



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario.
ISSN 2619-3531.

Los estudios históricos críticos en la configuración de fenómenos de estudio y reflexiones para la enseñanza de las ciencias

Critical historical studies in the configuration of the study phenomena and reflections for science education

Estudos histórico-críticos na configuração dos fenômenos de estudo e reflexões para o ensino de ciências

Liliana Tarazona Vargas¹

José Francisco Malagón Sánchez²

Sandra Sandoval Osorio³⁴

Resumen

En este documento presentamos un panorama general sobre algunas formas de acudir a la historia de la ciencia en los procesos de enseñanza, para ubicar la apuesta que adelantamos en el Grupo de Estudios Histórico Críticos y Enseñanza de las Ciencias (EHC[^]EC). Destacamos propuestas en dos vías; una, que privilegia la historia social de la ciencia para identificar dinámicas que influyen en la constitución de la ciencia; y otra, en la que se resaltan las preguntas y formas de proceder que llevaron a los científicos a la consolidación del conocimiento científicos. Esta segunda mirada es próxima a nuestro trabajo; pues realizamos estudios histórico-críticos con la intención pedagógica de comprender un campo de fenómenos desde el trabajo que se encuentra descrito en fuentes primarias.

Presentamos un caso de estudio que surge de nuestra necesidad de comprender los fenómenos de electrodescomposición de sustancias. Encontramos en algunos trabajos de Michael Faraday (1791-1867), Svante Arrhenius (1859-1927), Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) y Julius Plücker (1801-1868) el vínculo entre una serie de efectos en las sustancias (acuosas o gaseosas) por el paso de electricidad y unas formas de representación y de estructuración matemática. En esta actividad se identifica el ion como una estructura teórica que sintetiza la explicación de los fenómenos electroquímicos.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias

¹ Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). Correo: ltarazonav@pedagogica.edu.co

² Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). Correo: jmalagon@pedagogica.edu.co

³ Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). Correo: ssandoval@pedagogica.edu.co

⁴ Integrantes coinvestigadores del Grupo de Estudios Histórico-Críticos y Enseñanza de las Ciencias EHC[^]EC



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

Este tipo de análisis histórico crítico aporta a las formas de organización y comprensión de fenómenos que tienen los profesores, lo que podría verse reflejado en la manera como se presentan los procesos de constitución de fenómenos en las clases de ciencia.

Abstract

In this paper we present an overview of some ways of going to the history of science in teaching processes, to locate the bet that we advance in the Group of Critical Historical Studies and Science Education (EHC[^]EC). We highlight proposals in two ways; one, which privileges the social history of science to identify dynamics that influence the constitution of science; and another, which highlights the questions and ways of proceeding that led scientists to consolidate scientific knowledge. This second look is close to our work; because we perform critical historical analysis with the pedagogical intention of understanding a field of phenomena from the work that is described in primary sources.

We present a case study that arises from our need to understand the phenomena of electrodecomposition of substances. We find in some works of Michael Faraday (1791-1867), Svante August Arrhenius (1859-1927), Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) and Julius Plücker (1801-1868) the link between a series of effects on substances (aqueous or gaseous) by the passage of electricity and forms of representation and mathematical structuring. In this activity the ion is identified as a theoretical structure that synthesizes the explanation of electrochemical phenomena.

This kind of critical historical analysis contributes to the forms of organization and understanding of phenomena that teachers have, which could be reflected in the way the processes of constitution of phenomena are presented in science lectures.

Keywords: science education

Resumo

Neste documento, apresentamos uma visão geral de algumas formas de utilização da história da ciência nos processos de ensino, de modo a situar a abordagem que desenvolvemos no Grupo de Estudos Históricos Críticos e Educação em Ciências (EHC[^]EC). Destacamos propostas em duas vertentes; uma que privilegia a história social da ciência para identificar dinâmicas que influenciam a constituição da ciência; e outra que destaca as questões e os modos de proceder que levaram os cientistas à consolidação do conhecimento científico. Essa



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

segunda abordagem se aproxima do nosso trabalho, pois realizamos análises históricas críticas com a intenção pedagógica de compreender um campo de fenômenos a partir do trabalho descrito em fontes primárias.

