

# Estudios históricos sobre los instrumentos de medida en química. El caso de la afinidad en la formación de docentes de química

*Sandra Sandoval Osorio*<sup>†</sup>

## Resumen

En este texto se presentan elaboraciones en torno a los procesos de construcción de conocimiento. Se ha tomado como base el estudio de algunos textos de científicos escritos durante el siglo XVIII y XIX principalmente, y que ayudan a comprender las ideas sobre la afinidad en la química.

Se considera que, en la enseñanza de las ciencias el conocimiento se construye sobre la base de contradecir las ideas seguras e inmediatas (Bachelard, 1973, p. 12). Se trata de privilegiar una relación dinámica del docente con el conocimiento científico, pues pensamos que la ciencia construye un mundo, como fruto de las relaciones entre las formas como son vistos los objetos por el sujeto(s) y las posturas que se asumen frente a ellos. De tal manera que las elaboraciones y preguntas sobre una situación de estudio no son ocurrencias espontáneas y que llevarlas al ámbito de la enseñanza implica construir un contexto preciso desde el cual se tienen criterios de actuación para el aula.

Un caso particular que se examina es el desarrollo de las ideas de afinidad química a finales del siglo XVIII y se hace un especial énfasis en las propuestas de Karl Friedrich Wenzel (1740-1793) y Richard Kirwan (1733-1812) para medir la afinidad a partir de las masas de reactivos que se transforman durante un proceso, sin embargo, cuando Claude Louis Berthollet (1748-1822) distingue entre las masas netas y las masas activas en la reacción química, se tiene que reevaluar esta relación entre masa-afinidad. El método establecido por Antoine Lavoisier (1743-1794) y Pierre-Simon Laplace (1749-1827) con la construcción del calorímetro de hielo lleva consigo reflexiones profundas sobre las formas y aparatos de

.....  
<sup>†</sup> Estudiante Doctorado Interinstitucional en Educación (DIE). Énfasis Filosofía y enseñanza de la filosofía. Universidad Pedagógica Nacional (UPN). Para contactar al autor, por favor, escribir a [ssandoval@pedagogica.edu.co](mailto:ssandoval@pedagogica.edu.co)

medida que movilizan nuestro pensamiento científico. Como docentes de ciencias nos abren la posibilidad de argumentar que la recurrencia a los estudios históricos actualiza la manera como comprendemos los problemas científicos.

## Introducción

**E**l estudio de los textos de los científicos es una fuente para la construcción de una historiografía de la ciencia, del origen y desarrollo de algunas teorías o conceptos científicos; además es un ejercicio de lectura e interpretación intencionada de las elaboraciones hechas en un pasado con base en las preocupaciones o problemas que se ha planteado el sujeto que lee desde el actual conocimiento que tiene de la ciencia. Y se configura un contexto que genera reflexiones sobre aspectos epistemológicos relacionados con la comprensión de cómo se construye el conocimiento científico. Para mostrar estos aspectos y proyectar la influencia que puede orientarse hacia la formación de profesores de ciencias se ha tomado como base el estudio de algunos textos de científicos escritos durante el siglo XVIII principalmente, y que van a ayudar a comprender las ideas sobre la afinidad en la química.

A finales del siglo XVIII se consolida un cambio de concepción sobre el problema de cómo se transforman las sustancias: De la afinidad como atributo se pasa a la afinidad como acción. Sin embargo, el cambio de concepción no se puede ubicar en un nombre o en una fecha, es parte de una perspectiva mecanicista que ya se estaba configurando desde tiempo atrás y que tiene que convivir en tensión con las ideas sustancialistas de las teorías del flogisto o de las de afinidades electivas. La consolidación también es un proceso donde se suceden bifurcaciones, creación de nuevos contextos experimentales, la búsqueda de efectos apropiados para trabajar en ellos. En particular, nos damos a la tarea de pensar la medición de la afinidad y nos centramos en los trabajos de Lavoisier y Laplace con respecto a los calores de reacción.

Organizar, distinguir y delimitar los efectos sensibles producidos por las disposiciones experimentales, y de acuerdo con ello, establecer el aumento o disminución de la afinidad química nos muestra que los efectos producidos no son cotidianos, naturales o inmediatos. Como tampoco lo son las preguntas ni los montajes experimentales involucrados.

## Relaciones entre historia y enseñanza de las ciencias

En este texto, se plantea que efectivamente se pueden construir diferentes clases de relaciones entre historia y enseñanza de las ciencias. La que se privilegia en este trabajo es la de ser una herramienta para reflexionar sobre la manera como se construye el conocimiento científico, reflexiones que tienen unos matices en el ámbito de la enseñan-

za de las ciencias, procurando marcar, diferencias con y aportes desde, lo que la filosofía de la ciencia ha construido con respecto a esta relación.

