

Universidad Pedagógica Nacional
Departamento de Química
Modalidad doble programa
Licenciatura en Química y Licenciatura en Física

Concepciones de la electricidad en el siglo XIX.
**Estudios históricos sobre Davy y Faraday integrados a la formación de
licenciados en química.**

Karen Marcela Real Falla

Dirección de trabajo de grado: Sandra Sandoval Osorio

Grupo de investigación:
Estudios Históricos Críticos y Enseñanza De Las Ciencias EHC^EC

Tabla de contenido

Resumen	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
1. Planteamiento de la propuesta	9
1.1. Descripción del problema	9
1.2. Planteamiento de la pregunta problema	14
Justificación	14
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
2. Marco Teórico	17
2.1. Antecedentes y Referentes Teóricos	17
2.2. Historia de la electricidad siglo XIX.....	20
2.2.1. Luigi Galvani y Alessandro Volta	20
2.2.2. Humphry Davy y Michael Faraday.....	23
2.2.3. James Clerk Maxwell y Joseph John Thomson	26
2.3. Profundización del análisis histórico.....	28
2.3.1 <i>Bakerian Lecture</i> por Dr. Humphry Davy.....	28
2.3.2 Análisis de serie 5 de Faraday	41
2.3.3 Análisis de serie 7 de Faraday	57
2.4. Referentes Pedagógicos	77
3. Marco Metodológico	80
3.1. Enfoque del proyecto	80
3.2. Fases metodológicas del proyecto	80
3.2.1. Fase de diseño y estrategia didáctica	80
3.3. Grupo de implementación de la actividad	85
3.4. Resultados y Análisis de la estrategia en el aula	85
3.4.1. Línea de tiempo sobre contextualización del siglo XIX.	85
3.4.2. Taller de Textos históricos de las concepciones de los científicos.....	86
3.4.3. Implementación de la práctica de laboratorio de electrólisis	94
3.4.4. Trabajo final: Ensayos argumentativos	99
Conclusiones.....	108
Referencias consultadas	112
Anexos	115

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Recopilación de bibliografía de antecedentes del proyecto que fundamenta aspectos teóricos de trabajo de grado.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2 Recopilación de bibliografía que fundamenta aspectos teóricos de trabajo de grado.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3 Comparación de las explicaciones sobre la electrólisis y los contrargumentos de Michael Faraday... </i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4 Resumen de los productos obtenidos durante la electrólisis y su clasificación en productos primarios o secundarios.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5 Resumen de la estrategia didáctica.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6 Fragmentos y preguntas del taller.</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 7 Rúbrica para realizar un análisis de los ensayos.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 8 Resumen de los resultados de los ensayos.....</i>	<i>107</i>

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: experimento de descomposición en la cual ambos polos están formados por aire.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 2 : conductores humedecidos con solución de sulfato de sodio.</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 3: conductores humedecidos con solución de sulfato de sodio.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 4: primer intento de Faraday para establecer equivalentes electroquímicos, a partir de datos experimentales propios o de otros científicos de la época.</i>	<i>76</i>

Índice de imágenes

<i>Imagen 1: cartelera del grupo de Humphry Davy 3.</i>	<i>91</i>
<i>Imagen 2: cartelera del grupo de Faraday serie 5.</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 3: cartelera de grupo de Faraday serie 7.</i>	<i>94</i>
<i>Imagen 4: Electrólisis del grupo del taller de Davy.</i>	<i>95</i>
<i>Imagen 5 y 6: Electrólisis del taller del grupo de Faraday serie 5</i>	<i>96</i>
<i>Imagen 7: Electrólisis del taller del grupo de Faraday serie 7.....</i>	<i>98</i>

Resumen

El presente trabajo aborda diferentes concepciones de electricidad en el siglo XIX. Para ello, se realizó un análisis histórico de las diversas contribuciones de académicos como Luigi Galvani, Alessandro Volta, Humphry Davy, Michael Faraday, James Clerk Maxwell y Joseph John Thomson, quienes desarrollaron experimentos importantes para la comprensión de los fenómenos eléctricos y que derivaron en un intercambio de información e ideas dentro de la comunidad científica.

En el ámbito académico, especialmente en la enseñanza de las ciencias en las universidades y escuelas, en ocasiones se desvincula el carácter histórico de los fenómenos de estudio. Esta desconexión contribuye a la poca comprensión o la formación de modelos erróneos. Debido a que el conocimiento se reduce a contenidos descontextualizados, y no da cuenta de por qué y cómo se configuran los fenómenos en ciencias. Desde la perspectiva de Bunge, esta situación conlleva a la pérdida del pensamiento crítico y reflexivo respecto al proceso dinámico de cuestionar o contrastar cómo se valida o se refuta una teoría o una hipótesis. Como resultado, el aprendizaje carece de significado para el estudiante y se vuelve superficial y ajeno a la realidad. Por ello, se busca contextualizar las narrativas históricas para el estudio de los fenómenos eléctricos, integrando elementos históricos y experimentales. En este sentido, se propone una estrategia didáctica, donde los estudiantes discutan ideas o concepciones, a través de lecturas, exposiciones y experimentos.

