

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
Doctorado Interinstitucional en Educación
DIE – UPN

FORMACIÓN EN CIENCIAS EN CLAVE HISTÓRICA

Sandra Sandoval Osorio

Investigación dirigida por Guillermo Bustamante Zamudio

Línea de investigación en Filosofía y Enseñanza de la Filosofía

Bogotá, D.C., 2025

Contenido

CONTENIDO	2
Lista de diagramas.....	4
INTRODUCCIÓN	6
HISTORIA DE LAS CIENCIAS Y EL VÍNCULO CON EL SABER.....	13
El estudio de los textos de los científicos	25
UNA HISTORIA EN CLAVE EPISTEMOLÓGICA PARA PENSAR LA EDUCACIÓN EN QUÍMICA. EL CASO DE LAVOISIER Y LAPLACE	39
La afinidad: de la agregación al sistema de oxidación	54
Medidas de calor y relación con la afinidad química	59
Un inicio a las consideraciones conceptuales.....	69
CONSTRUCCIÓN DE UN SABER CIENTÍFICO EN UN ESPACIO DE POSIBILIDADES: LA EXPERIENCIA EDUCADA Y LA RUPTURA EPISTEMOLÓGICA	73
El objeto	82
El sujeto	85
El fenómeno	92
Relación con el saber científico.....	97
CIERRE	111
Bibliografía.....	117

Lista de tablas

Tabla 1 - Orientaciones diacrónica y sincrónica en la historia de las ciencias.....	21
Tabla 2 - Modos de relación con la historia de las ciencias	38
Tabla 3 - Momentos y formas de comprensión de la afinidad química	40
Tabla 4 - Proporciones en la reacción de un álcali con diferentes ácidos	48
Tabla 5 - Proporciones en la reacción del ácido sulfúrico con distintos álcalis.....	49
Tabla 6 - Proporciones en la reacción de la cal con distintos ácidos.....	50
Tabla 7 - De las afinidades del principio oxígeno con las diferentes sustancias con las cuales es susceptible de unirse.	56
Tabla 8 - Combinaciones binarias del oxígeno con los metales y no metales.....	58
Tabla 9 - Combustión del fósforo.....	64
Tabla 10 - Combustión del carbono.	65
Tabla 11 - Combustión del gas hidrógeno.....	65

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 - Tabla de los diferentes rapports observados en química entre las diferentes sustancias formulada por Etienne François Geoffroy (1718)	44
Ilustración 2 - El calorímetro de hielo de Lavoisier y Laplace.	61

Lista de diagramas

Diagrama 1 - Relación del profesor con el saber	26
Diagrama 2 - Relación del saber con el estudiante	27
Diagrama 3 - Sujeto(s) - saber científico	74
Diagrama 4 - Sujeto(s) – saber científico en el campo de la investigación científica.	85
Diagrama 5 - Sujeto(s) – saber científico en el ámbito de la educación científica	86
Diagrama 6 - Posibilidades para una relación con el saber científico en la escuela	110

[...] es artificial, arbitrario e inadecuado para un auténtico proyecto de historia de las ciencias situar a dos autores científicos en una sucesión lógica de comienzo a consumación o de anticipación a realización. Al sustituir por el tiempo lógico de las relaciones de verdad el tiempo histórico de su invención, se ajusta la historia de la ciencia a la ciencia y el objeto de la primera al de la segunda, y se crea ese artefacto, ese falso objeto histórico, que es el precursor (Canguilhem, 1966, p. 25).

Introducción

Algunos conocen los nombres de figuras científicas emblemáticas como Lavoisier, Newton o Boyle; es más, a tales nombres se asocian momentos puntuales de la historia de la física o de la química: a la derrota de la teoría del flogisto, a la ley de la gravitación universal o a la ley Presión vs. Volumen de los gases ideales. Sin embargo, tal familiaridad presente en la cultura general que tiene el hombre cotidiano, puede dar lugar a una concepción de ciencia estabilizada, libre de tensiones y transformaciones en los modos de pensar.

Ahora, si este sujeto no está en la posición de hombre cotidiano sino que es un sujeto-profesor de ciencias y su relación con el saber científico no es pasiva, entonces esta relación es objeto de interrogación y de reflexión. Y lo que piensa de la ciencia no queda al margen de lo que pone en una clase sino que es un asunto estructural.

Llegar a esa pregunta por la relación del sujeto-profesor con el saber ha tenido varias estaciones. La primera, la necesidad de pensar ¿qué es lo que le sucede al sujeto-profesor, en su relación con el saber científico, cuando se acude al estudio de algunos momentos de la construcción del conocimiento científico, recurriendo a los textos escritos por los científicos? Frecuentemente, esto se resume como una recurrencia a la historia de las ciencias, pero no hay una sola clase de historia de las ciencias. En particular, aquella que privilegia la comprensión de los problemas que son estructurados en la ciencia, así como las condiciones y tensiones que hacen parte de esta estructuración, se ha reconocido como una historia en clave epistemológica.

En esta perspectiva histórica, desde autores como Gaston Bachelard, Georges Canguilhem y Dominique Lecourt, el saber científico se aleja de esa imagen estable, acumulativa y neutral que solemos tener. En cambio se aporta a considerar el saber científico como una construcción simbólica que avanza (distinto a decir que progresa o evoluciona) provocando rupturas con formas previas de comprender, construir u

organizar los objetos de las ciencias. En esta perspectiva, dos nociones son muy importantes: el *obstáculo epistemológico* y la *ruptura epistemológica*.

Esta idea de la recurrencia a la historia en clave epistemológica se sostiene en que comprender implica la conciencia de los obstáculos que llevan del reconocimiento del error a la constitución de una verdad de sujeto. Esta es, de hecho, una de las principales características: la ciencia es una actividad que se constituye contra tales obstáculos.

Al asumir que el obstáculo es una estructura clave en la constitución de conocimiento científico, entonces en la educación en ciencias la tarea no es la transmisión de contenidos, sino la creación de condiciones para que los sujetos-estudiantes reconozcan y trabajen en estas resistencias.

Además, contar con tales obstáculos no es una tarea de simple diagnóstico, implica un análisis profundo sobre cómo concebimos la constitución de los objetos de la ciencia. No se trata, por ejemplo, de afirmar de manera mecánica que al estudiar el calor en las reacciones químicas es necesario superar un obstáculo realista o sustancialista y, luego, aplicar una metodología para resolverlo. Se pierde de vista que estos obstáculos no son removibles de manera simple y tampoco son cuestión sólo de la manera de pensar un objeto, son parte constitutiva del saber científico en cada momento.

Así, plantear como necesaria la recurrencia a colocar en el aula un espacio de posibilidades, de modo que el fenómeno aparezca como aquello con lo cual el sujeto se encuentra en primera instancia, se transforma. El fenómeno es entendido como producto del trabajo de construcción y de problematización científica que el sujeto-profesor ha hecho; no es natural, no es inmediato y no conecta espontáneamente con la experiencia cotidiana. Es el resultado de una estructuración de problemas, una construcción que obliga a separarnos de la primera mirada para instalarnos en una relación con el objeto abstracto-formal de la ciencia.

Esta mirada implica asumir que el saber científico no se construye sobre la base de la experiencia directa, ni sobre una continuidad con el sentido común, sino que exige una elaboración conceptual que se enfrenta, en cada etapa, con dificultades propias del pensamiento y con tensiones que no pueden resolverse de forma simple. Desde este enfoque, los fenómenos no son evidencias inmediatas, sino el resultado de un trabajo intelectual que produce objetos abstractos-formales, distintos del dato empírico inicial.

Esta concepción tiene implicaciones para pensar la educación en ciencias. En lugar de presentar los fenómenos como realidades naturales con las que el estudiante se encuentra, se trata de mostrar que lo que aparece como fenómeno es el efecto de una construcción científica históricamente situada. De ahí la importancia de recuperar los textos de los científicos, no como documentos anecdóticos del pasado, sino como espacios donde se estructuran problemas, se enfrentan obstáculos y se produce el saber.

Esta recurrencia a la historia en clave epistemológica se convierte en una referencia que se proyecta hacia una educación en ciencias que no se centra en transmitir conocimientos, sino que interpela la relación que el sujeto —profesor o estudiante— establece con el saber científico.

Uno de los principales obstáculos a los que nos enfrentamos en la actividad científica, es la confianza en la experiencia básica, aquella, como advierte Bachelard (1947/1985, p. 27), se sitúa por encima de un examen riguroso. Esta experiencia se la considera suficiente por ser “mostrada”, “evidente” o “inconfundible”. No obstante, la actividad científica precisamente abandona esta mirada donde el fenómeno es visto como directo, natural e irrefutable. La ciencia no se ocupa de primero describir lo que se presenta a los sentidos para luego generalizar o inferir. Por ejemplo, durante un periodo, los hombres de ciencia describieron detalladamente las reacciones entre un ácido y un metal: los cambios de color que se producen, los humos que se desprenden, los gases que se perciben o las nuevas sustancias formadas. Estas observaciones, en algunos casos influenciadas por imaginarios alquímicos donde la

percepción del hombre gobierna lo que se establece por cambios de los materiales, recurrían a expresiones como: 'el metal se disuelve', 'el ácido se lo ha devorado' o 'se han desprendido espíritus ácidos', sin lograr establecerse relaciones teóricas que explicaran lo producido o ayudara a establecer las condiciones para la producción. La ruptura con esta manera de proceder llevó a una perspectiva de química moderna en el estudio de las transformaciones químicas que ha instalado criterios de ordenación y producción que no se pueden vincular con alguna experiencia inmediata.

Un análisis similar se puede hacer en la escuela que prioriza la recurrencia a la experiencia básica. Esto constituye un obstáculo pedagógico, que como lo desarrolla Paula Parra se entiende como esa resistencia a crear condiciones para que emerja un espíritu científico en la clase de ciencias (2021, p. 6). En esta dirección Bachelard afirma que *en la enseñanza elemental, las experiencias demasiado vivas, con exceso de imágenes, son centros de falso interés* (1947/1985, p. 47).

Con frecuencia, una de las dificultades manifestadas en los trabajos de los estudiantes de grado (tanto al finalizar la licenciatura o la maestría) es que consideran que es difícil que los estudiantes relacionen la ciencia que aprenden en la escuela con la vida cotidiana. Sin embargo, se puede interrogar a estos autores de trabajos de grado sobre si luego de lo que se ocupa la ciencia no es de crear nuevos objetos de estudio que no están en la cotidianidad: en la actividad científica se producen relaciones matemáticas o geométricas, se establecen dependencias entre magnitudes o variables impuestas a un objeto de estudio, se producen objetos abstracto-formales que se concretan en actividades experimentales como una manera de formar una percepción del objeto, lo que se puede denominar la producción de un fenómeno de estudio.

Por ello, se renuncia a una continuidad directa entre lo que vemos como hombre cotidiano y lo que se produce en la ciencia. En educación científica se trata de *derribar los obstáculos amontonados por la vida cotidiana* (Bachelard, 1947/1985, p. 21).

Ahora bien, no se trata de ignorar las ideas que se traen a la clase de ciencias, ni de desestimarlas; pero tampoco se trata de reemplazarlas por otras ideas que operen

en el mismo plano explicativo. Se trata de considerar de qué manera es posible que el sujeto-estudiante se confronte con una necesidad genuina de construir una nueva manera de pensar. Esto implica pasar a una cultura experimental que supere a la experiencia inmediata, que recurra al uso de las variables, de los resultados experimentales o de los aparatos de medida para estructurar la manera como comprende el objeto de estudio con el cual se relaciona.

Lo anterior tiene que ver con sostener una discontinuidad entre la experiencia y el conocimiento cotidiano, por una parte; y, por otra parte, el conocimiento y la actividad científica. Ante esta ruptura, el obstáculo epistemológico, como lo reconoce Lecourt (1973, p. 30), es una estructura constitutiva que marca el límite en una forma de pensar. En este sentido el obstáculo le da forma a la ruptura porque se enfrenta a la imposibilidad de seguir pensando de la misma manera. Dice Lecourt que el obstáculo se presenta allí donde se amenaza la continuidad entre el conocimiento común y el conocimiento científico: el obstáculo epistemológico es una resistencia al pensamiento científico, a la construcción de un objeto simbólico que se objetiviza en concreto-real y no al contrario.

De acuerdo con lo anterior, el saber científico no avanza por acumulación de información. Es un proceso de reconocimiento y rectificación de errores que no encajan o producen contradicciones en las lógicas emergentes; este proceso es lo que reconoceremos como ruptura epistemológica. Sin embargo, esta ruptura no ocurre de forma súbita, tiene una preparación, tiene un efecto, supone una reorganización profunda del pensamiento tal como lo exponen Michel Pêcheux y Étienne Balibar (1969).

En la historia de las ciencias vemos que estas rupturas no obedecen al mérito o a la decisión voluntaria de un individuo. Hay un devenir que implica que el sujeto se va consolidando en una nueva forma de pensar, observa de otra manera los datos, los organiza de otra forma, incorpora nuevos modos simbólicos de referirse al mundo que es construido y donde el científico emerge liderando las nuevas teorías.

Cuando el sujeto que reflexiona sobre el conocimiento científico es el profesor, comprender el proceso de rupturas y reconocimiento de obstáculos se constituye, no sólo en una postura epistemológica, sino también pedagógica, en tanto que la relación que el sujeto-profesor establece con el saber, expuesta en un espacio de posibilidades, invita al sujeto-estudiante a vincularse a este proceso.

Esta influencia sobre la relación que se puede establecer entre el saber científico y el sujeto-estudiante tiene otros componentes no asequibles por el lenguaje. Como lo trabaja Jacques Lacan (1960), en la relación de un sujeto con el saber hay elementos que se escapan al lenguaje y que juegan en el campo de lo no dicho. En la instancia de este espacio, que reúne al sujeto-profesor, en relación con un saber, y a un sujeto-estudiante que tenga la posibilidad de dejarse afectar por ese saber, ocurren varios movimientos sutiles: insinuaciones, indicaciones, dudas, preguntas, gestos, pausas, silencios, etc. Las actividades propuestas por el sujeto-profesor puede contar con una escucha, a veces atenta o a veces distraída, del sujeto-estudiante. En este espacio de posibilidades algo no premeritado, no planeado y no generalizable puede conmover y generar una incomodidad que prepara para un escuchar de otra manera, para emprender un camino de labor, para satisfacerse en un hallazgo que, a su vez, es una nueva invitación a seguir trabajando.

Una expresión concreta de estas reflexiones es el estudio de ciertos casos específicos que son de interés para el sujeto-profesor, porque tiene una pregunta o quiere armar una problemática en relación con la propia comprensión de su disciplina. En este documento se presenta cómo surge el calorímetro de hielo, desarrollado por Antoine-Laurent Lavoisier y Pierre-Simon Laplace (1780) y presentado por ellos en la *Memoria sobre el calor (Memoire sur la chaleur)* y también en el Tratado elemental de la química (*Traité élémentaire de chimie*) de Lavoisier (1789). Este artefacto es el resultado de la discusión y reestructuración conceptual sobre cómo medir la cantidad de calor que se produce en un proceso químico. Luego se explica que este calor es producto de las afinidades químicas que se establecen entre los elementos para formar compuestos en una reacción química. Por lo cual, si examinamos las

reacciones de combustión y cuantificamos la cantidad de calor obtenida en cada caso, suponiendo que las combustiones son reacciones químicas de los diferentes elementos con el gas oxígeno, podemos ordenar, de mayor a menor, esta cantidad de calor y establecer un orden de mayor a menor afinidad.

En este desarrollo, el fenómeno de combustión en relación con la afinidad química no es observado de manera inmediata; es una producción simbólica de la que se parte para objetivar las relaciones abstractas en operaciones experimentales específicas como mediciones de temperatura o cantidades de hielo derretido.

Para la educación en ciencias, se trata de que el sujeto-profesor, interesado en este estudio, comprenda y estructure esta clase de problemas, pase por reformulaciones, reconozca y rectifique diferentes obstáculos; no sólo que comprenda, sino que sepa cómo comprendió. En este proceso, el saber se convierte en experiencia encarnada. Es la mejor manera de decir que la relación con el conocimiento no tiene reposo. Su compromiso también se traduce en hacer de los objetos abstractos-formales y concretos-reales¹ situaciones y fenómenos de estudio que, colocados en un espacio de posibilidades en la clase de ciencias, puede generar interrogantes, abrir incertidumbres o hacer que se perciban contradicciones que pueden movilizar la manera de pensar y de percibir de ese otro que es el sujeto-estudiante.

¹ La distinción entre objetos concretos-reales y objetos abstracto-formales que son diferentes niveles del trabajo teórico es incorporado desde Louis Althusser (1967, p. 7)

Historia de las ciencias y el vínculo con el saber

El centro de la acción de un profesor de ciencias está en la relación que pone en juego con el conocimiento que luego vuelve objeto de su enseñanza. Entonces, por una parte, él mismo genera una relación con el conocimiento y, por otra parte, él procura condiciones para que sus estudiantes generen una relación con el conocimiento científico que recontextualiza² en el aula de clases. Son inevitables estas dos relaciones: de un lado, la relación *necesaria* entre el sujeto-profesor y el objeto de

² Para la discusión de este concepto, se ha estudiado la recontextualización de saberes desde los puntos de vista que han expuesto: Basil Bernstein y Mario Díaz (1985), María Mercedes Ayala (2006) y Guillermo Bustamante (2020). En Bernstein y Díaz se presenta como un *campo* intermedio entre el campo de producción y el de reproducción —campo en el mismo sentido que es trabajado por Bordieu (2001). Este movimiento está regulado por normas y códigos que transforman los discursos que, en este movimiento de un contexto a otro, son sometidos a procesos de selección y reorganización. Por lo anterior, en lo que se forman los sujetos-estudiantes en las clases de ciencias es en un saber enseñable que se ha reordenado para ser presentado. Aquí son centrales los aspectos sociológicos que rigen estas dinámicas.

En Ayala (2006) si bien se retoman los aspectos tratados por Bernstein y Díaz (1985), se retoman los aspectos epistemológicos e históricos que se siguen de los procesos de recontextualización. Los saberes científicos son traducidos para ser llevados a los contextos escolares, operación que es situada cultural e históricamente que exige una revisión de las concepciones de saber científico en las que se está formando los profesores de ciencias.

Bustamante (2020) reconoce y tipifica cuatro diferentes formas de recontextualización en relación con las prácticas educativas y Bernstein no es el único referente. El saber que se pone en juego en el aula de clase está cruzado por la relación que establece el profesor con él. La recontextualización es una práctica situada en la que el saber especializado, que la institución escolar reconoce como referente, es transformado de acuerdo con las decisiones, interpretaciones y acciones del profesor. En este sentido, la reelaboración del saber especializado por parte del profesor está en función de la relación que ha generado el profesor con dicho saber.

Un punto importante en el encuentro de estos tres referentes es que el saber especializado no puede ser trasladado de manera directa al contexto escolar, por lo anterior, lo que trabajamos en el aula es un ‘recorte’ que ha sido seleccionado y organizado por el ejercicio del profesor que actúa con algunos criterios no siempre explícitos.

conocimiento; y, de otro lado, la relación *posible* entre el sujeto-estudiante y el conocimiento científico que puede generarse en espacios de posibilidades contruidos desde la enseñanza de las ciencias.

Construir y reflexionar en particular sobre la primera de estas relaciones, es decir, aquella que se establece con el conocimiento, puede hacerse por diferentes vías que describimos parcialmente así: el conocimiento que tiene el sujeto-profesor es siempre actual³, constituye el marco desde el cual interpreta, interroga y actúa en dirección al objeto que es de su interés. Cuando se le propone a un sujeto hacer explícitas sus explicaciones sobre un asunto en ciencias, o valorar los hallazgos en el campo de las ciencias, lo hará desde lo que conoce hoy. Esto incluye las preguntas que surgen o que están presentes en relación con el objeto de estudio propuesto. Sin embargo, para abordarlas se puede acudir a fuentes autorizadas o literatura especializada de otros actores de la ciencia reconocidos, donde se hacen exposiciones completas de los formalismos matemáticos y de las conceptualizaciones que se reconocen como pertinentes al objeto de estudio. También se pueden hacer indagaciones propias a través de propuestas experimentales, que devienen en una actualización de los conocimientos iniciales, o que incluso pueden implicar rupturas con los anteriores conocimientos, y una rectificación de las posturas y preguntas inicialmente hechas.

Como nos centramos en la relación que el sujeto-profesor establece con el objeto de estudio en esta ruta de construir manifestaciones explícitas de su conocimiento en relación con un objeto de estudio, las actitudes ante las nuevas preguntas pueden ser al menos de dos órdenes: uno, cuando consideramos que las respuestas ya han sido

³ Cuando se afirma que la relación del sujeto-profesor con el conocimiento es siempre actual, también afirmamos que esta influye en la forma que toman las acciones propuestas para la clase de ciencias. Como trataremos más adelante, no hay vectores causa-efecto que se puedan garantizar de antemano, la recontextualización y estos espacios de posibilidad están afectados por el vínculo que establecemos con el saber y, según sea este, la reflexión sobre el saber puede anularse o procurarse en primer lugar, y entre estos dos polos —de inactividad o actividad— hay múltiples microestados. Micro porque sólo están presentes en nuestra aula, pues son idiosincráticos, y múltiples porque pueden variar según las relaciones que se establecen con otros.

elaboradas por otros y que sólo es necesario aprenderlas e, incluso, verificarlas a través de fuentes bibliográficas más actuales y confiables o a través de la experimentación ya estandarizada. Dos: cuando lo anterior no resulta suficiente (o ni siquiera es una ruta para considerar), porque el sujeto se propone una especie de conversación con las fuentes para ir construyendo esquemas con los cuales se encuentra satisfecho en su comprensión y para rectificar sus elaboraciones donde la experimentación es una de las oportunidades posibles para ampliar su dominio sobre el objeto de estudio abordado y de objetivar sus comprensiones. Sin embargo, uno y otro orden son sólo los antagónicos de una actitud que tiene toda una gama de grises.

La reflexión que se presenta sobre las diversas formas en que un sujeto-profesor de ciencias se relaciona con el conocimiento científico ha requerido un tiempo dedicado al estudio de los puntos de vista de la epistemología de Gaston Bachelard (principalmente 1940/1993, 1947/1985, 1953/1976, 1972/1980), lo cual aporta significativamente a la discusión al articular preguntas sobre cómo se forman los conocimientos científicos, cómo la ciencia es una expresión de la relación entre el sujeto y el mundo que se construye. Por esta vía surge el interrogante sobre cuál es el mundo del que hablamos en la ciencia, que incluye la referencia que hacemos a los fenómenos científicos, los cuales no están simplemente dados en la naturaleza; de hecho, la naturaleza misma tampoco es algo dado. Es posible establecer dichas consideraciones y ponerlas en vínculo con lo que hemos enunciado antes: las formas en que los profesores se relacionan con el conocimiento que queremos enseñar. Como señala Bachelard en *La filosofía del no*, es una necesaria tarea epistemológica formular las condiciones de síntesis de saber,

[...] en qué condiciones —a la vez subjetivas y objetivas— ciertos principios generales conducen a resultados particulares, a fluctuaciones diversas; y también en qué condiciones resultados particulares sugieren generalizaciones que los completen, dialécticas que produzcan nuevos principios (1940/1993, p. 9).

En esta línea, en el siguiente capítulo se hace un análisis que, a la vez que establece las condiciones —subjetivas y objetivas— que hacen posible nuevas relaciones, como la conexión del calor en vínculo con las reacciones químicas, también pone de manifiesto la relación posible entre la historia de las ciencias y la formación en ciencias que estamos destacando y privilegiando. A lo largo del texto, tendremos la oportunidad de mostrar que, para el caso de los profesores de ciencias, la historia expone cómo el conocimiento científico se construye a pesar de las ideas primeras, rectifica la realidad inmediata subjetiva, se toma tiempo para madurar tanto sus propuestas y, sobre todo, sus preguntas. En este sentido, el avance en la ciencia es un camino de preguntas bien planteadas. Además, los objetos de estudio de la ciencia son contruidos y se traducen en conceptos (como la *caloría*) o en artefactos (como el *calorímetro*). Con el caso de estudio que se presenta, podemos decir, como Bachelard (1940/1993):

La sustancia química será entonces representada como una pieza —una simple pieza— de un proceso de distinción; lo real será representado como un instante de una realización bien conducida (p.16).

Bachelard (1949/1978, 1934/1985) insta a pensar que la construcción de los conceptos científicos está muy lejos de ser una traducción de los *hechos de la naturaleza*, que pudieran aparecer como relevantes, para ser interpretados y descritos en lenguaje formal. Más bien se trata de un proceso en el que se establecen condiciones de realización de los fenómenos que llamamos científicos. Por tanto, no hay una continuidad entre lo natural inmediato y lo científico. Ahora bien, ¿cómo se relaciona esta perspectiva con nuestro interés por la relación del sujeto-profesor (de ciencias) con el conocimiento? Un punto importante es que, con frecuencia, se piensa que la concepción de ciencias que tenemos los profesores es isomorfa a la manera como procuramos que nuestros estudiantes construyan su conocimiento. Tal afirmación no es del todo precisa, pero para argumentar nos daremos a la tarea de examinar la manera como construimos conocimiento. En ocasiones, nos vemos ante

contradicciones tales como que declaramos o estamos convencidos del carácter construido del conocimiento científico, pero, a la vez, buscamos que los estudiantes establezcan relaciones entre lo que aprenden en la escuela y la cotidianidad que los rodea. En este caso, ¿qué concepción de conocimiento científico se juega un sujeto-profesor?, ¿acaso se pueden derivar de la cotidianidad del mundo las elaboraciones científicas?, ¿se puede pensar, por ejemplo, que combustible en la vida cotidiana de la cocina o del automovilismo es el mismo combustible de la termoquímica?

Estamos en condiciones de afirmar que una de las formas de establecer una relación con el conocimiento científico es en clave histórica, lo cual significa, en principio, entablar un diálogo con los científicos que han abordado problemáticas cercanas a las que son de nuestro interés. Se prioriza la mirada sobre las condiciones que han posibilitado el surgimiento de un fenómeno científico y la construcción de un conocimiento en relación con el mismo porque, por una parte, ha sido una fuente importante para la comprensión de las construcciones conceptuales que hacen los científicos, contemplando diversos aspectos e involucrando diferentes problemáticas. Y, por otra parte, no es extraño encontrar, en la formulación de los currículos de formación de profesores de ciencias, que reconocen la historia de las ciencias como una fuente clave para la formación epistemológica.

Como hemos dicho, la relación con el conocimiento científico se despliega acudiendo a *estudios de los textos de los científicos* que exponen las ideas acerca de problemas que nos son de interés porque son aquellos que están relacionados con los que nosotros estamos construyendo ahora⁴. Nos podemos interesar en esa lectura porque nuestra pregunta está centrada en la forma como se estructura un problema, en los instrumentos que se construyen para objetivar un concepto, una relación, una

⁴ En otras formas de relación con el conocimiento, el sujeto-profesor hace énfasis en los modos de proceder o en los avances más recientes y se propone versiones para desarrollar en el aula. Se puede igualmente, priorizar las aplicaciones más recientes o los formalismos de la ciencia en un momento dado, en cuyo caso, por ejemplo, se privilegia el estudio de soluciones a problemas sociales para los cuales se utilicen las técnicas y los protocolos que desde la ciencia se han estandarizado. Esto para insistir que la relación con los textos de los científicos que nos hablan de una historia de las ciencias no es la única posibilidad.

variable, entre otras; o también nos puede interesar el proceso por el cual se llega a la formulación de los algoritmos que se precisan para dar cuenta de las relaciones establecidas, de la formalización del objeto que se estudia.

Los estudios de los textos de los científicos pueden ordenarse privilegiando la actualidad que exponen las técnicas, los formalismos, los protocolos estandarizados y verificados en un momento dado. También puede ser privilegiada una lectura de los detalles de los cambios que suceden entre un momento y otro, a lo largo de la historia de las ideas científicas. Se estima que un problema, que hoy nos es de actualidad, tiene su origen atrás en el tiempo y saber las condiciones de su surgimiento nos ayuda a comprender mejor asuntos sociales, culturales o epistemológicos asociados a la construcción de conocimiento científico.

Para resumir: en las relaciones que los profesores establecemos con el conocimiento reconocemos procesos de rectificación⁵, e incluso de rupturas, cuando las ideas que tenemos son sometidas a condiciones de argumentación y explicación; cuando a un profesor se le interroga por un saber, cuando se le plantea una pregunta que no remite a meros datos o informaciones, cuando requiere ampliar las maneras de hablar o ampliar la experiencia que se tiene en el campo interrogado... nuevas preguntas empiezan a ser planteadas. La relación del sujeto con el conocimiento se ve comprometida en una suerte de perspectivas o bien por la gramática de la disciplina o bien por la historia de las ideas. En todo caso, el orden de una u otra perspectiva

⁵ El concepto de rectificación y ruptura epistemológica en la construcción de conocimiento científico se le debe particularmente al trabajo de Bachelard. Esta conceptualización se encuentra especialmente desarrollada en su obra *La filosofía del no* (1940/1993) y se entiende que los avances en el conocimiento científico no son acumulativos, sino que en los casos que se estudian tienen que ver con nuevos puntos de vista incorporados al estudio de los problemas que transforman completamente los modos de pensar y de proceder en lo que estudiamos. Es posible que los anteriores marcos de referencia se conviertan en casos particulares de las nuevas cosmovisiones. Por lo cual se rompe con las afirmaciones que se han convertido en hábito. Se reorganiza la razón, *todo lo que rectifica a la razón la reorganiza* (p. 27), es un movimiento necesario y constante en la construcción de conocimiento científico.

puede sostener una postura contingente o necesaria⁶ del sujeto hacia el conocimiento. (lo volveremos a tratar en la tabla 2).