Uno de los asuntos que se destaca es que, aunque se pueda afirmar que los momentos anteriores son diferentes a los actuales, lo que se sostiene aquí posiblemente está en contravía con esta afirmación: es posible que los contextos culturales, sociales, políticos, económicos sean distintos, pero también es posible encontrar resonancias que se traducen en convergencias a problemáticas que preocupaban antes y que nos vuelven a preocupar después. La perspectiva que se enuncia está muy bien planteada en términos de esta pregunta de Bachelard (1973, p. 130) “en qué condiciones y con qué forma la historia de las ciencias puede desempeñar una acción positiva sobre el pensamiento científico de nuestro tiempo”. Si logramos identificar que convergemos en las preocupaciones y en el análisis de las lógicas de estudio que instalan, podemos establecer este dialogo con los científicos. Por ello privilegiamos la recurrencia intencionada a los textos de los científicos. Se construyen allí sentidos compartidos de las preguntas y problemas que nos planteamos, en particular en la enseñanza cruzados por intenciones pedagógicas.

En efecto, la historia como herramienta en la formación de docentes plantea cuestiones que obligan a revisar las habituales comprensiones que tenemos de los problemas de la ciencia y que ponemos en juego en las clases de ciencias. Lo que se quiere explicar es que la recurrencia a los textos de los científicos del pasado se hace desde lugares iniciales donde los docentes tenemos un conocimiento de lo que vamos a encontrar, tenemos ideas establecidas sobre lo que se habla cuando nos referimos a calor, molécula, gases, por dar algunas palabras pero también podría aplicar para teorías completas o clases de fenómenos más amplios, se cuenta con algunas definiciones que son claras en principio para nosotros porque se han aprendido desde diferentes fuentes de formación e investigación a la que se ha acudido. Estas comprensiones iniciales interactúan con los aspectos de los que informan los científicos en sus investigaciones, se tiene que poner en nuestras palabras los montajes, los desarrollos y las conclusiones de las que hablan, se hace este ejercicio, que es propio de cualquier dialogo, y ello confirma o mejor aún conflictúa nuestras comprensiones iniciales.

Esto es, que el dialogo con los textos de los científicos requiere una condición inicial de formación en ciencias que el profesor tiene, para tener elementos de conversación, desde los cuales se puedan plantear convergencias, puntos de análisis o preguntas. Además, no se sale incólume de este dialogo, se producen modificaciones en la comprensión que tenemos o de la historicidad de la ciencia o de nuestra disciplina. Ha de ser una manera de formar en la cultura científica, en sus conflictos, en sus procesos, y ante todo nos comprenderemos en nuestras dudas y conceptualizaciones; en suma, se moviliza lo que pensamos acerca del conocimiento que tenemos.

De acuerdo con lo anterior, al indagar, como se propone más adelante, si hay una forma de hacer una medida de la afinidad química como una cualidad de las transformaciones de las sustancias, se puede establecer la manera como se esclarecen problemas de medida, como se construyen instrumentos y unidades de medida, y como se garantiza la

validez de estos procesos. La relación entre los calores de reacción y la afinidad química es la que principalmente discutiremos en el presente texto.

Entonces cuando se aborda este problema nos encontramos con las relaciones ya mencionadas, pero también con nuevos problemas interesantes en el camino de comprender las relaciones energía-reacciones químicas, tales como ¿de qué manera medir el calor comprometido en las reacciones químicas y distinguirlas de otros procesos como los de disolución o de cambio de estado de las sustancias que también son procesos que acompañan las transformaciones de las sustancias? Además, se destacan preguntas planteadas por los científicos como ¿cuál es la interacción calor-materia en las transformaciones, en consonancia con los cambios observables en las reacciones químicas? No cabe duda que ser profesor de ciencias y plantearse estas preguntas lleva a construir una historiografía del desarrollo de estas ideas, pero principalmente se arma una perspectiva de la problemática de la ciencia que enseñamos.

Si inicialmente pensamos que afinidad química es lo mismo que afinidad electrónica, trataremos de encontrar nexos y nos encontraremos con una riqueza conceptual muy interesante, sobre todo si nos centramos en estudiar la afinidad como susceptible de ser medida y para lo cual se pueden construir aparatos o procesos de medida en las que convergen pensadores de finales de siglo XVIII.