A partir del análisis histórico y epistemológico de los trabajos de Davy en la *Bakerian Lecture* y los estudios de Faraday correspondientes a las series V y VII sobre electricidad y electrólisis, se analiza el concepto de electricidad para identificar el cambio químico durante el siglo XIX. Con base en estos referentes históricos se diseñó una estrategia didáctica organizada en tres momentos: contextualización histórica, lectura de textos históricos y el desarrollo de prácticas de laboratorio. Esta propuesta fue implementada con estudiantes del curso de Historia y Epistemología de la Química de la Licenciatura en Química durante el periodo académico 2026-1 de la Universidad Pedagógica Nacional.

Palabras Claves: Electricidad, materia, análisis de textos de los científicos y electrólisis.

Abstract

This paper addresses different conceptions of electricity from the 19th century. To this end, a historical analysis was conducted of the various contributions of scholars such as Luigi Galvani, Alessandro Volta, Humphry Davy, Michael Faraday, James Clerk Maxwell, and Joseph John Thomson, who developed important experiments for understanding electrical phenomena and whose work led to an exchange of information and ideas within the scientific community.

In academia, especially in science education at universities and schools, the history behind a given phenomenon is sometimes disconnected. This disconnects leads to misunderstandings or the formation of erroneous models. Because knowledge is reduced to purely declarative, decontextualized content, and fails to explain why and how the phenomenon occurs—that is, its explanatory function is not integrated—from Bunge's perspective, this situation leads to a loss of critical and reflective thinking regarding the dynamic process of questioning or testing how a theory, hypothesis, or law is validated or refuted. As a result, learning becomes meaningless for the student, superficial, and detached from reality. Therefore, this approach seeks to contextualize the historical narratives behind electrical phenomena, integrating historical and experimental elements. In this sense, a didactic strategy is proposed in which students discuss ideas and concepts through readings, presentations and experiments.

Based on a historical and epistemological analysis of Davy's work, beginning with the *Bakerian Lecture*, and Faraday's studies in Series V and VII on electricity and electrolysis, a didactic strategy was designed, organized into three phases: historical contextualization, reading of historical texts, and the development of laboratory practices. This proposal was implemented with students in the History and Epistemology of Chemistry course within the Chemistry Bachelor's program during the 2026-1 academic period.

Keywords: Electricity, matter, analysis of scientists' texts, and electrolysis.

Introducción

El documento tiene como propósito presentar un análisis histórico del siglo XIX alrededor de la electricidad. En este contexto, se delimitan tres campos de estudio del periodo, cada uno con sus dominios fenomenológicos, a partir de los cuales se concebía la electricidad en la época. En primer lugar, el campo de la electricidad natural, vinculada a fenómenos como los relámpagos, bioelectricidad y las auroras boreales. En segundo lugar, el campo de la electricidad artificial, generada mediante diversos aparatos experimentales del momento, tales como botellas de Leyden, los electróforos, los electros copios y generadores de electricidad, que se caracterizaba por descargas instantáneas y bruscas. En tercer lugar, el campo de la electricidad vital o también denominada electricidad animal, atribuida a los seres vivos y relacionada con los impulsos mecánicos de los músculos. Cada campo implica una concepción particular de electricidad.

Se da un cambio o una revolución científica con respecto al fenómeno de la electricidad y su comportamiento cuando Alessandro Volta (1745-1827) diseña un instrumento capaz de generar corriente estable y continua, crea la oportunidad para una reconfiguración de la concepción de la electricidad mediante postulados, teorías, leyes, principios y modelos fundamentados en la experimentación, la cual juega un papel importante para aceptar o refutar estudios en la comunidad científica.

El trabajo de Volta es un punto de inflexión en torno a las concepciones de la electricidad de la época, como se evidencia en la controversia de Galvani y Volta. Por ejemplo, Volta en su obra *On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds*. afirmó “La electricidad es producida por el mero contacto de diferentes metales o de otros cuerpos conductores” (Volta, 1800, p. 403)¹. Esta idea o concepción de electricidad en el siglo XIX no fue un proceso lineal, sino que se desarrolló en ciclos con crisis o puntos de

¹ Todas las citas de Volta, han sido traducidas del francés al español, con la ayuda de un traductor de Google

inflexión, donde Galvani no pudo explicar ciertos fenómenos eléctricos, surgiendo anomalías en su teoría de la electricidad vital. Galvani como Volta se ven involucrados en una larga controversia, de la cual emergen desarrollos como las teorías del impulso nervioso y las teorías de electricidad producida por contacto de metales y el surgimiento de la electroquímica.

