

ISBN 978-950-33-1584-2

Edición de
ANDRÉS A. ILCIC
SOFÍA MONDACA
PABLO TORRES
A. NICOLÁS VENTURELLI

Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia

30°

30° Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia

Edición de

Andrés A. Ilcic
Sofía Mondaca
Pablo Torres
A. Nicolás Venturelli

Colecciones
del CIFFyH 

30° Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia / Sergio Aramburu... [et al.] ; editado por Andrés Ilcic ... [et al.]. - 1a ed. - Córdoba : Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1597-2

1. Filosofía de la Ciencia. 2. Historia de la Ciencia Argentina. I. Aramburu, Sergio. II. Ilcic, Andrés, ed.

CDD 306.4209

Ilcic, A. A., Mondaca, S., Torres, P., & Venturelli, A. N. (Eds.). (2020). *30° Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia*. Córdoba, Argentina: Editorial de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.

Publicado por

Editorial de la Facultad de Filosofía y Humanidades - UNC
Córdoba - Argentina

1° Edición



Área de

Publicaciones

Diseño de portadas: Manuel Coll

Diagramación: María Bella

Portada

Imagen superior: Isaac Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (Amsterdam ed.), 1723, p. 267.

Imagen inferior: Oronce Fine, *Le sphere de monde: proprement dicte Cosmographie*, 1549, f. 8v.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.



El estudio de la química en clave histórica

Sandra Sandoval Osorio*

¿Cómo se asume historia y la epistemología para la enseñanza?

Cuando se acude a la historia de las ideas científicas y a las reflexiones sobre cómo cambian estas ideas, el historiador y el educador se preguntan de manera distinta: cómo se aproxima y cuáles son sus intereses no es una simple cuestión de metodología, como tampoco se resuelve por el tránsito de las metodologías del historiador o del filósofo al campo de la enseñanza de las ciencias, porque aunque se han estandarizado bastante bien los intereses y métodos del historiador, e incluso en muchas ocasiones acogemos sus productos como herramientas adecuadas para la enseñanza, no se puede asumir que los intereses de comprensión son idénticos.

A pesar de la distinción de intereses o intencionalidades, lo que sí es importante acentuar es que comprender el cambio de las ideas científicas en su historicidad no es una lectura desde el pasado hasta el ahora. Ya los historiadores afirman que para su comprensión de la historia se construyen categorías para analizar los hechos del pasado. Por lo tanto, hemos comprendido que la ciencia no es una acumulación o sumatoria de ideas que se van imponiendo para superar los errores que los anteriores habían cometido. En ese sentido, se acoge la idea de Bachelard (1953) de un espíritu científico que se rectifica.

Sin embargo, en los textos de enseñanza de las ciencias, muchas veces se sigue insistiendo en una versión de historia anecdótica de ideas triunfadoras que superan y corrigen errores del pasado. Procurar una presentación de una historia crítica de las ciencias es más deseable, pues desde allí se ven dinámicas de las ciencias en las que se estudian las preguntas y las formas como los sujetos las han abordado, las influencias que han tenido las formas como se ve el fenómeno estudiado, las dinámicas experimentales que se le imponen a las situaciones de estudio. Pero su presentación no

* Estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación. Énfasis en Filosofía y Enseñanza de la Filosofía. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.
ssandoval@pedagogica.edu.co

asegura una modificación en la postura de los sujetos frente al saber, ésta no se transforma sencillamente por la aparición de nuevas perspectivas históricas en la enseñanza.

Entonces, en este orden de ideas se hace énfasis en qué significa tener una relación con el saber: estar involucrado en los procesos de comprensión, complacerse en el camino recorrido, ser protagonista en la formulación de hipótesis y en la rectificación de las propuestas. Además de procurar una versión crítica de la historia de la ciencia, también se procura que el sujeto acuda a los textos de los científicos principalmente porque hay coincidencias en las preguntas y preocupaciones cognitivas, y perspectivas de estudio que discutir.