Concentrados ahora en la perspectiva histórica, y con la integración a esta de los procesos de rectificación, ruptura y realización⁷, para hablar de las condiciones de construcción de conocimiento científico; presentamos las posibles orientaciones que se pueden distinguir y detallar en este texto: diacrónica (a lo largo del tiempo) y sincrónica (en un instante del tiempo).

Una *orientación diacrónica* establece o construye nexos con el pasado que son relevantes para la comprensión del conocimiento científico. Hay una dirección en la cual se hace énfasis en las fechas, los lugares, los personajes, las obras, y se termina haciendo un relato que, en algunos casos, resulta lleno de anécdotas y de datos. Se construyen ordenaciones de estos datos en una línea de tiempo que va del pasado hacia el presente; se satisface con la erudición de los personajes, las fechas y los lugares que hacen parte de los 'acontecimientos' que marcan la evolución del

⁶ La relación entre el sujeto-profesor y el conocimiento puede entenderse como contingente o necesaria. Contingente cuando el conocimiento es del orden de lo absoluto, ya establecido o validado en una comunidad de especialistas y el papel del sujeto-profesor es de intermediario en una didáctica que allana el camino y pretende universalizar el modo de introducir al sujeto-estudiante en la gramática de la ciencia. Sin embargo, en esta modalidad, la contingencia del sujeto queda excluida y es en esa contingencia en la que se tienen la posibilidad de que el sujeto desee saber.

Necesaria cuando no puede faltar, porque sabe qué sabe y qué no sabe, razón por la cual en su ámbito de trabajo se instala la indagación, el planteamiento de preguntas, la rectificación de los hallazgos y esta conciencia lo acompaña hasta la clase de ciencias. Cuando se encuentra con ese otro sujeto-estudiante hay una posibilidad de que se sintonice con el deseo del sujeto-profesor por ese saber presentado. Sin embargo, este encuentro es una contingencia, donde desde esta perspectiva no se puede garantizar el resultado (Cfr. Bustamante, 2019, pp. 39 y ss.).

⁷ Realización hace referencia no sólo a un ámbito de aplicación, sino a un proceso de creación de nuevos reales que están vinculados a las rupturas epistemológicas que superan las lógicas científicas anteriores. En este sentido, Bachelard (1940/1993) lo trabaja en varias de sus obras y afirma que la *primacía de la realización transforma la realidad* (p. 32). Así, la química del oxígeno, relevada por Lavoisier (1789/1937), supera la organización de la química del flogisto y organiza las sustancias químicas en torno a una lógica materialista que rompe con la lógica de los principios elementales de la antigua química.

conocimiento científico. Aquellas narraciones que colocan hechos y fechas (y que resultan en un relato anecdótico, como hemos dicho) son aquellas en las que, por ejemplo, se informa que la publicación de Lavoisier es del año 1789, o que la carta de Volta es de 1800... son datos que no nos hablan de la actividad del científico y que es de lo que se ocupa la historia de la ciencia a la que nos referiremos.

En una sesión de aula, estos profesores de ciencias privilegian exposiciones u otros materiales de divulgación, para mostrar las fechas, los personajes, los datos sobre las vidas de los científicos, las relaciones entre ellos, las asociaciones de las ideas de los unos con los otros.

Hay también direcciones de orientación diacrónica que obedecen a una historiografía donde se hacen estudios sobre cómo cambian los conocimientos científicos, se discuten las razones por las cuales se cambia una teoría por otra; por ejemplo, cómo se abandona la teoría del flogisto y se asume la teoría del oxígeno en la historia de la química. En la intersección entre filosofía, epistemología e historia de las ciencias se han construido *modelos de cambio científico que son lo bastante sistemáticos y articulados como para constituir la base de una futura filosofía diacrónica de la ciencia* (José Diez y Ulises Moulines, 1999, p. 441).

Diez y Moulines (1999) ponen de ejemplo de esta clase de estudios, los elaborados por Kuhn, Lakatos y Laudan, en donde se ha acudido a los conceptos de *paradigma, programas de investigación o tradiciones de investigación* que se constituyen en modelos de la estructura de las teorías que se extienden en el tiempo. Los profesores de ciencias acudimos a estos desarrollos conceptuales en la historia de la ciencia para entender los cambios de teorías o para establecer la relación en el tiempo de una teoría con otra; por ejemplo, logramos desarrollar una comprensión de los diferentes periodos o momentos correspondientes a distintas concepciones que se pueden establecer de ‘calor’, ‘electricidad’ o ‘materia’ a lo largo del siglo XIX.

Hay dos suposiciones que se movilizan en esta orientación: si hay ‘algo que permanece’ entre un momento y otro del desarrollo de una teoría o de un concepto, entonces se puede establecer una ‘continuidad’ entre estos momentos. Por tanto,

identidad y continuidad hacen parte de la explicación de los cambios y se pueden utilizar para idear maneras de trabajar estas problemáticas en la clase de ciencias.

Se diferencia de la mirada anecdótica anterior en que estas historiografías introducen criterios de análisis de cómo se va construyendo el conocimiento científico, se hace énfasis en las condiciones o circunstancias de los cambios, o bien, se considera que los cambios de una teoría se deben a dinámicas propias de la validez de las teorías, ya que surgen datos que no pueden ser explicados por una teoría y, entonces, tienen que ser modificadas o ajustadas o definitivamente cambiadas por otra teoría. O bien la validación está ligada a las influencias sociales, políticas o culturales, las teorías son aceptadas porque están en consonancia con las ideologías predominantes en un momento de la historia y los cambios de las teorías van de la mano con los cambios de estas ideologías.

CRONO-ORIENTACIÓN	TIPOS DE HISTORIA
<i>Diacrónica</i> (sucesión en el tiempo) Tendencia a representar la historia como una sucesión de hechos o de formas de esos hechos, es decir, un hecho (abstracto en todo caso), se relaciona con los siguientes por las palabras o conceptos que se usan.	<i>Historia anecdótica</i> <i>Historiografía</i>
	<i>Historia en clave epistemológica</i> Condiciones de posibilidad; historia crítica, valorada y juzgada; la racionalidad tiene una actualidad y una historia, un dominio y unas condiciones para su ejercicio.
<i>Sincrónica</i> (simultaneidad en el tiempo o un lapso en el que no se observan cambios) Tendencia a analizar la estructura y modo de organización de la ciencia en un momento dado, lo que pone en juego la ciencia como un sistema en acto.	<i>Ciencia atemporal</i> Estudio de las reglas del juego, de los formalismos matemáticos, de las técnicas y protocolos estandarizados.

Tabla 1 - Orientaciones diacrónica y sincrónica en la historia de las ciencias

La historiografía y las anécdotas históricas contribuyen a integrar la cultura científica a la cultura general, en el sentido de que reconocemos nombres, hechos, inventos, ideas y nos podemos preguntar por las condiciones o circunstancias en las que se dieron estos hechos que marcamos como importantes.

Además, el análisis histórico del surgimiento de técnicas, protocolos y formalismos matemáticos contribuye a formar en la gramática de la disciplina, es decir que procura la inserción de un sujeto en los procesos, métodos, saberes que son válidos en un momento dado para la construcción de problemas de investigación en una ciencia en particular.

En la *orientación sincrónica* —incluida en la tabla 1— se estudia la naturaleza y la estructura de las ciencias. Para hacer estas elaboraciones, metodológicamente se acude a la construcción de casos históricos con lo que se establecen, algo similar a cuadros estáticos de un momento dado de la ciencia. Se examinan las relaciones y dependencias que se dan entre las expresiones más generales y las consecuencias más particulares.

Algunas indagaciones se sirven de estas construcciones de casos históricos para ejemplificar o argumentar los modelos de teoría científica y su estructura, así como de los elementos necesarios en su conformación (Diez y Moulines, 1999, p. 303 – 304). Thomas Kuhn, por ejemplo, afirma explícitamente que *la atención a la historia de la ciencia nos obliga a modificar la mirada clásica de lo que es la ciencia* (Kuhn, 1962, p. 20). Aquí aparecen los ámbitos ‘metacientíficos’, los elementos ‘epistémicos y no epistémicos’ y, más recientemente, las elaboraciones sobre la naturaleza de las ciencias, pero antes de pasar a ello, lo particular de esta orientación sincrónica es que ha planteado problemas relativos a:

- El problema ontológico de las teorías científicas y de la construcción de sus términos observacionales.
- La problemática de la neutralidad de los términos observacionales.
- El problema metodológico de la naturaleza de la observación de cada teoría en particular.

Estas discusiones han considerado las condiciones sociales y culturales que, en cada momento en particular, ‘influyen’ sobre la construcción de conocimiento científico. Estas investigaciones han hecho énfasis en aspectos que han denominado

‘metateóricos’ o ‘metacientíficos’, sobre las diversas conceptualizaciones de lo que es una teoría científica desde el punto de vista sociológico, filosófico, ontológico o histórico.

En todo caso, se entiende que las teorías científicas son estructuras que orientan al sujeto para hablar de un mundo, legitimadas en un momento en particular de la historia de la ciencia. Sin embargo, estas estructuras pueden cambiar y, con ello, cambiar la manera como decidimos lo que es ciencia. A este respecto, Paul Feyerabend consolida el caso de Galileo Galilei para argumentar que una teoría científica es una construcción histórica que está muy lejos de ser reflejo exacto de lo que consideramos la realidad; más bien hay una fuerte influencia de las condiciones culturales y de la retórica utilizada por Galilei. *Las ideas que hoy constituyen la base misma de la ciencia existen sólo porque hubo cosas tales como el prejuicio, el engaño y la pasión; porque estas cosas **se opusieron a la razón**; y porque **se les permitió seguir su camino*** (Feyerabend, 1975/2007, p.166).

Los estudios de Pierre Bourdieu (2001) desde la sociología dan la posibilidad de distinguir estas influencias (externas e internas) en presiones y tensiones. Desde sus investigaciones, Bourdieu sostiene que los mecanismos para abordar y resolver los problemas propios de un objeto de estudio se ven expuestos a intereses sociales, políticos, económicos que ejercen *presiones*; por ejemplo: los galardones, los premios, las distinciones llevan a los científicos a escoger su trabajo en los ámbitos que tienen mayor reconocimiento social y abandonar, o dejar para los que recién ingresan al campo, aquellos otros que no son tan apreciables socialmente (Bourdieu, 2001, p. 33). En este marco, el autor se ha planteado una pregunta: *¿Cómo es posible que una actividad histórica, inscrita en la historia, como la actividad científica, produzca unas verdades transhistóricas, independientes de la historia, desprendidas de cualquier vínculo, tanto con el espacio como con el tiempo, y, por tanto, válidas eterna y universalmente?* (Bourdieu, 2001, p. 12).

Entonces, la manera cómo se resuelven los conflictos científicos va de la mano con la autonomía del campo, pues, en efecto, nos encontramos con condiciones

sociales que aseguran —paradójicamente, dice Bourdieu (2001, p. 35)— la autonomía y que la alejan de las necesidades puramente sociales.

Si bien la actividad del campo científico depende de su posición dentro de una estructura —concebido este campo como *espacio estructurado de acuerdo con unas lógicas a un tiempo genéricas y específicas* (Bourdieu, 2001, p. 64)— también este campo es un espacio de tensiones o de fuerzas simbólicas *que deforman el campo de sus vecindades*. Aquello que hasta este momento hemos llamado de manera genérica ‘influencias’ —como las necesidades sociales, las creencias religiosas o las exigencias bélicas, políticas o económicas— ejerce presiones que obligan a cierta reacomodación en los límites o vecindades. Agrega claramente Bourdieu: *en realidad, el campo está sometido a presiones (exteriores) y lleno de tensiones, entendidas como fuerzas que actúan para descartar y separar las partes constitutivas de un cuerpo* (Bourdieu, 2001, p. 87).

La orientación sincrónica, en una aproximación que se complementa con la orientación diacrónica, es lo que hemos ubicado como una *historia en clave epistemológica*; la cual es una reflexión sobre la ciencia en la que retomamos las nociones de ‘ruptura’ y ‘rectificación’ desde las obras de Bachelard. Esta reflexión epistemológica se configura como un análisis *a posteriori* de la ciencia, acompañada por la historia de las ideas científicas en una narrativa crítica y juzgada desde el presente (Bachelard, 1951/1980).

Con la convicción de que al trabajar con las revoluciones de la razón en la escuela se multiplicarán las ocasiones para pensar, parafraseando a Bachelard (1972/1980, p 9 -11), es la razón por la que privilegiamos en la formación de profesores esta orientación de historia en clave epistemológica. Bachelard mismo se pregunta: *¿en qué condiciones y con qué forma la historia de las ciencias puede desempeñar una acción positiva sobre el pensamiento científico de nuestro tiempo?* (Bachelard, 1951/1980, p. 130). Tenemos la oportunidad de ampliar este aspecto en el siguiente apartado, cuando hagamos explícita la incursión al caso de estudio, haciendo un análisis principalmente de los textos de Lavoisier y Laplace con un matiz, que es

nuestro interés por comprender cuáles son los presupuestos que dan paso a una manera de pensar un problema, qué elementos obstaculizan la emergencia de unos puntos de vista y de tales problemas de estudio, o cómo se resolvieron las dificultades teóricas o técnicas que acompañan la objetivación de un conocimiento en particular.

La historia en clave epistemológica es aliada de la tarea de considerar qué es lo que obstaculiza el avance de la formación científica, lo cual se constituye en una contribución para la pedagogía y para la ciencia.

El estudio de los textos de los científicos

Ubicada en esta última condición —de privilegiar una relación con una historia en clave epistemológica que considera que el conocimiento científico es una construcción— asumimos que el conocimiento científico es un modo de apropiación específica de un mundo, que también es parte de dicha construcción.

Llevado lo anterior al campo de la educación, ubiquemos la relación con los textos de los científicos que priorizamos con la intención de actualizar nuestro vínculo con la ciencia que enseñamos y con la historia de la ciencia.

Aceptar que establecemos una relación con la historia de la ciencia nos hace suponer que existe —y de hecho así es— un campo que se dedica a tal labor, que tiene un objeto de estudio y unos métodos de trabajo e incluso unos objetivos de investigación específicos. Autores como Georges Canguilhem (1966) y Helge Kragh (1987) han discutido concepciones de historia de la ciencia desde su objeto, el primero, y desde las formas de proceder, el segundo.

En la tabla 1 destacábamos las diferentes orientaciones en la historia de las ciencias y ahora nos centramos en las siguientes preguntas: ¿cómo tensiona ello la relación que el sujeto - profesor establece con el conocimiento que enseña?, ¿cómo esta elaboración contribuye a comprender las condiciones de construcción de conocimiento científico? y ¿cómo contribuye a crear condiciones en el aula para la formación en ciencias?

El profesor establece una relación con el conocimiento acudiendo al estudio de los textos de los científicos con los que entra en resonancia en términos de las preocupaciones, las preguntas, las formalizaciones que implican la construcción de un objeto de estudio y de un fenómeno científico (ver diagrama 1).

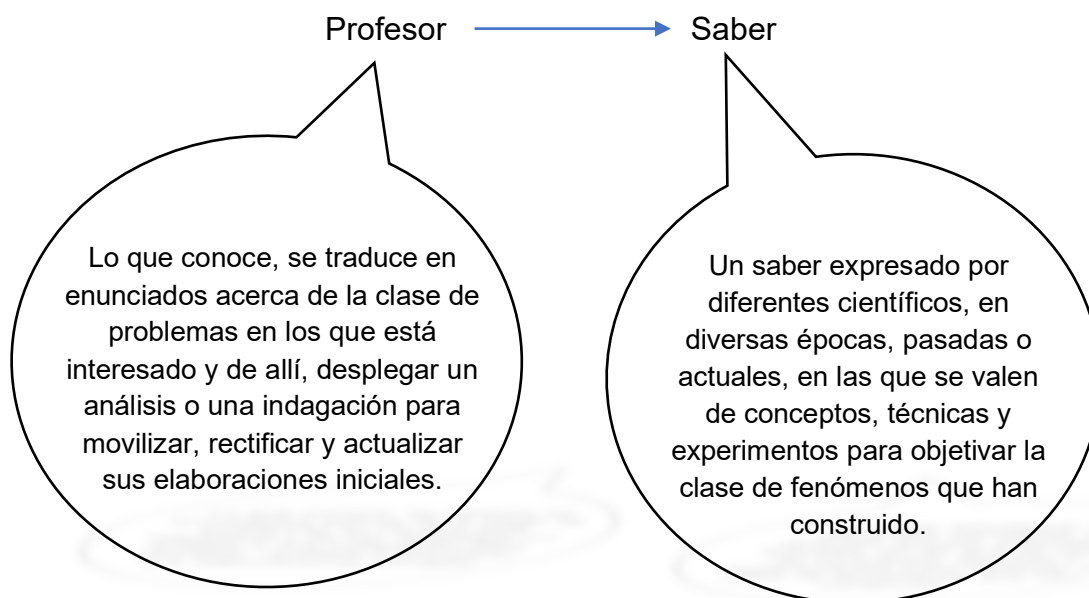


Diagrama 1 - Relación del profesor con el saber

La actitud contemplativa no es suficiente para la construcción del objeto de estudio⁸ y menos para la elaboración de indagaciones activas. Por ello, la sola lectura de los textos nos trae, posiblemente, experiencias de erudición producto de una lectura desprevenida, un ejercicio de aprendizaje de la primera verdad que se revela.

Una lectura intencionada crea una versión de conversación, es un estudio que aporta a la comprensión de cómo se construyen y transforman las preguntas en la

⁸ Por supuesto que la actitud contemplativa es pertinente en aquellas situaciones donde el espíritu se pliega a la belleza o a la curiosidad, sin buscar la explicación lógica de los eventos que transcurren: nos podemos detener en situaciones cotidianas a mirar las fotos de nuestros seres queridos, a escuchar una pieza musical o, en nuestra vida social, a observar una obra de arte que atrae nuestra atención. En ciencias esta es una actitud pasajera que no se ha de privilegiar.

ciencia; pero, sobre todo, tiene una importante repercusión en la transformación de nuestras propias preguntas como profesores de ciencias.

Se perfilan las condiciones de posibilidad de este conocimiento científico y, con ello, nos da herramientas para plantear también espacios de posibilidad para el aula, con la intención de generar una relación entre el estudiante y el saber científico. La relación del profesor con el saber en el contexto de interacción con los estudiantes muestra no solamente el conocimiento de la química, sino además el deseo de saber química (ver diagrama 2). Sin embargo, lo que hacemos o proponemos en el aula no es determinante de lo que se forma en el estudiante. Es un espacio de posibilidad, no es una causa y es imposible de prescribir y de prever.

Es así como se puede señalar esta otra parte:

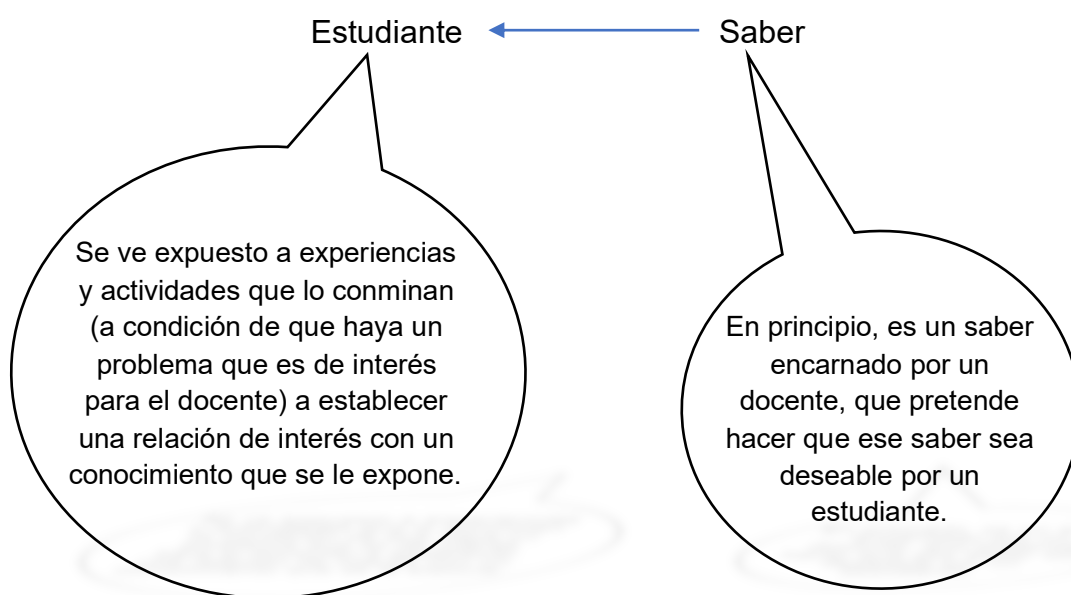


Diagrama 2 - Relación del saber con el estudiante

Sobre estas relaciones volveremos en un capítulo posterior. Pero antes de continuar nos hemos preguntado: ¿qué observa el profesor en la relación del estudiante con el saber científico? Como dijimos antes, lo que está en juego en esta interacción no se prescribe. En los momentos en los que interactuamos con los estudiantes captamos

rostros que expresan inquietudes, distracciones o estados de concentración, entre otras expresiones; rostros en los que se perciben distintas formas de estar en la clase: algunos requieren más tiempo para comprender, otros parecen volver sobre sus comprensiones; en suma, podemos suponer que alguna cosa está sucediendo relacionado con lo que siente y piensa frente a lo que se enseña. No obstante, no está claro qué acontece y no es tangible qué es lo que nos leemos mutuamente en esas miradas. Lo cierto es que podemos imaginar que tenemos una relación con ellos, cada uno en su singularidad; este es precisamente un espacio donde no todo se resulta traducible en metodologías, técnicas o teorías, pues se trata de *efectos*.

Ahora bien, cuando el profesor mantiene una relación con el conocimiento, en los diálogos que establece con los científicos a través de sus textos se da una actividad de intercambios —mediados por la lectura y escritura— que ponen en juego las condiciones técnicas, teóricas y experimentales que han dado lugar a enunciados con los que tiene comprensiones comunes o que plantea distancias a examinar.

Parece natural asociar el ejercicio de revisar y construir un diálogo con los textos de los científicos al recurso de acudir a la historia de las ciencias. Pero, como se analizó anteriormente y se resumió en la tabla 1, no hay una única orientación en la historia de las ciencias y conforme esta se convierte en un campo específico de interés en la filosofía, las orientaciones se han bifurcado. Entonces, conviene reiterar el carácter histórico que tomamos como base.

La historia de las ciencias es una actividad donde tenemos la oportunidad de ver el ‘pasado’ con la perspectiva de hoy, donde se toma distancia del valor de verdad de las afirmaciones establecidas⁹ para examinar cómo se realizaron algunas preguntas, cuáles eran las lógicas desde las que una pregunta, un modo de proceder, una tentativa de respuesta... hallaban su lugar. Es este un estilo de historia que a los

⁹ Quiere decir que no es fundamental saber si estaban, a la luz de nuestra época, cayendo en errores o no, en el sentido que no se va a juzgar en qué se equivocaron, sino cómo se plantearon estos problemas y cómo los resolvieron que, a lo mejor, luego tiene que rectificar, pero la rectificación es parte de la construcción de conocimiento científico.

profesores nos da una vía para valorar los procesos desde los cuales se ha constituido nuestro saber. Esto difiere de decir que la ciencia es una actividad histórica, como un desarrollo lineal y continuo.

Cuando se plantea la recurrencia a estos estudios como una vía investigativa, estamos afirmando que construimos una versión de cómo nuestras preguntas se transforman y que se profundiza en la revisión de nuestra perspectiva conceptual, lo cual crea posibles condiciones para idear acciones de recontextualización.

En estos estudios se producen argumentos para sostener que nos encontramos con saberes que no comprendemos bien y se nos vuelve una necesidad comprender mejor. Nuestra necesidad de conocer bien lo que enseñamos requiere que podamos responder por nuestras relaciones con distintos aspectos, como lo experimental o lo instrumental. Por ejemplo, se sabe bien cómo opera un aparato de medida cuando se han construido los principios teóricos que rigen su funcionamiento y su relación con los problemas conceptuales que resuelve; esta no es una ruta inmediata de sólo manipulación de los aparatos.

La historia en clave epistemológica que conectamos con el trabajo de Bachelard (1951/1980, 1934/1985) y Canguilhem (1966), plantea preguntas por ¿qué es lo que se estudia en la historia de las ciencias?, o ¿cómo el sujeto construye sus objetos de estudios? y ¿cuáles son las condiciones para que estos objetos se constituyan y se sostengan?

Ahora bien, el profesor de ciencias, desde su formación y experiencia, abre otra vía de acercamiento y otros intereses; la pregunta que pensamos se hace el historiador por cuáles son las condiciones y orientaciones que hacen posible la construcción de un objeto de estudio, el profesor la asume con una intencionalidad particular, marcada por cómo estas condiciones y orientaciones son relevantes en dirección a aquellos aspectos del desarrollo conceptual del problema en cuestión que requieren ser mejor comprendidos y, en tanto esta comprensión, se abre la posibilidad a imaginar condiciones que susciten en sus estudiantes el interés por construir el objeto de estudio.

El punto más álgido para el profesor —vivido en carne propia— radica en que estos estudios históricos, que, en suma son una propuesta de ponernos en diálogo con las ideas de los científicos que construyeron los objetos de estudio abordados por las ciencias que enseñamos, obligan a plantearnos las siguientes cuestiones:

- a. La renuncia al objeto de estudio continuo.
- b. La renuncia a la separación objeto–sujeto.
- c. La renuncia al nexo entre la cotidianidad y los objetos de los que hablamos en las ciencias.

a. La renuncia al objeto de estudio continuo. Consideramos que lo que hoy conocemos sobre un determinado objeto de estudio en ciencias guarda una identidad con lo que en el pasado se reconoce de este. Por ejemplo, las palabras que usamos —‘átomo’, ‘sustancia’, ‘fuerza’— las ligamos a las de los antecesores. Es costumbre encontrar el origen de los átomos en las formulaciones griegas, o el origen de las fuerzas en las formulaciones de los filósofos naturales del siglo XV. ¿Estamos seguros de que son el mismo objeto de estudio?

Los desarrollos de la ciencia son discontinuos. Canguilhem (1966) señala la importancia de pensar que el progreso científico no puede pensarse como una línea continua y acumulativa:

[...] es artificial, arbitrario e inadecuado para un auténtico proyecto de historia de las ciencias situar a dos autores científicos en una sucesión lógica de comienzo a consumación o de anticipación a realización. Al sustituir por el tiempo lógico de las relaciones de verdad el tiempo histórico de su invención, se ajusta la historia de la ciencia a la ciencia y el objeto de la primera al de la segunda, y se crea ese artefacto, ese falso objeto histórico, que es el precursor (Canguilhem, 1966, p. 25).

También Alexandre Koyré (1961/2016) advierte la inconveniencia de los precursores que se destacan en la historia de las ciencias, dice que:

[...] la noción de ‘precursor’ es, para el historiador, muy peligrosa. Es indudable que las ideas se desarrollan de forma casi autónoma, es decir

que, nacidas en una mente, alcanzan la madurez y fructifican en otra, y que, por tanto, es posible hacer la historia de los problemas y de sus soluciones; también es cierto que la importancia histórica de una doctrina se mide por su fecundidad, que las generaciones posteriores sólo se interesan por las que les preceden en la medida en que ven en ellas a sus 'antepasados' o a sus 'precursores'. Sin embargo, es obvio —o al menos debería serlo— que nadie se ha considerado nunca «precursor» de otro, ni podría haberlo hecho. Así que pensar en él como tal es la mejor manera de impedirnos comprenderle (p. 125).

El avance del conocimiento científico es leído desde rupturas, reorganizaciones o desplazamientos que hacen del obstáculo epistemológico una categoría clave en el análisis propuesto. Bachelard (1951/1980) afirma que la historia de las ciencias es actual, entre otras cosas porque es *preciso comprender la multiplicidad de las dificultades que traban el progreso* (p. 140), los estudios históricos nos enseñan los valores del progreso y las resistencias de los obstáculos epistemológicos que, para el profesor, se relacionan con los obstáculos pedagógicos.