Para varios historiadores como Mercé Izquierdo Aymerich y Ana Stany (1990) o Peré Grapi (2001), en un principio la afinidad química es un atributo o cualidad de las sustancias

Originariamente corresponde a una visión antropomórfica de la naturaleza, propia del Renacimiento, según la cual los cuerpos se unen entre ellos o bien se rechazan, debido a “simpatías” o “enemistades”; se fundamenta en una tradición más antigua, propia de una concepción mágica del mundo según la cual existen relaciones complejas de similitud entre todos los entes, de manera que algunas cosas son signo de otras y reciben un nombre que representa estas relaciones, que no siempre son evidentes. (Izquierdo Aymerich & Estany, 1990, p. 355)

A finales de siglo XVIII pensadores como Karl Friedrich Wenzel (1740-1793), Richard Kirwan (1733-1812), Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) y Pierre-Simon Laplace (1749-1827) hacen planteamientos que van a estar vinculados con la química como una ciencia moderna y lo cual contrasta con las ideas sustancialistas o las visiones antropomórficas cuestionadas. Ya desde los trabajos de Robert Boyle (1627-1691) se trataba de mostrar los fenómenos químicos de una manera diferente, fenómenos como la putrefacción, la corrosión o la degradación, eran producto de un cambio en la forma y el movimiento de las partículas que constituían las sustancias (esta es una mirada mecanicista de la composición y el cambio químico)

Boyle se opone a recurrir “a la explicación de ello [operaciones químicas] por alguna secreta simpatía o antipatía entre los cuerpos cuya acción y reacción intervienen” (Boyle, 1675, p. 3). Y explica las transformaciones en primer lugar destacando la naturaleza

corpúscular de la materia y luego la modificación de la organización, forma y movimiento de tales corpúsculos o agregados de corpúsculos. Las cualidades de los cuerpos “han de derivarse del tamaño, forma y movimiento de las pequeñas partes de la materia, [...] del modo en que se ordenan en cada uno de esos cuerpos” (Boyle, 1985, p. 231).

Frente a esto se puede plantear la pregunta por el cómo ocurren estos cambios de forma y de movimiento, lo que es posible explicar, como lo hizo Newton (1642-1727), en función de fuerzas de atracción identificadas con la afinidad química. Si la afinidad son fuerzas entre las partículas que componen las sustancias, uno de los factores determinante es la masa de las sustancias que intervienen. En esta dirección ubicamos los trabajos de Wenzel (1777) y de Kirwan (1782). El primero, Wenzel, mide el tiempo de disolución de pequeños cilindros metálicos sumergidos en soluciones ácidas, en tanto que Kirwan plantea la capacidad de saturación, es decir, la cantidad de ácido utilizado para reaccionar completamente con una cantidad de base dada.

Kirwan (1782) establece:

La afinidad o atracción química es el poder por el cual las partículas invisibles de diferentes cuerpos se entremezclan y se unen entre sí tan íntimamente como para ser separables por meros medios mecánicos. En esto difiere de la atracción magnética y eléctrica. También difiere de la atracción de cohesión en que esta última tiene lugar entre partículas de casi todos los tipos de cuerpos cuyas superficies están en contacto inmediato; pues la atracción química no actúa con ese grado de indiferencia, sino que hace que un cuerpo ya unido a otro lo abandone y se una a un tercero, y por eso se llama *atracción electiva*. (p. 35)

En los textos de Wenzel se establece que hay una afinidad cuando se hacen reaccionar distintos metales con los ácidos, y esa afinidad es mayor cuando se utilizan ácidos como el clorhídrico, el nítrico o el sulfúrico pero que cambia si cambian los metales. Wenzel (en Kirwan, 1782) explica:

Para descubrir la cantidad de afinidad que el ácido nitroso tiene con las diferentes sustancias con las que es capaz de unirse, se cubren pequeños cilindros iguales de cada uno de los metales, excepto en un extremo, con ámbar fundido, y se exponen a cantidades iguales del mismo espíritu de nitrógeno y a la misma temperatura; luego se anotan los tiempos de disolución de cada uno de ellos. La afinidad del ácido por cada uno de estos metales será inversa a los tiempos necesarios para la solución de cantidades iguales de ellos. (p. 37)

Kirwan acude a un mismo tipo de medida de afinidad cuando reaccionan los ácidos con las bases y que es menor o mayor dependiendo del ácido o de la base que se utilice. Dice:

Primero, que la cantidad de ácido efectivo, necesaria para saturar un peso dado de cada base, es inversamente igual a la afinidad de cada base por dicho ácido.