En el siglo XVIII, una de las primeras explicaciones sobre la naturaleza de la electricidad propuso la existencia de dos tipos: la electricidad vítrea y electricidad resinosa, posteriormente denominadas electricidad positiva y electricidad negativa. Científicos como Benjamín Franklin concebían la electricidad como un fluido invisible que podía acumularse (positivo). En su obra: *Experiments and observations on electricity* (1751) en la primera carta, párrafo dos afirmó:

Al mismo tiempo que el alambre y la parte superior de la botella, etc., se electrifican positivamente, la parte inferior se electrifica negativamente, en proporción exacta: es decir, cualquier cantidad de carga eléctrica que se introduzca en la parte superior, una cantidad igual sale por la inferior (Franklin, 1751, p. 4)².

Los físicos Humphry Davy, Luigi Galvani y Alessandro Volta, compartían este modelo de fluido de la electricidad. Sin embargo, es importante referirse a los planteamientos de Michael Faraday en sus primeras series de *Experimental Researches in Electricity*, especialmente en la quinta y séptima serie, muestra su visión de la electricidad como acción sobre la materia. Según él, la electricidad no se mueve como un líquido por los conductores, sino que es una manifestación de efectos sobre las sustancias, como la descomposición en un electrolito, la cual es proporcional a la cantidad de sustancia liberada, generando productos primarios. Con estos estudios logra construir una ley cuantitativa para los fenómenos de electrólisis.

Finalmente, se presenta una última discusión sobre la naturaleza de la electricidad como corpúsculo. En la época, se aceptaba la teoría de una molécula de electricidad, matemáticos como James Maxwell pensaban más desde una partículas simbólicas o teóricas para describir

² La cita de Franklin, ha sido traducidas del inglés al español, con la ayuda de un traductor Google

modelos. No obstante, no cree en la existencia de las mismas. En contraste, Hermann Von Helmholtz (1821-1894) físico y matemático, analiza las leyes de la electrólisis de Faraday, sostiene la idea de electricidad formada por cantidades elementales. Estas discusiones se pueden ver reflejadas en la conferencia en Londres, el 5 de abril de 1881 declara:

Ahora bien, el resultado más sorprendente de la ley de Faraday es quizás este: si aceptamos la hipótesis de que las sustancias elementales están compuestas de átomos, no podemos evitar concluir que la electricidad, tanto positiva como negativa, también se divide en porciones elementales definidas, que se comportan como átomos de electricidad. Mientras se mueve en el líquido electrolítico, cada ion permanece unido a su equivalente o equivalentes eléctricos (Helmholtz, 1881, ¶ 49).

Es decir, estos compuestos están divididos en átomos, lo que hace que la electricidad esté dividida en proporciones. Vale aclarar que Faraday sí pensaba que la materia está compuesta de cantidades de sustancia, más no la electricidad. Esta discusión se concluía en 1897, época donde estaban en pleno desarrollo los experimentos con rayos catódicos que han sido contruidos, por primera vez por Heinrich Geissler (1814- 1879) en 1857. Estos tubos consistían en dos electrodos en sus extremos con un gas enrarecido, con la finalidad de estudiar cómo se da el proceso de conductividad eléctrica en gases, permiten observar descargas al aplicar una corriente eléctrica. Posteriormente, William Crookes (1832-1919) perfeccionó los tubos, utilizando campos magnéticos que desvía los rayos, lo que permitió estudiar la naturaleza de esos haces de luz.

Estas investigaciones fueron fundamentales para que Joseph John Thomson (1856-1940) se preguntara: ¿cuál es la naturaleza de ese haz de luz en el vacío parcial³?, si era luz por qué se desvía con un campo magnético o eléctrico, esto le permitió formular la relación carga-masa del electrón. Es importante señalar que el término electrón fue designado por George Stoney (1826-1911), quien propuso la existencia de una unidad fundamental de carga eléctrica, y luego con el experimento de Robert Millikan (1868-1953) se generalizó dentro de la comunidad científica.

³ Vacío parcial o enrarecido, se refiere a que ha sido evacuado el gas dentro del tubo hasta los límites técnicamente posibles.

Según lo anterior, entender un fenómeno es un proceso de intercambio de información, puede tener debates, disputas y análisis críticos. No obstante, en el siglo XIX, esta forma de construir conocimiento tenía aplicaciones limitadas en la sociedad, para evidenciar ello, está la anécdota de Michael Faraday al gobernador William Gladstone, el cual comentaba: *¿Para qué sirve la electricidad?*, respondiendo Faraday: *un día su señoría, usted podrá cobrar impuestos sobre ella.*

Actualmente se sabe que Faraday tiene la razón, porque la electricidad se convirtió en un recurso fundamental de la sociedad y la economía, donde los avances científicos han sido tan impresionantes que somos capaces de manipular entidades fundamentales que van a la velocidad de la luz, aproximadamente 300.000 km/s, nos permite transformar el mundo, entender el universo incluso, descifrar los misterios más profundos, como la estructura de la materia, su comportamiento cuántico, dando forma a una nueva realidad, la cual desafía el entendimiento humano.