El caso de la energía química

Propongo una perspectiva histórica que haga sus interpretaciones desde un contexto específico contemporáneo, pero reconociendo los cambios de las teorías y de sus dinámicas. En este sentido, retomamos la forma en la que Mach recurre a los estudios históricos:

No tiene por objetivo revivir en nuestros ojos las ideas de los primeros investigadores, para restaurar los primeros bosquejos de las doctrinas que han adoptado sus sucesores, de seguir en todos sus detalles la evolución de los datos que son poco a poco organizados, distinguidos, terminados, para convertirse en teorías más extensas y detalladas. Si se apela a la historia, es solamente para comprender el significado de las fórmulas económicas¹ que constituyen hoy la ciencia. (Duhem, 1903/1996, p. 118)

Ahora bien, comprender los desarrollos de las ideas sobre energía química que promueve reemplazar las ideas metafísicas del ímpetu a las ideas contemporáneas, da elementos para cuestionar, por una parte, nuestras acepciones en las clases de ciencias; y, por otra, nuestras concepciones de conocimiento. Este caso lo esbozaremos más adelante. Al mostrar los fe-

¹ Cuando se hace referencia a fórmulas económicas, en Duhem y Mach, podemos entender que la ciencia establece conceptos y teorías que una vez comprendidas ya no es necesario volver a cada caso particular que explica, sino que su validez se extiende a todos los casos planteados hasta el momento, así como a los posibles que surjan en las mismas condiciones y consideraciones. Duhem dice que una teoría es un conjunto de formulaciones matemáticas, que constituyen la forma más sencilla, clara y completa de representar un conjunto de regularidades experimentales contempladas en el proceso de estudio de los fenómenos físicos; y una vez establecida la teoría no se requiere cada vez volver a las experiencias a las que hace referencia, sino que se comprende que ya están y otras posibles de aparecer se encuentran cobijadas en la formulación teórica.

nómenos a los que nos referimos cuando hablamos de energía química, se vinculan elementos a las reflexiones sobre la construcción de fenómenos en la enseñanza de las ciencias.

En la construcción de la idea de energía química podemos, de un lado, narrar los diferentes momentos que identifican la transformación de estas ideas, las cuales traen como consecuencia nuevas formas de percibir; y, de otro lado, destacar maneras de comprensión científica que repercuten en las teorías científicas que tomamos en consideración. Con esto queremos mostrar que el docente de ciencias asume una lectura histórica que está en consonancia con su relación con el saber científico: si el conocimiento es absoluto y se renueva por superación de errores que se cometieron en el pasado, la perspectiva histórica que mejor entenderá es aquella que le proporciona ejemplos para defender su argumento de grandes hombres con mejores ideas que triunfan sobre otros, ahora bien, si el docente está más cercano a un saber en donde la pregunta es constitutiva del mismo, una perspectiva crítica es una en la cual el docente podrá comprender que las preguntas, los argumentos, los despliegues experimentales son formas de diálogo con los científicos de diferentes épocas. De ahí que consideramos que lo que podemos hacer, en el proceso de formación de docentes, es cuestionar las distintas perspectivas históricas poniéndolas en diálogo con otras lecturas históricas que involucran al docente como parte del ejercicio de comprender el objeto de su disciplina, es decir, no hay una relación prevista entre historia, epistemología y enseñanza. Son campos que se pueden interceptar y se interceptan por la acción del docente y sus preguntas e intenciones.

En ese ámbito, hay una preocupación legítima por el acceso y clasificación de las fuentes que se utilizan para hacer historia de las ciencias, así como por el rasgo de rigurosidad que le da valor al producto final, los historiadores presentan reconstrucciones de una realidad pasada basados en investigaciones de hechos precisos y discuten esas reconstrucciones en términos de la adecuación de tales hechos, pero muy pocas veces estas discusiones conducen a un consenso, sin embargo, en las divulgaciones que se hacen para la enseñanza de las ciencias se destacan los consensos o los aciertos y son precisamente los disensos los que le dan más valor a los criterios de cambio en las tareas científicas.