Segundo, que la cantidad de cada base, necesaria para saturar una cantidad dada de cada ácido, es directamente igual a la afinidad de tal ácido a cada base. (p. 38)

Sin embargo, los dos: Kirwan y Wenzel, procuran hacer esa ordenación de la medida de la afinidad acudiendo a las relaciones entre las cantidades de masas que intervienen en la reacción. Entonces cuantificar la cantidad de ácidos para que reaccionen distintos cilindros o esferas de metales en diferentes ácidos, se convierte en una medida de la afinidad. Esta lógica es controvertida en ese momento, ¿por qué asociaríamos la cantidad de afinidad como proporcional a la cantidad de sustancia que reacciona?

Si cambia la cantidad de sustancia, ¿cambia la magnitud de la afinidad de una sustancia por la otra? Es la pregunta que se hace y que entra en contradicción con la misma concepción de afinidad. Aunque se encuentren unas regularidades y equivalencias entre cantidades, será necesario profundizar en ellas para comprender que están ligadas a los desarrollos de los pesos equivalentes más que a las afinidades químicas.

### La relación entre los calores de reacción y la afinidad química

Al inicio del siglo XIX, la comunidad de científicos que ya conocía los trabajos de Kirwan y Wenzel, se explicaba la tendencia de dos sustancias a interactuar y sufrir cambios químicos gracias a las afinidades recíprocas que actúan según sus proporciones cuantitativas, que sirven de medida de la actividad química. Sin embargo, en el ensayo de estática química y las investigaciones sobre las afinidades que escribe Claude-Louis Berthollet (1748-1822) y en la memoria sobre el calor que escribe Lavoisier y Laplace (1780) se hace una hipótesis de trabajo distinta que, según afirma Pere Grapi (2001) no tiene suficiente repercusión en la comunidad científica del momento.

Estos autores —Berthollet, Lavoisier, Laplace— el primero, se centra en las reacciones que suceden acompañadas de proporciones variables y cambios químicos recíprocos, es decir, reacciones químicas en donde los reactantes no se consumen completamente, sino que la actividad química cesa aun cuando todavía hay suficiente cantidad de reactantes; además la reacción química se puede producir en uno u otro sentido: de los reactantes a productos o de productos a reactantes. Estos casos no eran explicados por las ideas de afinidad del momento. Por su parte, Lavoisier y Laplace estudian el desprendimiento o producción de una cantidad de calor que acompaña distintas clases de reacciones químicas como las calcinaciones y las combustiones.

Cuando Lavoisier y Laplace se unieron para trabajar, coincidían en la necesidad de una teoría sobre el calor. Ya se conocían algunos instrumentos —como el termómetro— para medir las diferencias entre distintos estados térmicos. Sin embargo, no había —como dice Hasok Chang (2004)— una teoría de los principios teóricos más generales

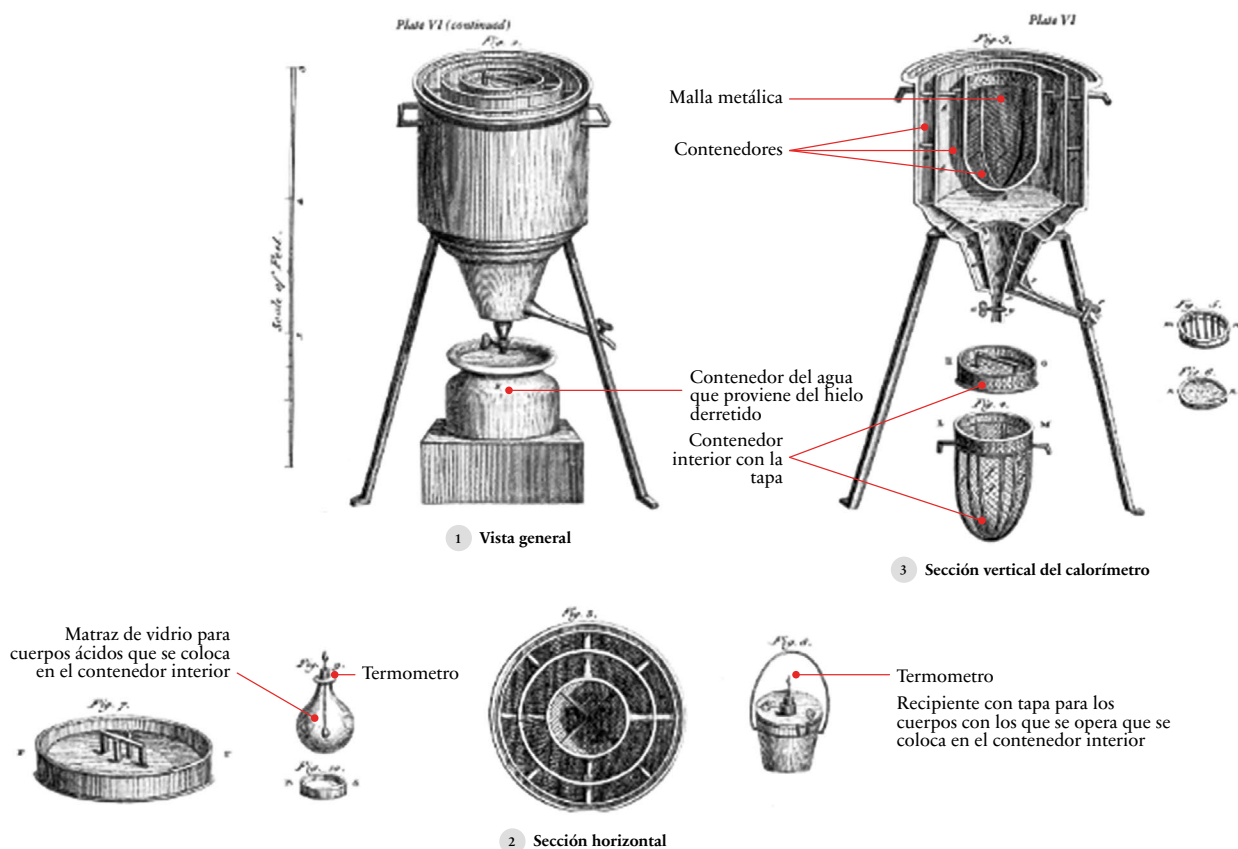
que regían la obtención de tales medidas. En ese momento, se acudía al método de las mezclas —ideado por Joseph Black (1728-1799)— para asegurar alguna confianza en las medidas de los termómetros, de acuerdo con su coincidencia con los hechos. Sin embargo, el calorímetro de hielo, construido por Lavoisier y Laplace (1780), representó un avance, pues puso en juego una conceptualización, un referente para la medida y las cuestiones técnicas de la medida. Este es un caso de construcción racional explícita de la experiencia, en términos de Bachelard (1948, p. 48).