Para empezar a contextualizar el caso, que presentaremos luego, sobre la actividad de las sustancias y sus transformaciones químicas, que se relacionan con el calor, es tratado en un momento inicial por la termoquímica, donde Lavoisier y Laplace construyen un aparato para medir cuánto calor se produce en una reacción química como la combustión del carbono, el hidrógeno o el azufre. Este es el calorímetro de hielo, el cual tiene un fundamento en los trabajos de Joseph Black (1803) sobre el calor que muestran que el hielo se puede derretir y convertir en agua líquida sin cambiar su temperatura. Con este calorímetro determinan también cuánto calor se produce cuando una sustancia se disuelve en otra en procesos como la disolución de los ácidos en agua. ¿Cómo no pensar que estamos hablando de lo mismo? ¿Cómo no suponer que tenemos un objeto de estudio en común? Y, al mismo tiempo, ¿cómo garantizar que las contribuciones conceptuales de ese momento son de interés actual, a pesar de que hablaban del calor como una sustancia?

b. La renuncia a la separación objeto–sujeto. Si bien, por una parte, consideramos que los estudios en ciencias están en relación con los objetos de la ciencia, para cuya construcción se ponen en juego las maneras como hablamos de ellos, las condiciones que les imponemos, esto es el objeto aparentemente independiente de nuestros imaginarios o representaciones, es un objeto producto de nuestra manera de organizarlo y pensarlo en el mundo.

Se introduce aquí el presupuesto de que la ciencia produce dos maneras de objeto: el objeto abstracto-formal y el objeto concreto-real. Bachelard (1949/1978) se ha referido al objeto pensado y el objeto percibido, en cuya complejidad hay que considerar al sujeto que ha quedado fuera de esta operación de objetivación en las ciencias y que, al tiempo, es efecto de tal proceso. Esto es: el sujeto, así como el objeto, es efecto de la relación.

c. La renuncia al nexo entre la cotidianidad y los objetos de los que hablamos en las ciencias. No hay una continuidad entre lo que decimos de los objetos de nuestra experiencia y percepción inmediata del mundo y los objetos de la ciencia; es una ruptura que se pretende *curar* en muchas acciones pedagógicas para poderle ‘*dar sentido*’ a la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, la revisión de los desarrollos de la ciencia rompe con la idea de que los objetos de la ciencia proceden de experiencia inmediata. Por ejemplo, entender la manera como los científicos han relacionado la producción de calor (por medio de procesos de combustión del carbono, del fósforo o del azufre, que debe colocarse en condiciones controladas de cantidades de aire, de cantidades de materia combustible y de medición de variación de temperatura), rompe con la visión de combustión como productora de llama, explosión o luz. Esto es, no hay un vínculo directo o lógico entre la experiencia común y la experiencia científica. Los fenómenos y objetos científicos no son naturales, y no se pueden reducir a la experiencia sensible, tampoco está orientado por valores como la utilidad o la finalidad. La clasificación, la ordenación, la medición, el intermediar con instrumentos en la construcción de un objeto de las ciencias, requiere acotaciones o recortes y la

percepción nueva surge de un progreso en las formas de pensamiento que se van concretando, son realizaciones.

De manera análoga se puede afirmar para la historia de las ciencias, lo que es objeto de estudio en la historia de las ciencias no es inmediato, no se ofrece desde una mirada natural y desprevenida al sujeto por el hecho de contar eventos, aquí Canguilhem (1966) afirma:

El objeto de la historia de las ciencias es, por lo tanto, un objeto no dado, un objeto para el cual es esencial el inacabamiento. La historia de las ciencias no puede ser de ninguna manera historia natural de un objeto cultural. Con demasiada frecuencia se la concibe como historia natural, porque identifica la ciencia con los científicos y a estos con su biografía civil y académica, o bien porque identifica la ciencia con sus resultados y estos con su enunciado pedagógico actual (p. 20).

Ahora bien, estas consideraciones repercuten en la educación en ciencias. Bachelard (1951/1980), a este respecto, ha destacado que el profesor de ciencias puede acudir al estudio de la historia de las ciencias y asumir las dificultades u obstáculos que se identifican en el progreso de las ciencias. El paso del profesor de ciencias por la historia de la química atraviesa su relación con el objeto de estudio y tal relación no tiene una forma unívoca, como hemos enunciado al inicio de este capítulo. Esta relación se manifiesta de diversas formas y con distintos resultados, que expresan nuestra relación con la historia de la ciencia. Podemos hablar de al menos dos maneras de proceder frente a esta relación: 1.- la historia ya está hecha por los historiadores, se puede replicar en el análisis que hace un profesor de una temática y puede producir materiales y acciones en el aula para procurar mejoras y reflexiones sobre lo que es el conocimiento científico. 2.- Es una manera que tiene que ver con ubicarnos como lectores activos de lo que se ha dicho y de los procedimientos que se han seguido en un tiempo anterior con respecto a los asuntos científicos que nos interesan como profesores. En esto cabe preguntarnos: ¿qué

significa hacer una lectura crítica que pone en consideración los propios significados del lector?

Podemos hablar, entonces, de los siguientes procedimientos que, de acuerdo con cómo se lo plantee el sujeto que hace la lectura, puede ser de la primera o la segunda manera:

1. Una historia de la ciencia contada que se traduce en la producción de materiales y herramientas de trabajo para las clases de ciencias. Construir narrativas con fines educativos, en las cuales la historia de las ciencias es vista como la *descripción de los fenómenos o acontecimientos concretos que se produjeron en el pasado; es decir, se trata de la historia objetiva* (Kragh, 1987, p. 33).

Estas formas narrativas se ajustan al esquema de continuidad, donde se presenta una secuencia lineal en la que cada hecho se desprende del anterior y que el desarrollo de la intención de un científico es suficiente para que se produzca un avance. De la misma manera, en la educación se pueden relatar los hechos en la ciencia, narrando como cada progreso es producto del anterior o superación de un error cometido. Así, la ciencia y la historia de las ciencias tienen esta narrativa común que es expresión de una objetividad.

Por ejemplo, si en ciencias hablamos de ‘electricidad’, ‘luz’ o ‘calor’, las primeras ideas que perciben chispas, que se fijan en el arco iris o que piensan en sustancias imponderables que penetran los cuerpos, son el antecedente que es corregido por los físicos del siglo XIX. Es una narrativa que nos hace pensar que los conocimientos que hoy tenemos, fruto de los puntos de discusión que han estado en tensión durante gran parte de ese siglo, que produjeron tubos de descarga, espectroscopios y principios teóricos como entropía... son realmente la manera de pensar la interacción materia – energía.

2. Una historia de la ciencia que sugiere las discusiones, que ahora los encontramos como aspectos metadisciplinarios o metaconceptuales, metateóricas, o sobre la naturaleza de la ciencia¹⁰. Construir casos a propósito de narrativas históricas y de textos de científicos (fuentes secundarias y fuentes primarias) donde el profesor hace un esfuerzo por establecer elementos epistemológicos que aportan a la comprensión de cómo se formó una determinada teoría, en el sentido de cuáles son las imágenes de conocimiento o las concepciones de naturaleza que se pueden detectar en determinado momento.

Se vinculan estos elementos a las condiciones culturales, económicas, políticas del momento en particular. En los tiempos más recientes, se da mayor importancia a los aspectos socio culturales y se procura defender la hipótesis de que la ciencia es cultura porque es producto de aquellas relaciones. En otras palabras, se ve la ciencia como un fenómeno de la cultura, condicionado por los elementos sociales del contexto. En la mayor parte de las ocasiones en que esta historia es traída a las aulas, se pasa por alto las discusiones e interpretaciones de los resultados o discusiones de la ciencia; se hace mención a los aspectos internos y externos (términos tomados de la epistemología de Kuhn) pero se centra prioritariamente en los aspectos que denominan 'externos'. La historia aquí es una metadisciplina en la que uno de los intereses es el tipo de actividad humana que se llama ciencia (Kragh, 1987, p. 34).

3. Por último, una historia construida, atemporal, que hace énfasis en la comprensión de los objetos de estudio, en la que cabe la pregunta: ¿cuál es el

¹⁰ Un balance muy completo de los diferentes discursos en esta línea se puede revisar en el trabajo publicado por Acevedo-Díaz, J.A. y García-Carmona, A. (2016). "«Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica". *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 13 (1), 3-19. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18010>

papel ideológico de la historia de la ciencia en relación con las disciplinas e instituciones científicas? (Kragh, 1987, p. 49).

Una historia que expone la relación con su objeto de estudio, el profesor formado en esta ciencia se forma en sus propias preguntas y. a partir de aquí, establece un diálogo con los científicos a través de sus textos. Se afianza su interés por la ciencia; luego, eso repercute en la manera como relaciona a sus estudiantes con la ciencia, porque la relación protagonista no es la que él forma con sus estudiantes, sino la que él les propone a sus estudiantes que formen con el saber o con los objetos de estudio.

Dice Canguilhem (1966): *dar a entender hasta qué punto ciertas nociones, actitudes o métodos superados fueron, en su época, una superación, y ver, por consiguiente, que el pasado superado sigue siendo el pasado de una actividad para la cual debe mantenerse el calificativo de científica* (p. 17).

Sucede que en ese pasado superado nos volvemos a ver de frente con los modos de pensar que sostenemos hoy, y cuyo valor para la formación en la cultura científica es de nuevo superarlos, tal vez no de la misma manera, porque tenemos la referencia de qué elementos privilegiar.

Por ejemplo, en la historia de las ciencias nos encontramos con las cuestiones que nos plantea el estudio de un comportamiento de las sustancias, de la relación con manifestaciones como cantidades de calor o de electricidad. Lavoisier y Laplace cuando inventan su calorímetro tenían en ciernes una convicción que (parafraseando) *‘a las sustancias algo les pasaba cuando el calor las atravesaba’*. Ahora, esta expresión no obedece a los conocimientos que hoy tenemos de termodinámica, pero también tenemos que advertir que esta expresión es en un tiempo cuando los desarrollos de la termodinámica no se han emprendido, escasamente se está iniciando una etapa en la cual se consideraba que las fuerzas químicas pueden hallarse en correlación con fuerzas como las calóricas, las eléctricas o las lumínicas. Las invenciones de aparatos como el calorímetro, o de relaciones y correlaciones entre las fuerzas,

son respuestas a preguntas que ellos se hicieron. *El estudio crítico de esas preguntas y respuestas es el objeto propio de la historia de las ciencias* (Canguilhem, 1966, p. 21-22).

Canguilhem (1966) también cita a Pierre Duhem en su obra *L'évolution de la mécanique* (1905) que acude a la historia para incorporarla a las investigaciones de su campo. De las presentaciones de la evolución de la mecánica se deriva la preocupación por dos asuntos: el primero, las preguntas por el objeto mismo de la mecánica que tiene en cuenta los actuales desarrollos, las nuevas formulaciones y los nuevos hechos contruidos en este campo. Y, el segundo, la construcción de una relación entre la ciencia que se construye y la filosofía que le corresponde. Ninguno de los dos puntos queda por fuera de la ontología que le distingue en el estudio de la mecánica y su estructura. La continuidad de los problemas y las preguntas que se han complejizado a lo largo de los siglos, constituyen —para Duhem— una correspondencia entre los problemas de hoy y los de los antecesores. Sin embargo, nosotros diríamos que reconocemos en un 'pasado', que es revisado y comprendido, interrogantes que actualizan nuestras posturas frente al conocimiento y se ponen en conexión con los saberes que hoy construimos.

En la siguiente tabla (tabla 2) sintetizamos los diferentes modos en las que nos relacionamos con la historia de las ciencias:

		RELACIÓN	
		Necesaria	Contingente*
		Penetrar en la lógica interna de la construcción de un fenómeno científico que es de nuestro interés. La lectura de estos textos y obras de la ciencia posibilita la creación de condiciones para que los estudiantes construyan una relación activa con el conocimiento científico.	La historia de la ciencia y la ciencia ya ha sido hecha por otros, la lectura de estos textos habilita para construir con ello un esquema de enseñanza para los contextos de educación en ciencias.
Historia en clave epistemológica	Construcción de condiciones de saber científico con la lectura de los textos de los científicos	Se reconoce cómo se sabe que se sabe.	Se corre el riesgo de no abordar el conocimiento científico sino la historia de la ciencia.
Historia Sincrónica	Cuestiones metacognitivas- Reflexiones sobre la naturaleza del conocimiento o sobre las condiciones sociales y culturales de la ciencia	Se busca relacionar el desarrollo de la ciencia con el desarrollo de los otros campos de la cultura. Lo deseable es reconocer tensiones y presiones.	Se explica las condiciones en las que se han producido cambios científicos como condiciones de tipo social, cultural, entre otras.
Historia Diacrónica	Narrativas o episodios de las ciencias que se relacionan unas con otras en una línea de tiempo	Se consideran relaciones de causalidad en el progreso de las ciencias, se marcan continuidades y discontinuidades.	Aprendemos a hablar de personajes, fechas y momentos de las ciencias

Tabla 2 - Modos de relación con la historia de las ciencias

Para finalizar, de lo anterior se podrá afirmar que la relación historia, epistemología y educación en ciencias —sobre lo que se ha escrito mucho en las últimas décadas— no es *per se*, sino *a posteriori*

En el siguiente capítulo se enlazará con estas reflexiones, el estudio de un caso: el surgimiento de una medida para la afinidad química, donde se destacará el tipo de lectura crítica de los textos de los científicos, las implicaciones para la comprensión de las relaciones conceptuales, técnicas y teóricas que se destacan, y el surgimiento de las reflexiones sobre los instrumentos construidos para la ciencia.

* Lo que importa es lo pragmático, que valora por la utilidad o la aplicación.

Una historia en clave epistemológica para pensar la educación en química. El caso de Lavoisier y Laplace

En el capítulo anterior expusimos diferentes maneras de comprender la relación de la educación en ciencias con la historia de las ciencias; optamos por trabajar en una historia en clave epistemológica donde la recurrencia al estudio de los textos de los científicos se hace por la necesidad de comprender el problema de estudio que subyace a lo que el científico está presentando: una teoría, un experimento, un aparato o problema en la ciencia que enseñamos.

La comprensión que logramos va acompañada de interrogantes nuevos, de probar posiblemente también actividades experimentales, de retar nuestras actuales comprensiones, y así avanzar en posibles relaciones con la manera como podemos proponer una educación en ciencias.

Si bien se conocen investigaciones que recurren a diseñar y poner a prueba propuestas metodológicas para la enseñanza, en este estudio afirmamos que lo metodológico no se puede unificar o ni tampoco validarse con criterios de objetividad. En la reflexión que desarrollamos aquí, soportado desde la historia de la ciencia, se muestra que el conocimiento no emerge como simple resultado de la aplicación de un método científico, tampoco se da así en educación en ciencias. Más bien, aquello con lo que nos encontramos es con ciertas estructuras que son la base para la problematización de lo que llamamos 'realidad', para establecer alguna relación entre la experimentación y las hipótesis que la interpretan, o con los objetos materiales que median la observación —como los instrumentos utilizados en o sugeridos por la ciencia— o con la producción misma de observaciones, que tendremos la oportunidad de referenciar.

En particular, en este estudio abordamos la construcción de una medida de la afinidad química, elaborada a partir de la variación en la cantidad de calor que se produce en una reacción química. En un principio, el proceso no inicia con claridades conceptuales, pero se logra una base de observación y experimentación. Las ideas se debaten, se revisan y, en el devenir, se perfeccionan las preguntas y las respuestas a los problemas planteados. Incluso en algunos momentos las ideas que inicialmente sosteníamos se transforman completamente.

Estos conocimientos se toman un tiempo que no es cronológico, es lógico y esto ha repercutido en las reflexiones sobre el ejercicio como profesores de ciencias: ¿qué consecuencia tiene esta temporalidad para nuestra relación con el conocimiento y su enseñanza? A la vez, este interrogante ha cruzado la construcción del caso de estudio al mostrar que las ideas relevantes no aparecen de una vez y para siempre, sino que, en diferentes momentos, van exponiendo obstáculos y rectificaciones en el sentido trabajado en el anterior capítulo.

Se ha organizado la presentación en estos diferentes momentos:

AFINIDAD	TRATAMIENTO
En la química antigua.	Las tablas de afinidad. Criterios de observación para la ordenación.
La asociada la masa de los cuerpos pensándola como una fuerza.	Se comparan las masas que intervienen y de allí se infiere una ordenación.
La asociada a la cantidad de calor que interviene en una reacción.	El calor desprendido está asociado a la afinidad entre las sustancias que reaccionan. Este calor desprendido debe ser medible.

Tabla 3 - Momentos y formas de comprensión de la afinidad química

Empezamos desde el estudio de las transformaciones químicas que construye explicaciones sobre las relaciones que una sustancia establece con otra, relaciones que posiblemente ocasiona un cambio en su 'naturaleza'. La pregunta por las condiciones de tales transformaciones nos ayuda a sistematizar y ordenar, en

diferentes vías, el conocimiento que hemos construido sobre los cambios químicos. Una de estas vías es la siguiente: ¿qué hace que una sustancia reaccione con una y no con otra, por ejemplo, un ácido con una base X y no con una base Y? Estas relaciones fueron nombradas como afinidades químicas. Pero, para dar cuenta de cuánto es afín una sustancia por otra, las ordenaciones que inicialmente se establecen requieren ser medidas, de tal manera que las sistematizaciones logradas puedan producir nuevos casos y predicciones para los ya conocidos, se produce un conocimiento que es una red de relaciones conceptuales que orienta experimentos y modos de comprensión.

Cuando una sustancia es afín por otra, la unión y formación de una nueva sustancia produce energía que puede ser medida, por ello nos centramos principalmente en el trabajo de Lavoisier y Laplace (1780), en el cual se establecen cuestiones relacionadas con las medidas del calor generado en una transformación química.

A finales del siglo XVIII, recién constituido el campo de los fenómenos de transformación de las sustancias¹¹, se están estableciendo nuevos órdenes dentro de los cuales se destaca la afinidad como criterio de ordenación de las acciones químicas.

Aquí, la relación *transformación química / calor de reacción* tiene que ver con la posibilidad de medir la afinidad entre las sustancias, pero además presenta aspectos importantes sobre la construcción de instrumentos y formas de medida en la química;

¹¹ En los siglos anteriores, la comprensión de la transformación de las sustancias estaba centrada en una mirada de transmutación. En este contexto, surgieron construcciones como la alquimia —estrechamente vinculada al comportamiento de los metales— y la iatroquímica, orientada a la producción de medicinas. Sin embargo, como lo establecía Boyle (1666/1985), los cambios de las sustancias podían clasificarse en procesos de corrosión, fermentación y degradación. Esta clasificación refleja una forma de sistematización de los cambios químicos, que cruza la observación que emerge de la experimentación con las explicaciones influenciadas por concepciones alquímicas de la materia, pero que han sido consideradas explicaciones mecanicistas de la transformación de la materia, pues reconoce que la causa de las transformaciones está en las formas y movimiento de corpúsculos que conforman las sustancias.

finalmente tiene profundas implicaciones para comprender los procesos de transformación química que luego influyen en condiciones de recontextualización en el aula.

En términos de este trabajo en el ámbito de la educación en ciencias y bajo la premisa de una formación centrada en las preguntas que nos hacemos en relación con el saber, se presenta una posible vía mediante la cual el profesor examina su propia relación con el saber que construye. Este énfasis adquiere particular relevancia en el ámbito de la educación, para el cual la pregunta no es una cuestión inmediata, sino que exige esfuerzo, trabajo, intencionalidad.

Lavoisier (1777) estableció que, contrario a lo que planteaban los partidarios de la teoría del flogisto, los cuerpos combustibles no poseían un principio flogisto responsable de los cambios que ocurren en ellos al quemarse¹². Estos procesos se explican como transformaciones de unas sustancias en otras, la interacción entre los metales y el oxígeno explica la calcinación de los metales, al igual que la interacción entre los cuerpos combustibles y el oxígeno explican la combustión de las sustancias, por tanto, calcinación y combustión son procesos de la misma clase, donde se establece como reactante común el oxígeno¹³. El calor que se consume o se desprende en estos procesos está relacionado con la afinidad de estas sustancias por el oxígeno, y a ese calor lo reconocía como un cuerpo fluido elástico que no tenía

¹² No se hace en este texto una explicación en extenso de esta discusión, pero se pueden encontrar fuentes donde Lavoisier lo trabaja a profundidad en las *Mémoires de l'Académie des sciences. Mémoire sur la combustion en général* (1777b, p. 225-233); *Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et qui en augmente le poids* (1775/1778, p. 122-128) y *Réflexions sur le phlogistique* (1777a, p. 623-655) Una versión de estas memorias se encuentran traducidas al español en Lavoisier (1948) *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración*.

¹³ Lavoisier lo denomina el principio oxígeno en las memorias *Reflexiones sobre el flogisto* y parte de esta hipótesis: *He deducido todas las explicaciones de un solo principio, a saber: que el aire puro, el aire vital, está compuesto de un principio particular que le es propio, que forma su base, al que he denominado principio oxígeno, combinado con la materia del fuego y del calor. En cuanto se admite este principio, las principales dificultades de la química se desvanecen y disipan, y todos los fenómenos se explican con sorprendente facilidad.* (1777a, p. 623)

masa pero que participa en las transformaciones y que denomina en su tabla de elementos como *calórico*¹⁴.

Dice Lavoisier: *el hidrógeno y el oxígeno, tienen una gran tendencia a unirse con el calórico y convertirse en gas; mientras que el carbono, por el contrario, es un principio fijo, y que tiene muy poca afinidad con el calórico* (Lavoisier, 1789, p. 97).

La noción de 'afinidad' no es nueva, pero en los trabajos de Lavoisier es concebida como la fuerza que explica que una sustancia se una con otra para formar nuevos compuestos, a la vez que otros se descomponen. Antes de los planteamientos de Laplace y Lavoisier se dieron diferentes clases de tablas de afinidades; en particular conocemos bien las de Geoffroy y las de Bergman. Afirma Trevor Levere (1971) que siendo la afinidad un término cuyo origen no se conoce y que está rodeado de ideas mágicas y metafísicas, resulta parte del cuerpo de las nuevas explicaciones químicas que se ven influenciadas por las perspectivas newtonianas y que *reconocían la atracción universal como una fuente de la fuerza química* (p. 16).

Hacemos una breve mención a estas tablas porque se reconoce en su desarrollo un ejercicio de sistematización de las reacciones químicas en las cuales, como se verá, se definen clases de sustancias y clases de reacciones. Sin embargo, no se cuenta con una teoría de la afinidad que pueda predecir otros posibles casos aun no experimentados; la afinidad es una tendencia de una sustancia a reaccionar o a relacionarse con otra y, por ello, en las tablas de Geoffroy se prefiere hablar de relaciones (*rapports*).

¹⁴ La teoría del calórico explicaba, según Joseph Black (1803), la dilatación y la contracción de los cuerpos por aumento o disminución de la temperatura.

Las tablas de Geoffroy se constituyen en un modelo de representación que se desarrolla sobre la base del criterio de estas ordenaciones o secuencias por orden decreciente de afinidad, respecto a la sustancia que encabezaba la columna. Para poder hacer esta secuencia se acude a las reacciones, en donde una sustancia $\underline{x_1}$ en un compuesto formado por $\underline{x_1y}$ es reemplazada por una $\underline{x_2}$. Se afirma, entonces, que $\underline{x_2}$ es más afín con $\underline{y}$ que $\underline{x_1}$. Las sustancias $\underline{x_1}$ y $\underline{x_2}$ son de la misma clase, son metales o sales o álcalis; de lo contrario, no se pueden comparar sus comportamientos frente a una sustancia $\underline{y}$ porque las reacciones producidas no son de la misma clase. Mantener este criterio es el que se expresa en la ordenación por columnas, pero no hay una relación explícita entre una columna y otra.

Entre las diferentes tablas de afinidad construidas, una de las más célebres es de Tobern-Olof Bergman (1775). Al igual que las anteriores, presenta dificultades para ordenar de forma precisa las afinidades químicas. Bergman también se basa en el desplazamiento de las sustancias en las transformaciones químicas; sin embargo, es importante tener en cuenta que en este estudio es indispensable suponer que las afinidades son constantes y que por lo tanto la acción química es total (Evangelos Antzoulatos, 2016, p. 5). En estas tablas, como no se explica qué es lo que hace que una sustancia sea más afín que otra, ni por qué las reacciones se favorecen cuando las sustancias se encuentran en solución, entonces se asume implícitamente que la sola presencia de las dos sustancias son condición suficiente para una transformación química. Bergman registró numerosos casos particulares y determinó las afinidades en ellos, a partir de lo cual se convenció que las afinidades mantenían los mismos órdenes.

Bergman establece también, desde el inicio, la acción del calor y dice que este puede debilitar o modificar las acciones químicas cuando las volatilidades de los cuerpos presentes son diferentes. De ahí surge la necesidad de elaborar una tabla de afinidades que separe las reacciones provocadas por el fuego de las que no lo requieren. El calor es considerado como una causa externa en tanto no es parte de las atracciones propias de las sustancias. Encontramos también casos en los cuales

se requiere incorporar la idea de atracciones dobles para comprender cómo se producen desplazamientos dobles¹⁵. Pero para Bergman, las atracciones son selectivas y tienen un carácter universal; ni la solubilidad, ni las dobles atracciones interfieren porque las afinidades son constantes y sólo se relacionan con el par de sustancias consideradas y determinan transformaciones totales (Antzoulatos, 2016, p. 6). De lo anterior se infiere, entonces, que el calor era un procedimiento para activar las sustancias y poner en marcha su transformación.

Dos aspectos se pueden destacar de este desarrollo: primero, lo que denomina Anzoualtos *vía empírica para la construcción de las tablas de afinidad*. Segundo, *cómo se explica la imposibilidad de calcular las afinidades químicas* (Antzoulatos, 2016, p. 5).

Con respecto al primer aspecto:

Claude-Louis Berthollet (1803) conoce y se interesa por los trabajos de Macquer, quien ha indagado sobre la naturaleza de las afinidades y sostiene que estas se pueden entender como aquella *atracción según la cual todas las partes de la materia tienden unas hacia otras*. El trabajo desarrollado por Macquer, Bergman y Berthollet se caracteriza por una actividad experimental muy extensa que, como hemos dicho antes, logra organizar los resultados según las clases de sustancias y la relación entre dos clases diferentes de sustancias. Sin embargo, es ineludible, de acuerdo con los resultados experimentales, tener en cuenta que la mayor o menor atracción entre una sustancia por otra se ve afectada por factores como la temperatura, el estado físico de las sustancias que participan, la solubilidad o la volatilidad de estas sustancias. Esto plantea un problema nuevo central: ¿cómo separar la influencia de estos factores de la extensión de afinidad?, ¿cómo hacer para decir cuánto de la realización de una

¹⁵ Una atracción doble se da en los casos en que una sustancia AB reacciona con una CD y la parte A es afín con la parte C, al mismo tiempo que la parte B con la parte D. Entonces, al final tenemos como productos las sustancias AC y BD; por ejemplo si tenemos una sustancia como un hidróxido de sodio con un ácido clorhídrico entonces al final tenemos la sal y el agua, lo cual actualmente se escribe: $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{HOH}$

reacción química es por causa de la afinidad entre las sustancias y cuánto ha sido modificado por los factores antes mencionados? Este problema es crucial en la concreción de la medida de la afinidad y no se resuelve extendiendo el estudio a más casos de reacciones químicas. No se resuelve por el reconocimiento experimental de todos los posibles casos.

De esta situación se desprende el segundo aspecto: es posible lograr algunas ordenaciones de las reacciones químicas que hasta ahora han sido reconocidas. Las tablas de afinidad no predicen la reacción química que podría suceder entre una sustancia y otra, pero ordenaban el conocimiento que se tiene hasta el momento y queda en el espectro de posibilidades la formulación de leyes generales sobre las transformaciones químicas. Aunque se tenga una concepción general sobre lo que es afinidad, esta no es suficiente para poner en marcha una predicción o una medición; decir que la afinidad es una atracción entre sustancias que es selectiva¹⁶, es una afirmación general que ha tenido en cuenta todos los casos específicos conocidos y entre los cuales se establecen comparaciones y posibles regularidades, pero no ofrecen leyes cuantitativas que guíen el proceso de predicción o de medición.

¿Qué significa que las afinidades sean constantes? Hasta el momento, durante el siglo XVIII se ha sostenido que la afinidad siempre era la misma entre cada par de sustancias independientemente de las condiciones en que se diera la reacción química: pero, para Berthollet, la afinidad podía variar según las condiciones en las que se encontrara y según la cantidad de cada una de las sustancias que se pusieran en interacción (Pere Grapí y Mercé Izquierdo, 1994, p. 327).

Comprender que plantear la constancia entre las afinidades es contrario a plantear la dependencia de las afinidades con la masa que entra en reacción, implica discutir que si las afinidades fueran constantes la cantidad de masa que se coloque para la

¹⁶ Dice Pere Grapí que para Berthollet esta afirmación de la selectividad no era admisible, ya que el propone una explicación de las transformaciones químicas con base en afinidades recíprocas y la *acción química*, que no atiende a la invariabilidad de la afinidad como base de los procesos químicos. (Grapí, 2001)

reacción no tendría incidencia, pues bastaría colocar en contacto las especies químicas para que la reacción suceda; pero las proporciones de masas reaccionantes si afectan el transcurso de las transformaciones, lo cual obliga a tomar en consideración las condiciones iniciales de afinidad. Entonces, cómo plantearse la rectificación, pues si se establecen relaciones entre la composición de las sustancias y las afinidades: ¿a mayor cantidad de sustancias mayor afinidad entre ellas?