Estas discusiones reflejan las diferentes formas de explicación que se iban construyendo en la comunidad científica. Tales implicaciones influyeron en los instrumentos experimentales, modelos o representaciones que se utilizan para aproximarse a la realidad. En ciencias exactas es una herramienta que simplifica los cálculos y permite manipular el comportamiento sobre un mismo fenómeno como la electricidad.

En el proceso de aprendizaje, la comprensión de un fenómeno como la electricidad implica la integración de diversas herramientas y perspectivas, lo cual requiere un análisis crítico y reflexivo, para la incorporación de conceptos abstractos en los estudiantes, al observar un fenómeno eléctrico, comparar y contrastar diferentes modelos refuerza una postura crítica ante la búsqueda de explicaciones más profundas. La justificación, validación y refutación de aquellos modelos que pueden presentar patrones o anomalías se realiza mediante debates, experimentos, teorías en conflicto y hallazgos históricos. En este sentido, entender la historia como un proceso dinámico implica reconocer que ideas están detrás.

Dentro de la comunidad científica, existe un consenso provisional sobre la realidad en la que vivimos, así como interpretamos y percibimos. En consecuencia, la divergencia de concepciones sobre el concepto de electricidad en el siglo XIX, refleja la complejidad del conocimiento. Este fenómeno dejó de ser descrito como algo misterioso, invisible, que aparece de manera repentina e incontrolable, incluso divino o sobrenatural. A consolidarse por medio de estudios experimentales como fenómeno físico medible, reproducible, el cual puede ser explicable mediante leyes.

1. Planteamiento de la propuesta

1.1. Descripción del problema

En las licenciaturas en ciencias, los cursos relacionados con la historia y epistemología de la ciencia tiene como propósito generar espacios de reflexión sobre la naturaleza del conocimiento científico que permitieron la construcción de los conceptos. Sin embargo, el abordaje histórico de los contenidos científicos puede limitarse a la presentación de acontecimientos, biografías, anécdotas o descubrimientos, lo cual se convierte en una colección de relatos aislados que contribuyen poco a la comprensión de la construcción del conocimiento.

Ello representa una dificultad en la enseñanza de la electricidad, ya que los conceptos pueden presentarse como conocimientos terminados o absolutos, dejando de lado los experimentos y discusiones que permiten su construcción. En este sentido comprender la electricidad requiere relacionar los fenómenos observables con explicaciones históricas, en específico con la relación electricidad y materia. En este sentido, es pertinente abordar el concepto de la electricidad desde la integración del fenómeno, la experimentación y el análisis histórico.

La propuesta busca superar esta dificultad a través de un análisis histórico y epistemológico de los trabajos de diferentes científicos del siglo XIX, para diseñar una estrategia didáctica que articule la evolución histórica del concepto con su enseñanza. Este proceso también

contribuye a la formación del docente, al permitir entender la dinámica de construcción del conocimiento científico y promover en los estudiantes un enriquecimiento conceptual al reconocer la ciencia como una actividad dinámica.

Este trabajo se centra en el estudio de la electricidad desde una perspectiva histórica y epistemológica, se identifican las diferentes formas y clases de fenómenos que han sido asociados a la electricidad, las cuales pueden organizarse en tres etapas: En una primera etapa se presenta la interpretación inicial del fenómeno de la electricidad, donde, a partir de la observación, se intenta entender su naturaleza, su interacción con distintos materiales, su comportamiento y si existen tipos de electrificación. En este punto, la electricidad se entendía principalmente por los fenómenos visibles.

En una segunda etapa, gracias a las investigaciones y una mejor comprensión del fenómeno, se logra manipularlo y aplicarlo, dando así paso al desarrollo de tecnologías para impulsar el proceso científico; es decir, la electricidad comienza a utilizarse de una forma práctica. Finalmente, en una tercera etapa se profundiza en las teorías que explican la naturaleza de la electricidad. En este punto ya se investiga a nivel microscópico y su relación con el movimiento de partículas, del fenómeno de la electricidad.

A partir de estas etapas, permite reconocer que la comprensión de la electricidad está relacionada con la experimentación y observación, lo cual permite formular preguntas acerca de su naturaleza y su relación con la materia. Desde la fenomenología eléctrica adquiere importancia para la enseñanza, dado que construye explicaciones vinculadas a los conocimientos científicos a partir de los fenómenos observables.