Para medir el calor que se genera o produce en cada proceso químico, y comparar unos procesos con otros, Lavoisier y Laplace construyeron el calorímetro de hielo. Ellos establecieron que la cantidad de calor es proporcional a la cantidad de hielo que se derrite durante el proceso. Señalan que si se expone una masa de hielo a un ambiente cuya temperatura está por encima de 0°, todas sus partes experimentarán la acción del calor del ambiente, hasta que toda la masa de la atmósfera alcance el cero; es decir, el ambiente en el cual es colocado el hielo lo calentará y el “calor del ambiente se detendrá en la superficie del hielo sin poder penetrar en su interior” (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 292), así el calor habrá derretido una capa de hielo, pues lo ha absorbido del ambiente mientras se transforma en agua líquida, de tal manera que “el efecto del calor será el cambio del hielo en agua líquida” (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 292).

El calorímetro de Lavoisier y Laplace está construido como se muestra en la imagen 1, el calorímetro de hielo consta de tres contenedores, uno dentro del otro. El contenedor interno tiene una malla metálica en la cual se colocan las sustancias que participan en las reacciones químicas que interesan. El contenedor medio está lleno de hielo triturado, de tal manera que todo el contenedor interno queda rodeado de esta barrera de hielo.

A medida que el hielo se derrite “por el calor del cuerpo colocado en el contenedor interior, el agua fluye a través de la rejilla y el tamiz” (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 296) y se recoge en un recipiente para contabilizar la cantidad de agua que ha resultado fundida en el proceso. La cantidad de agua recogida y la variación que se ha dado en la temperatura es una medida de la cantidad de calor que ha desprendido la reacción.

Lavoisier y Laplace relacionan la cantidad de calor liberado en el proceso estudiado con la cantidad de calor que se requiere para derretir la masa de hielo, recogida luego como agua líquida. En los estudios de estos autores fue necesario establecer que la cantidad de calor de un cuerpo colocado en el contenedor interno y que libera calor en un proceso específico, por ejemplo, en una combustión, produce una variación en la temperatura. Es por ello que se dispone siempre de un termómetro para hacer estas mediciones tal como se indica en la imagen 1. Además, el calor liberado depende de las masas de los cuerpos que estudiamos.



**Imagen 1:** El calorímetro de hielo de Lavoisier y Laplace (1780)  
(Las etiquetas explicativas son propias)<sup>1</sup>

Sin embargo, como no se tiene una unidad de medida del calor, esta debe ser construida por Lavoisier y Laplace. Se toma una masa de hielo como referente, un grado de calor como un segundo referente. Y la unidad de medida es definida como:

“si suponemos dos cuerpos de materiales diferentes, iguales en masa, y reducidos a la misma temperatura, la cantidad de calor necesaria para elevar un grado su temperatura no puede ser la misma para estos dos cuerpos” (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 289).