Al considerar que las sustancias reaccionan unas con otras se destaca que establecen atracciones mutuas y lo hacen en unas determinadas proporciones simples que se pueden sintetizar en números sencillos $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3. Por ejemplo, Bergman (1780) encuentra y explica que para que reaccione completamente la sosa cáustica (hidróxido de sodio en ese entonces clasificado como álcali fijo) con diferentes ácidos, las relaciones que se establecen son según Bergman (1780)¹⁷:

100 partes de sosa cáustica se saturan (O en términos actuales reaccionan completamente) con:

78,05 partes de ácido vitriólico (ácido sulfúrico)	≈ 1,5 : 2
64 partes de ácido nítrico	1,5 : 1
51 partes de ácido marino o muriático	0,5 : 1
42 partes de aire fijo (ácido carbónico)	1 : 2

Tabla 4 - Proporciones en la reacción de un álcali con diferentes ácidos

¹⁷ En los primeros desarrollos de estas relaciones numéricas nos vemos tentados a suponer que entre mayor cantidad de masa de una sustancia reaccione con otra, esto puede ser una medida de la afinidad, es decir en este caso 'el ácido vitriólico sería el más afín a reaccionar con la sosa cáustica', lo que supondría abandonar la concepción de la afinidad como igual en todos los casos, pero sí sigue siendo total. En estas reacciones químicas se asume que la relación en masa es la condición necesaria para la transformación química, ello persiste desde las primeras tablas de afinidad. Lo revisaremos más adelante, pero este esquema lógico de ligar la afinidad química a la masa de la sustancia es actual en nuestras clases, pues es una experiencia propia que los estudiantes regresan en sus explicaciones también al análisis que entre mayor masa reaccione más afinidad se prevé entre las sustancias reaccionantes.

Otros científicos, más adelante, (como Gay Lussac, Proust, Dalton o Avogadro) trabajan en esta proporcionalidad definida en las reacciones químicas y en la composición de las sustancias que intervienen y logran establecer la ley de las proporciones definidas (1799) y la ley de las proporciones múltiples (1803)¹⁸: cuando se forma un compuesto a partir de dos o más elementos, cada uno de estos elementos entra en una proporción siempre igual y en relación de números enteros sencillos con respecto a los otros constituyentes. Las proporciones definidas y múltiples que quedan definidos no son números exactos, son aproximaciones bastas, por lo que se ve en la tabla No. 3, pero no por ello dejó de ser potente para llegar a formular estas leyes fundamentales para la estequiometría química.

Wenzel (1777) publica una obra titulada *teoría de afinidades* en la que trabaja sobre la capacidad de saturación relativa, entendida por ejemplo como una cantidad de 40 granos de ácido sulfúrico (40 granos son 2,59 gramos ya que 1 gramo son 15,4 granos) se saturan completamente, lo cual quiere decir que reacciona sin dejar excedente o residuo para formar alguna sal (lo que ahora conocemos como reacciones de neutralización que es, en la más simple expresión, un ácido reacciona con una base para dar una sal):

40 granos de ácido sulfúrico se saturan completamente (Wenzel, 1777)

Cal	28 granos = 1,82 gramos	≈1,5 : 2
Magnesia	20 granos = 1,30 g	0,5 : 1
Sosa	31 granos = 2,01 g	1,5 : 2
Barita	77 granos = 5,00 g	2 : 1
Potasa	47 granos = 3,05 g	1 : 1
Óxido de plata	116 granos = 7,53 g	3 : 1

Tabla 5 - Proporciones en la reacción del ácido sulfúrico con distintos álcalis

¹⁸ Las dos leyes resuelven el problema de que las afinidades no son constantes y que la masa sólo determina la clase de compuesto que se forma, en ellas se privilegia la idea de la acción química.

También se puede plantear que 28 granos de cal se saturan con (Wenzel, 1777):

Ácido sulfúrico	40 granos
Ácido nítrico	54 granos
Ácido carbónico	22 granos
Ácido fosfórico	72 granos
Ácido sulfuroso	32 granos
Ácido crómico	50 granos

Tabla 6 - Proporciones en la reacción de la cal con distintos ácidos

De esto, se concluye que la cantidad de ácido sulfúrico que reemplaza el nítrico en los nitratos, el carbónico en los carbonatos, el fosfórico en los fosfatos, etc., será siempre esta cantidad de ácido desalojado. La misma conclusión se hace para las álcalis o bases. Es una afirmación que los lleva a pensar que cada una de esas cantidades de sustancias químicas tienen la misma *fuerza de combinación*, por tanto, se establece que, si esa fuerza de combinación es lo que llamamos afinidad química, será siempre constante, porque es constante la proporción de la combinación. Son equivalentes químicos, son equivalentes en su acción de producción de las sales o su acción de saturación.

Richter (1792) en esta misma línea estudió la precipitación recíproca de los metales, de sus disoluciones salinas. Un metal sumergido en una disolución salina, sustituía simplemente el metal de la sal, así que, si tomamos sulfato de plata e introducimos una lámina de cobre, toda la plata se precipita como plata metálica, mientras que una cierta cantidad de cobre se disuelve constituyendo sulfato cúprico, 108 partes de plata son reemplazadas por 31,5 partes de cobre (ver la ecuación química 1).

Si en la disolución de sulfato cúprico se introduce una lámina de cadmio, en este se precipita el cobre, se da una sustitución de un metal por el otro, sin desprendimiento de oxígeno, ni eliminación de ácido sulfúrico (ver la ecuación química 2). El sulfato de cadmio puede ser descompuesto a su vez por la inmersión de una placa de zinc (ver la ecuación química 3). Entonces en estas disoluciones de los metales y el desplazamiento de los otros metales de las sales, se considera que las masas desplazadas son equivalentes en acción química por lo cual también aquí la masa está asociada a la afinidad constante en todos los casos.

Si escribimos los anteriores procesos químicos con la notación actual, tendríamos de manera general:



Ahora bien, según la formulación de Richter, *en todas las sales de un mismo género, se observa una relación constante entre la cantidad de ácido y la cantidad de oxígeno en la base* (Ramón Torres Muñoz de Luna, 1864, p. 468).

La escritura de estos compuestos es:



Esta escritura mantiene la idea de saturación entre un ácido y una base, para formar una sal; de ahí que luego del estudio de los desplazamientos de los metales, que explicamos antes, se establezca que se da por la diferencia de afinidad del metal por el oxígeno. Reconociendo la afinidad como una clase de fuerza (similar a la fuerza

de atracción gravitacional newtoniana) que soporta las combinaciones entre diferentes clases de sustancias¹⁹.

Estos esfuerzos de cuantificación reiteran dos afirmaciones anteriores: la afinidad química está relacionada con la masa de las sustancias reaccionantes, e iguales afinidades se corresponden con iguales cantidades de sustancias e iguales acciones químicas.

En esta línea argumentativa es que Berthollet se opone a la idea de una afinidad constante. Su planteamiento es que la afinidad es una medida de la actividad de las sustancias entre sí para formar nuevas sustancias y cuando una reacción termina es porque se ha logrado un equilibrio de todas las posibles fuerzas que actúan en una reacción química. Por tanto, esta afinidad puede variar en función de las cantidades de sustancias que estén en reacción y de las condiciones experimentales que pueden alterar el producto final de la reacción²⁰.

En ambas visiones, tanto en las afinidades electivas como en las afinidades como actividad química, se sustancializa la afinidad química. Va a ser necesario, retomando una idea de Bachelard, que se imponga una perspectiva de intensidades sobre estas primeras visiones de cantidad (Bachelard, 1940/1993, p. 22). Esta tendencia a reducir la acción química a una cuestión de cantidad no pocas veces se hace presente en la enseñanza de la química, nos dejamos llevar por la relación con las cantidades de masas en las comprensiones de las acciones químicas (incorporación de un *obstáculo pedagógico*). No sólo es el científico Berthollet quien se confunde por indicar que esta acción química es una acción extensiva.

A pesar de lo anterior, Berthollet al entender que es muy útil centrar el estudio en cómo medir las afinidades para poder controlar las transformaciones, se enfoca en

¹⁹ La indagación sobre los trabajos de Wenzel y Richter fueron consultados en Torres (1864) *Lecciones elementales de química general*.

²⁰ Pere Grapí y Merce Izquierdo hacen un desarrollo amplio sobre los puntos de vista acerca de la afinidad química. Consideran que este es el punto central de la confrontación entre los planteamientos de Proust y de Berthollet (Grapí y Izquierdo, 1994).

tres criterios: la velocidad de la acción química, el calor de la reacción y la intensidad de las fuerzas²¹.

Rectificada la relación entre masa y acción química, quedamos en un nuevo principio que aborda la acción de las sustancias y los calores de la reacción. La ventaja de los calores de reacción no es sólo que se puedan medir sino que, entre otras cosas, gracias a los desarrollos de Hess (1840) se pueden calcular y, entonces, no sólo se pueden hacer clasificaciones sino también mediciones. Él ha concluido que *nous n'aurons une idée précise des phénomènes chimiques que quand nous parviendrons à indiquer dans nos formules les rapports du calorique comme nous indiquons aujourd'hui le chiffre relatif des atomes pondérables; au moins la thermochimie promet-elle de nous dévoiler les lois encore secrètes de l'affinité* (Hess, 1840, p. 330). [sólo tendremos una idea precisa de los fenómenos químicos cuando podamos indicar en nuestras fórmulas las relaciones de calórico como hoy indicamos la cantidad relativa de átomos ponderables; al menos la termoquímica promete revelarnos las leyes hasta ahora desconocidas de la afinidad.]

Los desarrollos termoquímicos de Henri Hess merece un estudio adicional. Marcelin Berthelot establece que, en los procesos químicos intervienen *energías caloríficas que son externas al sistema, y que se consumen en los procesos físicos de fusión y vaporización*, o para procesos de disociación o para la descomposición química reversible (Berthelot, 1893, p. 11 y 18). Esto implica que se organicen formas de determinar la cantidad de energía calórica que acompaña cada una de estas

²¹ Al abordar algunas formas ideadas para relacionar las velocidades de las reacciones se encuentra que, a pesar de las contribuciones de estos estudios a la formulación matemática y experimental de la cinética química y a la comprensión de los estados de equilibrio químico, se llega a la conclusión que se pueden relacionar las afinidades químicas con las velocidades de reacción, pero no se puede establecer una relación *formal* entre la variación de la afinidad por cada variación en la velocidad de una reacción.

Por otra parte, gracias a los estudios de los cambios químicos que se dan en las celdas galvánicas se tiene la idea de que la afinidad puede ser de naturaleza eléctrica, pero no avanzan, por ahora, en una medida.

transformaciones, para así poder apartarla de la medida de las energías caloríficas relacionadas con la afinidad química.

En esta misma dirección, Hess contribuye a abordar el problema de separar los diferentes procesos que suceden durante una transformación química: solubilidad de los diferentes compuestos reaccionantes, cambios de fase, proceso químico propiamente dicho. Cada uno de estos procesos, que se pueden ordenar como pasos o etapas, libera o consume una cantidad de calor y, suponiendo que los calores se pueden sumar, se avanza en la formulación de leyes termoquímicas que llevan a deducir las cantidades de calor desconocidas de un proceso, sobre la base del conocimiento experimental de otros con los que se puede relacionar.

La afinidad: de la agregación al sistema de oxidación

Lavoisier no escribe un capítulo específico sobre las afinidades químicas. Él afirma que las tablas de afinidad que se han presentado hasta su momento no consideran sino las uniones simples y considera que:

Pour se former des idées précises sur ces phénomènes, il faut se représenter tous les corps de la nature comme plongés dans un fluide élastique très-rare, très-léger, connu sous le nom de *fluide igné, de principe de la chaleur*, ce fluide, qui les pénètre tous, tend continuellement à en écarter les parties, et il y parviendrait, si elles n'étaient retenues par l'attraction qu'elles exercent les unes sur les autres; c'est cette attraction qu'on a coutume d'appeler du nom *d'affinité d'agrégation*. La résistance que les molécules constituantes des corps apportent à leur séparation n'est donc qu'un résultat de deux forces qui sont variables l'une et l'autre; la première, suivant une certaine loi relative aux degrés du thermomètre; la seconde, en raison de l'écartement plus ou moins grand occasionné entre les parties des corps par l'introduction du fluide igné: c'est par une suite de ces deux causes, que le même corps, plus ou moins échauffé, dévient successivement solide, liquide ou aériforme, suivant que l'effort que fait la matière du feu pour en écarter les parties est plus fort ou plus faible, ou en équilibre avec la force agrégative (Lavoisier, 1783, p. 547).

[Para formarnos ideas precisas sobre estos fenómenos, debemos imaginarnos todos los cuerpos de la naturaleza como sumergidos en un fluido elástico muy ligero y elástico, llamado fluido ígneo, principio del calor; este fluido, que lo penetra todo, tiende continuamente a separar las partes, y lo conseguiría, si no estuviesen retenidas por la atracción que ejercen unas sobre otras; es esta atracción la que acostumbramos llamar afinidad de agregación.

La resistencia que las moléculas constituyentes de los cuerpos oponen a su separación no es, pues, más que el resultado de dos fuerzas ambas variables; la primera, según cierta ley relativa a los grados del termómetro; la segunda, a causa de la mayor o menor distancia entre las partes de los cuerpos provocada por la introducción del fluido ígneo: Es a consecuencia de estas dos causas que un mismo cuerpo, más o menos calentado, se convierte sucesivamente en sólido, líquido o aeriforme, según que el esfuerzo hecho por la materia de fuego para separar sus partes sea más o menos fuerte, o esté en equilibrio con la fuerza aglutinante.]

Lavoisier, en relación con las tablas de afinidad que hasta ese momento se conocen, presenta las siguientes observaciones: dichas tablas sólo contemplan relaciones binarias (X es afín con Y), pero no se consideran afinidades terciarias o cuaternarias que serían necesarias, dado que la mayoría de las sustancias conocidas (a finales de siglo XVIII) están compuestas por más de dos clases de sustancias. Esta objeción es producto de las nuevas maneras de comprender la composición de las sustancias en el esquema de la química de finales de ese siglo (s.XVIII).

Además, en particular las tablas propuestas por Bergman plantean dos vías de ordenación de la afinidad química entre las diferentes sustancias (vía húmeda y seca) pero está ausente un análisis sobre si el agua puede estar ejerciendo un efecto sobre las afinidades que se dan entre las sustancias involucradas en la transformación química.

Se destaca que, en esta misma memoria, dice Lavoisier (1783): *Les vues que M. de Laplace a sur cet objet, et les expériences que nous avons projetées, d'après ses idées, pour exprimer par des nombres la force des affinités des différents corps, permettent déjà de ne pas regarder cette espérance absolument comme une chimère*

(p. 550-551). [Las opiniones de M. de Laplace sobre este tema, y los experimentos que hemos planeado, según sus ideas, para expresar por números la fuerza de las afinidades de los diferentes cuerpos, ya hacen posible no considerar esta esperanza absolutamente como una quimera.]

PRINCIPIO OXÍGENO	
Lavoisier (1783) ²²	Anotación propia
Principio desconocido del ácido marino, o principio muriático	
Sustancia carbonosa	
Zinc	
Hierro	
Principio inflamable acuosa	
Régulo de manganeso	Manganeso metálico en forma impura
Cobalto	
Níquel	
Plomo	
Estaño	
Fósforo de Kunckel	Fósforo alemán
Cobre	
Bismuto	
Régulo de antimonio	
Mercurio	
Plata	
Régulo de arsénico	
Azúcar	
Azufre	
Aire nitroso	Dióxido nitroso
Cal de magnesio	

Tabla 7 - De las afinidades del principio oxígeno con las diferentes sustancias con las cuales es susceptible de unirse.

²² Tomado de Lavoisier (1783, p. 551. *Original en francés. Traducción propia*)

Esta es una ordenación que, podríamos decir, mantiene la misma forma que se ha criticado de las anteriores tablas. Se basa en una mecánica de desplazamiento, encabeza la lista el oxígeno y considera que cada sustancia desplaza a las que están debajo, pero no a las que están arriba, y aplica únicamente a las sustancias combinadas con oxígeno. En la lista se incluyen compuestos como el ácido marino o el ácido nitroso o la cal de magnesio, sustancias binarias, con las cual ordena su afinidad con el oxígeno.

La organización que propone Lavoisier, introduce un cambio fundamental respecto de las anteriores tablas de afinidad: define al oxígeno como elemento central. Lavoisier estudia las combinaciones binarias del oxígeno con sustancias metálicas y no metálicas oxidables y acidificables, y nos presenta tablas como (Lavoisier, 1789)²³:

		Primer Grado de oxigenación	
		Nombre nuevo	Nombre antiguo
Combinación del oxígeno con las sustancias no metálicas, tales como:	El calórico	Gas oxígeno	Aire vital o desflogisticado
	Hidrógeno	No se conocía el grado de combinación del oxígeno y el hidrógeno y que esta combinación forma agua	
	Azote	Óxido nitroso o base de gas nitroso	Gas nitroso
	Carbono	Óxido de carbono	Desconocido
	Azufre	Óxido de azufre	Azufre suave
	Fósforo	Óxido de fósforo	Residuo de la combustión de fósforo
	El radical muriático	Óxido muriático	Desconocido
	El radical fluórico	Óxido fluórico	Desconocido
	El radical borácico	Óxido de bórax	Desconocido
	Antimonio	Óxido gris de antimonio	Cal gris de antimonio

²³ Tomado de Lavoisier (1789, p. 192. *Original en francés. Traducción propia.*)

Combinación del oxígeno con las sustancias metálicas, tales como:	Plata	Óxido de plata	Cal de plata
	Arsénico	Óxido gris de arsénico	Cal gris de arsénico
	Bismuto	Óxido gris de bismuto	Cal gris de bismuto
	Cobalto	Óxido gris de cobalto	Cal gris de cobalto
	Cobre	Óxido rojo marrón de cobre	Cal marrón rojo de cobre
	Estaño	Óxido gris de estaño	Cal gris de estaño
	Hierro	Óxido negro de hierro	Etíope marcial
	Manganeso	Óxido negro de manganeso	Cal negro de manganeso
	Mercurio	Óxido negro de mercurio	Etíope mineral
	Molibdeno	Óxido de molibdeno	Cal de molibdeno
	Níquel	Óxido de níquel	Cal de níquel
	Oro	Óxido amarillo de oro	Cal amarilla de oro
	Platino	Óxido amarillo de platino	Cal amarilla de platino
	Plomo	Óxido gris de plomo	Cal gris de plomo
	Tungsteno	Óxido de tungsteno	Cal de tungsteno
	Zinc	Óxido gris de zinc	Cal gris de zinc

Tabla 8 - Combinaciones binarias del oxígeno con los metales y no metales.

Si las primeras tablas de Geoffroy eran la ordenación de las diferentes clases de sustancias y clases de reacciones, Lavoisier ordena los elementos en virtud de una única clase de transformación: las reacciones con el oxígeno (capacidad de oxigenación). Estas tablas de ordenación que presenta Lavoisier no son la evolución de las primeras tablas; los criterios de ordenación e incluso las ideas de transformación química que se ponen en juego ahora son diferentes de las anteriores. No hay un nexo de la una a la otra. Es una ruptura con las anteriores formas de estudio de la química, permanecen hasta nuestro tiempo algunos métodos, clasificaciones, e incluso nombres, pero colocadas en nuevas relaciones lógicas y empíricas. Lo que observa Bachelard para el caso de la tabla de Mendeleiev es válido también aquí: se

advierde que paulatinamente la ley domina al hecho, el orden de las sustancias se impone como una racionalidad (Bachelard, 1940/1793, p. 49).

En esta organización alrededor de un solo elemento que puede dar óxidos, ácidos, álcalis y luego sales, lo que se alcanza es una sistemática inicialmente de la experiencia. Sin embargo, es necesario comprender los principios que rigen la ordenación. Se pone de presente una tensión propia de la ciencia, que *poco a poco se va valorando racionalmente* (Bachelard, 1940/1793, p. 51).

En esta nueva sistemática de las reacciones químicas, se conjuga el propósito de crear una medida para la afinidad, y principalmente en la memoria sobre el calor de Lavoisier y Laplace (1780) se establece que la cantidad de calor que se libera en un proceso como la combustión es medible si tomamos como referente la cantidad de hielo que es derretido por esa cantidad de calor. Esto es acorde con la hipótesis que hace Lavoisier de la estructura de las sustancias que hemos referenciado antes.

Medidas de calor y relación con la afinidad química

Hemos estudiado la memoria sobre el calor de Lavoisier y Laplace (1780²⁴) con un propósito: revisar cómo las medidas que se hacen con el calorímetro de hielo se convierten en una buena medida de la afinidad química. En esta memoria, los autores sugieren que la cantidad de hielo derretido por un objeto caliente al enfriarse hasta cero grados (0°C el punto de fusión del agua) es proporcional a la cantidad de calor que el objeto emitió. Se toma en cuenta que la temperatura inicial del hielo sea 0°C, se asume el concepto de calor latente que ha trabajado Black (1803)²⁵ y se asegura

²⁴ Se incorporan al documento varias citas textuales de esta memoria. Todos los textos de la memoria sobre el calor de Lavoisier y Laplace (1780) son traducción propia del francés al español. Tomado de la Biblioteca Nacional de Francia. Colección Gallica. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k86267w/f286.double.r=antoine%20Lavoisier.shift#>

²⁵ Esta es una obra póstuma publicada por John Robinson en 1803. Dice como conclusión del trabajo sobre el calor: *Cuando el hielo, por ejemplo, o cualquier otra sustancia sólida, se transforma en fluido por el calor, opino que recibe una cantidad de calor mucho mayor que*

que todo el calor que se libera en el proceso químico se consuma en la fusión del hielo. Esto lo hace de la siguiente manera: se coloca un recipiente hueco de hielo, la temperatura del hielo sube lentamente y comienza a derretirse, pero sólo en la superficie, el centro hueco estaría aislado y no habría intercambio de calor con el exterior, de tal manera que un objeto caliente colocado en el centro se enfriaría entonces hasta el cero, todo el calor emitido sería absorbido por el hielo formando agua a cero, y no hay cantidad de calor que sea transmitido al exterior.

El principio de funcionamiento del calorímetro del hielo (Ilustración 2) y numerosas experiencias realizadas como la determinación de calor de solubilidad del aceite de vitriolo con el agua, el calor de reacción de la cal viva con el agua y con el ácido nítrico, y calores de combustión de diferentes sustancias, son descritas en esta memoria. La última parte del texto está destinado a consolidar la teoría del calor que establece que mientras el calor separa las moléculas de las sustancias, las afinidades las une, por tanto se establece un equilibrio entre una fuerza y la otra (Lavoisier y Laplace, 1780, p. 317).

Esa idea de recipiente de hielo con una cavidad en el centro se concreta en el calorímetro que se presenta en la siguiente ilustración (Ilustración 2). Este instrumento tenía aproximadamente tres pies de altura y estaba hecho de metal (hojalata) con tres compartimentos concéntricos.

la que es perceptible en él inmediatamente después por el termómetro. Una gran cantidad de calor entra en ella, en esta ocasión, sin hacerla aparentemente más caliente, cuando se prueba con ese instrumento. Este calor, sin embargo, debe ser arrojado en ella, con el fin de darle la forma de un fluido, y afirmo que esta gran adición de calor es la causa principal y más inmediata de la fluidez inducida (p. 116-117). Lavoisier se comunicaba con los científicos ingleses y conocía estos trabajos sobre el calor. En el *Tratado elemental de la química* hace referencia explícita a estos trabajos, aunque no menciona el nombre de Joseph Black, pero lo utiliza para presentar sus trabajos sobre calor específico. Se tendría que hacer una profundización en la historia de las ciencias para asegurar más que coincidencia, tal relación y referencia.

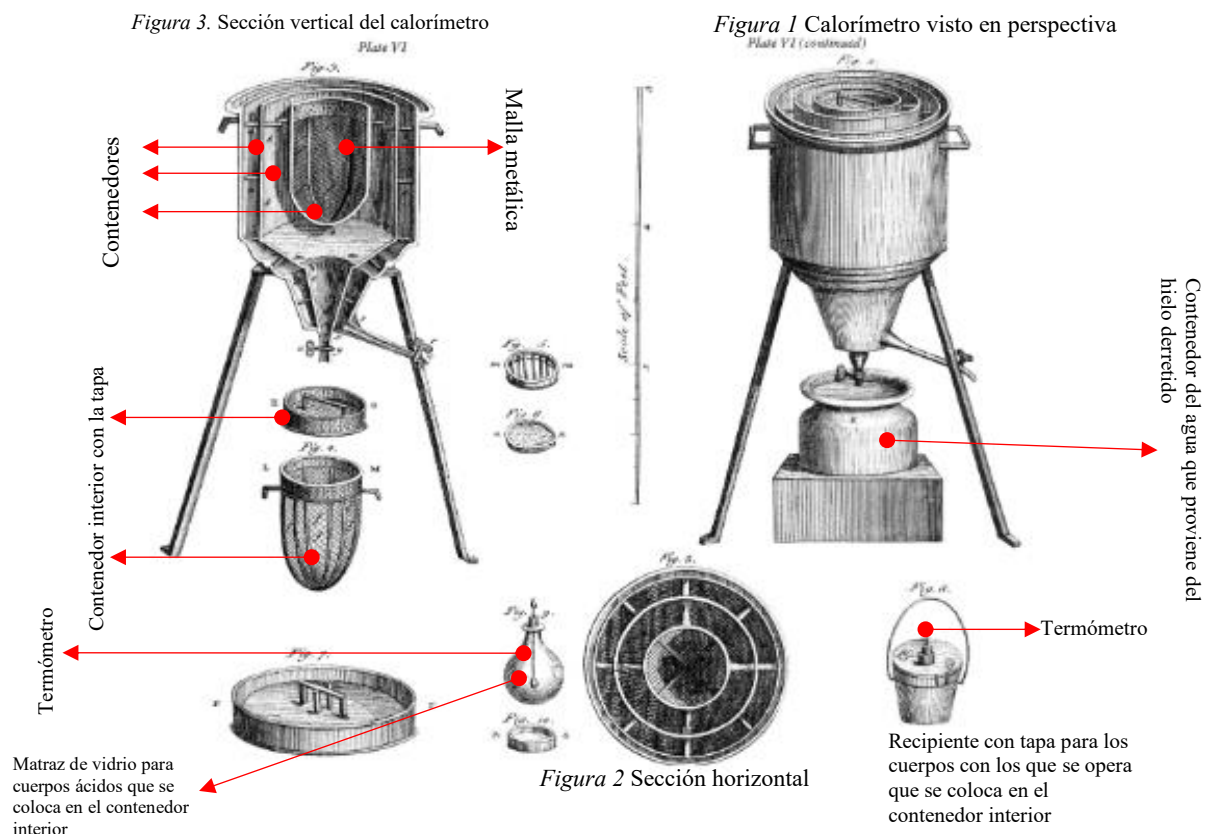


Ilustración 2 - El calorímetro de hielo de Lavoisier y Laplace²⁶.

Para efectos prácticos, Lavoisier y Laplace presentan las diferentes partes de su calorímetro²⁷. Como puede observarse en la Ilustración 2, el calorímetro tiene tres capas concéntricas que crean una cavidad interna, una cavidad media donde se coloca el hielo y una cavidad externa donde va a estar una cantidad de agua que asegura el aislamiento entre el exterior y el interior.

²⁶ Tomado de *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier, 1789.

²⁷ Dice Lavoisier que la palabra 'calorímetro' es una combinación de una raíz latina y una griega; pero, en materia de ciencia, uno podría permitirse menos pureza en el lenguaje para tener mayor claridad en las ideas, ya que un nombre enteramente griego acercaría a nombres muy similares de otros instrumentos conocidos que tienen usos diferentes (Lavoisier, 1789, p. 156).

Ahora bien, si se coloca un cuerpo en la cavidad interna a una temperatura superior a la del hielo a 0° , todas sus partes experimentarán la acción del calor del ambiente²⁸. Este ambiente alcanza el 0° al mismo tiempo que calentará el hielo y ahí *la chaleur de l'atmosphère s'arrêtera à la surface de la glace [el calor de la atmósfera se detendrá en la superficie de hielo]* y se derrite esa primera capa de hielo pues ha absorbido el calor del ambiente mientras se transforma en agua líquida, *et le seul effet sensible de la chaleur sera le changement de la glace en fluide* (Lavoisier y Laplace, 1780, p. 292) *[y el efecto sensible del calor será el cambio del hielo en agua líquida]*. Al hacer estas lecturas, en las primeras interpretaciones, resulta contraintuitivo comprender que el hielo se derrita a 0° y no experimente cambios de temperatura. Este es el concepto de 'calor latente' explicado por Joseph Black. ¿Qué implica tener en cuenta esta dificultad a la hora de trabajar con los estudiantes?