Con lo anterior, se destaca que para la clase de ciencias tomamos los términos, metodologías, protocolos que conforman los desarrollos actuales. Hay enfoques para la enseñanza de las ciencias que toman esta pers-

pectiva de los protocolos, o en otras palabras los resultados estandarizados. Pero epistemológicamente, la pregunta es más la causa dinámica de la ciencia y por tanto puede haber una enseñanza de las ciencias que trabaje centrada en tales preguntas. Además, con ellas –las preguntas– acudimos a conversar con los autores, en otras palabras, el análisis histórico reporta una ruta en la cual el docente examina esta relación con el saber que planteamos antes como central en esta discusión, principalmente en el terreno de la enseñanza.

Pasando ya, al caso que queremos presentar, teniendo el preámbulo como perspectiva para la lectura, vamos a destacar algunos elementos en los que inicialmente se ha podido examinar cómo se aborda el estudio de las transformaciones químicas, donde la afinidad química aparece como una fuerza que determina la clase de cambios que se dan. Luego para medirla se asocian formas y aparatos de medida que llevan al vínculo con una clase de energía que hemos llamado energía química.

Al inicio del siglo XIX, recién constituido el campo de los fenómenos de transformación de las sustancias, ordenar las relaciones entre las reacciones químicas y la cantidad de calor generado o absorbido, es una de las problemáticas planteadas. Así, se perfeccionaron los métodos para tomar medidas de calores de reacción, que estaba asociado a la cantidad que se requería o que se liberaba en un proceso químico. Para esto se construyen aparatos especiales como las bombas calorimétricas de Lavoisier y se ponen en consideración maneras modernas de concebir el calor².

La pregunta por la relación química / calor de reacción orienta y hace necesaria la construcción de instrumentos y experiencias para avanzar en el abordaje de estas preguntas.

Se destaca que Lavoisier, por ejemplo, relacionaba las diferentes clases de reacciones con su afinidad con el calórico: “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).

² La afinidad química, antes de estos estudios es registrado como una posible fuerza de atracción que une a unas sustancias, que hace una sustancia prefiera atraer a una y no a otra. La medida de esta fuerza que hace que las sustancias se transformen en otras (que un metal se deje corroer por un ácido y más por un ácido nítrico o clorhídrico que por un ácido acético, o que un ácido reaccione con una base para formar una sal), es la que la vincula por una parte a las medidas de calor generado en las reacciones químicas y por otra parte a la rapidez con la que una reacción se extendía.

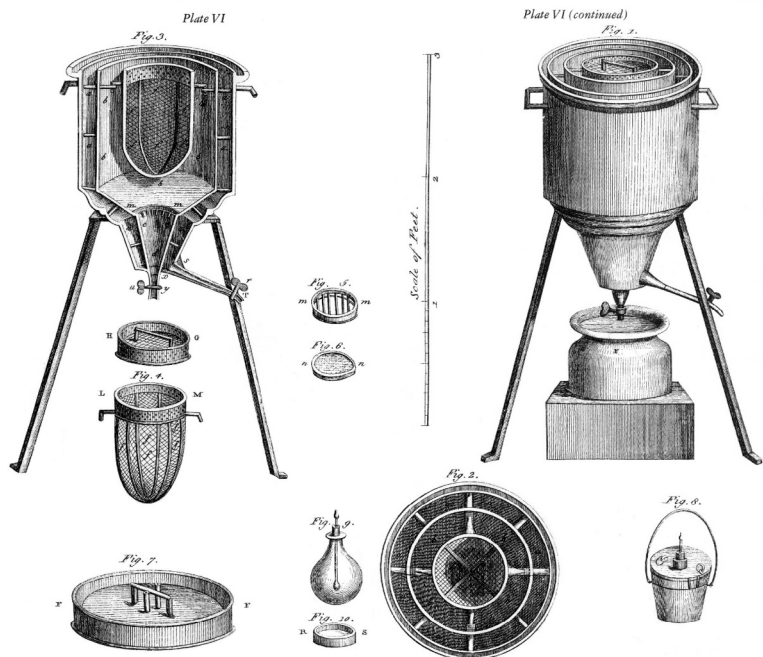


Fig. 1: El calorímetro de Lavoisier y Laplace.