Esta construcción está cruzada por otras elaboraciones conceptuales como por ejemplo la conservación de la energía, es decir, que la cantidad de calor desprendido por un cuerpo es igual a la cantidad de calor absorbido por el segundo cuerpo con el cual interactúa. La cantidad hielo que se desprende es recogida por el contenedor X dando cuenta de cuánta masa de agua se ha desprendido. Como hemos dicho la cantidad de calor absorbido por la masa de hielo derretido es igual a la cantidad liberada en el proceso

<sup>1</sup> Reproducción de la placa VI de Lavoisier (1780). *Elements of Chemistry, In a New Systematic Order, Containing all the Modern Discoveries* (R. Kerr, Trad.). <http://www.gutenberg.org/ebooks/30775> [Traducción al inglés de Lavoisier (1789)].



químico que se esté examinando (calor absorbido = calor desprendido); pero adicionalmente, entre más masa de agua se derrita más calor se habrá producido en el proceso que se haya examinado, entonces se debe establecer la cantidad de calor que puede ser absorbida por unidad de masa (lo conocemos como calor específico)

La formalización:

$$mq (a-b) = m' q' (b-a') \quad (\text{Ec. 1})$$

es la expresión de la conservación del calor y también de la dependencia de la masa que interviene y de la variación de temperatura  $a-b$ , o  $b-a'$ . Entonces,  $a$  y  $a'$  son las temperaturas iniciales de cada uno de los cuerpos puestos en contacto, del que absorbe el calor que el otro libera. Ahora, si bien no conocemos  $q$  ni  $q'$  (las cantidades respectivas de calores específicos), podemos establecer que:

$$q/q' = m' (b-a') / m (a-b); \quad (\text{Ec.2})$$

Luego Lavoisier y Laplace (1780) proponen que el calor específico asignado al agua sea 1, de tal manera que con respecto a esta referencia se establezcan valores relativos para todas las demás sustancias.

Entonces, se tendrá así la proporción de los calores específicos de los dos cuerpos  $m$  y  $m'$ , de suerte que, si se comparan las diversas sustancias de la naturaleza con una misma sustancia, por ejemplo, el agua común, se podrán determinar por este medio los calores específicos de estas sustancias, en partes del calor específico de la sustancia con la cual se relaciona. (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 290)

A partir de las anteriores formulaciones se hallan las cantidades de calor involucrados en distintos procesos como los de combustión o los de neutralización. Lo sobresaliente de este proceso es que el instrumento de medida —calorímetro de hielo— es ideado y juzgado por la preocupación conceptual que ocupa a los científicos, el instrumento es la concreción de la formulación matemática establecida.

### *La concepción de calor, los desarrollos de la medida de calor y la afinidad química*

Lavoisier y Laplace (1780) inician sus reflexiones sobre una teoría del calor así: “Para formar una teoría completa del calor, sería necesario tener un termómetro dividido en proporción a las cantidades de calor contenidas en el fluido del que está compuesto, y que pudiera medir todos los grados posibles de temperatura” (p. 307), esto es, el problema se centra en la medida del calor y en el fundamento que orienta el funcionamiento del termómetro como instrumento para esa medida. También continúan estableciendo:

Sería entonces necesario conocer la ley que existe entre el calor de las diferentes sustancias y los grados correspondientes de este termómetro, de modo que, tomando los números de estos grados por las abscisas de una curva, y los correspondientes calores de un cuerpo por sus ordenadas, se podría trazar la curva que pasa por sus extremos. Si el cuerpo es el propio fluido que forma el termómetro, esta curva será una línea recta, ya que se supone que el termómetro indica, por sus divisiones, el calor de este fluido; pero es posible que los grados de calor no aumenten proporcionalmente en los diferentes cuerpos, y que por tanto la curva anterior no sea la misma para cada uno de ellos. (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 307)

Lavoisier seguirá señalando la necesidad de conocer las cantidades de calor contenidas en cada cuerpo y las cantidades de calor que quedan libres en cada proceso. En sus siguientes obras trata el calor como un fluido material pero imponderable e incluso lo incluye en su tabla de los 33 elementos. Sin embargo, cualquiera que sea la representación que se hace del mismo, sus teorías sobre el calor han significado un importante capítulo para recoger y avanzar en distintos aspectos de la medida, de la construcción de instrumentos, de relaciones matemáticas y de precisiones para la relación que nunca ha sido simple entre los comportamientos químicos y las cantidades de calor involucradas.