Para saber cuánto calor es necesario para elevar 1° una libra de hielo, se acude al método de las mezclas que ya había sido trabajado por Joseph Black: al mezclar una libra de agua a una temperatura cualquiera, por ejemplo 60° , con 1 libra de hielo a 0° , se recoge una cantidad de agua líquida que equivale a calor absorbido por el hielo mientras el ambiente ha cambiado su temperatura de 60 a 0° , es decir, el hielo ha absorbido el calor equivalente a los 60° cuando se vuelve líquido. Basándonos en este procedimiento, podemos designar la cantidad de calor que es necesario para variar en 1° , una libra de agua como 1 caloría.

Así, la cantidad de calor liberado por un cuerpo está en proporción a su masa, a la variación de temperatura (Δ Grados) que experimenta y al calor específico, entendido como la cantidad de calor necesario para elevar en 1° , 1 libra de ese cuerpo o sustancia.

Si se determinan los calores específicos de los cuerpos, luego se pueden utilizar para la medición de los calores de las combustiones o de otros procesos de

²⁸ Utilizo la palabra '*ambiente*' para no modificar los términos del original. Lo entendemos así: el cuerpo que ha sido colocado en el interior calienta este ambiente y este calor se propaga hasta la superficie de la capa de hielo expuesta.

transformación química²⁹. Lavoisier y Laplace (1780, p. 301) presentan la tabla de calores específicos para diferentes sustancias que fueron después tenidos en cuenta.

Ellos sostienen que la cantidad de calor liberado por un cuerpo es absorbido por otro; entonces, si ponemos en contacto dos cuerpos de masa m y m' respectivamente, cuyas temperaturas iniciales son a y a' , estas cambiarán de a hasta b y de a' hasta b siendo b la temperatura final de ambos cuerpos. Ahora, esto se puede expresar como:

$$mq(a - b) = m'q'(b - a)$$

donde q y q' , que no conocemos, son los correspondientes calores específicos. Por la anterior igualdad podemos reordenar y tener:

$$\frac{q}{q'} = \frac{m'(b - a')}{m(a - b)}$$

de tal manera que, si utilizamos una sustancia de referencia, el agua, de masa m y de temperatura inicial a , podemos determinar los calores específicos de las otras sustancias por la cantidad de hielo derretido que es recogido en el dispositivo construido, utilizando el valor de referencia $q = 1$ caloría/g*grado de calor.

Ahora bien, para la determinación de las cantidades de calorías que se producen en las combustiones, se recoge el agua que resulta derretida en los procesos. Por ejemplo, de la combustión de tres sustancias elementales (fósforo, carbono e hidrógeno), y se presentan los resultados así:

²⁹ Se proponen por ejemplo medir el calor liberado en los procesos de respiración que transforma los aires que son inspirados y expirados en estos procesos por animales como los ratones de indias; para ello se requiere del intercambio permanente del aire con el exterior. También es difícil la búsqueda de los calores específicos de los gases, a diferencia de lo que sucede con los de los líquidos o los sólidos. Los gases son de poca densidad y si uno simplemente los encierra, no se derretirá una cantidad considerable de hielo como para ser medida, pero si se coloca un tubo en espiral por el que se genera una corriente de gas, se colocan termómetros a la entrada y a la salida del tubo, se determinan los grados de enfriamiento del gas en su recorrido, se podrá así enfriar una cantidad considerable de gas y se podrá medir su calor específico.

Para la combustión de una libra de fósforo ...100 libras de hielo

1 libra de carbono 96 libras 8 onzas

1 libra de hidrógeno 295 libras 9 onzas y 31/2 gros

(Lavoisier, 1789/1937 p. 60)

Se hace referencia a que 1 libra de fósforo reacciona con 1 libra 8 onzas de oxígeno y, al mismo tiempo, derrite 100 libras de hielo; el resultado es que la cantidad de *calórico* contenido en 1 libra de gas oxígeno capaz de hacer fundir 66 libras 10 onzas 5 gros 24 granos de hielo. Esto se resume en una tabla así:

Combustión de fósforo (Lavoisier, 1789, p. 62)				
	Libras	Onzas	Gros	Granos
Cantidad de fósforo quemado	1	0	0	0
Cantidad de gas oxígeno necesario para la combustión	1	8	0	0
Cantidad de ácido fosfórico obtenido	2	8	0	0

Cantidad de calórico liberado por la combustión de una libra de fósforo, expresado en cantidad de libras de hielo que puede derretir	100,00000
Cantidad de calórico liberado de cada libra de gas oxígeno en la combustión de fósforo	66,66667
Cantidad de calórico que se libera en la formación de una libra de ácido fosfórico	40,00000
Cantidad de calórico que sobra por cada libra de ácido fosfórico	0,00000

Tabla 9 - Combustión del fósforo

De manera similar se hace para el caso de la combustión del carbono y tenemos como resultado:

Combustión de carbono (Lavoisier, 1789, p. 63)				
	Libras	Onzas	Gros	Granos
Cantidad de carbono quemado	1	0	0	0
Cantidad de gas oxígeno absorbido durante la combustión	2	9	1	10
Cantidad de ácido carbónico formado	3	9	1	10

Cantidad de calórico liberado por la combustión de una libra de carbón, expresado en cantidad de libras de hielo que puede derretir	96,50000
Cantidad de calórico liberado de cada libra de gas oxígeno	37,52823
Cantidad de calórico que se libera en la formación de una libra de ácido carbónico	27,02024
Cantidad de calórico que una libra de oxígeno retiene en esta combustión	29,13844
Cantidad de calórico necesario para llevar una libra de ácido carbónico al estado de gas	20,97960

Tabla 10 - Combustión del carbono

Y del hidrógeno

Combustión del gas hidrógeno (Lavoisier, 1789, p. 63)				
	Libras	Onzas	Gros	Granos
Cantidad de gas hidrógeno quemado	1	0	0	0
Cantidad de gas oxígeno empleado para la combustión	5	10	5	24
Cantidad de agua formada	6	10	5	24

Cantidad de calórico liberado por la combustión de una libra de gas hidrógeno	295,58950
Cantidad de calórico liberado de cada libra de gas oxígeno	52,16280
Cantidad de calórico que se libera en la formación de una libra de agua	44,33840
Cantidad de calórico que una libra de oxígeno retiene en la combustión con el hidrógeno	14,50386
Cantidad de calórico que una libra de agua mantiene a cero	12,32823

Tabla 11 - Combustión del gas hidrógeno.

Estas tablas son una muestra de las medidas que se hacen con respecto a la relación de los diferentes elementos con el oxígeno; la referencia de la cantidad de calor requerido para el cambio de estado de hielo a líquido como unidad de medida y la relación de las cantidades de calor que intervienen en estas combustiones como criterio para construir una manera de medir la afinidad química. Las mediciones realizadas por Lavoisier y Laplace sobre los calores de reacción constituyen una propuesta calorimétrica aplicada a la afinidad química, a lo que se suma la tarea de explicar la relación obtenida de cantidades de calórico y las fuerzas de la afinidad química.

Se hacen algunas observaciones historiográficas, con propósito epistemológico, para hacer un análisis que fortalezca la estructuración de este problema para la formación de un profesor de ciencias:

Uno: aún no se tiene un punto de vista sobre a qué llamamos ‘calor’ o ‘calórico’.

Lavoisier y Laplace (1780) antes de presentar en la *memoria sobre el calor* el artefacto construido, indican que es necesario conocer las leyes que relacionan el calor de las diferentes sustancias y los grados correspondientes en los termómetros, ya que asumimos que el calor de los cuerpos y los grados marcados por el termómetro de mercurio son directamente proporcionales, *mais il est possible que les degrés de chaleur ne croissent pas proportionnellement dans les différents corps, et qu'ainsi la courbe précédente ne soit pas la même pour chacun d'eux* (Lavoisier y Laplace, 1780, p. 307). [pero es posible que los grados de calor no aumenten proporcionalmente en los diferentes cuerpos y que, por tanto, la curva anterior³⁰ no sea la misma para cada uno de ellos]. Este aspecto es una solicitud de garantizar conceptualmente que los instrumentos, el termómetro y el calorímetro, estén midiendo lo que se busca que midan. Pero aún más importante es establecer la ley que indique cómo varía la cantidad de calor por unidad de temperatura. Se puede suponer que es directamente

³⁰ Con “la curva anterior” se refieren a la relación entre cantidad de calor vs. variación de la temperatura.

proporcional como es la base de los calores específicos, pero aún no se logra formular una ley al respecto. Es precisamente en esta tensión, entre medición y conceptualización, donde se puede analizar la dinámica del trabajo científico.

Aunque esta ley no queda constituida en el trabajo de Lavoisier³¹, presentarla como hipótesis de trabajo es parte de la discusión sobre la naturaleza del calor, que no tiene que ver directamente con si este es concebido como un fluido material e imponderable o como un resultado de la concepción mecánica del movimiento de las moléculas. Para Lavoisier, es claro que, a pesar de no tener elementos suficientes para estar a favor de una de estas dos representaciones, se hace necesario ponerlas a prueba y, al mismo tiempo, construir los artefactos y formas de medida. Avanzar en la medida, la construcción de instrumentos, las relaciones matemáticas y las precisiones para establecer una relación conceptual entre los comportamientos químicos y las cantidades de calor involucradas, no son tareas fáciles. La construcción del calorímetro es la concreción de un mecanismo que se establece sobre la idea de que la cantidad de calor liberada en un proceso químico como las combustiones o las neutralizaciones se pueden medir por la cantidad de hielo que se puede fundir, bajo el presupuesto de que la variación de temperatura provocada por el proceso químico también hace que una cantidad específica de hielo se funda; pero esto va acompañado no sólo de la concepción de conservación del calor, sino de la medida de los calores específicos como aspecto importante.

Dos: la conceptualización sobre el calor se relaciona, tanto con las reacciones químicas como con otros procesos, como la solubilidad o los cambios de estado.

Cuando Lavoisier y Laplace se plantean: ¿qué es lo que acontece cuando el calor se pone en contacto con las sustancias?, son diferentes los procesos a los que se ven sometidos los cuerpos y que todos ellos tienen que ver con la separación de las moléculas, por tanto la producción de calor es un indicativo de que las moléculas

³¹ Porque será sólo hasta los trabajos de temperatura absoluta que se pueda dar un paso importante en esta dirección. Pueden ser consultados en Chang, H (2004) *Inventing temperatura*.

permanecen unidas y que las fuerzas que intervienen en la unión no han podido ser vencidas por el calor; pero no solamente esto sucede en las reacciones químicas, sino también en los cambios de estado y en las disoluciones donde fuerzas diferentes son las que actúan entre las moléculas. Sin embargo, ¿cómo distinguir entre estas diferentes fuerzas? Cuando se coloca un metal a calcinar dentro del calorímetro, el calor medido no sólo 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.

Estas dificultades son de la conceptualización que orienta la experimentación y la medición, pues como lo afirman Lavoisier y Laplace (1780):

Mais la connaissance des lois que suit la chaleur, lorsqu'elle se répand dans les corps, est loin de cet état de perfection nécessaire pour soumettre à l'analyse les problèmes relatifs à la communication et aux effets de la chaleur, dans un système de corps inégalement échauffés, surtout quand leur mélange les décompose et forme de nouvelles combinaisons (p. 284).

[el conocimiento de las leyes que sigue el calor cuando se propaga por los cuerpos está lejos del estado de perfección necesario para someter a análisis los problemas relativos a la comunicación y a los efectos del calor en un sistema de cuerpos calentados de forma desigual, sobre todo cuando su mezcla los descompone y forma nuevas combinaciones.]

Se deriva, entonces, que la indagación sobre lo que le sucede a los cuerpos cuando interactúan entre ellos y liberan o absorben calor pone en perspectiva la complejidad de procesos simultáneos: reacciones químicas, cambios de estado y procesos de solubilidad, que no podrían ser analizados separadamente con los recursos conceptuales y experimentales de la época. De ahí que la obra de Lavoisier y Laplace muestre, a la vez, el avance en la cuantificación del calor y el límite de una conceptualización en la que no se distingue con claridad las fuerzas de la materia que entran en juego.

Un inicio a las consideraciones conceptuales

En los trabajos de Lavoisier (1777a, 1777b, 1783 y 1789) y de Lavoisier y Laplace (1780) la pregunta por la relación de calor con las reacciones químicas se justifica así:

L'équilibre entre la chaleur, qui tend à écarter les molécules des corps, et leurs affinités réciproques, qui tendent à les réunir, peut fournir un moyen très-précis de comparer entre elles ces affinités; si l'on mêle, par exemple, à une température quelconque au-dessous de zéro, un acide avec de la glace; il la fondra, jusqu'à ce qu'il soit assez affaibli pour que sa force attractive sur les molécules de la glace soit égale à la force qui fait adhérer ces molécules les unes aux, autres, et qui est d'autant plus grande que le froid est plus considérable (Laplace y Lavoisier, 1780, p. 317).

[el equilibrio entre el calor, que tiende a separar las moléculas de los cuerpos, y sus afinidades recíprocas, que tienden a acercarlas, puede proporcionar un medio muy preciso de comparar estas afinidades entre sí; si, por ejemplo, se mezcla un ácido con hielo a cualquier temperatura bajo cero, derretirá el hielo hasta 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].

En la primera parte de la *Memoria sobre el calor*, se desarrollan las ideas de una mecánica molecular donde se considera que todos los fenómenos pueden ser explicados en términos de las leyes de atracciones newtonianas; entonces, la afinidad química es una fuerza atractiva que pueden cambiar la cantidad de calor (Lavoisier y Laplace, 1780).

Ellos, Lavoisier y Laplace, han expresado que el calor es concebido por los científicos de ese siglo (s.XVIII) de dos maneras: *Plusieurs d'entre eux la regardent comme un fluide répandu dans toute la nature, et dont les corps sont plus ou moins pénétrés, à raison de leur température et de leur disposition particulière à le retenir (...) D'autres physiciens pensent que la chaleur n'est que le résultat des mouvements insensibles des molécules de la matière.* (Lavoisier y Laplace, 1780, p. 285) [unos lo consideran como un fluido extendido por toda la naturaleza, y en el que los cuerpos

están más o menos penetrados, según su temperatura y su particular disposición a retenerlo (...) otros piensan que el calor no es más que el resultado de los movimientos imperceptibles de las moléculas de la materia] y está vinculado al principio de conservación de fuerzas vivas que luego Laplace explica en su *Mecánica celeste* (1843). Lavoisier y Laplace asumen que no se tienen suficientes elementos para hacer una elección entre las dos hipótesis, sin embargo, por ello mismo se compartirán en las explicaciones los elementos que le son comunes a las dos:

[...] comme on ne peut former que ces deux hypothèses sur la nature de la chaleur, on doit admettre les principes qui leur sont communs or, suivant l'une et l'autre, *la quantité de chaleur libre reste toujours la même dans le simple mélange des corps*. Cela est évident, si la chaleur est un fluide qui tend à se mettre en équilibre, et, si elle n'est que la force vive qui résulte du mouvement interne de la matière, le principe dont il s'agit est une suite de celui de la conservation des forces vives (Lavoisier y Laplace, 1780, p. 287).

[no pudiéndose concebir más que estas dos hipótesis sobre la naturaleza del calor, se deben admitir los principios que les son comunes; según la una o la otra, *la cantidad de calor libre queda siempre igual en la mezcla simple de los cuerpos*. Esto es evidente, si el calor es un fluido que tiende a ponerse en equilibrio, y si no es otra cosa que la fuerza viva que resulta del movimiento interno de la materia, el principio enunciado es una consecuencia de la conservación de las fuerzas vivas].

Esto significa que, con respecto a las afinidades atractivas en los cambios químicos, si el calor se concibe como un fluido, puede combinarse o desprenderse cuando las sustancias interactúan; pero si es concebido como una fuerza viva; las afinidades atractivas modifican esas fuerzas vivas. En ambos casos, sin embargo, se admite un principio común a las dos hipótesis:

Si, dans une combinaison ou dans un changement d'état quelconque, il y a une diminution de chaleur libre, cette chaleur reparaitra tout entière lorsque les substances reviendront à leur premier état, et, réciproquement, si, dans la combinaison ou dans le changement d'état, il y a une augmentation de chaleur libre, cette nouvelle chaleur disparaîtra dans le

retour des substances à leur état primitif (Lavoisier y Laplace, 1780, p. 287).

[Si, en una combinación o en un cambio de estado cualquiera, hay una disminución de calor libre, este calor reaparecerá completamente cuando las sustancias retornen a su estado primitivo; y, recíprocamente, si, en la combinación o en el cambio de estado, hay un aumento de calor libre, este nuevo calor desaparecerá en el retorno de las sustancias a su estado primitivo.]³²

Esta discusión sobre la naturaleza del calor tiene un sesgo pragmático, pero aparte de eso tiene un asunto que es donde la labor de la duda juega un papel interesante en la producción de conocimiento científico: ¿cómo funcionan las hipótesis?, ¿qué las hace verdad? y, ¿hasta cuándo son verdad?

Sobre este asunto en particular, los desarrollos de fuerzas vivas van a influir 1.- en la formalización que se procura para el problema que estamos abordando; 2.- en las modificaciones a las teorías calorimétricas; 3.- a los artefactos que se construyen después. Así que el asunto de las hipótesis de base está en relación con la experimentación y formalización, que no compete a un individuo, sino que es una problemática de la ciencia que irá progresando a lo largo del siglo XIX.

La perspectiva que Lavoisier trae para la química es que la formalización, como lenguaje sistemático, cuantificación y estabilización de los efectos producidos en el experimento, son garantía de objetivación en la ciencia, y se le resta lugar a la singularidad y a la contingencia. Esto también hace parte de la forma como el químico moderno se sitúa frente al saber que lo distingue. Entonces, se instala una lógica materialista en el saber sobre la transformación de las sustancias; es decir, no se puede pensar las transformaciones si no se explican las causas por la lógica de la materia, donde se aleja de la sustancialización de los efectos para dar paso a una realización material de los elementos. Es un materialismo que supera a Lavoisier porque, aunque él colocare la luz y el calor en su tabla de los elementos (Lavoisier,

³² En negrillas en el original.

1789/1937), la actividad de los científicos pronto se percatará de que se interpreta mal la acción química del calor si se le atribuye el mismo papel de un elemento químico al calórico (Bachelard, 1953/1976).

Para que el sujeto de la química moderna se constituya, se rompe con las ideas anteriores que son los soportes de la química antigua. ¿Se conserva algo? Nada se conserva: ni los nombres, ni los símbolos, ni las formas. Las leyes que se instalan poco a poco siguen un nuevo orden que nada lo liga con el antiguo. Podríamos imaginar a un Lavoisier atravesado por alguna noción de aire desflógisticado como el de Priestley que tuvo que renombrar para que emerja el principio oxígeno. Y el principio es un reducto de lo antiguo, como el calórico o el lumínico, que habita al hombre de ciencia, pero el sujeto de la química moderna ha de desplazarlo.

Estos términos, que operan como errores por rectificar, no desaparecen sin más. Su rectificación da lugar al surgimiento de ese sujeto de la química moderna. Este sujeto no es un nombre particular de Lavoisier, o de Laplace o de cualquier otro. *El hombre de la ciencia no existe, sino únicamente su sujeto* (Lacan, J. 1966, p. 838).

El surgimiento del sujeto al mismo tiempo coloca en su lugar una actividad científica problemática. Así, hemos reconocido a Lavoisier o Laplace como hombres de su tiempo, marcados por la actividad científica, en medio de una revolución francesa, con intensas comunicaciones con los científicos de otras académicas y sociedades. Es en ese lugar donde se constituye el sujeto que es siempre en formación, el sujeto es un efecto del saber que no lo contiene.

La comprensión de estos procesos aporta a una lectura de la historia de las ciencias en relación con las problemáticas científicas que se enseñan. Además, aporta a la reflexión del lugar de sujeto que enseña ciencias hoy y que, al mismo tiempo, es efecto de la relación que establece con el conocimiento que enseña.

Construcción de un saber científico en un espacio de posibilidades: la experiencia educada y la ruptura epistemológica

Precisar, rectificar, diversificar, he ahí los tipos del pensamiento dinámico que se alejan de la certidumbre y de la unidad, y que en los sistemas homogéneos encuentran más obstáculos que impulsos. En resumen, el hombre animado por el espíritu científico, sin duda desea saber, pero es por lo pronto para interrogar mejor (Bachelard, 1947/1985, p. 19).

Una de las principales intenciones de este trabajo es profundizar en lo que significa que los profesores establezcamos una relación con el saber que enseñamos y procurar que nuestros estudiantes también establezcan una relación con el saber científico. Como hemos dicho, no podemos asegurar que este propósito se logre con los estudiantes, ni que, de lograrse, ocurra de la manera que hemos anticipado, pero podemos propiciar las condiciones para que sea posible. En este momento, entonces, es importante explicitar la comprensión que lograda sobre la relación con el conocimiento científico desde los referentes que hemos venido presentando, especialmente desde lo que se deriva de la epistemología de Gaston Bachelard y la filosofía de Alain Badiou.

En el contexto de las reflexiones epistemológicas que han acompañado el estudio de las condiciones conceptuales, técnicas y experimentales en las que, inicialmente, se presenta la medida del calor en las reacciones químicas (considerado aquí como caso de estudio histórico), las relaciones sujeto(s)–saber científico ocupan un lugar central. Este lugar resulta relevante, tanto para comprender la construcción del conocimiento, como para considerar sus repercusiones en la educación en ciencias.

Una primera línea de reflexión se centra en la relación entre el sujeto —entendido como un hombre perteneciente a una comunidad o que se incorpora a ella— que asume las cuestiones de su tiempo, en cuyo marco se produce el objeto de la ciencia.

Una segunda línea se orienta sobre la forma cómo pensamos la ciencia en la formación de profesores. En esto se requiere una revisión reflexiva de las ideas que,

como profesores, sostenemos sobre el conocimiento científico que enseñamos: qué entendemos como conocimiento científico, cómo llegamos a considerar que sabemos ciencias y qué ciencias decimos saber. Estas preguntas permiten repensar las formas que procuramos para que nuestros estudiantes también establezcan una relación con ese conocimiento científico. Esta tarea es lo que aquí entendemos como enseñar ciencias.

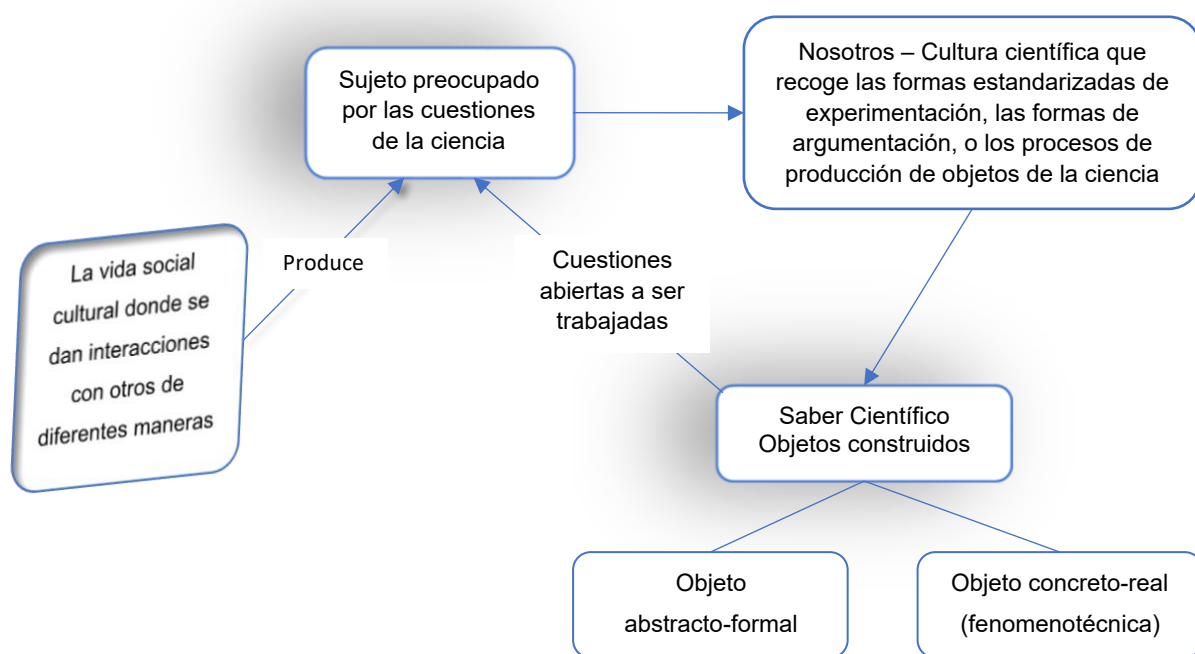


Diagrama 3 - Sujeto(s) - saber científico

Para iniciar, planteamos que:

1. La relación sujeto(s) – objeto esta cruzada por una comunidad que sostiene una modalidad de conocimiento. A esta comunidad la hemos colocado como la relación sujeto – nosotros (en este documento nos hemos referido a sujeto(s) para incluir esta dimensión colectiva o social). El sujeto(s) en la comunidad científica,

la cultura científica, la ciudad científica³³ renuncia a la imagen del individuo solitario y acoge a un sujeto en relación con otros y en su preocupación compartida por el objeto de estudio sobre el cual dialogan.

2. Retomando lo anterior, lo que decimos en el diagrama 3 es que la relación con el objeto de estudio se establece a través de esta comunidad o ciudad científica. En esta relación se despliegan conversaciones, se construyen actividades experimentales para argumentar relaciones, para llevar a una objetivación de los objetos abstractos que el estudio reconoce y elabora.
3. Es así como el objeto de estudio del que hablamos es un objeto construido, es el propio del saber científico. Nuestro énfasis en la actividad experimental responde a que ésta constituye una de las condiciones de objetivación en la construcción del objeto.
4. La experimentación como actividad y el experimento como evento son conceptualizaciones o formalizaciones de los supuestos que se ponen en juego. Entonces, el sujeto que participa en actividades de experimentación no se limita a registrar observaciones, sino que está ante un proceso de construcción de un objeto de la ciencia que responde al entramado conceptual en el cual está inmerso. La experimentación con el calorímetro de hielo es un caso ilustrativo de este tipo de actividad experimental que supera la verificación empírica.

Esto es, la ciencia, como una modalidad específica de construcción de conocimiento, es una actividad que produce objetos: abstracto-formales y concreto-

³³ Bachelard hace uso de la expresión *ciudad científica* para hablar de este espacio autónomo especializado que se distingue de la vida social y de la psicología del consenso característico del conocimiento común. La ciudad científica es donde el espíritu tiene la posibilidad de formarse científicamente y el rasgo característico es la actividad fortalecida en la racionalidad que trasciende la actividad del hombre de ciencia. Un elemento por destacar del uso de esta expresión es que la formación científica que se da en la escuela como *el modelo más elevado de la vida social* está dentro de la ciudad científica. Puede consultarse Bachelard (1949/1978, p. 28-32).

reales³⁴. Cada uno de ellos en sus relaciones con el andamiaje de las teorías, leyes, y matematizaciones son el producto de la formalización desarrollada y de la comprensión del problema planteado que decanta la percepción construida.

Deliberemos detalladamente sobre los diferentes aspectos comprometidos en esta afirmación:

El sujeto(s) de las ciencias pone en relación sus elaboraciones con los otros, con una comunidad científica, con una cultura científica que responde con preguntas, diálogos, ideas, objeciones. Para esta comunidad, las elaboraciones conceptuales y experimentales ocupan un lugar de coherencia, entrelazadas con el problema planteado.

La experimentación aporta en registrar relaciones, examinar efectos, proponer intensidades de algunas magnitudes que se expresan en relaciones formales. Si se reitera un experimento y se obtienen efectos repetibles y sistematizables, que aportan a la formulación de relaciones, éstas se constituyen en supuestos de trabajo.

³⁴ Los objetos de la ciencia son objetos abstracto-formales contruidos en el interior de la comunidad científica. En tanto que conocimiento científico, se producen también fenómenos del orden de lo científico que va en la vía de una fenomenotecnia, como lo expresa Bachelard, por su carácter no inmediato, creado o construido. Dice Bachelard en *El racionalismo aplicado* que *El objeto percibido y el objeto pensado pertenecen a dos instancias filosóficas diferentes. Es posible, pues, describir al objeto dos veces: una como se lo percibe, otra como se lo piensa. El objeto es aquí fenómeno y nómeno. Y en tanto que nómeno, está abierto a un porvenir de perfeccionamiento que el objeto del conocimiento común no posee. El nómeno científico no es una simple esencia, es un progreso del pensamiento* (Bachelard, 1949/1978, p. 106).