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

Se plantea en la memoria sobre el calor de Lavoisier y Laplace (1780) que la cantidad de calor que se libera en un proceso de combustión puede derretir cantidades medibles de hielo. Laplace sugiere que la cantidad de hielo derretido por un objeto caliente al enfriarse a cero (el punto de fusión del agua) es proporcional a la cantidad de calor que emitió, siempre que el hielo estuviera inicialmente a cero. Si el recipiente de hielo tiene la forma de una esfera hueca de hielo, la temperatura del hielo luego subiría lentamente y comenzaría a derretirse, pero sólo en la superficie exterior y el centro hueco estaría protegido de la entrada de calor 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 ningún calor escapa.

Las mediciones realizadas por Lavoisier y Laplace con respecto a los calores de reacción, o las de Bertholet, constituyen una propuesta para la medida calorimétrica de la afinidad química. A continuación, se describen algunos aspectos del calorímetro de hielo construido para estas determinaciones.

En la memoria de Lavoisier y Laplace sobre el calor se presenta el principio de funcionamiento del calorímetro del hielo (Figura 1) y numerosas experiencias realizadas como la determinación de calor de reacción del aceite de vitriolo con el agua, de la cal viva con el agua y con el ácido nítrico y calores de combustión de diferentes sustancias. La última parte de la memoria está destinada a consolidar la teoría del oxígeno (Laplace & Lavoisier, 1780). La siguiente imagen es el calorímetro, que tenía aproximadamente tres pies de altura y estaba hecho de metal con tres compartimentos concéntricos.

Las discusiones sobre si el calor es un fluido material no es el que más ocupa la atención de estos científicos. Cuando se está tratando con la química se habla del calor como algo que permite establecer una relación entre los estados iniciales y finales de los sistemas químicos. Estos estados son cuidadosamente definidos, no son solamente puestos en un recipiente de reacción y colocados los termómetros para que se midan las variaciones en el calor, también se requiere que este en las mismas circunstancias, la misma cantidad de sustancia, a las mismas condiciones de temperatura y presión, esto más que controlar el fenómeno, es construirlo.

Se dan otros métodos de medida como el uso del tiempo de disolución de pequeños cilindros metálicos sumergidos en soluciones ácidas de Wenzel en 1777 o la medida de la capacidad de saturación realizada por Kirwan en 1781, es decir, la cantidad de ácido utilizado para saturar una cantidad de base dada (Ostwald, 1902).

Más adelante, los estudios como los de Waage y Gulberg (1864/1986) establecen una relación entre la reacción química y su velocidad de reacción, cuando abordan esta cuestión de la afinidad, el ímpetu con la que la reacción se sucedía era un indicio sin duda de la facilidad o dificultad con la que se realizaba la transformación de las sustancias que intervenían. La afinidad química se concebía como una fuerza que interviene en la actividad de las sustancias para su mayor o menor probabilidad de reacción química. El asunto es que, para este entonces, abundaban las tablas de afinidad que organizaban, por ejemplo, la afinidad de los metales por el oxígeno, o por los ácidos, o la afinidad entre un ácido y diferentes álcalis

o viceversa. Todas estas tablas dan un orden entre clases de sustancias que producen clases de reacciones distintas, sin embargo, no responden la pregunta por cuánto más o menos es afín una sustancia por otra. La cuantificación no solo va a responder la anterior pregunta, sino que también va a unificar todas estas ordenaciones.

De la relación entre la reacción química con el calor de reacción y de la relación con la fuerza química que se presenta en las reacciones con mayor rapidez de reacción se abren dos caminos para el estudio de la actividad química: uno que se convierte en un proyecto de desplegar la manera de entender la mecánica, y en particular la cinética, aplicada a las reacciones químicas, pues se hace énfasis en cuantificar las fuerzas de acción química y se empiezan a relacionar los procesos físicos con las transformaciones químicas, haciendo analogías entre los comportamientos de las sustancias con las leyes de la mecánica. El otro camino es la relación de las medidas de calor con la mayor o menor afinidad que se desarrolla en la termoquímica y que incluso relaciona la actividad química con otras clases de actividades como la eléctrica.

