(2), 724-742. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.07.009>

Stiefel, B.M. (1996). Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique (Versión electrónica)*, (8), 1-7.

Texeira, J. y Coppes-Petricorena, Z. (2005). Análisis de los libros de texto recomendados por los programas oficiales para el ciclo básico de educación secundaria en Uruguay: El agua como tema de estudio. *Revista Iberoamericana de Educación*, 59(1), 1-8.

Turner, H.D. (1956). Robert Hooke and theories of combustion. *Centaurus*, 4(4), 297-310.

Valencia, E., Muñoz, F. y Cabrera, H. (2014). Análisis de texto histórico desde una mirada educativa: El caso del experimento V de Robert Boyle. En: *Tercera conferencia latinoamericana del grupo internacional de historia, filosofía y enseñanza de las ciencias* (pp. 1-10). Santiago de Chile: Belaterra.

Zhang, Z.H. y Linn, M.C. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations? *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), 1177-1198. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/tea.20443>