El fenómeno de la electricidad ya se estudiaba en el siglo XVIII, se puede producir al frotar distintos materiales uno con otro, los efectos se organizan en dos tipos de electricidad: vítrea y resinosa. La electricidad vítrea la cual, se adquiere al frotar el material como vidrio con lana o seda. Si se repite el mismo proceso con otra varilla de vidrio, se observa que ambas se repelen, lo que indica que poseen el mismo estado de electrificación. En cambio, el segundo

tipo es la electricidad resinosa, denominada así porque proviene de resinas naturales o plantas, igual que la anterior se frota con seda, pero esta vez es con una varilla de resina que se verá atraída por la varilla de vidrio previamente electrificada.

Esto muestra dos tipos de comportamientos de electrificación en que algunos cuerpos se atraen o se repelen. A partir de estos experimentos se plantea la existencia de dos estados contrarios de electrificación. Posteriormente, se da una nueva interpretación al fenómeno, donde la electricidad vítrea corresponde a la carga positiva y electricidad resinosa a la carga negativa.

Uno de los pioneros en estos estudios es William Gilbert (1544-1603), quien en su tratado *De Magnete*, acuña el término de electricidad. En 1730 Charles François Du Fay (1698-1739), propuso la teoría *bifluidista*, que postula la existencia de dos fluidos eléctricos, cuando un material tenía más de uno, estaba cargado, pero si estaba en iguales cantidades se encontraba neutro.

Por otro lado, en contraposición existía la teoría *influida* por Benjamín Franklin (1706-1790), postula en 1747, la existencia de un único fluido, en exceso de este, tenía una carga positiva, y en defecto una carga negativa, además en 1752, experimentó con cometas con el fin de demostrar que los relámpagos o rayos son fenómenos de naturaleza eléctrica, puesto que pasó una descarga eléctrica por la cometa hacia la llave ⁴.

A finales del siglo XVIII Galvani propone la existencia de una electricidad intrínseca de los tejidos animales, Volta ofrece una explicación alternativa basada en el contacto entre metales, al desarrollar en 1800 la pila eléctrica. Mas adelante llegaría el trabajo de Humphry Davy (1778-1829) y Johann Ritter (1776-1819), quienes fueron pioneros en el fenómeno de descomposición de las sustancias por medio de la electricidad. Ritter aplicaba corriente eléctrica para estudiar los fenómenos o efectos que podrían tener sobre el cuerpo humano.

⁴ La cometa estaba provista de una llave metálica, la cual sirvió como un punto de interacción con el rayo, mientras se sostenía en el aire.

Wilhelm Ostwald (1853-1932), en la primera reunión anual de la Sociedad Electroquímica Alemana, el 5 de octubre de 1894 en Berlín, dijo:

Esta historia no es la única. Entre otras cosas, comprobó qué tan fuertes son los golpes galvánicos que aún se pueden soportar y qué sensaciones despiertan en las diferentes partes del cuerpo. Al hacerlo, no se limitó a las manos, los ojos, la nariz y la boca, sino que también galvanizó partes del cuerpo que de otro modo no se usarían para experimentos (Ostwald, 1896, ¶15)⁵.

De hecho, esta característica de obsesión es común en los científicos. Por ejemplo, Volta pasaba corriente por su lengua para establecer la dirección de esta corriente, Michael Faraday también trabajó en el campo de las electrólisis sentando las bases de la electroquímica y adquiriendo una mayor comprensión de la electricidad, además realizó un novedoso hallazgo de la inducción electromagnética, James Maxwell matematiza y formaliza un conjunto de ecuaciones que derivan en un nuevo campo de la ciencia el electromagnetismo, hasta este momento aún se consideraba la electricidad como un fluido, pero un revolucionario experimento en 1897 por J. J. Thomson con tubos catódicos, establecería la relación carga/masa (q/m).

Por otro lado, la comprensión de fenómenos como la electricidad se ve afectada cuando se omite su historia. *Investigaciones Históricas y Filosóficas*, muestran que, sin un enfoque sobre cómo se construye el conocimiento en la comunidad científica, los estudiantes tienden a formar modelos mentales inadecuados, como creer que la electricidad es un fluido, una idea empírica del siglo XVIII (Giri & Giri, 2023; Sánchez, 2024) que deriva en falta de la comprensión de conceptos como corriente, voltaje, estática. Así mismo, se pierde la oportunidad de vincular las narrativas históricas de cómo la comunidad científica construye el conocimiento y la relación con la vida cotidiana, la cual es fundamental para un aprendizaje significativo, activo y reflexivo. Esto se refleja en trabajo de grado, titulado: *La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico epistemológico*, donde los estudiantes a partir de la actividad experimental pueden construir su propio espacio de

⁵ El texto está en línea en: Fragmentos de la herencia de un joven físico.
<https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/zpch-1894-1535/html>

discusión sobre el conocimiento e integrar las explicaciones teóricas y prácticas, (Cano et. al., 2009; Grupo de investigación Física y Cultura, 2021).