Apresentamos um estudo de caso que surge da nossa necessidade de entender os fenômenos de eletrodecomposição de substâncias. Encontramos em alguns trabalhos de Michael Faraday (1791-1867), Svante August Arrhenius (1859-1927), Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) e Julius Plücker (1801-1868) a ligação entre uma série de efeitos em substâncias (aquosas ou gasosas) devido à passagem de eletricidade e algumas formas de representação e estruturação matemática. Nessa atividade, o íon é identificado como uma estrutura teórica que sintetiza a explicação dos fenômenos eletroquímicos.

Esse tipo de análise histórica crítica contribui para as formas de organização e compreensão dos fenômenos pelos professores, o que pode se refletir na forma como os processos de constituição dos fenômenos são apresentados nas aulas de ciências.

Palavras-chave: educação científica

Introducción

La historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias

La historia de las ciencias contribuye a reconocer la dimensión cultural de la ciencia. De aquí, que se acuda a la historia de la ciencia para conocer cómo se genera, comprueba y valida el conocimiento científico y, a la vez, reconocer la ciencia como una actividad realizada en contextos específicos. Considerar la ciencia como actividad ha llevado a los interesados en la Naturaleza de la Ciencia a ser críticos y reconocer que no sólo los aspectos sociales, políticos, económicos, etc. permiten identificar las formas de conocer en la ciencia. También es necesario prestar atención a las prácticas de investigación pues éstas hacen parte de la comprensión de cómo se hace ciencia. Entonces, encontramos al menos dos formas de acudir a la historia de la ciencia, una es para hacer historia social de la ciencia y; la otra, para responder a la pregunta por la manera como se elaboran explicaciones científicas.

Sobre esta segunda forma, se ha encontrado que una manera de acceder a la historia es a través del estudio de fuentes primarias de los científicos. De acuerdo con Camacho, Izquierdo y Solsona (2018), las fuentes primeras se constituyen en un insumo para comprender cómo los científicos abordaron los asuntos experimentales y conceptuales, qué instrumentos tenían a disposición y las consideraciones que los llevaron a construir otros nuevos, cómo el



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

tratamiento de observaciones y datos les permitía privilegiar patrones y consolidar formas de hablar y representar, etc.

El trabajo de Chang (2011) se ubica en esta línea, y es afín a la manera como en el grupo EHC⁵ hemos acudido a las fuentes primarias como un recurso para que los profesores problematicemos nuestras explicaciones sobre los fenómenos que llevamos a los contextos de enseñanza. Se han privilegiado las fuentes primarias como una manera de reconocer los fenómenos que fueron estudiados por los autores, las características que le atribuyeron y las formas para lograrlo; y desde esto responder a las inquietudes que tenemos sobre los fenómenos. Es decir, no es una réplica histórica de los estudios (ni de los experimentos) realizados por otros, sino que se trata de responder a las necesidades explicativas de quién acude a la historia de la ciencia en el presente.

Metodología

Los estudios histórico-críticos para la enseñanza de las ciencias. El caso del ion

Acudimos a las fuentes primarias con la necesidad de comprender un campo de fenómenos en particular en diálogo con las organizaciones que algunos científicos hicieron al respecto. Como señala Duhem (1996), se acude al pasado para iluminar el presente, es decir, se recurre al estudio de los textos de los científicos porque tenemos preguntas sobre un campo de fenómenos. De aquí, que planteemos los estudios histórico críticos como una acción que realiza el profesor en su actividad de comprensión de un campo de fenómenos y desde la cual puede establecer rutas de abordaje (Sandoval, et al.,2018).