En este punto, se advierte la cercanía con Louis Althusser (1967) quien también trata la distinción y relación entre objetos concretos-reales y abstractos-formales. Tal distinción plantea que los conceptos y principios teóricos no tratan la singularidad de los objetos concretos, sino que se refieren a objetos abstractos-formales, los cuales son indispensables para la producción teórica. Así, el desarrollo de la ciencia depende de la construcción y formalización de objetos abstractos-formales; de tal manera, el objeto concreto real es producido por la actividad teórica y experimental de la ciencia. *Decir que el conocimiento teórico, o la teoría en sentido estricto, se refiere a objetos abstractos-formales, a conceptos y sistemas conceptuales teóricos significa que posee la capacidad específica de proporcionar los instrumentos teóricos indispensables para el conocimiento concreto de toda una serie de posibles objetos real-concretos* (p. 8).

Estos supuestos de trabajo están dentro del dominio de la experimentación, sin ser productos de la misma. Se tiene que ver que las hipótesis y la experimentación son la expresión de la ordenación lograda en objetos abstractos-formales y concretos-reales. En este sentido, agreguemos que las observaciones no anteceden la experimentación: pueden ser reiteradas y validadas para un caso y extenderse a todos los casos posibles.

Así por ejemplo, la relación entre la afinidad y los calores de reacción se registran para el carbono, el fósforo y el hidrógeno, pero se aplican para los distintos casos de combustiones, calcinaciones o diferentes clases de reacciones químicas que se distinguían entre un ácido y una base o entre un metal y los ácidos. Más aun, cuando se logra estructurar una teoría que explique cómo el calor es un indicativo de la magnitud de las fuerzas de combinación que se establecen entre los diferentes elementos constituyentes de un compuesto, se pueden calcular, ya sin la experimentación directa, los valores de calores de reacción. Por ello, la formulación teórica no depende exclusivamente de la experimentación, en tanto que también es producto del estudio realizado.

Ahora bien, las formulaciones hechas ya no dependen de quién las realice o del contexto en el que se den. Aunque Lavoisier y Laplace desarrollan comprensiones matemáticas y experimentales específicas, su contribución se inscribe en una comunidad científica, son hombres de ciencia que se ocupen de los problemas de su tiempo, que trabajan para desarrollar las formulaciones requeridas en los ámbitos de la medida, del instrumento y de las leyes que los rigen. Pero, por ejemplo, la afinidad como intensidad, la medida del calor formulado como una caloría, en términos de la cantidad de calor requerida para elevar en 1° 1 Libra de agua, no depende de las condiciones en las que es formulada por Lavoisier y Laplace, aunque sea a ellos a los que se les reconozca su formulación; sin embargo, en su forma algorítmica es independiente de ellos. Se produce una *exclusión del sujeto*, para utilizar las palabras de Lacan.

Estamos presentando un conjunto de objetos contruidos que no nacen o aparecen por una observación desprevenida o inmediata de la naturaleza. La afinidad o el calor de reacción está muy lejos de ser una percepción inmediata de las sustancias en la vida cotidiana. La relación entre ellas que produce efectos percibidos, o más bien digamos 'objetos percibidos', son percepciones educadas a través de la realización en un campo particular de problemas como es la ciencia química. La aplicación técnica y experimental es condición de objetivación y, por lo cual, no es posible considerar que el conocimiento venga de la inmediatez, ni la objetividad sea una cuestión *a priori* (Bachelard, 1949/1978).

Hemos abordado los estudios de la relación de las sustancias, en que la afinidad adquiere una forma objetivada cuando se plantea el reto de medirla. Pero la medida de la afinidad demanda asegurar las condiciones de garantía de que efectivamente estamos midiendo aquello que nos hemos propuesto. Esta exigencia no sólo es metodológica, sino conceptual. Se puede encontrar, en el anterior capítulo, y es extensiva a otros estudios de construcción de conocimiento científico.

Reiteramos, entonces, que la actividad científica no se ocupa de eventos inmediatos, fáciles o desordenados; no se trata de captar la realidad directamente de alguna realidad natural, y los objetos contruidos no son percepciones inmediatas que se puedan hallar en la cotidianidad. Cuando trabajamos en ciencia, objetivamos aquello de lo que hablamos; por tanto, el conocimiento científico se ensambla en la relación con el objeto de estudio que destaca las preguntas y la producción de teorías que consolidan objetos abstractos-formales (Bachelard 1953/1976; 1949/1978). Señala Bachelard (1940/1993, p. 51) que se trata de una experiencia cultivada, experiencias que no se habían previsto *a priori*.

Hemos centrado la actividad científica en la construcción de objetos: abstracto-formal y concreto-real, los cuales están en relación con procesos que, en las lecturas *a posteriori*, se presentan como sistemáticos y ordenados, aunque no podemos establecer con exactitud el tiempo en que pasan de estar desordenados y desconectados a este orden objetivo que esta mediado por un tiempo lógico. Tampoco

podemos decir con suficiencia por qué camino se va, esto también corresponde a dicho tiempo lógico. En síntesis:

- El objeto de la ciencia no es inmediato, sino construido.
- La relación sujeto(s) - objeto es a través del otro en una comunidad; por tanto, no es una relación directa. Operación que escinde al sujeto del objeto construido.
- El soporte del científico son los medios en los cuales queda escrita la memoria de la cultura científica —tratados, escritos, conferencias—. De estas formas de comunicación se da paso al conocimiento de las cuestiones en pugna que se movilizan en el interior de la gramática científica.
- El objeto construido le retorna al sujeto cuestiones abiertas, anomalías, rectificaciones por hacer.

Amplíemos algunos puntos. Las anomalías o rectificaciones que le retorna el objeto al sujeto pueden consolidarse como rupturas de diferente clase, como señalan Balibar y Pêcheux (1969). Bachelard (1934/1985) identifica que el proceso de construcción de conocimiento es acompañado por modificaciones en las lógicas que determinan formas de proceder. En contravía de pensar que estas modificaciones son progresivas y continuas, Bachelard considera que son discontinuas, son rupturas marcadas por la superación de obstáculos epistemológicos. La ruptura epistemológica supone un *corte*, una discontinuidad en el proceso de investigación y en la idea misma de ciencia; de modo que una nueva teoría científica puede situarse dentro de un nuevo contexto epistemológico no comparable con el anterior.

Balibar y Pêcheux (1969) introduce algunos matices complementarios que hemos analizado. Se distingue una demarcación intraideológica, esto es un tiempo que precede a la ruptura y que es un *momento de formación de la coyuntura en la que se producirá* (p. 10). Cuando estudiamos las concepciones de afinidad entre la química antigua y la química moderna, la afinidad química deja de ser una tendencia en virtud de las cualidades propias de cada sustancia que afectan o son afectadas por las otras

sustancias con las cuales interactúa, y pasa a ser una fuerza (análoga a las fuerzas mecánicas) que puede ser medida en relación con la cantidad de calor comprometido en cada reacción. Esta es una ruptura epistemológica del orden de un no retorno *a partir de la cual la ciencia comienza* (Balibar y Pêcheux, 1969, p. 8).

Sin embargo, aquellas investigaciones previas, que trabajando sobre qué es lo que llaman afinidad, que la consideran una fuerza de la materia que se relaciona con la masa o con la velocidad de la reacción, de forma análoga a las leyes newtonianas, son un camino que es luego rectificado. Son correcciones que marcan intraideologías, que preceden a la ruptura epistemológica; es decir, esto describe una etapa a ser comprendida como etapa o un movimiento de coyuntura en la cual la ruptura epistemológica será posible (Balibar y Pêcheux, 1969, p. 10). Podemos reafirmar que ningún científico hace la tarea solo; siguiendo a Balibar y Pêcheux, el sujeto de la ciencia es el efecto y no la causa de tal ruptura epistemológica. Parafraseando, Laplace y Lavoisier son efecto de la ruptura entre la química antigua y la moderna, no sus agentes causantes. Néstor Braunstein también señala que el científico trabaja dentro de la problemática y verá lo que es posible ver desde ese lugar interno; en el momento de Lavoisier ya *había dificultades insalvables* en las cuales él se destaca porque se ha formado en una ideología que visualiza tales obstáculos.

Los asuntos nuevos que devienen de la ruptura epistemológica generan efectos en el interior mismo de la ciencia, es decir, son de naturaleza intracientífica, tales como: hacer imposibles ciertos discursos ideológicos o filosóficos que la preceden; validar, invalidar o segregar las filosofías implicadas en la situación en la que tuvo lugar; y determinar una autonomía relativa para la nueva ciencia (Balibar y Pêcheux, p. 11-12).

Podemos relacionar estos aspectos con el caso de estudio que hemos presentado en, al menos, dos detalles: La idea del calorímetro de hielo que presentan Lavoisier y Laplace no es repetida por los otros científicos de los años siguientes, pero si se retoman los conceptos en los cuales se basa, de manera tal que se dan a la tarea de construir otros calorímetros, en los que buscan mejoras técnicas, reemplazan el latón

y el hielo por platino, cobre, mercurio o vidrio (Berthelot, 1873; Hess, 1840), dependiendo de los procesos químicos o físicos específicos que se estudian; con ello se van asentando las teorías que relacionan la afinidad química con los calores de las reacciones químicas y se introducen nuevos términos como ‘trabajo químico’ que se refieren a que las medidas termoquímicas son medidas del trabajo asociado a las acciones químicas (Berthelot, 1893, p. 9).

En adelante se multiplican las actividades de medición de los procesos químicos por los calores que les corresponde, pero no se detienen ahí. William Robert Grove muestra que, así como el calor es producto de la afinidad química en las reacciones, también la luz o la electricidad se ponen en relación con la afinidad química, se afianzan los aspectos conceptuales que estaban iniciados y así la correlación de las fuerzas es la base de la termoquímica de Hess (Grove, 1865, p. 137 y ss).

En razón de la labor como profesor de ciencias, estas elaboraciones tienen valor pedagógico, por lo cual se obliga una distinción entre la ciencia como campo disciplinar y la enseñanza de las ciencias como práctica pedagógica. Separar estos dos aspectos es lo que presentaremos en los diagramas 4 y 5. Desde el punto de vista de la ciencia, ya hemos presentado nuestro interés por la construcción de los objetos abstracto-formales que tienen su realización como objetos concretos-reales. Ahora, en la enseñanza de las ciencias, no sólo nos interesa la construcción de objetos científicos, sino que nos acompaña la condición de crear posibilidades para que los sujetos-estudiantes establezcan una relación con el saber científico. Uno de los asuntos a estudiar es la conexión que se hace entre el objeto abstracto y el objeto percibido. El profesor puede reconocer y deshacer la certeza que los estudiantes tienen en los fenómenos inmediatos y en las respuestas simples.

En esta tarea es posible que el sujeto-estudiante se sintonice con la satisfacción que al sujeto-profesor le produce la comprensión y actividad de relación con los objetos contruidos por la ciencia.

El objeto

En el diagrama 4 hemos introducido una variación al diagrama inicial (diagrama 3) que precisa la relación entre el objeto concreto-real y el objeto abstracto-formal. La actividad científica produce estos dos objetos, (tal como se señaló en el diagrama 3): aquel abstracto-formal que ordena sustancias, reacciones, materiales... mediante principios de análisis y síntesis. Desde las conceptualizaciones teóricas se comprende la experimentación que se desenlaza en el análisis de la constitución de los óxidos producidos por la combustión de los gases o en la calcinación de los metales; metales, óxidos o combustión no son una continuidad de las primeras experiencias, como las sustancias de la antigua química que se organizaban en álcalis, ácidos puntiagudos o en tierras absorbentes en la química antigua.

Al mismo tiempo que se trabaja en concepciones teóricas, se desarrollan nuevas actividades experimentales; esta praxis a pesar de exhibir un orden de efecto sensible, no es sólo eso; por ejemplo, los cambios de coloración, los procesos de análisis elemental, que antes se desarrollaban produciendo reacciones químicas particulares para identificar calcio u otros metales por la producción de un sólido blanco que se precipita, y que ahora se reconoce por la interacción con la luz en la espectroscopía o por las otras clases de radiaciones del espectro electromagnético, son percepciones instruidas³⁵. Entre las reacciones de precipitación y las detecciones espectroscópicas se han producido realizaciones, objetivaciones, objetos concretos-reales de la actividad de la ciencia.

La ciencia no describe el mundo, lo produce. Los objetos que vienen de las realizaciones de los objetos abstracto-formales no son naturales, no son primeras percepciones, aunque, en distintas ocasiones, se inserten en la experiencia del sujeto

³⁵ En distintas partes de *El racionalismo aplicado*, Bachelard (1949/1978) elabora la diferencia entre la experiencia común y la experiencia científica. En la actividad científica se produce una clase de experiencia que estructuralmente es realización. Las corrientes eléctricas, los espectros de los elementos, o las descargas eléctricas en tubos catódicos es una fenomenotécnica, *es una técnica de organización de fenómenos* (p. 156).

social. Quiero detallar aquí lo siguiente: un primer modo de objeto es cuando hablamos, por ejemplo, de 'agua pura' pero, sobre todo, de H_2O , o de sulfatos, óxidos, o de los elementos de la tabla periódica. Todos ellos son abstracciones que se pueden concretar en una actividad experimental y, en ese sentido, son realizaciones de la ciencia. Sin embargo, podrían objetarse que son desagregaciones de fenómenos naturales como el agua del mar o de minerales específicos, excavados de las montañas. Parece que conservan un rasgo de naturalidad, porque son sustancias posibles de obtener por medio de extracciones o de las que ahora hablamos como si siempre las hubiéramos conocido, como el oxígeno o el gas carbónico. Sin embargo, fácilmente nos olvidamos de que su obtención sólo es posible porque hemos entendido la estructura y comportamiento de la materia.

Un modo más ilustrativo es cuando consideramos objetos concretos para los que no tenemos referentes sino a partir de algún momento de la historia, que son producto de los procesos de síntesis química, como las anilinas que se obtienen de la nitración del benceno, o medicamentos como la insulina sintética que se produce en el campo de la ingeniería genética. En general, nos vemos tentados a compararlos con los colorantes extraídos de los vegetales, en el primer ejemplo; o con la insulina producida por el páncreas, en el segundo caso. Esto hace que se mantenga ese rasgo de natural, en oposición a artificial y nos dejamos confundir porque nos resultan familiares. Pero, tanto las extracciones como las síntesis son posibles de recibir un nombre y un lugar en la ciencia química, por el estudio de la estructura y comportamiento de las sustancias.

Para el tercer modo, podemos presentar casos más alejados de toda referencia natural; por ejemplo, los polímeros como el polietileno, los nanotubos de carbono o los semiconductores. Estos materiales no sólo no han existido en la naturaleza, sino que tenemos el imaginario que para estos casos sí es necesario estudiar la estructura de las sustancias, si queremos hacernos alguna representación científica de ellos, porque no tenemos un referente inmediato o lejano como en los dos modos anteriores.

Se reconoce que esta doble consideración de los objetos científicos contruidos en ninguno de sus modos, a pesar de los aires de familiaridad o rasgos de cierta naturalidad, son fenómenos de observación desprevenida.

En la actividad científica, ¿cómo se dirige el objeto abstracto-formal al objeto concreto-real? Es una realización. Como decía Bachelard, decir 'objeto pensado' y 'objeto percibido', es describir dos veces el objeto de la ciencia (Bachelard, 1949/1978, p. 106). La ciencia es una actividad que conduce a un saber en el cual el sujeto(s) en la ciudad científica inscribe una resolución a los problemas que se han planteado y que quedan objetivados en un conjunto de conceptos como 'calor', 'disolución', 'reacción', 'afinidad química'... en relaciones algorítmicas que mostrarán la relación cuantitativa de, por ejemplo, cuánto calor se desprende de una combustión del azufre en una atmósfera de oxígeno, en un aparato y la manera de operarlo para que este algoritmo se vuelva una praxis que la comunidad puede reconocer y trabajar sobre ella para hacer nuevas diferenciaciones y delimitaciones.

Más allá de este objeto construido práctico, no hay una realidad primera. *Por encima del sujeto, más allá del objeto inmediato, la ciencia moderna se basa en el proyecto. En el pensamiento científico, la meditación del objeto por parte del sujeto toma siempre la forma del proyecto* (Bachelard, 1934/1981, p. 17). Es decir, el objeto concreto-real es un efecto del objeto abstracto-formal, no al contrario. A la vez produce un efecto en el sujeto(s) que no es de constatación o de declaración de la verdad de las abstracciones. El objeto concreto-real se atraviesa para devolver cuestiones en las que hay que volver a pensar, esta es una instancia de rectificación. Lo real se *manifiesta en su función esencial: hacer pensar* (Bachelard, 1934/1981, p. 12).

El diagrama entonces se configura de la siguiente manera:

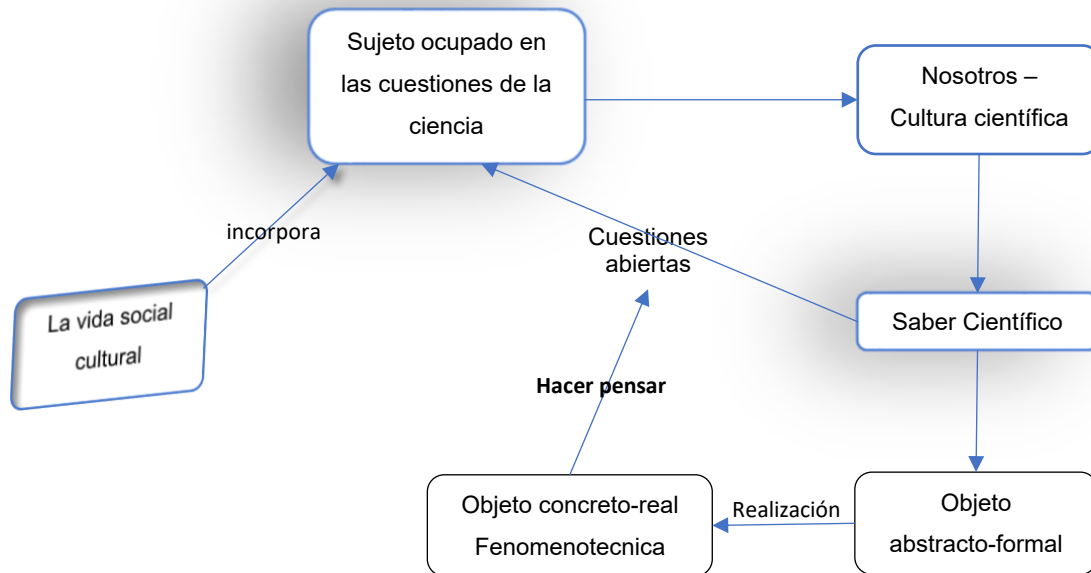


Diagrama 4 - Sujeto(s) – saber científico en el campo de la investigación científica

El sujeto

Ahora bien, para derivar estas reflexiones en el ámbito de la educación en ciencias hemos construido el diagrama 5, desde donde se pueden establecer varios aspectos sobre el sujeto y cómo esto influye la postura frente a la formación en ciencias.

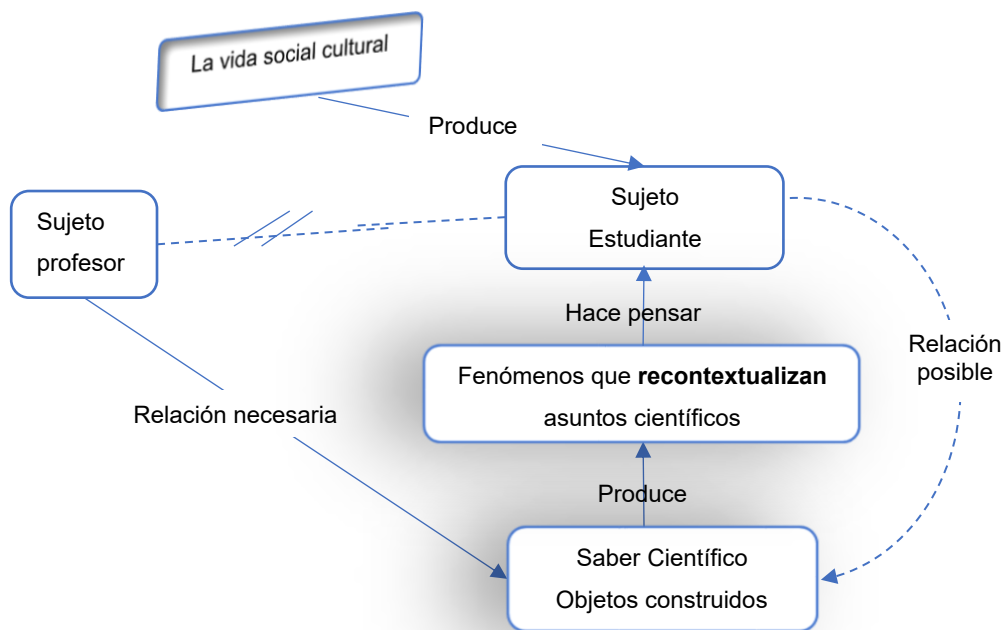


Diagrama 5 - Sujeto(s) – saber científico en el ámbito de la educación científica

Tenemos un objeto de la ciencia con el cual el sujeto-profesor ha establecido una relación. Este objeto no es inmediato, sino construido: el saber producido en las ciencias está ligado a una postura que se aleja de las apariencias inmediatas. Si a este sujeto-profesor lo acompaña el deseo que convoca a pensar, entonces halla en las rupturas que separan lo inmediato de lo construido, la satisfacción de replantearse las convicciones no discutidas, lo cual es un punto clave para los procesos de formación en ciencias.

Cuando este saber científico se coloca en condiciones de enseñanza, a diferencia de los procesos de construcción de conocimiento científico que representamos en los diagramas 3 y 4, además de la lógica interna del conocimiento, se tiene un segundo punto de anclaje: el saber construido por el sujeto-profesor. En otras palabras, las situaciones en enseñanza están dirigidas por la relación entre el sujeto-profesor y el objeto construido de la ciencia.

Esta condición es, entonces, un encuentro que, para que haga posible la relación del sujeto-estudiante con el saber, puede procurar que se expliciten los modos de

hablar y de pensar los objetos de estudio colocados en condiciones de posibilidad de ser considerados ‘fenómenos’, frente a los cuales se plantean preguntas, se buscan rutas de trabajo, surgen contradicciones o se amplían los aspectos a considerar, porque la lógica actual del sujeto-estudiante resulta insuficiente. La labor del profesor aquí aparece como un esfuerzo permanente de escuchar la posición del estudiante y encontrar la acción para que nuevos aspectos sean necesarios, para que se pongan en juego las lógicas o las gramáticas de las ciencias.

Sin embargo, lo desarrollado antes es necesario, pero no suficiente. Aquí se involucra un elemento adicional: ¿qué es lo que nos mantiene como sujetos-profesores vinculados al conocimiento científico?, ¿por qué nos interesa trabajar con un conocimiento que no cierra, que principalmente nos interroga las formulaciones que hacemos del mundo?, ¿por qué comprometernos con un modo de saber que nos mantiene en la incertidumbre de lo no concluido? Estas preguntas no tienen que ver con la utilidad o la eficacia en el aprendizaje de conceptos. Tampoco se satisfacen en la riqueza de las preguntas y desarrollos de las ciencias en las clases.

Bachelard (1947/1985) en *La formación del espíritu científico* habla de un psicoanálisis del pensamiento objetivo y afirma que la posición del profesor se fundamenta en la contradicción de las ideas seguras e inmediatas; es más, afirma que remover algo en el espíritu científico implica *el amor por la ciencia [como] un dinamismo psíquico autógeno* (p. 13), es decir, es una disposición del sujeto que sostiene el esfuerzo por pensar y de trabajar por una recompensa que es de influjo interno, no viene de imposiciones o estímulos externos. Aunque este Bachelard no lo nombra como un deseo por el saber —como lo hace Badiou—, ésta es una expresión pedagógica, como un llamado a que la enseñanza de las ciencias sostenga el conflicto epistemológico que da origen a la formulación que luego hará de los obstáculos.

Dice Badiou que lo que se enseña *es exclusivamente su lugar* (1998/ 2008, p. 62), ese espacio en el cual acontece la producción de pensamiento científico, así que se trata de mucho más que repetición de fórmulas y técnicas. Aunque en la institución

escolar no se produzca ciencia³⁶ y que el objeto de la enseñanza sea un saber sancionado, que en algún momento fue creado a propósito de una pregunta o de un problema de la ciencia, el profesor que conoce estos procesos y que tiene una postura frente a ello, puede crear condiciones para que en los estudiantes se produzca un '*esplace*' (Badiou, 1998/2008), para que se provoque el deseo por lo que no se sabe, aprendiendo lo que se empieza a saber.

Introducir esta actitud deseante del sujeto-profesor interroga nuestras convicciones en la enseñanza. Enseñar un lugar se entiende como enseñar una postura epistemológica sobre el saber científico que no tiene que ver con enseñar contenidos, fórmulas, sino que el esfuerzo es situar al sujeto-estudiante en relación con un campo simbólico; crear una escena donde el deseo del sujeto-estudiante se sintonice con el deseo del sujeto-profesor por la posibilidad de acceder a ese espacio de formulación de preguntas, de construcción de nuevos conocimientos, de invención de hechos científicos. Analizar cómo se da este proceso en el cual el sujeto-estudiante se sitúa en un contexto que lo involucra en acciones para comprender, atender, rectificar, implica reconocer las formas en las cuales el sujeto-profesor puede crear condiciones de posibilidad.

Es decir: la formación en ciencias no es una cuestión de transmisión, ni se supera con metodologías para la presentación de los problemas de estudio; por ejemplo el sujeto-estudiante se puede encontrar con la cuestión de cómo medir el calor de una reacción, el cual es presentado por el sujeto-profesor en su legítimo interés por esta cuestión; y se puede lograr que se planteen en el aula cuestiones sobre, por ejemplo, cómo llega a pensar una unidad para la medida, por qué el aparato creado es un buen

³⁶ Al decir que en la escuela no se produce ciencia, no se está afirmando que el sujeto-profesor no pueda ser un investigador en el campo científico; lo que se subraya es que la lógica escolar es la de recontextualización de los saberes científicos. Adicionalmente, es posible también que el sujeto-estudiante realice actos creativos dignos de ser considerados aportes a la investigación científica; sin embargo, esto significaría que ha alcanzado un nivel de apropiación que ha superado la condición únicamente de aprendiz, en este caso su relación con el saber se desenmarca de la recontextualización de saberes que se produce en la institución escolar.

medidor del calor de una reacción. Pero el proceso de formación no es sólo adquisición de información ni de planeación metodológica, sino la creación de un espacio donde el saber científico es significativo porque está sostenido por un deseo —el del sujeto-profesor— que interpela y convoca al sujeto-estudiante. Lo posible es una tensión entre el interés legítimo del sujeto-profesor por el saber científico, el problema que presenta y la posibilidad de emergencia del sujeto-estudiante donde puede producirse algo más que aprendizaje: puede producirse una relación con el saber.

Este encuentro, con todas sus tensiones, es posibilidad de formación si el saber científico que se vuelve objeto de diálogo logra deslocalizar al sujeto-estudiante, hasta el punto de conmover sus formas de trabajo y desear un tránsito por esta ruta, mostrando interés por estudiar los aspectos conceptuales, matemáticos o experimentales de la cuestión. No se trata sólo de un interés por el contenido, sino que ha sido conmovido en sus formas de pensar.

El proceso puede marcar una diferencia o una ruptura con su forma de pensar anterior, por ejemplo, siguiendo el caso estudiado, la pregunta de Lavoisier que reemplaza el *¿qué es el calor?* por *¿Qué les sucede a los cuerpos cuando entran en interacción con el calor?* Por ese camino se crea la posibilidad y necesidad de construir una unidad y un aparato de medida. Pero aunque sabemos que no es suficiente, también sabemos que las conceptualizaciones científicas no son accesorias, pues no en vano ha sido la vía en la cual el deseo del profesor ha sido anudado y se sostiene.

Destaquemos que el encuentro entre estas dos subjetividades —profesor y estudiante—, como vemos en el diagrama 5, no es directa: el intermediario es el saber científico. Podríamos decir que es la creación de espacios de posibilidad de un encuentro entre una ciencia encarnada en el sujeto-profesor y un deseo posible en el sujeto-estudiante. Entonces, creamos un espacio donde el proceso de subjetivación sea posible. En el proceso de enseñanza, la posición subjetiva del maestro hace que el deseo —no la voluntad— sea lo que esté presente.

En este espacio de posibilidades ¿qué lugar asumimos para el análisis de los textos de los científicos en la formación en ciencias? Leer a Lavoisier y a Laplace, tener una versión comprendida e inacabada del trabajo que ellos han desarrollado a propósito de las preguntas que por la afinidad química han sido de interés, desarrollar algunas observaciones desde el punto de vista de lo que para el sujeto-profesor es destacable, pone de presente que es posible conectar las preguntas actuales con las de los científicos de hace 2 o 3 siglos, por ejemplo. Las preguntas que se hacen en distintos tiempos tienen orientaciones compartidas, e incluso pueden responder a una estructura lógica que hace que se pueda establecer una comunicación entre ideas separadas en el tiempo. Hacer esta lectura, con una intención pedagógica ha permitido distinguir momentos y modos de construcción de conocimiento en ciencias:

- a) como sujeto-profesor que reconoce que, frente a esta problemática en particular, fue necesario repensar la manera como los diferentes autores presentaban sus teorías, y comprenderlos implicó que lo que parecía homogéneo, continuo y lógico, tuviese que ser interrogado. Lo que ocurre es que se desmorona la lógica propia, dando lugar a un autointerrogatorio que produce fisuras conceptuales que posiblemente orienten muchas de las actividades a desarrollar, y principalmente produce una satisfacción saber cuáles son las preguntas que quedan sin responder.
- b) Esta elaboración ha colocado diferencias sutiles que seguirán acompañando el trabajo sobre la relación entre las actividades de producción de conocimiento científico y las dimensiones experimentales y técnicas que se concretan en la construcción de aparatos como los calorímetros. Las unidades de medida, los materiales, las formalizaciones son un ámbito que puede enriquecer las actividades de formación en ciencias que se podrán desarrollar.