La medición de afinidad química en virtud de su velocidad es abordada por los científicos Berthollet, Wenzel, Wilhelmy, Guldberg y Waage. El ejercicio de esclarecer la relación entre la afinidad química y las fuerzas químicas o entre ella y los calores de reacción, repercute en formalizaciones matemáticas y en desarrollos experimentales que a la vez esclarece el significado de la afinidad química.

Wenzel propone maneras de medir las fuerzas de acción química, empleando el tiempo como una cualidad para organizar de manera creciente o decreciente las reacciones químicas; después Wilhelmy formula una expresión matemática para describir la pérdida de reactivo en el tiempo y Guldberg y Waage reafirman la velocidad de reacción como una medida de afinidad química, postulando las leyes de acción de masas y volúmenes; y expresando la ecuación de afinidad química en términos de velocidad de reacción, integrándose conceptos de la mecánica física a las transformaciones químicas (Ostwald, 1908/1909).³

Como se ha dicho antes, paralelamente se destaca la relación de la actividad química con otras clases de actividades como la eléctrica o la calórica. Entonces se establece que la mayor o menor actividad química

³ Un particular desarrollo de estos aspectos se encuentra en Pulido (2016) en donde en la revisión histórico crítica establece que la velocidad de reacción química es una medida derivada de la afinidad o reactividad química.

puede estar en relación directa con la mayor o menor energía eléctrica o calórica que se pueda medir durante un proceso químico. Se ha pasado de hablar de afinidad a acuñar el término “actividad”. En el caso de los fenómenos químicos con los fenómenos eléctricos, Ritter establece la analogía entre las escalas de tensión eléctrica de los metales que había construido Volta⁴ y la escala de la afinidad de los metales por el oxígeno (Ostwald, 1910/1912).

Vincular al estudio de las reacciones químicas, y a la actividad química de las sustancias, medidas de energía, abre una perspectiva conceptual, desde donde se enfrenta el hecho de que en las reacciones químicas no solamente se produce o requiere calor, o mejor dicho, no toda la energía química que se transforma en calor se puede transformar en trabajo, esto quiere decir que es necesario distinguir que proporción de energía química es la que se debe a asociar a la medida de la afinidad química.

Es fundamental esta distinción, pero además también la distinción de magnitudes asociadas a clases de fenómenos:

Una diferencia de temperatura determina la existencia de un fenómeno de calor; una diferencia de Tensión, la de un fenómeno eléctrico. Y una diferencia de presión, la de un fenómeno mecánico correspondiente. Un estudio más profundo, muestra que, para cada tipo de energía, es posible determinar una magnitud. . . . Para la energía química un potencial químico es la expresión exacta de lo que buscábamos, sin saberlo bien, bajo el nombre de afinidad química. (Ostwald, 1908/1909, p. 224)

Con los anteriores desarrollos se muestra que el estudio de la energía química como una cantidad propia de las reacciones químicas, enlaza no solo el problema de cómo se transforman unas sustancias con otras, en qué condiciones, con qué especificidad, etc., sino que estas preguntas también se relacionan con la aparición del dominio de la electroquímica y de la termoquímica, como ámbitos que abordan cómo suceden las reacciones químicas y que terminan siendo la relación de un campo específico de la química con otro también específico y propio de los fenómenos eléctricos o de los fenómenos calóricos.

La afinidad química en el tránsito del siglo XIX dejó de ser una cualidad metafísica de la tendencia de un elemento a unirse con otro para pasar a ser una cantidad física que daba cuenta de cuánto más o menos trabajo estaba involucrado una reacción química.

⁴ Volta construye estas escalas antes de la construcción de la batería, en 1799.

Estos elementos aportan de manera fundamental a la comprensión de cómo se transforman las sustancias químicas y dan una perspectiva diferente para la enseñanza de la misma, con la que no siempre los profesores nos familiarizamos.

Primeras consideraciones para la enseñanza de las ciencias

En un énfasis por los contenidos a trabajar en la clase de ciencias, rápidamente nos daremos cuenta que el estudio de las transformaciones químicas en relación con los criterios desde los cuales se puede medir la afinidad química se puede poner de presente tanto aspectos cinéticos como termodinámicos. Pero además se hace muy visible esto que hemos llamado la relación con el objeto, el sujeto exhibe sus maneras de comprensión en las que por ejemplo se encuentran situaciones en las cuales el animismo y sustancialismo particularmente se hacen presentes en sus formas de razonar.