De acuerdo con Chang (2011), “la identificación de fenómenos [...] depende de nuestros propios intereses y antecedentes conceptuales; esto implica que [...] es una actividad inevitablemente centrada en el presente” (p. 320). En estas páginas presentamos un caso de estudio que surge desde la necesidad de comprender los fenómenos de descomposición de sustancias por el paso de electricidad⁵.

El estudio de las propiedades eléctricas de la materia se relaciona con magnitudes (carga eléctrica, conductividad, estado de ionización) o ciertos “objetos” que constituyen la materia (iones, electrones, partículas); términos que dan cuenta de modelos cosificados del

⁵ Se presentan resultados del proyecto de investigación DQU 628 23 *El comportamiento discreto de la materia en los fenómenos de conductividad en gases y soluciones: Criterios de formalización para el diseño de actividades de enseñanza*, financiado por el Centro de Investigaciones – Subdirección de Gestión de Proyectos de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

comportamiento de la materia, que tienen poca relación con la experiencia que tienen los sujetos (profesores y estudiantes). Sin embargo, estos términos son parte de la organización de ciertos fenómenos; por ejemplo, el ion se organiza en la comprensión de los fenómenos electrolíticos relacionados con la solubilidad de las sustancias, la conductividad y la electrodescomposición química.

Con el análisis de algunos trabajos de Faraday (1849), Arrhenius (1912), Hittorf (1853) y Plücker (1858), sobre las maneras de producir controladamente la electrodescomposición de sustancias y las formas de medir los efectos, podemos sostener que el concepto de ion emerge en la constitución de la electroquímica; es decir, en la observación intencionada y educada que detalla este tipo de efectos y que permite hablar de ellos. De este análisis histórico derivamos algunas reflexiones para la enseñanza.

Resultados y discusión

Los efectos de la electrodescomposición

Los efectos del paso de electricidad a través de soluciones de sales fueron estudiados por varios científicos del siglo XIX. La producción de gases, el óxido o desgaste en los alambres que conducían la electricidad (denominados polos o electrodos), el cambio de coloración o de concentración de la sustancia, entre otros, fueron algunos de los efectos estudiados y de los cuales se derivaron preguntas sobre su regularidad o las causas de su intensidad. Para Faraday (1849), al interior de las sustancias ocurren acciones debidas al paso de la corriente y a la afinidad (facilidad con la que una sustancia reacciona con otra); que se pueden representar como el movimiento de partículas en la dirección de la corriente. Las sustancias con una afinidad débil podrían ser descompuestas más fácilmente que las que tienen una afinidad fuerte; a las primeras las denomina electrolitos, y también se caracterizan por ser mejor conductoras de la electricidad.

Faraday (1849) diseña el voltaelectrómetro, con el que mide cantidades de sustancia descompuesta en función de cantidades de hidrógeno recolectado, y con un galvanómetro mide la cantidad de electricidad involucrada. Con estos instrumentos Faraday encuentra que siempre se da la misma proporción entre cantidad de sustancia descompuesta y cantidad de electricidad en un tiempo dado. A estas cantidades de sustancia que viajan entre los polos las denomina iones: aniones a las que viajan al polo positivo y cationes las que se mueven al electrodo negativo.



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

Con este trabajo la idea de iones libres se consolida y es utilizada por otros científicos posteriores que estudiaron los efectos de la corriente en la descomposición de electrolitos y gases rarificados (Sandoval, et al, 2022).

La migración de iones libres

Sobre la base del trabajo de Faraday, Hittorf (1853) centra su investigación en la electrodescomposición de sustancias, indaga cuáles son los cambios de concentración de los electrolitos cerca de los electrodos y las condiciones en las que se da la descomposición. Estudia si la concentración inicial del electrolito, la temperatura y el tipo de sales involucradas son algunas de las condiciones que afectan los resultados de la electrodescomposición. Para ello construye un aparato que le permite recolectar y medir en el cátodo las sustancias producto de la electrodescomposición y encuentra que: “después de la electrólisis, la porción de líquido que bordea el ánodo contendrá la mitad de un equivalente menos cationes que antes” (Hittorf, 1853, p. 53).