En esta vía reconocemos también la necesidad de profundizar en la dirección entre percepción – formalización, donde se apuesta por una mirada racional; pero no se puede olvidar que esa racionalidad es construida y que el sujeto que llega

a la clase de ciencias, por un lado, aun no la ha construido; y, por otro lado, el sujeto-estudiante llega con diferentes formas de comprender y valorar la percepción que tiene del mundo, las cuales son susceptibles de ser interrogadas, de hacer pensar, de poner a trabajar. Esto se constituye en un preámbulo que está vinculado a la trayectoria o a la historia cultural que trae cada uno al aula y que ha marcado unas percepciones del mundo que pone de presente cuando hablamos acerca de la dinámica de un fenómeno. Es importante considerar que las percepciones e ideas que el sujeto-estudiante trae a la clase responden a una estructura forjadas, como dijimos antes, en un contexto cultural y social, por lo cual están arraigadas a una lógica profunda y compleja; por tanto, resultan difíciles de remover con la sola presentación de los contenidos, incluso si se diseñan actividades creativas para presentarlos.

Las preguntas sobre una situación de estudio no son ocurrencias espontáneas. Llevarlas al ámbito del aula implica construir un contexto preciso donde tengan una orientación de indagación; en ocasiones, esto implica reconocer explicaciones actuales de los estudiantes y, a la vez, provocar desajustes deliberados con tales explicaciones.

Cada vez que tenemos una cara interrogada, cuando reconocemos el rostro de un estudiante con duda, desplazamiento o desacomodación, por decirlo de alguna manera, es satisfactorio haber ganado un instante decisivo para la formación en el cual el sujeto-estudiante se haga cargo de lo que piensa.

- c) En dirección complementaria a lo anterior, cabe destacar que el sujeto-profesor enfrenta un obstáculo que es removible pedagógicamente si deliberadamente se construyen escenarios para el desajuste con las ideas actuales. Esto no sucede igual en la ciencia. Acudir a los textos de los científicos involucrados en la construcción de las ideas que estamos estudiando es una oportunidad para generar espacios de interacción con aquellos que han aportado a nuestras formas de pensar, y, sobre todo, espacios de problematización con nosotros mismos.

¿Qué implicación tiene la conmoción de una idea que afecta a un sujeto? Una idea lo es en un sistema de ideas encadenadas, no se puede verdaderamente mover una idea sin que las demás no se vean afectadas. Por ello, cuando se irrumpe con una idea, no se trata sólo de su contenido, sino de sus efectos: nos hallamos ante el temor que produce la pérdida de la seguridad en el pensamiento que precede, el vacío que produce el no saber cómo se resuelve lo nuevo y a la incertidumbre frente a la formación de un nuevo pensamiento que aún no sabemos muy bien cómo se irá formando. Como señala Estanislao Zuleta (1983/2017), lidiamos con la angustia y se hace necesario un sentimiento de liberación.

Lo que está en juego no es solamente un proceso de comprensión de ese nuevo conjunto de ideas que se van formando ante la irrupción, es que no hay un sujeto previo que reaccione a la irrupción. Y una posibilidad en este espacio, y por la que se trabaja, es cómo sostener esta conmoción, cómo sostener al sujeto que se atreve a la tribulación que significa sentir que la estabilidad ha quedado suspendida, provocar las condiciones para una ruptura. Esto no tiene que ver sólo con condiciones epistemológicas. Tiene que ver con las dos direcciones en las que opera una felicidad después de la ruptura que expresa Zuleta (1983/2017, p. 78): con un acceso a *un conjunto de referencias simbólicas que ofrezca una mayor continuidad, previsibilidad y funcionalidad*, y con *ver surgir en sí mismo deseos ignorados y posibilidades desconocidas, que no eran compatibles con alguna imagen oficial, con las ideas y expectativas de algunos testigos privilegiados*.

El fenómeno

Habiendo prestado una especial atención a nombrar dos veces el objeto de las ciencias —como objeto abstracto-formal y como objeto concreto-real— esta

duplicidad da lugar a lo que llamamos fenómenos³⁷, los cuales no pueden asumirse como naturales, porque la expresión ‘fenómeno natural’ parece indicar que simplemente aguarda a ser percibido. Como lo señala Bachelard, los fenómenos no se descubren: se construyen (Bachelard, 1931-1932/1970, p. 24). La ciencia, entonces, no traduce la realidad, la construye y, con ello, da paso a una percepción *educada*.

Esto quiere decir que, si bien hemos señalado que en la ciencia, el objeto abstracto-formal produce objetos concretos-reales (como instrumentos, sustancias, algoritmos, entre otros), también la actividad científica construye modos específicos de percepción. Por ello, a diferencia de la experiencia inmediata que se impone por su aparente obviedad, podemos hablar —como lo propone Bachelard— de una experiencia educada o instruida.

Con ello reiteramos que:

- Fenómeno y objeto concreto-real tienen una diferencia sutil: el fenómeno está cruzado por la subjetividad.
- El fenómeno está ligado a la relación objeto – sujeto y que en la formación en ciencias no son el punto de partida, sino la posibilidad de romper o apartarse de la experiencia inmediata y formar una percepción educada o instruida.

³⁷ Con esto queremos hacer énfasis que se producen efectos que se pueden leer o ver, como marcas en los instrumentos utilizados en los montajes experimentales, cambios de coloración en las reacciones químicas, etc. y que hacen parte de los enunciados de observación contruidos. El fenómeno no es posible de reducirse a un dato que se señala; para referir el fenómeno en ciencias es necesario: hacer delimitaciones; relacionar otros elementos ya organizados; crear palabras o términos para expresar las fenomenologías tratadas; crear experimentos que den cuenta de las relaciones establecidas; configurar algoritmos. Se requiere una actitud fenomenológica renovada que no repare en distanciarse de las metafísicas de la cosa en sí y que ponga en juego la actividad; también es necesario considerar que no podemos volver a las cosas mismas. Dice Bachelard (1953/1976, p. 74) la ciencia realiza sus objetos, sin encontrarlos jamás hechos. Los fenómenos científicos se caracterizan por procedimientos, formas y materiales que están lejos del *volver a las cosas mismas*; si bien se tiene en cuenta la experiencia, ésta no corresponde a la vivencia cotidiana, sino que se forma en el seno de la especialización científica, por lo cual se *constituye en una síntesis conceptual creativa del fenómeno*.

El objeto es un objeto construido y rectificado, en el sentido de cuidar *las formas, ordenar las leyes y purificar los cuerpos, sin lo cual la evolución del fenómeno sólo enseñará al observador el asombro y la fantasía* (Bachelard, 1953/1976, p. 84), en otras palabras, no se atiende al devenir de los acontecimientos: estos se prevén, se organizan, se deciden las condiciones. Por ello, se aleja de la mirada de buscar entretener o maravillar —como a veces sucede en las didácticas de la ciencia que atienden a la “motivación” sin pregunta de los estudiantes por la ciencia.

‘Reconocer’ no es ‘conocer’, dice Bachelard y, además, agrega: *Así, un precipitado químico tiene un color que es suficiente para reconocer y predecir el resultado de una reacción. Este color es sin duda característico, designa un cuerpo entre otros cuerpos. Sin embargo, si vamos al fondo de la certeza del químico, veremos que también se expresa en forma de exclusiones progresivas, eliminando precisamente los casos en los que habría ambigüedad* (Bachelard, 1953/1976, p. 85). Así como el color, la mirada de la afinidad como una tendencia de una sustancia hacia otra o como una acción recíproca de atracción será un obstáculo para considerarla una clase de fuerza de la materia. Y en las enseñanzas actuales, ligar la afinidad al electrón, para hablar en términos modernos de afinidad electrónica, no nos aporta para superar este obstáculo, es de la misma clase el obstáculo por el que el sujeto-profesor de química tendrá que apresurarse a reconocer y trabajar, si quiere instalar a un sujeto-estudiante en una perspectiva contemporánea del pensamiento químico.

Ahora bien, en el aula los sujetos llegamos, ya lo hemos afirmado, con unas formas de percibir el mundo que nos rodea. Ese mundo percibido está ligado a las relaciones que se han establecido con los otros en un mundo social y cultural. Entre el mundo percibido en sus interacciones sociales y la percepción construida por el sujeto de la ciencia, hay distancias, rupturas. ¿Hay posibilidad de construir un puente entre estos dos mundos de percepción? No es posible.

Este mundo percibido con el que llega el sujeto-estudiante es efecto de su relación con la familia, la infancia, la misma escuela, entre otros; es un mundo percibido en el que se ordenan las experiencias e incluso se naturalizan. Entre tanto, el sujeto-

profesor que sea consistente con un deseo por interesar al sujeto-estudiante por el conocimiento científico, habrá de ofrecerle la posibilidad de ser involucrado en un ejercicio de explicitación de sus experiencias y del mundo percibido que trae.

Además, el sujeto-profesor llega con alguna forma estructurada de la clase de problemas que quiere trabajar. Reconoce en esto las preguntas, las actividades experimentales, las relaciones entre diferentes magnitudes que se pueden definir, las ordenaciones que pueden plantearse, los casos específicos en los cuales se pueden tratar los asuntos. Hay un mundo conceptual y perceptual del cual el profesor participa, en el que se ha involucrado y el cual puede considerar para ser recontextualizado en la clase³⁸.

La experiencia formativa, que coloca al sujeto-estudiante en relación con los objetos de la ciencia: fenómenos —aunque mejor tendríamos que decir fenomenotécnicas—, objetos concretos y objetos abstractos, se desarrolla en estos espacios de recontextualización.

Esta tarea no busca conectar de manera directa la experiencia cotidiana con el conocimiento científico, sino cuestionar las formas habituales de percibir y de pensar. No podemos confiar *per se* en la experiencia inmediata aprendida, sin embargo, con frecuencia el sujeto se aferra a ella como si fuese incuestionable. Entonces, ¿cómo sugerir al menos una puesta entre paréntesis para poder ver desde otro lugar? El lenguaje inicial y desordenado con el que se abordan los fenómenos, y que se agota rápidamente, necesita transformarse en relaciones, conceptos o construcciones, que se expresen en objetos pensados y objetos concretos. El fenómeno toca con la individualidad, pero la formación en ciencia obliga a un trabajo sobre el sujeto: una transformación de su relación con el saber y con los otros.

³⁸ La forma como el sujeto-profesor ha estructurado el objeto de estudio de la ciencia depende de la relación que ha establecido con este saber. De ahí se traducen las formas de las preguntas y las actividades que proponen y del espíritu que acompaña esta tarea.

Cuando el fenómeno se deja en la primera experiencia —aunque la ampliemos o reforcemos con datos científicos—, no necesariamente formamos un pensamiento científico. A lo sumo, suponemos que el sujeto ha logrado insertar, a su pensamiento cotidiano, datos o hechos de erudición científica. La formación científica no se trata de traducir el saber científico en lenguaje coloquial; es bueno recordar que este estado de la percepción “inmediata”, validada en ocasiones por la escuela, es un caso de saber absoluto en el sentido de universal, un discurso que se impone como totalizante y que inhibe la apertura a otros modos de pensar.

La recontextualización que le tributa a la formación de sujeto es aquella interesada en desarrollar una comprensión situada y reflexiva, es aquella en la cual el sujeto-estudiante se ve arriesgando sus ideas, posibles explicaciones y reconoce los aspectos que requiere rectificar.

En esta recontextualización, ¿cómo organizamos la clase? Lo central es producir oportunidades para *hacer pensar*. O bien, podemos hacer que los sujetos-estudiantes pongan en condición de estudio situaciones traídas de su cultura social y cultural; o bien, se ven con una organización que el sujeto-profesor presente: cualquiera que sea la opción, nos interesa que los estudiantes expongan sus ideas, establezcan criterios de organización para sus ideas, que vuelvan sobre las percepciones que logra y piensen de nuevo las ideas que las sostienen. En todo caso, tengamos en cuenta que, así sea una situación conocida, puesta en condiciones de estudio en el aula, se modifica; el nuevo contexto le reporta sesgos y acotaciones. En estos espacios es normal que las preguntas requieran ser planteadas varias veces.

Entre tanto, el sujeto-profesor hace un balance de las ideas que se exponen, de las posibles contradicciones que un sujeto expresa y que requiere hacérsele un énfasis para conversar con los otros y volver a desarrollar.

Este enlace de acontecimientos no sucede siempre; sólo se conmueve a algunos sujetos-estudiantes, el interés por una clase de fenómenos y luego por la construcción de los ámbitos teóricos, técnicos y experimentales es una experiencia única, es un efecto de la recontextualización singular. En otros casos, nos quedamos en el camino

y aquí el desvío también es una posibilidad, porque hay un ingrediente que hasta ahora no ha sido considerado. Se requieren diferentes tiempos y la estructura formal de la institución escolar no recoge esta diferencia.

Adicionalmente, al profesor también le acontecen experiencias singulares que generan satisfacciones: aprende nuevas relaciones, se generan preguntas sobre las que hay que volver; el tiempo de estudio no se detiene. A veces nos reconocemos en contradicciones, cuando tratamos de darle el lugar a la percepción y a la construcción de fenomenologías en el aula, para establecer posibles preguntas, para que los elementos conceptuales aporten al establecimiento de relaciones donde logremos esclarecer que pensábamos de una manera y es necesaria hacer modificaciones. Esto es, los momentos de la reflexión del profesor sobre lo que hace sucede al mismo tiempo que los estudiantes están aprendiendo con lo que se pone en la escena. Pero es otro momento lógico, aunque en el tiempo cronológico pueda ser simultáneo.

Es así como tenemos al menos tres tiempos distintos: el tiempo de estudio del profesor para lo que hace, a diferencia del tiempo de encuentro de los estudiantes que están aprendiendo con lo que se ha puesto en escena. Y finalmente, un tiempo lógico, no lineal, que permite organizar y comprender la experiencia. No es uno a continuación del otro, no es un tiempo en serie, es un tiempo lógico en el que se organiza y comprende la experiencia. El tiempo propio que produce efectos subjetivos.

Relación con el saber científico

El sujeto-profesor de ciencias se forma en las ideas propias de un saber científico, ya sea química, física, biología, matemáticas, entre otras. Esto supondría que coloca en el horizonte de acción ese saber (Bustamante, 2016, p. 2). Aunque esta relación con el saber es central, es inevitable afrontar los obstáculos que tienen que ver con las formas como concibe 'la relación con el objeto'.

Retomemos varios puntos anteriores. No es una opción deliberada establecer una relación con el saber, es que en nuestra condición de profesores de ciencias dicha relación es constitutiva. Esta relación puede ser:

- una, aquella en que el sujeto se sitúa en una actitud externa al objeto, hay una realidad dada que se verifica en lo concreto —relación que se inscribe en una lógica de lo *real constatable*—; o
- dos, aquella donde el objeto es una construcción, por lo cual el saber es una producción *simbólica que se objetiva*.

Ya lo hemos tratado en la primera parte (capítulo 1), donde argumentamos que, así como sucede en la ciencia, también la historia de esa ciencia puede ser construida o dada para ser instrumentalizada en actividades específicas.

La conclusión es que, dependiendo de la relación que se tenga con el saber, se construyen diversos tipos de condiciones de posibilidad, una de ellas es la que pone al otro en relación con el saber. Sin embargo, esta relación puede ir desde la ausencia total de remisión al saber, hasta la posición de un profesor que sea investigador en su área y productor de nuevo conocimiento. Entre estos dos polos se despliega un amplio espectro de efectos posibles para la formación en ciencias en el ámbito educativo.

Una perspectiva para comprender la anterior idea es que, además de los contenidos o las declaraciones explícitas de saber —como los elementos más concretos de lo que ponemos en la relación—, también se traen a la presencia otros elementos más sutiles, como pueden ser los modos de hablar, los giros en el lenguaje, las desviaciones del discurso, los vínculos que se construyen en torno a determinadas ideas, etc. Vínculos contruidos que aseguran una proporcionalidad, una dependencia, una relación causal, los cuales se hacen explícitos o se vuelven problemas cuando son expresados delante de otros que dialogan con estas maneras de referirnos a un problema de estudio que parece convocarnos a los dos interlocutores. Así el problema de estudio no sólo interpela al sujeto que lo expresa o sólo al sujeto que lo escucha.

Entonces, una cosa es pensar que el contenido mostrado como un conjunto de frases, ecuaciones matemáticas, operadores es una posibilidad para que en la clase de ciencias se forme una relación con el saber científico. El sujeto-profesor habla de ello, remite a citas, hace ejemplos, sugiere énfasis, etc. También puede proponer preguntas, destacar problemas, encontrar algún pequeño rasgo o gesto que ayude a conectar con las preguntas que se está haciendo el sujeto-estudiante o, incluso, que provoque preguntas que, hasta ahora, no habían aparecido y aun así, la relación del sujeto-estudiante con el saber sólo es una posibilidad, no está asegurada.

Como vemos hay muchas posibles maneras y momentos de relación con el saber. En el marco de estas acciones, que pueden ser de muy distinto orden, se sitúa nuestro interés: introducir el saber cómo una construcción simbólica y no como un asunto de objetos externos y reales.

Ahora bien, el asunto es que no se puede reducir a una correspondencia directa la postura del sujeto-profesor y su relación con el saber, con las configuraciones concretas del espacio de posibilidades que se habilitan en la formación en ciencias. Es decir, hay una influencia entre cómo el sujeto-profesor se posiciona en relación con el saber y cómo lo recontextualiza en sus prácticas pedagógicas, pero esta influencia no determina el espacio de posibilidades que se construya en las prácticas educativas. Lo que sí se puede afirmar es que lo que se coloca en el espacio de posibilidades del aula revela la clase de relación con el saber que los sujetos-profesores privilegiamos.

La expresión '*relación con el saber*' proviene del pensamiento de Lacan³⁹ en el contexto de la filosofía francesa durante la segunda mitad del siglo XX. Al interrogar el vínculo entre el sujeto(s) y el saber, se abre una tensión entre la verdad (del sujeto) y el saber (de la ciencia), así como entre lo real y lo simbólico construido. En esta perspectiva, el saber es un campo atravesado por el lenguaje y por el deseo.

³⁹ Lacan la presenta en el texto *Subversión del sujeto y dialéctica del deseo en el inconsciente freudiano*, y la retoma en *La ciencia y la verdad* (Lacan, 1960 y 1966). Por su parte, Canguilhem (1975) señala que dicha expresión se caracteriza por la problemática del sujeto en vínculo con el saber que, según él, Lacan ha heredado de Nietzsche.

En relación con esta noción, en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, se retorna al asunto de que enseñar no se reduce ni a la transmisión de información, ni a la actuación en el marco de una metodología didáctica específica. El espacio de posibilidades tiene unas tensiones que son constitutivas, un lugar de incertidumbre donde el sujeto-estudiante puede empezar a desear saber, a buscar aprender. Por ejemplo, si el sujeto-profesor sólo coloca información o actividades dirigidas a verificar información es distinto a hacer el acento en preguntas abiertas de las que hablamos en el diagrama 3; preguntas que no tienen solución inmediata, entonces, es posible que el estudiante se sitúe entre lo que entiende y lo que no, y que esta tensión no se rompa demasiado pronto, de tal manera que no se renuncie, sino que sea impulsado a aprender, a buscar, a producir afirmaciones. En palabras de Lacan y de Badiou, el sujeto se constituye precisamente en esa intersección entre lo que sabe y lo que no sabe.

En el diagrama 4, ya decíamos, que las cuestiones abiertas son constituyentes de esa relación; y, en el diagrama 5, es el profesor aquel que construye unas condiciones de posibilidad para que el sujeto(s) - estudiante establezca una relación y se constituya en aquella intersección entre lo que sabe y lo que no, al mismo tiempo que es cruzado por el lenguaje.

En esta intersección entre saber y no-saber, se despliega también una dimensión deseante. En la *juntura entre verdad y saber, el deseo se anuda al deseo del Otro*, en ese lazo se aloja el deseo de saber (Lacan, 1960, p. 782). De tal manera, el espacio de posibilidad para la enseñanza de las ciencias es el escenario donde se expresa el deseo de saber del otro, que es encarnado en el sujeto-profesor, y la verdad del sujeto-estudiante que es interpelada por el no-saber.

Pensar el sujeto no es sólo un referente en la relación con el saber, sino que ya no acudimos a la idea de un sujeto absoluto e independiente del objeto, al tiempo que el objeto no hace parte de una realidad *a priori* que existe en independencia del sujeto.

Revaluar esta relación sujeto(s)-objeto⁴⁰, no es sólo pensar de una nueva manera el sujeto.

Hemos destacado dos dimensiones: las reflexiones sobre el sujeto en su relación con el objeto de la ciencia y las reflexiones sobre el objeto con las cuales este sujeto(s) construye la relación de saber. Sin embargo, lo que queremos dejar mejor planteado es que no hay lugar a una separación rígida o a una polaridad excluyente entre sujeto y objeto.

Braunstein (1975) hace una disquisición sobre los problemas que conlleva concebir, en la relación sujeto – objeto, entidades separadas. En este marco se abandonan las dicotomías mal planteadas; entre ellas la que contrapone lo real y lo construido simbólicamente. Desde esta perspectiva, la relación con el saber no es una apropiación de un objeto dado que parte de un sujeto ya constituido, sino más bien podríamos decir que es una constitución mutua.

Teniendo en cuenta que *el objeto de las ciencias es un producto teórico, el resultado de un trabajo de transformación de una materia prima ideológica que, ella sí, es en última instancia una representación de origen sensorial. [...] es un producto de la actividad teórica de los científicos* (Braunstein, 1975, p. 257) y el sujeto es *la obra de los científicos que produjeron la ruptura epistemológica en su campo* (p. 258). La construcción de conocimiento científico, que al menos podemos examinar en distintos momentos de la historia de la ciencia, no depende del científico, aunque sea él quien lo encarne. Cuando Lavoisier examina las combustiones abandonando una materia inmediata, nos percatamos de que en química hablamos de una ‘materia instruida’ que ya no se ilusiona con especulaciones, sino que acude a mecanismos,

⁴⁰ Según varios estudios, la forma en que asumimos esta relación tiene implicaciones en cómo nos pensamos los individuos en el mundo en que vivimos. Pero, a pesar de estos estudios, las dinámicas en las clases se abordan proponiendo nuevas formas de enseñar en las actividades, en los materiales que se usan, en las rutas conceptuales que se proponen y resulta contingente para efectivamente modificar la relación que los sujetos tienen con el conocimiento.

los desarrolla, los reitera y los extiende a otros dominios. No se puede dudar de la objetivación de tales mecanismos.

Cuando Lavoisier plantea los diferentes niveles de oxidación de los elementos y las escalas de afinidad por el oxígeno es un esquema que rompe con las antiguas tablas de afinidad. Cuando Lavoisier y Laplace se plantean una manera de medir estas afinidades, reconocen un nuevo campo de preguntas que se desarrollará durante más de un siglo de investigación.

La ordenación de los elementos por pesos atómicos crecientes, que publica Mendeleiev, rechaza cualquier antigua ordenación, asunto que constituye una ruptura significativa en la química. Aunque la tabla propuesta por Mendeleiev se ha transformado hasta nuestros días, son vigentes sus criterios de clasificación y ordenación, de tal manera que no sólo ordenó lo conocido, sino que también permitió prever nuevos elementos luego encontrados; e, incluso, es la base para nuevos elementos que son producidos en los centros de investigación. Es una ciencia que claramente constituye el objeto y, con ello, constituye la relación con el sujeto.

Sin embargo, un punto importante que hemos reconocido antes es que este sujeto es efecto de aquel movimiento y queda excluido de los objetos producidos en la ciencia; en efecto, la formalización en la ciencia es abstracción y generalización que subsume el lugar de la ideología o del contexto particular, y se traduce en un entramado de proposiciones que bastan para establecer las relaciones lógicas de la ciencia.

En la construcción del objeto sobre el que opera la ciencia *se necesita una reducción, a veces de realización larga, pero siempre decisiva en el nacimiento de una cierta ciencia; reducción que constituye propiamente su objeto* (Lacan, 1966 / 2003, p. 834), es una operación sobre lo empírico y que pasa por excluir la dimensión subjetiva; en otras palabras significa formalizar de tal manera que los datos empíricos queden subordinados a la lógica simbólica del saber. Esta reducción no es una acotación o una simplificación de orden metodológico, sino que reiteremos que es una operación estructural de la ciencia que produce el objeto abstracto-formal. Pongamos

un caso: cuando Lavoisier y Laplace (1780) plantean la medida del calor específico, ordenan un fenómeno que aparece ligado a las diversas experiencias empíricas, en las que, a una misma temperatura, dos cuerpos diferentes (por ejemplo, de hierro y de madera) se sienten distintos —en esta concepción, el calor se siente—. No obstante, como magnitud física es posible decir cuánto calor absorbe una masa de madera en comparación con la misma masa del hierro, cuando ambos cuerpos son sometidos a variaciones iguales de temperatura. Aquí la sensación térmica quedó excluida de la operación: el calor específico no es una vivencia, es un objeto abstracto que se instala en la red lógica de la termoquímica.

El objeto es una producción; por eso es necesario dar cuenta, a través del lenguaje, de las condiciones bajo las cuales se ha constituido. Los aparatos, las disposiciones experimentales, las relaciones de variables, las funciones algorítmicas son condiciones para dar a conocer. Por lo tanto, no se puede considerar que el objeto emerja de una contemplación o aprehensión natural de la realidad. Como señala Bachelard (1940/1993), esta relación con el objeto esta atravesada por obstáculos estructurales, modos de pensamiento que es necesario transformar y rectificar. El objeto no es preexistente ni dado.

Si, por una parte, colocamos el acento en el sujeto, en su relación con el objeto de estudio, donde el objeto es construido en un proceso de objetivación, se reconoce, como lo señala Badiou, que el sujeto es una emergencia en cuanto a su pensamiento, su capacidad creadora, su ejercicio de abstracción (Badiou, 2005, p. 177).

Estamos hablando de un proceso donde el saber construido en la relación del sujeto – objeto no es de acceso directo a lo real, sino que construimos conceptualizaciones, formas de experimentación, condiciones para hablar de lo constituido que se establecen, luego se revisan, se transforman, se rectifican o, en otros casos, se abandonan.

Ahora bien, definida así la concepción de objeto de la ciencia y de sujeto, este sujeto establece una relación con este saber, que es inacabada, que está mediada por la problematización, de otra forma se torna absoluta.

La conciencia de este vínculo nos instala en lo que Lacan ha denominado el *registro simbólico*. Sin embargo, hay dimensiones que no se pueden expresar, que no quedan captadas en lo discursivo o lo representado; no hay una correspondencia total entre lo real y lo que decimos o representamos del objeto. Por el momento, hemos de afirmar que no es un asunto de la relación sujeto – objeto en los términos que la ciencia actúa. Por ejemplo, el calor específico o el calor de reacción cuando era medida por Lavoisier y Laplace (1780) se expresa en cantidades de hielo derretido (recordemos que dice: *En la combustión de una libra de fósforo se derrite 100 libras de hielo, de una libra de carbono, 96 libras 8 onzas y de una libra de hidrógeno 295 libras 9 onzas y 31/2 gros de hielo*). Esta cantidad de hielo derretido se interpretó inicialmente como una medida de calor, al principio es dada en calorías y, posteriormente, se traduce a la unidad actual: el Joule. Su construcción acude a equivalencias matemáticas que hacen parte de un registro simbólico, de una formalización que permite comparar reacciones químicas y prever nuevos comportamientos. Sin embargo, tal como hemos destacado en el capítulo anterior, Lavoisier se plantea que a pesar de tal formulación con ésto no queda resuelto qué es calor; éste es un ejemplo de una dimensión no capturada en lo representado; lo real, en este caso, la naturaleza del calor, no queda capturado en la formalización de la ciencia.

Por otra parte, el sujeto se forma en la relación con el otro; el proceso de subjetivación vincula la experiencia, las relaciones sociales y contextuales que están en el espacio de posibilidades que hemos propuesto como práctica educativa. Este espacio, que se hace necesario cuando se coloca la relación con el saber en dirección al otro, puede entenderse como un texto que se produce y sostiene el vínculo posible entre los sujetos (profesor – estudiante), lo cual requiere:

- Ajustar el saber al contexto, es decir recontextualizar. Hemos considerado que el diálogo con el otro sujeto, mediado por el saber, implica ponerlo en relación con las ideas y las creencias que traen, pero siempre con la advertencia de que la intención no es reforzar tales creencias, sino interrogarlas.