Ya se ha visto en los apartados anteriores que la construcción del calorímetro significó proponer un mecanismo que se establece sobre la idea que la cantidad de calor liberaba en un proceso químico como las combustiones o las neutralizaciones se podía medir por la cantidad de hielo que se podía fundir, bajo el presupuesto que la variación de temperatura provocada por el proceso químico también hacía que una cantidad específica de hielo se fundiera, se pudiera recoger y pesar.

Por ello se debe conocer cuál es la variación de temperatura, entonces la precisión de los termómetros es un aspecto importante a tener en cuenta.

En algunos de los intentos ya realizados para establecer una teoría del calor, se ha supuesto que la cantidad de calor libre es siempre la misma antes y después de las combinaciones; se ha supuesto, además, que los calores específicos de los cuerpos expresan las relaciones de sus cantidades absolutas de calor, o, lo que es lo mismo, que sus aumentos de calor correspondientes a aumentos iguales de temperatura son proporcionales a sus cantidades absolutas de calor. (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 310)

Finalmente, estas afirmaciones y desarrollos conceptuales tienen que ver con la relación que han establecido entre las fuerzas de afinidad que hacen que las moléculas se mantengan cohesionadas y las cantidades de calor que se liberan en un proceso. Así es que entonces esta es la orientación más importante en las mediciones, la búsqueda de estas relaciones sobre una pregunta planteada ¿qué es lo que le hace el calor a las sustancias con las que se pone en contacto? Decían ellos:

La afinidad de las moléculas del agua tiende a unir las y a desviar el calor que las separa; y es muy probable que su disposición en el estado de hielo sea aquella en la que esta fuerza de afinidad se ejerce más ventajosamente; de donde se deduce que uno de los medios más adecuados para congelar una masa de agua cuya temperatura es inferior a cero, es ponerla en contacto con el hielo; y el mismo resultado debe extenderse a todas las cristalizaciones, y está confirmado por la experiencia.

El equilibrio entre el calor, que tiende a separar las moléculas de los cuerpos, y sus afinidades recíprocas, que tienden a unir las, puede proporcionar un medio muy preciso para comparar estas afinidades entre sí; si, por ejemplo, se mezcla un ácido, a cualquier temperatura por debajo de cero, con hielo, lo fundirá, hasta que se debilite lo suficiente como para que su fuerza de atracción sobre las moléculas del hielo sea igual a la fuerza que hace que estas moléculas se adhieran entre sí, y que es tanto mayor cuanto más considerable es el frío; así, el grado de concentración al que el ácido dejará de derretir el hielo. (Lavoisier & Laplace, 1780, p. 318)

A pesar del trasfondo sustancialista<sup>2</sup> que se pueda criticar a la pregunta anterior —¿qué es lo que le hace el calor a las sustancias con las que se pone en contacto?— resulta ser importante volver a ella. Entre las razones que encontramos, por una parte, ha estado siempre pendiente de ser resuelta, es una pregunta vigente para nosotros, la historia adquiere actualidad. Por otra parte, señala en el trabajo de Lavoisier y Laplace la necesidad de avanzar en un esquema formal que recoja lo ya constituido y que fundamente los aspectos a seguir en su investigación.

Hay unas consideraciones adicionales: En esta medida no se tomaba en cuenta que los diferentes procesos comprometen diferentes cantidades de calor, por ejemplo, cuando se coloca un metal a calcinar dentro del calorímetro, el calor medido no solo es de la reacción entre el cuerpo colocado y la atmósfera de oxígeno, sino que también está vinculado con cambios de estado o con procesos de disolución. Pero en principio, el esquema inicial es que en las diferentes clases de reacciones como por ejemplo las combustiones, las calcinaciones o las neutralizaciones ácido-base al interior del calorímetro, se desprende o produce una cantidad de calor, en unos casos es mayor que en otros.

Si se satura una base con un ácido sulfúrico, encontramos que el ácido más fuerte emite más calor que el ácido más débil, pero al calor liberado por el ácido más débil se añade el calor liberado por el agua [para la dilución] y se tendrá una cantidad constante de calor. (Hess, 1840, pp. 326)

Lo que muestra Hess (1802-1850) y que probablemente ya Lavoisier (1789) había previsto porque él da cuenta en su *tratado elemental de la química* de procesos tanto de transformación de las sustancias como las combustiones, detonaciones y fermentaciones, como también de procesos como la disolución de sales y otros, es que ese calor de dilución es distinto del calor de reacción, por lo cual, aunque se mida de la misma manera,

.....  
<sup>2</sup> En términos modernos los cuerpos no se ponen en contacto con el calor, sino que el calor aparece como efecto de la interacción entre distintos cuerpos.

con el mismo calorímetro y aplicando el mismo esquema de análisis de los datos, cómo separar la cantidad de calor de reacción con la cantidad de calor asociada a la disolución.