La equivalencia entre la concentración en el ánodo y la cantidad de sustancias descompuesta estaría explicada por la migración de iones libres entre los electrodos. Así, “la pérdida en el ánodo es a la pérdida en el cátodo, como la velocidad del catión es a la del anión” (Ostwald, 1912, p.107). Esta equivalencia es establecida experimentalmente y está vinculada con la organización teórica de los iones libres; con Hittorf, al ion se le puede asociar velocidades de migración.

El trabajo que realiza Arrhenius (1912) estudia la relación entre la concentración del electrolito y la conductividad eléctrica, encuentra que a medida que aumenta la concentración, la conductividad disminuye, pero cuando la concentración disminuye la conductividad tiende a hacerse constante. Para Arrhenius esto se debe a:

Las soluciones contienen dos tipos diferentes de moléculas, de las cuales una es no conductora y la otra conduce la electricidad [...]. Este último tipo fue llamado simplemente moléculas activas. El número de moléculas activas se incrementa con la dilución y a expensas de las inactivas que tienden a un límite, que probablemente se alcanza primero cuando todas las moléculas inactivas han sido transformadas en activas. (Arrhenius, 1912, p. 108)

Con esto Arrhenius señala que, a partir de la conductividad eléctrica, podemos calcular el porcentaje de actividad de las moléculas, pues en algunas soluciones las moléculas activas se comportan como si los iones estuvieran absolutamente libres. La conductividad eléctrica depende de la velocidad de migración de los iones libres.



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

Con estos estudios se establece como hipótesis que una cantidad de sustancia es portadora de una cantidad de electricidad y que, al moverse a través de un medio, es responsable de convertirlo en un medio conductor de la electricidad.

La conductividad en gases

Faraday (1849) también estudió la electrodescomposición de gases y logró descomponer algunos de ellos. Afirmó que las acciones que ocurrían al interior del gas eran del mismo tipo que las que se daban al interior de los electrolitos, pues en ambos casos la descomposición era posible por la acción contigua entre las partes del gas debido al paso de corriente. Sin embargo, para estudiar experimentalmente estos efectos en los gases, se requieren condiciones diferentes a las que se habían requerido para el estudio de los electrolitos. Al contrario que en las soluciones, se necesitan gases rarificados en recipientes completamente cerrados y someterlos a una alta tensión.

El estudio de la incidencia de la presión del gas, del tipo de gas, y de campos eléctricos o magnéticos en la conductividad y descomposición de los gases son nuevas consideraciones. También se distinguen otros efectos por el paso de corriente por el gas, que no se encuentra en los electrolitos, como la emisión de luz entre los electrodos. Plücker señala:

al probar uno de los primeros de estos tubos que contenía el vapor de un aceite etéreo, apareció una alteración inmediata en el fenómeno, debido a la descomposición del vapor [...]. En los tubos que contienen ácido hidriódico, el yodo se deposita gradualmente. En los gases muy rarificados, esta electrólisis por la corriente eléctrica, al dividirse finamente, se manifiesta a menudo de repente por una notable alteración del color. Ejemplos de esto fueron proporcionados por tubos que contenían hidrógeno fosforitado y ácido sulfuroso⁶. (Plücker, 1858, p. 120)

Plücker (1858) establece que los efectos luminosos dependen del gas y este efecto genera una discusión sobre la naturaleza ondulatoria o corpuscular de estos fenómenos. En esta discusión participa Hittorf, quien trabaja junto a Plücker. Él reconoce en los efectos observados una acción contigua entre los componentes del gas y la electricidad que lo atravesaba, sin embargo, esto no explicaba que cuando se tiene una cantidad mínima de gas al interior de los tubos se presente una fluorescencia igual en cualquier gas.