Por consiguiente, la dificultad no se encuentra solamente en comprender los conceptos relacionados con la electricidad, la experimentación y las explicaciones que se han construido históricamente. La integración de estos elementos puede generar espacios en los que los estudiantes cuestionen las explicaciones, reconozcan formas de interpretar un mismo fenómeno.

Como se dijo al inicio es conveniente adelantar una aproximación basada en el análisis de fuentes históricas primarias y en las prácticas experimentales relacionadas con los fenómenos estudiados. En este trabajo la concepción de la electricidad y su relación con materia, a partir de las investigaciones electroquímicas desarrolladas por Humphry Davy y Michael Faraday, permite generar espacios de discusión sobre cómo se construyeron explicaciones acerca de la electricidad y su relación con la materia. Esta aproximación busca fortalecer conocimientos epistemológicos y una comprensión reflexiva en los estudiantes de la Licenciatura en Química.

Se diseña e implementa una propuesta de trabajo con los estudiantes del curso de Historia y Epistemología de la Química en la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, para examinar el vínculo entre el estudio histórico realizado y las actividades posibles de desarrollar en una clase de ciencias. La primera etapa de esta propuesta se centra en la discusión de conceptos y teóricas históricas, es decir interpretaciones iniciales, ya que los estudiantes construyan una comprensión inicial del fenómeno, a partir de explicaciones de la naturaleza de la electricidad por diferentes científicos. Por otro lado, en la segunda etapa, incorpora experimentos, integrado el componente conceptual con relación a la electrólisis. Estas dos etapas no son procesos independientes, de hecho, están íntimamente correlacionados. Teniendo de precedente el contexto orienta la experimentación, una falta de este da una desconexión con un proceso científico, así como la pérdida de un pensamiento crítico.

Por ello en la tercera etapa permite llegar a una profundización de la estructura interna de la materia, el cuestionarse los diferentes modelos, comprender cómo se refuta o validó un fenómeno como la electricidad, el proceso de debates de discusiones en la comunidad científica para llegar a una conclusión provisional, por medio de los experimentos claves, que marca un antes y después dentro de una cosmovisión, maneras o formas de ver el mundo, el presenciar un fenómeno para dar una explicación sobre su naturaleza, a partir de conocimientos previos, permite integrar nuevos conceptos, en consecuencia se reorganizan y modifican estructuras cognitivas, (Novak & Gowin, 1984).

1.2. Planteamiento de la pregunta problema

¿Cómo contextualizar el análisis histórico de las concepciones de Humphry Davy y Michael Faraday centrado en aspectos de la fenomenología eléctrica de la electroquímica y la relación electricidad – materia del siglo XIX, para el diseño de actividades de trabajo que articulen componentes históricos y experimentales y que se dirigen a estudiantes universitarios de quinto semestre, en el curso de Historia y Epistemología de la Química en el periodo 2026 – 1 de la Universidad Pedagógica Nacional?

Justificación

En el afán de la vida, a menudo se ignoran detalles de la realidad: fenómenos naturales tales como esferas de rayos y fuego de San Telmo⁶; a nivel biológico, la sinapsis, que son señales eléctricas entre neuronas; y la impresionante arte de la manipulación de fuerzas y campos presentes en cada dispositivo tecnológico, cuyo funcionamiento depende de la electricidad.

El conocimiento sobre la electricidad no se originó de la nada: la civilización ha buscado comprender las razones de su existencia y admirar su naturaleza como fenómeno eléctrico. En el libro *las fuerzas de la materia*, en la primera conferencia, Faraday dijo:

⁶ Es un fenómeno eléctrico causado por acumulación de electricidad estática que ioniza el aire durante tormentas, son descarga de colores violetas o azules.

La materia y sus fuerzas son la base de todo lo que vemos, tanto en el mundo inerte como en el vivo y debemos estudiarlas con experimentos para entender la naturaleza...la mente del hombre no tiene las limitaciones de la materia y por ello puede viajar y así lo hace más allá de donde se alcanza con la mirada profundizada mediante la observación (Faraday, 1946, p. 15-16).

La electricidad, como fenómeno natural y social, se desarrolló dentro de contextos culturales específicos, políticos e históricos, lo que explica la diversidad de teorías y modelos que surgieron a lo largo del siglo XIX. Derivado en implicaciones para la enseñanza actual: los estudiantes de ciencias exactas como química y física pueden encontrar difícil comprender conceptos fundamentales como corriente, voltaje, campos eléctricos y magnéticos, o circuitos, especialmente cuando se presentan de una forma desconectada y abstracta de su contexto experimental e histórico.