Lavoisier hace unas reflexiones que aparecen muy potentes para comprender los procesos de construcción de conocimiento: Lavoisier afirma en el tratado: “nosotros sabemos que hay unos errores o hay unas preguntas que no están resueltas en el aparato pero que no sea un motivo para detenernos, porque no tenemos respuesta a estas preguntas, pero podemos seguir avanzando mientras desarrollamos estas preguntas” (Lavoisier, 1789). Entonces lo que estamos reconociendo como un error es, en potencia, una nueva pregunta. Se requiere recurrir a la pregunta que habíamos referido anteriormente, ¿Qué hace el calor sobre los cuerpos? Cómo podemos asegurar efectivamente esta relación entre calor y reacción química, cómo se puede garantizar que una se puede medir en términos de la otra.

Dice Lavoisier (1789), en el Tratado elemental de química:

[...] tendremos que realizar nuevas experiencias para poder alejar la gran incertidumbre que aun poseemos al respecto. Cuando hayamos aclarado bien estos puntos, que esperamos sea en breve, nos veremos obligados a realizar correcciones, [...] cuando se buscan los elementos de una ciencia, es difícil no comenzar por aproximaciones más o menos exactas, y es raro que se la pueda llevar en un primer momento, a su estado de perfección. (p. 104-105)

De tal manera que nos enfrentamos a realizar un profundo examen de nuestra comprensión de este problema, pues se requiere tal vigilancia del pensamiento y de la experiencia que lo acompaña para, como hemos mostrado, pensar la afinidad química como una acción en los procesos de transformación de las sustancias, y por tanto, susceptible de ser medida en relación con los procesos térmicos. Nosotros como docentes de química, en el aula de clase, seguimos usando la afinidad como un atributo de las sustancias, aunque utilicemos palabras contemporáneas como las de afinidades electrónicas y las podamos definir en algunos términos formales. A propósito de este aspecto, nada mejor que terminar citando las palabras de Van Swinden (citado por Bachelard, 1973, p. 141): “Parece que los mismos errores se repiten en distintos períodos, pero siempre bajo formas nuevas y adaptadas a la filosofía de la época”.

Lo que consideramos que es la historia de las ciencias para la formación de profesores es aquella posibilidad de interacción, de interpretación. Al plantearnos preguntas, inquietudes o problemas que nos interesa, por ejemplo, la comprensión de los procesos químicos en relación con los calores de estos procesos, una opción que se deriva de este estudio es acudir a los textos de los científicos con la intención de construir un propio relato, una perspectiva de la problemática alimentada por lo escrito, por lo propuesto por nuestros científicos. Vale decir que luego en el aula de clase lo que podemos ofrecer a los estudiantes esta mediado por estas interpretaciones, por estas construcciones que hacemos en relación con los problemas que son abordadas en la ciencia.

## Bibliografía

- Bachelard, G. (1948). *La formación del espíritu científico* (J. Babini, Trad.). Siglo XXI Editores.
- Bachelard, G. (1973). *El compromiso racionalista* (1a ed. Español). Siglo XXI Editores.
- Boyle, R. (1675). *De las causas mecánicas de la precipitación química*. Royal Society. Impreso por E. Flesher para R. Davis Bookseller Oxford.
- Boyle, R. (1985). Consideraciones y experimentos sobre el origen de las formas y cualidades (1a ed. Español). En *Física, química y filosofía mecánica*. Alianza Editorial.
- Chang, H. (2004). *Inventing Temperature. Measurement and Scientific Progress*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0195171276.001.0001>
- Grapin, P. (2001). The Marginalization of Berthollet's Chemical Affinities in the French Textbook Tradition at the Beginning of the Nineteenth Century. *Annals of Science*, 58, 111-135. <https://doi.org/10.1080/000337901300103695>
- Hess, H. (1840). Recherches sur les quantités de chaleur dégagée dans les combinaisons chimiques. En *Annales de chimie et de physique* (pp. 325-330).
- Izquierdo Aymerich, M., & Estany, A. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. *Llull. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 13(25), 349-378.
- Kirwan, R. (1782). *Conclusion of the Experiments and Observations Concerning the Attractive Powers of the Mineral Acids*. The Royal Society. <https://royalsocietypublishing.org/>
- Lavoisier, A. L. (1789). *Tratado elemental de química* (R. Gago Bohórquez, Trad.). Ediciones Alfaguara.
- Lavoisier, A. L., & Laplace, P. S. (1780). Mémoire sur la chaleur, 1862. *Mémoires de l'Académie des sciences*. <http://www.lavoisier.cnrs.fr>