⁶ El ácido hidriódico corresponde a al actual yoduro de hidrógeno (HI) y el hidrógeno fosforitado a la fosfina (PH₃)



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

Mientras que Hittorf para explicar los efectos observados en estos tubos acude a una concepción ondulatoria, otro científico, William Crookes, los explica como de carácter corpuscular. Hittorf afirma que en

la descarga luminosa no hay propagación de partículas de gas; y que, por lo tanto, cuando tiene lugar, la transmisión de la corriente por todas partes, incluyendo las capas oscuras de la luz positiva y el espacio oscuro⁷, se debe a otra causa (citado por Hiebert, 1995 p.123)

Esta discusión fue objeto de estudios de muchos investigadores en campos como los espectros atómicos y moleculares, los análisis químicos a la llama, el diseño de los tubos de Geisler y la mejora de los tubos de vacío.

Para 1906 en el trabajo de Thomson sobre los efectos que se observaban al someter tubos de vacío a tensiones eléctricas se encuentra la necesidad de acudir a una explicación corpuscular:

Cuando se envía una descarga eléctrica a través de un tubo de vacío, los lados del tubo brillan con una fosforescencia verde vívida. Se puede demostrar que esto se debe a algo que procede en línea recta desde el cátodo de la siguiente manera (el experimento es uno que hizo Sir William Crookes hace muchos años): Una cruz maltesa hecha de mica delgada se coloca entre el cátodo y las paredes del tubo. [...] la cruz de mica ha arrojado una sombra y la forma de la sombra prueba que la fosforescencia se debe a algo que viaja desde el cátodo en línea recta, que es detenido por una delgada placa de mica. (Thomson, 1906, p. 145)

Para Thomson aquello que viaja desde el cátodo son partículas cargadas negativamente, debido a que al ser colocado un imán cerca al tubo se observan cambios en los efectos lumínicos, y al ubicarse una pieza metálica cerca de donde ocurrían los cambios, ésta quedaba cargada negativamente. El estudio de este tipo de efectos le dará elementos a Thomson para determinar la cantidad de carga eléctrica que pueden tener estos corpúsculos y con ellos organizar el concepto de electrón.

Consideraciones finales

⁷ Parte de los efectos que describe Hittorf es la presencia de zonas bien definidas de brillo y oscuridad entre los polos, cerca al polo positivo identifica una luz brillante y otro tipo de brillo en el polo negativo, y en el medio una zona oscura.



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

Desde este análisis histórico, el ion es una estructura teórica que sintetiza una serie de relaciones entre sustancia y carga que implicó la producción de efectos que pudieran repetirse y estudiarse cambiando ciertas condiciones, la descomposición y la conductividad de sustancias acuosas o gaseosas. Además, el ion encaja dentro de las posturas corpusculares de algunos científicos y se extiende hasta la idea de portadores de electricidad. También implicó un proceso de representación y de estructuración matemática en relación con los efectos que se obtenían al experimentar: el establecimiento de equivalentes de sustancias, velocidad de migración de partículas, la asociación de efectos de diferentes clases como la producción de luz. Esto pone en cuestión la consideración de los iones como partículas materiales preexistentes, a las que es posible asignarles un comportamiento eléctrico.

En términos generales, hemos considerado que en el estudio histórico realizado se identifica un comportamiento de las sustancias asociado a la conductividad en soluciones electrolíticas y gases, que de un lado se explican como acciones contiguas y de otro como comportamientos discretos. No solo valoramos la controversia como fuente de interesantes discusiones conceptuales y epistemológicas, sino que en éstas se construyen criterios para proponer actividades experimentales, desarrollos formales, actividades de indagación que propicien la comprensión de este campo de trabajo en la enseñanza de las ciencias. Se contribuye así a privilegiar una formalización y una construcción de explicaciones a este tipo de fenómenos, donde las ideas de ión, carga o electrón resultan ser síntesis teóricas significativas.