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

En la enseñanza de las ciencias el conocimiento se construye sobre la base de contradecir las ideas seguras e inmediatas (Bachelard, 1972/1973, p. 12). Con ello se pone en juego nuestra relación con los otros. Vamos a defender que la ciencia construye un mundo, como fruto de las relaciones entre las formas como son vistos los objetos por el sujeto(s) y las posturas que se asumen frente a ellos. Esta relación –basada en autores como Bachelard– fundamenta nuestra discusión.

También se 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 sentidos compartidos, e incluso pueden responder a una estructura lógica que hace que se pueda establecer una comunicación entre ideas separadas en el tiempo.

Esto nos lleva a evaluar que las preguntas sobre una situación de estudio no son ocurrencias espontáneas y que llevarlas al ámbito de la enseñanza implica construir un contexto preciso donde tengan un sentido que los lleve a la indagación, esto significaría muchas veces reconocer sus actuales explicaciones a la vez que provocar desajustes deliberados con

tales explicaciones. Es por ello que afirmamos que lo que llamamos en la escuela experiencia no es más que un preámbulo.

Abundan las pedagogías del elogio a la experiencia inmediata o en el otro extremo las estrategias para la corrección de ideas erróneas. Pero no solo ello, sino que esta pedagogía se ha construido contra una que ha hecho de lo dicho en los libros de textos, que es una ciencia bastante socializada, además una ciencia con respuestas a preguntas que no nos hacemos, una ciencia inmovilizada, que por su repetición año tras año, logra parecer natural.

Esta pedagogía donde lo natural, lo cotidiano, lo útil en el aula, olvida que el sujeto conquista su postura en relación con los otros, pero además el sujeto es reversible por cuanto esa relación con los otros lo hace volver una o varias veces a asumir posturas anteriores, y que los docentes creemos ya superadas, porque confiamos en una didáctica que nos asegura el cambio como permanente.

Para finalizar cabe destacar que el docente 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. Además, acudir a los textos de los científicos involucrados en la construcción de las ideas que estamos estudiando son oportunidades para generar espacios de comunicación con aquellos que han aportado a nuestras formas de pensar, pero sobre todo espacios de diálogo con nosotros mismos.

Referencias

- Bachelard, G. (1953). *Le matérialisme rationnel*. Paris: Les Presses universitaires de France.
- Bachelard, G. (1973). *El compromiso racionalista* (H. Beccacece, trad.). Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI editores. (Obra original de 1972)
- Berthollet, C. L. (1803). *Essai de statique chimique*. Vol. 2. Paris, Badouin.
- Duhem, P. (1996). Analysis of Mach's 'The science of mechanics: A critical and historical account of its developments'. En R. Ariew & P. Barker (Eds., trads.), *Pierre Duhem. Essays in the history and philosophy of science* (pp. 112-130). Indianapolis; Cambridge: Hackett Publishing Company. (Obra original de 1903)

- Lavoisier, A. L. (1789). *Traité élémentaire de Chimie*. Paris, Francia: Gauthier Villars, Éditeur.
- Lavoisier, A. L., & Laplace, P. S. (1780). *Mémoire sur la Chaleur*. Paris, Francia: Mémoires de l'Académie des sciences.
- Ostwald, W. (1909). *L'évolution d'une science: La chimie* (M. Dufour, trad.). Paris, Francia: Ernest Flammarion éditeur. (Obra original de 1908)
- Ostwald, W. (1912). *L'évolution de l'électrochimie* (E. Philippi, trad.). Paris, Francia: Librairie Felix Alcan. (Obra original de 1910)
- Pulido, D. (2016). *Estudio de la velocidad de reacción química como medida de la reactividad química* [tesis de Maestría en docencia de la química no publicada]. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.
- Waage, P. & Gulberg, C. M., (1866). Studies concerning affinity (H.I. Abrash, trad.). *Journal of chemical education*, 63(12), 1044-1047. (Obra original de 1864)