La ausencia de comparación entre modelos históricos y contemporáneos limita la capacidad de formar representaciones válidas y analizar críticamente. En la obra *Languages of Art: An approach. to a theory of symbols* de Nelson Goodman dice: “Las obras de arte son símbolos; no duplican ni reflejan el mundo” (Goodman, 1968, p. 6).

Para el caso de la electricidad son diversos los casos de estudio histórico que permiten construir un fenómeno desde diferentes perspectivas, cada uno de ellos con sus respectivos experimentos, metodologías, concepciones y resultados. Cuando se estudian los trabajos de Humphry Davy y Michael Faraday sobre la electrólisis, se abre la oportunidad de desarrollar preguntas sobre cómo es el paso de la corriente eléctrica en relación con la descomposición de las sustancias.

El abordaje de estos procesos desde una perspectiva histórica, permite situarlos en las preguntas propias de su contexto y en el desarrollo de las diferentes teorías científicas, así como reconocer las condiciones experimentales que dieron lugar a dichos conocimientos. Esto amplía la comprensión en los alumnos ante el fenómeno trabajado.

La educación es un medio para transformar el pensamiento humano, permite que los estudiantes comprendan cómo se construye el conocimiento científico y sus implicaciones en la sociedad. Según Zuleta (1985) en el ensayo *Educación y filosofía*, la educación forma sujetos que se desea sean conscientes, no solo enfocarse en la acumulación de datos y algoritmos que seguir, un acto político que define a una sociedad.

El trabajo busca abordar la historia y experimentación para que el estudiante comprenda la construcción de la ciencia. Un docente no debe omitir la esencia de las ciencias, en cuanto al desarrollo del conocimiento, con errores, avances, preguntas, la cual no es dogmática ni absoluta, ni de creencias. Permite apreciar la electricidad no solo como un conjunto de fórmulas o datos abstractos sino como un fenómeno histórico, social y experimental que ha influido en el desarrollo de la sociedad y la ciencia.

En este sentido, surge la necesidad de desarrollar una propuesta que abordar la electricidad de una forma diferente a la presentación de conceptos, fórmulas y definiciones. La propuesta parte de reconocer que algunos conceptos pueden resultar difíciles de comprender cuando se presentan únicamente desde lo teórico, sin tener en consideración las experiencias, preguntas y situaciones. Por esta razón se propone abordar los aportes de diferentes científicos del siglo XIX, ya que permite visualizar como el conocimiento sobre fenómenos eléctricos se construye a partir de preguntas, experimentos y las diferentes formas de interpretar la electricidad, donde los estudiantes reconocen que el conocimiento se constituye a través de procesos dinámico y reflexivo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Contextualizar las concepciones del siglo XIX de Humphry Davy y Michael Faraday sobre los fenómenos de descomposición química, mediante el diseño de una propuesta de actividades para el aula, que integran elementos históricos y experimentales, con el fin de propiciar la discusión epistemológica en estudiantes de la asignatura Historia y Epistemología de la química de la licenciatura en química.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis histórico y epistemológico de las representaciones de la electricidad en el siglo XIX, con especial enfoque en las investigaciones de electrólisis desarrolladas por Humphry Davy y Michael Faraday, con el fin de fundamentar el diseño de una propuesta de actividades de aula.
- Diseñar una propuesta de trabajo viable para el aula, a partir de experimentos de electrólisis del siglo XIX, que permita discutir aspectos epistemológicos de la electroquímica y su relación con las concepciones de electricidad.

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes y Referentes Teóricos

La presente sección muestra la recopilación de las diferentes fuentes académicas donde se hace énfasis en el análisis de los diferentes modelos explicativos sobre la electricidad y que cuentan con un componente de análisis histórico.

Lo anterior está estrechamente relacionado con la enseñanza en el área de ciencias exactas de conceptos abstractos, con el objeto de fomentar la formulación de hipótesis y comprensión de fenómenos naturales.

Tabla 1 Recopilación de bibliografía de antecedentes del proyecto que fundamenta aspectos teóricos de trabajo de grado.

Antecedentes				
#	Título de documento	Autor(es) y fecha	Tipo	Aporte a la investigación
1	La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico epistemológico	Jader Alfredo Cano, Juan Diego Gomes y Iván Leonardo Cely 2009	Tesis	Este trabajo presenta una serie de actividades que abren el campo de discusión entre sus estudiantes, contrastando los modelos alrededor del concepto de corriente eléctrica, entre estos modelos estan Faraday, Maxwell y Ampère, también tiene aportes pedagógicos de Dere Hodson, Mario Quintanilla, Marco Moreira y Daniel Gil, concluye que la historia enriquece el aprendizaje de las ciencias exactas, en este caso en específico el concepto de corriente eléctrica.
2	Un estudio histórico sobre el concepto de corriente eléctrica: una aproximación de la física clásica a la física moderna	Álvaro Steven Sánchez. Universidad Pedagógica Nacional 2024	Tesis	Realiza un análisis histórico sobre los conceptos de corriente eléctrica y la conducción eléctrica partiendo desde sus orígenes para llegar a la física moderna, detallando en modelos como de Paul Drude, Sommerfeld, Bloch y Wilson, y finalizando con la teoría de Cooper sobre la corriente superconductora. Concluye con reflexiones acerca de la didáctica de historia de la química.