Con este tipo de análisis se genera un campo de posibilidades para la organización y comprensión de fenómenos en las clases de ciencias:

- Problematizar y comprender las formas de organización de los fenómenos de estudio.
- Acudir al diseño experimental que interviene sobre las magnitudes de los efectos, como el estudio de la instrumentación que las sintetiza y cuantifica.
- Reconocer que los procesos de teorización en el aula no son inmediatos: Se produce un nivel de organización que permite pasar de la experiencia a la producción de generalizaciones [magnitudes, relaciones entre magnitudes, unificación de fenómenos, establecimiento de analogías]
- Las afirmaciones de los científicos en sus informes finales no son posibles de trasladar al aula, si estas no son sometidas a un estudio y comprensión por parte del docente que aborda estas fenomenologías en su trabajo.



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario.
ISSN 2619-3531.

Parte de los materiales que hemos producido son módulos de trabajo orientados a profesores en formación e interesados en pensar algunos de los fenómenos vinculados con la electroquímica. En estos el diseño de actividades experimentales orientadas por la generación de efectos y a la explicación de los mismos son la base de la página web: *Grupo de estudios histórico-críticos y enseñanza de las ciencias* (<https://sites.google.com/view/ehcec/home>) (Sandoval, et. al, s.f.) y han sido material para el contenido del libro pedagógico *la electricidad transforma sustancias* (Sandoval, et al, 2022)

Referencias

- Arrhenius, S. (1912). *Theories of solutions*. Yale University Press / Oxford University Press.
- Camacho, J., Izquierdo, M. y Solsona, N. (2018). The history of science in teacher training programs: a series of contributions and debates for the teaching of electrochemistry. En: Prestes, M. E. B. y Silva, C. C. (Eds.), *Teaching Science with Context, Science: Philosophy, History and Education* (pp. 251 – 263). Springer International Publishing AG (https://doi.org/10.1007/978-3-319-74036-2_15)
- Chang, H. (2011). How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: the cases of boiling water and electrochemistry. *Science and Education*, (20), 317-341 (DOI 10.1007/s11191-010-9301-8)
- Duhem, (1996) *Analysis of Mach's- the science of mechanics: a critical and historical account of its development (1093)*. En: Ariew, R. y Barker, P. (Ed.) *Essays In The History And Phylosophy Of Science* (pp. 112 - 130). Hackett Publishing Company.
- Faraday, M. (1849). *Experimental Researches in Electricity* (vol. 1). University of London.
- Hiebert E.N. (1995) *Electric discharge in rarefied gases: The dominion of experiment. Faraday. Plücker. Hittorf*. En: A.J. Kox and D.M. Siegel (eds.)(1995) p. 95-134.
- Hittorf, J. W. (1853). On the migration of ions during electrolysis. En Goodwin, H. M. (ed. y trad.). *The fundamental laws of electrolytic conduction* (pp. 49-81). Harper & Brothers Publishers.
- Ostwald, W. (1912) *L'evolution de l'électrochimie*. Librairie Félix Alcan.
- Sandoval, S., Malagón, J., Garzón, M., Ayala, M., Tarazona, L. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Sandoval, S.; Malagón, J.F.; Garzón, M., Tarazona, L. (2022). *La electricidad transforma sustancias. El dominio fenomenológico de la electroquímica*. Universidad Pedagógica Nacional.



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2023; Número Extraordinario. ISSN 2619-3531.

Sandoval, S.; Malagón, J.F.; Garzón, M., Tarazona, L. (s.f.) Grupo de estudios histórico críticos y enseñanza de las ciencias (<https://sites.google.com/view/ehcec/home>)

Thomson, J.J. (1906). Carriers of negative electricity. En: *Nobel Lecture*, (December 11, 1906)