- Recuperar este proceso de construcción de conocimiento que no se ajusta a una línea normal de la ciencia, sino que muestra las dificultades que se dan cuando se proponen preguntas, cuando se aclaran las preguntas, para que no quedarnos sólo con las imágenes que parecen naturales en los libros de texto como conocimiento sancionado. En ese sentido, procurar mostrar en la enseñanza de las ciencias que las preguntas no están dadas, que una pregunta se encuentra en un campo de tensiones; por ejemplo Lavoisier y Laplace (1780) proponen una medida del calor por la necesidad de plantearse una teoría sobre el calor que pueda ser traído al campo de la medición, no como una extensión natural de las ideas de calor que tenían los antiguos y, a pesar de ello, no se logró deshacer de aquellos dogmas sustancialistas. La respuesta a su pregunta se construye casi 50 años después por otros.

Así mismo, en los libros de texto sólo se habla de la manera equivocada como Lavoisier propuso el calórico como elemento, sin ningún desarrollo de las dificultades y de las aspiraciones que rodearon esta formulación, al “ahorrarnos ese camino”, queda mal planteado el problema de la medición del calor, incluso porque pocas veces se habla de ello.

- Preocuparnos porque en la educación en ciencias se vivencien procesos de construcción de un saber sin acabar, que resuelve y que tensiona la relación con el saber. En la clase se pueden formular hipótesis provisionales, sostener diversas posturas que se ponen en debate, esto es, generar las condiciones para que el sujeto-estudiante participe y pueda tener la posibilidad de interrogar sus creencias y desear el saber.

En conjunto, estos tres movimientos son una expresión de hacer de la relación con el saber una relación necesaria, esto tiene un efecto en lo que consideramos que se construye en la clase de ciencias.

Para llegar a plantear un conflicto que conmueva al otro se requiere un *ritmo necesario e inevitable* (Zuleta, 1996, p. 57). Los métodos son falibles, son circunstanciales, se refieren a algo particular que se provoca en el encuentro entre

dos sujetos (profesor y estudiante) son irrepetibles, por lo que se pueden establecer condiciones generales pero no modelos de actuación probados o validados.

Nos sirve, para la educación, pensar cómo es el tiempo propio del conocimiento⁴¹: empezamos por señalar que no hay manera de ahorrarse tiempo, o de disminuir dificultades. No se trata de aprender informes, se distingue entre conocimiento e información que ha sido uno de los graves problemas de la educación, a pesar de que lo sepamos, no lo encarnamos. Zuleta delimita tres movimientos que vamos a desglosar para servirnos de ello en la educación en ciencias:

1. Reconocer que tenemos una *opinión* a ser analizada. La opinión es una verdad subjetiva no trabajada, no es una conclusión, está cargada de dogmas o creencias que, una vez desmanteladas, pueden constituirse en el espacio de las rupturas.
2. Desmontar esa primera opinión. Cuando damos una respuesta anticipada sin que se haya generado una cuestión sobre el objeto de estudio no se ahorra tiempo, sólo se aplaza el momento de saber o lo deslocaliza. Desmontarla no significa negarla o ignorarla, es preguntarse de dónde proviene, qué muestra, *qué implicaciones tiene* (presupuestos y consecuencias); por ello, no basta con reemplazar una opinión por información científica, si ésta va a ser otra opinión no trabajada.
3. Construir una indagación. Se producen los *síntomas que ya anuncia un cuestionamiento* (Zuleta, 1996, p. 58). Este tiempo de saber es también el tiempo de transformación de las estructuras de opinión a las de creación de deseo por el saber.

Estos tiempos no son medidas externas; hay un tiempo propio que tampoco es interno del sujeto, sino que hace referencia al tiempo para *engendrar un conocimiento*

⁴¹ Zuleta (1996) desarrolla algunas páginas que retomamos para referirnos a este aspecto (pp. 57-60)

efectivo (Zuleta, 1996, p. 60), para el engendramiento de la certeza (Badiou, 1998/2008, p. 271).

En esta constitución de relación con el saber, hay un tiempo lógico (Lacan, 1945) que, para el caso de la educación en ciencias, es un tiempo para progresar entre la primera impresión, la mirada primera y la constitución de una conclusión. Entre la primera mirada y la conclusión hay un lapso para comprender que no sólo tiene que ver con la estructura del saber, sino también con la vecindad del otro:

1. El instante de la mirada es ese primer momento en el que hay una percepción inicial que se busca asociar con algo ya conocido. Que puede ser de admiración contenida, de contemplación sostenida, que motiva ver. Como cuando, por ejemplo, presentamos un experimento maravilloso, espectacular, bellísimo; cuando presentamos la descomposición del agua por medio de la electricidad (electrólisis) y, en ese instante de la mirada, podemos ver burbujas saliendo de los electrodos, después de que estos son conectados a una fuente de electricidad. Es un impacto ver que algo tan simple como el agua se transforme, y ese impacto no se reduce a formular que el agua se descompone en hidrógeno y oxígeno, en forma gaseosa, y tampoco es suficiente para que esta reducción sea incorporada como saber.

Ese motivo para ver, que presentamos en este espacio de posibilidades, requiere ser encadenado a algo que nos haga detenernos para pensar las preguntas que nos planteamos y las que se están haciendo los otros. Esta sistematización de razonamientos requiere un lapso de trabajo por comprender.

2. Cada uno se plantea el asunto sobre el que versa de manera distinta, pero no hay infinito número de hipótesis posibles, sobre lo visto. Si seguimos por el mismo camino del anterior ejemplo, cuando se ven las burbujas, son pocas las preguntas posibles y pocas las hipótesis posibles que nos retan a probar

variables, estado o magnitudes. El lapso para comprender, para organizar y construir relaciones entre los elementos distinguidos en el planteamiento de la situación de estudio, si se ha desmontado, o si se ha indagado la opinión inicial es un tiempo de trabajo que consolida los cuestionamientos posibles de plantear.

La comprensión de un argumento tiene que ver también con ponerlo en relación con el de los otros y poder completar o descartar. Las preguntas planteadas remiten a diferentes razonamientos que pueden ser contrastados con el detalle en la mirada que cada sujeto haga: “es que el agua se está convirtiendo en gas”, “es que son diferentes porque uno sale más rápido que el otro”, “también son diferentes porque el volumen de cada burbuja es mayor y el burbujeo es más lento en un electrodo que en el otro”, etc.

La comprensión se da en aquel lapso en el que el sujeto se forma una deducción que supone que también la ha formado, y al cabo del cual ambos, el otro y yo, podemos elaborar una conclusión; la espera inmóvil es el lapso para comprender.

Por esto último, es que la comprensión es relación con las vecindades; sin embargo, espero que el otro también forme la misma conclusión para tener la certeza sobre lo que se atrevería cada sujeto a manifestar.

Este lapso no se puede acelerar, pero en la educación tampoco nos podemos quedar en esa espera inmóvil. No existe una sincronía universal en el proceso de iniciar y de asumir el proceso de comprensión, ya que cada sujeto tiene ritmos distintos; cada uno va a su ritmo, y el sujeto - profesor reconocería, tanto a quien se ha demorado, como a quien ha avanzado. La conversación y el intercambio de ideas con todos, resuena en cada uno de manera diferente.

Una pregunta o una afirmación provoca en cada uno, un efecto, que busca certeza en lo que hacemos. Si no ve que manifestamos alguna reacción o movimiento, vuelve a detenerse. Pero algunos pueden renunciar para no verse

ante la necesidad de repensar los asuntos solicitados y se podrían excusar en lo evidente que contiene la literatura; se acude, por ejemplo, a los saberes ya “estandarizados”.

Estos son los sujetos que acuden a la erudicción para salvar su lugar en el aula; esos son también los que repiten lo que nos han oído para conectar y satisfacer lo que deseamos oír.

3. El momento de concluir donde la persona se arriesga a tomar postura y formular una tesis, incluso teniendo respuestas provisionales, *la necesidad de actuar no debe ser motivo para la suspensión de la investigación* (Zuleta, 1996, p. 56).

En la conclusión hay anticipación, pero para la búsqueda de la certeza nos volvemos a detener, y este detenerse de nuevo, *objetiva la premisa del razonamiento*. Lo que se liga con el volver a ponerse de nuevo en movimiento porque la certeza ha sido íntegramente fundada. Recién en esta conclusión es que emerge el sujeto, *no puedo sino apostar sobre el tiempo del otro* (Badiou, 1998/2008, p. 271).

Así que pasar directamente de la primera mirada a la conclusión no significa ahorrar tiempo: en educación en ciencias esto es costoso. Pasar de ver burbujas en la electrólisis a decir que se descompuso el agua y se produjo hidrógeno y oxígeno es no dar el lapso para la comprensión; dice Badiou (1998/2008), que este lapso no depende del objeto de estudio, *afirmamos que la lógica de las vecindades es inseparable de lo real. La prisa, inferible de lo simbólico, es el modo bajo el cual el sujeto lo excede, exponiéndose a lo real* (p. 277).

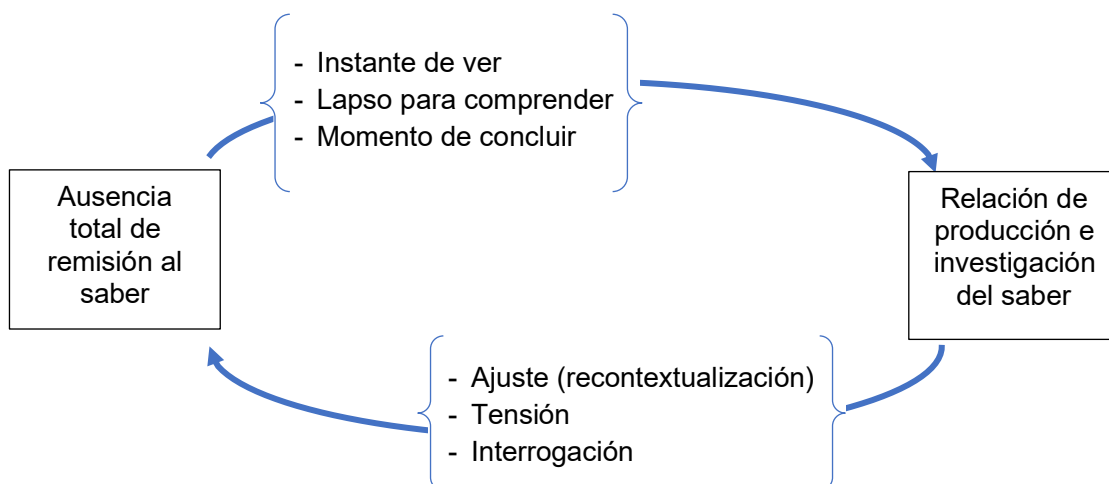


Diagrama 6 - Posibilidades para una relación con el saber científico en la escuela

En este último diagrama (diagrama 6), tratamos de esquematizar lo que puede pasar en esto que llamamos espacio de posibilidades.

Cierre

Este trabajo ha sido acompañado por una necesidad profunda de comprender aquello de lo que hablamos cuando decimos que estamos tratando con la ciencia. Un aspecto involucrado es la comprensión conceptual que establezca los argumentos y las relaciones entre estos. Un argumento reúne preguntas, actividades experimentales derivadas de éstas y síntesis algorítmicas que hacen parte del proceso de construcción de saber científico. La comprensión conceptual se liga a inquietudes epistemológicas y pedagógicas relacionadas con interrogantes como: ¿cómo se construye el conocimiento científico?, ¿cómo se relaciona el sujeto con el conocimiento científico, cuando lo enseña, o lo aprende?, ¿cómo pensar esta relación apartándose de la idea de una transmisión de contenidos?

Considerada la ciencia como una producción simbólica, implica reconocer rupturas, reorganizaciones y desplazamientos en la manera de concebir los objetos, así como en la emergencia de una relación posible con el saber científico.

Desde estas inquietudes, y en tanto que sujeto interesado por la historia de las ciencias, he encontrado la posibilidad de articular diferentes aspectos que, en mi caso, han producido reconsideraciones y desplazamientos en ciertas concepciones sobre la educación en ciencias, que he optado por llamar *inversiones*.

Esto resonó con una clase de historia de las ciencias en la que se priorizan los problemas y las preguntas en desarrollo, los cuales configuran diferentes clases de fenómenos. Entonces, la pregunta que surgió fue: ¿cómo esta forma de abordar la historia de las ciencias, podía influir en los planteamientos de educación en ciencias, para construir espacios donde sea posible discutir las diferentes versiones que tenemos sobre un problema en particular?

Esto me permitió advertir que, en historia de las ciencias, hemos acogido diferentes enfoques que se relacionan con lo que llamamos 'ciencia' como con lo que consideramos que es la 'educación en ciencias'.

En este trabajo han cobrado relevancia las formas que han asumido los diferentes asuntos que me preocupaban desde un principio: Cuando se estudia un problema, éste no está aislado; está en relación con lo que podemos decir que nos involucra. A medida que se aborda el problema, se van formalizando, se van estabilizando, y en esa operación, las generalizaciones que se logran dejan por fuera al individuo, pero al mismo tiempo se constituye el sujeto; la ciencia no se sostiene en una individualidad, autonomía o identidad singular.

Otra inversión ha sucedido al examinar el caso de la construcción del calorímetro de hielo por Lavoisier y Laplace. Se reconoce que comprender el funcionamiento del aparato, requiere comprender cómo están pensando las reacciones químicas y distinguir éstas de los otros procesos a los cuales también pueden asociarse cantidades específicas de calor. Pero, por ejemplo, examinar la cantidad de calor que se libera al disolver una cantidad de ácido sulfúrico en agua no tiene que ver con la afinidad química entre las sustancias agua – ácido sulfúrico. En cambio, cuando se mezcla este mismo ácido con una cal, sí tiene que ver con una reacción química que es de neutralización y la cantidad de calor desprendido es una medida de las acciones de afinidad química. Esta diferencia no se construye en el nivel de lo sensible. Para 1780 y en los siguientes años, se discutía si las afinidades dependían o no de la composición de las sustancias, de las masas reaccionantes o si eran independientes de éstas. Pero también estaban en disputa las diferentes concepciones de calor: o el calor es un fluido que puede ser transmitido de un cuerpo a otro y producir cambios de temperatura, o es una consecuencia de los movimientos mecánicos de las partículas que constituyen las sustancias.

Ni la controversia sobre si las afinidades químicas son acciones químicas intensivas o si son selecciones de las sustancias en virtud de su naturaleza que aumenta con las masas, ni la discusión sobre si el calor es un fluido transmisible o una acción mecánica efecto del movimiento de las partículas, se resuelven con la construcción del calorímetro de Lavoisier y Laplace. Este aparato no se fundamenta en la concepción de la naturaleza de estas acciones como sí en qué elementos son

necesarios para dar una medida de la cantidad de calor que se desprende o libera en una reacción química en la cual dos elementos se combinan por la acción de la afinidad entre ellos.

Sin desdeñar las controversias mencionadas, el calorímetro representa un desplazamiento hacia otro tipo de preguntas. La formulación de una teoría sobre la medida y sobre la construcción del aparato se fundamenta en varios elementos conceptuales prioritarios: el calor que un cuerpo libera (esto es el calor de la reacción química) es absorbido por otro cuerpo (esto es la capa de hielo que se funde). Entonces, si se define una unidad de calor como la cantidad necesaria para fundir cierta cantidad de hielo, el doble de agua derretida implicaría el doble de calor liberado.

Cada sustancia absorbe una cantidad de calor que no hemos determinado —calor específico— y que para poder dar cuenta de los calores de las reacciones químicas es necesario primero determinar estos calores específicos. Para ello, se elige un patrón o una referencia: se toma, entonces, el calor específico del agua con un valor igual a 1 caloria por libra y por grado de temperatura.

Estos presupuestos son los que justifican el aparato construido. Las tablas que hemos presentado en el capítulo 2 (tablas 9, 10, 11), expresan la cantidad de calor de las reacciones de combustión en términos de cantidades de hielo derretido a cero grados.

Todos estos progresos son derivados de la actividad científica, que halla en la fenomenotécnica una oportunidad de realización, aunque también deja abiertos otros asuntos a seguir trabajando.

El calorímetro de hielo es un instrumento que no tiene antecedentes directos en el campo científico, pero además no se puede concebir como una extensión de los sentidos. Más bien, el calorímetro es conocimiento científico que corresponde a la realización de un objeto abstracto – formal, susceptible también de ser expresado en palabras, predicados y algoritmos. La teoría que lo sustenta no está acabada; Marcelin

Bertholet (1873) o Pierre Favre (1873) luego construyen otras versiones de calorímetros que responden a una necesidad de perfeccionamiento del instrumento o de exactitud en la medida, y que materializan nuevas comprensiones sobre las limitaciones. La precisión aquí no es sólo una cuestión técnica, es una razón objetivada. Este trabajo muestra que las condiciones experimentales están indisolublemente unidas al objeto que se busca determinar, como expresa Bachelard en *La filosofía del no* (p. 61).

En este ejercicio, quiero destacar que el desplazamiento no es sólo de los interrogantes que en un principio se plantean, sino que también se transforma la comprensión misma que se logra. Por un lado, se reelaboran conceptualizaciones, por otro, se abandona la idea de que el sujeto construye el conocimiento sobre la base de la percepción, pues la percepción lograda es leída desde las conceptualizaciones objetivadas en la actividad científica. Se trata de una percepción instruida, efecto de la organización conceptual, no su punto de partida.

Seguramente esto tiene mucho que ver con la manera en que procedemos en la clase de ciencias: en ¿qué priorizamos?, ¿qué clase de problemáticas presentamos en la clase?, ¿qué hacemos para crear posibilidades para que el sujeto-estudiante se conecte con esta clase de problemas?

Con el riesgo de hacer una generalización abusiva, lo que he encontrado es que cuando hacemos referencia a la historia de las ciencias en nuestras clases de ciencias o cuando lo incluimos en los libros de texto, la narración suele ir de los objetos concretos hacia las generalizaciones y abstracciones. Esto no sería problemático si no tuvieramos tanta premura en llegar a los conocimientos estandarizados actuales, sin comprender las problemáticas que se tratan. Por ejemplo, en el caso de la afinidad química, hacemos caso omiso a alguna parte de los desarrollos y las discusiones que vincular la afinidad como acción de la materia en las reacciones químicas al calor de reacción o las formas de energía y trabajo químico en general y, de inmediato, la vinculamos con las ideas de afinidad electrónica definida como *la energía necesaria*

para agregar un electrón al orbital desocupado de más baja energía de un átomo libre. Enseguida de ello se presentan tablas de valores y operaciones con estos valores.

Lo que me ha reportado el estudio de estos desarrollos históricos es la construcción de una visión de la ciencia como actividad en la cual se constituye un saber problematizado, que obedece a cuestiones abiertas, que progresa sobre la base de rectificaciones y rupturas. El tiempo para comprender es un asunto central para la educación en ciencias y no se puede resolver mediante actividades o estrategias centradas en captar la atención del otro, ligadas con una “motivación” inicial, tampoco con un acceso directo a las conclusiones o a las grandes síntesis científicas, ni con tiempos suspendidos para la comprensión. Son tensiones que constantemente movilizan la manera como me proyecto como sujeto-profesor.

La relación del sujeto-profesor con el saber científico es lo que se pone en juego. Esta relación habla de lo que estamos colocando en ese espacio de posibilidades que construimos para que el sujeto-estudiante quiera comprender. En este sentido, la educación en ciencias no es informar, es colocar algo en la relación que conmueve al otro, un saber encarnado.

Cuando logramos que la anomalía sea reconocida como propia por el otro, cuando descubre la falta en el mismo, se abre una posibilidad formativa.

En este ejercicio se valora, por una parte, que la relación con el saber científico es sinuosa, no es directa y no admite atajos. Las dificultades de comprensión y las preguntas que somos capaces de configurar son el acicate para trabajar en este campo. La motivación por el saber científico no viene de la facilidad de los conceptos reducidos a frases, pero tampoco están asegurados con las varias actividades que se puedan proponer. Lo deseable es propiciar la vinculación genuina con esta cultura científica, donde el otro se reconozca como un sujeto que encarna un saber, no como un receptor de información, sino como alguien implicado en procesos de interpretación y transformación.

La relación con el saber científico es, entonces, una relación medida por el deseo que se sostiene en la incertidumbre, en el tiempo de comprensión y en la actividad del sujeto-profesor para crear condiciones simbólicas, con el fin de que emerja un sujeto interpelado.

Bibliografía

- Acevedo-Díaz, J.A. y García-Carmona, A. (2016). Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado. Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, vol 13, nº. 1, p. 3-19. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18010>
- Althusser, L. (1967). Sur le travail théorique. *La pensée revue du rationalisme moderne*. nº.132, abril, 1967, p. 3-22.
- Antzoulatos, E. (2016). *De la force chimique à l'énergie chimique. La contribution de Marcellin Berthelot à l'étude des équilibres au 19^e siècle*. Tesis de Doctorat d'histoire et épistémologie des sciences. Université Lille 1.
- Ayala Manrique, M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Revista Pro-Posições*, v. 17, nº. 1 (49) jan/abr, 2006.
- Bachelard, G. (1931-932). Noúmeno y microfísica. En: *Estudios* (1970/ 2002) p. 15 – 30. Amorrortu editores. Buenos Aires.
- Bachelard, G. (1934/1981). *El nuevo espíritu científico*. Editorial nueva imagen. México.
- Bachelard, G. (1940/1993). *La filosofía del no*. Primera edición en castellano, cuarta reimpresión. Amorrortu editores. Buenos Aires.
- Bachelard, G. (1947/1985). *La Formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. Decimotercera edición. Siglo XXI Editores. México.
- Bachelard, G. (1949/1978). *El racionalismo aplicado*. Serie Mayor nº. 14. Primera edición en español. Editorial Paidós. Buenos Aires.
- Bachelard, G. (1951/1980). La actualidad de la historia de las ciencias. En: *El compromiso racionalista*. Siglo XXI Editores. México.
- Bachelard, G. (1953/1976). *El materialismo racional*. Biblioteca del hombre contemporáneo. Editorial Paidós. Buenos Aires.
- Bachelard, G. (1972/1980). *El compromiso racionalista*. Siglo XXI Editores. México.
- Badiou, A. (1998/2008). *Teoría del sujeto*. Prometeo Libros. Buenos Aires.

- Badiou, A. (2004). *Panorama de la filosofía francesa contemporánea*. Conferencia pronunciada en la Biblioteca Nacional de Buenos Aires el 1º de junio de 2004. Versión publicada por Nómadas, nº. 23. Octubre 2005. Universidad Central – Colombia.
- Balibar, E. y Pêcheux, M. (1969). Definiciones. En Michel Fichant et Michel Pêcheux (1969) *Sur l'histoire des sciences*. François maspero. París.
- Bernstein, B. y Diaz, M. (1985). Hacia una teoría del discurso pedagógico. *Revista colombiana de educación*, nº.15. Universidad Pedagógica Nacional.
- Berthelot, M. (1873). Recherches calorimétriques sur l'état des corps dans les dissolutions — Méthodes calorimétriques. *Annales de chimie et de physique*. Quatrième série. Tome XXIX. p. 94 – 185. Gauthier Villars Editeurs.
- Berthelot, M. (1893). *Traité pratique de calorimétrie chimique*. Gauthier Villars Editeurs.
- Berthollet C.L. (1803). *Essai de statique chimique*. Paris.
- Black, J. (1803). *Lectures on the elements of chemistry*, Vol. 1. Lecture General doctrines of chemistry. Part. 1. General effects of heat.
- Bourdieu, P. (2001/2003). *El oficio del científico. Ciencia de la ciencia y reflexividad*. Editorial Anagrama. Barcelona.
- Boyle, R. (1666/1985). *Física química y filosofía mecánica*. Alianza Editorial. Madrid.
- Braunstein, N.A. (1975). El problema (o el falso problema) de la "relación del sujeto y el objeto" En: Braunstein, Néstor A., Pasternac, Marcelo, Benedito, Gloria y Saal, Frida. *Psicología: Ideología y Ciencia*. Capítulo 10. Siglo XXI Editores. México.
- Bustamante Zamudio, G. (2016). *¿Se puede formar el espíritu científico?* Curso magistral. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- Bustamante Zamudio, G. (2019). *La formación como efecto*. Colección Enseñar Filosofía. Aula de Humanidades Editorial. Bogotá.
- Bustamante Zamudio, G. (2020). *Cuatro paradigmas de recontextualización*. Colección Enseñar Filosofía. Aula de Humanidades Editorial. Bogotá.
- Canguilhem, G. (1966). *El objeto de la historia de las ciencias*. En: Estudios de historia y de filosofía de las ciencias 1era Edición Amorrortu editores. (Biblioteca de filosofía) Buenos Aires.
- Diez, J.A . y Moulines, C.U. (1999). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. 2da edición, Ediciones Ariel, Barcelona.
- Favre, P. (1873). Réponse a la dernière note de m. Berthelot sur le calorimètre a mercure. *Annales de chimie et de physique*, décembre.

- Feyerabend, P. (1975/2007). *Tratado contra el método*. Quinta edición. 2007. Editorial Tecnos Grupo Anaya. Madrid.
- Geoffroy, E.F. (1718/2012). Table des différents Rapports observés en Chymie entre différentes substances. *Mémoires de l'Académie royale des sciences*. Tomado de Grapí, P. (Editor) *La representación de lo Invisible*. Publicaciones Universidad de Alicante. España.
- Grapí, 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 (2001), 111-135
- Grapí, P. y Izquierdo, M. (1994). Valoración de la obra de Proust y Berthollet en los textos de química. Universitat Autònoma de Barcelona. *LLULL*, vol. 17. 1994, 325-341
- Grove, W.R. (1865). *On the Correlation of Physical Forces*. F.R.S. First American, from the fourth English Edition.
- Hess, H. (1840). Recherches sur les quantités de chaleur dégagée dans les combinaisons chimiques. *Annales de chimie et de physique*. 1840. pp. 325-330
- Koyré, A. (1961/2016). *La révolution astronomique. Copernic, Kepler, Borelli*. Société d'édition Les Belles Lettres.
- Kragh, H. (1987). *Introducción a la historia de la ciencia*. Editorial Crítica. Barcelona.
- Kuhn, T. (1962/1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Primera Edición en español. Fondo de cultura económica. México.
- Lacan, J. (1945/2003). El tiempo lógico y el aserto de la certidumbre anticipada. Un nuevo sofisma. En: *Escritos*. vigesimotercera edición en español. pp. 187- 203. Siglo XXI Editores. México.
- Lacan, J. (1960/2003). Subversión del sujeto y dialéctica del deseo en el inconsciente freudiano. En: *Escritos*. Vigésimotercera edición en español. pp. 773 – 807. Siglo XXI Editores. México.
- Lacan, J. (1966/2003). La ciencia y la verdad. En: *Escritos*. Vigésimotercera edición en español. Siglo XXI Editores. México.
- Lavoisier, A.L. (1775/1778). Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et qui en augmente le poids. En: *Mémoires de l'Académie des sciences*. p. 122-128. París.
- Lavoisier, A.L. (1777a). Réflexionnes sur le phlogistique. En: *Mémoires de l'Académie des sciences*. p. 623 – 655. París.

- Lavoisier, A.L. (1777b). Mémoire sur la combustion en général. En: *Mémoires de l'Académie des sciences*. p. 225-233. París.
- Lavoisier, A.L. (1783). Mémoire sur l'affinité du principe oxygène avec les différentes substances auxquelles il est susceptible de s'unir. En: *Mémoires de l'Académie des sciences*, p. 546-556. París.
- Lavoisier, A.L. (1789/1937). *Traité élémentaire de chimie*. Gauthier-Villars, Editor. París.
- Lavoisier, A.L. (1948). *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración*. Emecé Editores, Buenos Aires.
- Lavoisier, A.L. y Laplace, S.P. (1780). Mémoire sur la chaleur. En: *Mémoires de l'Académie des sciences*, p. 283-333. Descargado de: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k86267w/f286.double.r=antoine%20Lavoisier.shift#>
- Lecourt, D. (1973). *Para una crítica de la epistemología*. Siglo XXI Editores. México.
- Levere, T.H. (1971). *Affinity and Matter. Elements of chemical philosophy 1800-1865*. Oxford University Press. London.
- Parra Rivera, P.M. (2021). *El microscopio en clase: ¿Obstáculo pedagógico?* Tesis de Maestría en Educación. Universidad Pedagógica Nacional.
- Torres Muñoz de Luna, R. (1864). *Lecciones generales de química elemental*. Carlos Bailly-Bailliere. Madrid.
- Zuleta, E. (1996). *Lecciones de filosofía: lógica y Crítica*. Publicaciones Universidad del Valle.
- Zuleta, E. (1983/2017). Tribulación y felicidad del pensamiento. En: *Elogio de la dificultad y otros ensayos*. Biblioteca básica de cultura colombiana. Filosofía. Biblioteca Nacional de Colombia.