3	Una propuesta integradora de los fenómenos eléctricos y su relación con la energía química: un análisis desde la pila voltaica	Luisa Fernanda Rincón Camargo 2023	Tesis	Propone un análisis fenomenológico; toma como caso de estudio la pila voltaica, el cual permite evidenciar magnitudes como el potencial, fuerza electromotriz, corriente; la propuesta consta de usar analogías y experimentos del área de la termodinámica y la mecánica de manera que permita reflexionar desde una perspectiva histórico crítica a finales de XVIII y consolidar un campo de la electroquímica.
---	--	---------------------------------------	-------	--

Nota. *Elaboración propia.*

Tabla 2 *Recopilación de bibliografía que fundamenta aspectos teóricos de trabajo de grado.*

Referentes Teóricos				
#	Título de documento	Autor(es) y fecha	Tipo	Aporte a la investigación
4	Reflexiones filosóficas e históricas: ciencia, enseñanza de la ciencia y política científica Herramientas historiográficas en las conferencias Notre Dame de Thomas Kuhn	Leandro Ariel Giri y Matias Daniel Giri 2023	Libro Pg 61-74	A la hora de pensar acerca Thomas Kuhn, es inevitable hacer una relación con revoluciones científicas a lo largo de la historia, ya que él hace un análisis de estos cambios conceptuales, es decir como un conjunto de teorías, métodos y principios de ver una realidad, una cosmovisión o lo que se denomina un paradigma, estos cambios no ocurren de forma aislada sino en redes interconectadas, y como en ellos se presentan anomalías cuando la observación no concuerda con la teoría y por ende debe ser modificada o en su efecto reemplazada. En este sentido, se ha puesto de presente que cada científico está influido por diferentes aspectos del contexto que rodean su trabajo de construcción conceptual y divulgación. Constituye un paradigma cuando los elementos en los que se basa rompen con la estructura de las explicaciones que estaban vigentes anteriores, pues se hacen notar “anormalidad” o “anomalías” que no son resultados por las anteriores teorías. Esta manera de pensar la historia muestra que los avances no son solo acumulativos, sino cambios en la forma de entender qué es la electricidad.
5	La electricidad transforma sustancias. El dominio fenomenológico de la electroquímica	Sandoval Osorio, Sandra; Malagón, José Francisco; Tarazona, Liliana; Garzón, Marina; Barragán, Liliana; Cortés, María José. 2022	Libro	Este libro propone estudiar la electroquímica a partir de los fenómenos observables, como la electrólisis, la pila voltaica, los cuales permiten construir el conocimiento científico, es decir, explicar sobre la relación entre electricidad y materia. El análisis histórico presenta diferentes científicos que fueron fundamentales para la consolidación de esta nueva rama de las ciencias como Galvani, Volta y Faraday.

Nota. *Elaboración propia.*

Los trabajos revisados han estudiado diferentes aspectos relacionados con la corriente eléctrica, la conducción de la pila voltaica y la electroquímica, así mismo analiza algunos de los modelos y explicaciones construidas a lo largo de la historia. También se encuentra que el uso de experimentos y el análisis de los fenómenos permiten relacionar los conocimientos

científicos con las condiciones históricas e las que fueron contruidos. Sin embargo, aunque estos trabajos muestran la importancia de incorporar la historia y la experimentación en la enseñanza de las ciencias, se observa que son menos frecuentes las propuestas que toman como eje el proceso de construcción de las explicaciones sobre la electricidad a partir del trabajo de Humphry Davy y Michael Faraday y su conexión con la electrólisis.

El análisis histórico de la electricidad permite evidenciar que las transformaciones conceptuales en la ciencia derivan de la interacción en la experimentación y la formulación de teorías. En este sentido, la comprensión de los fenómenos eléctricos ha evolucionado gracias a las propuestas de diferentes científicos como Luigi Galvani, Michael Faraday y James Clerk Maxwell. Cada uno de ellos aportaron estudios que contribuyeron al conocimiento progresivo en la ciencia.

Desde los planteamientos de Thomas Kuhn permiten comprender el concepto de paradigma, donde las teorías vigentes no logran ser explicadas y de ellas surgen anomalías según Kuhn, ello deriva en una crisis que conduce a una nueva reorganización teórica. Esta idea la desarrolla en su obra *La estructura de las revoluciones científicas*, donde las anomalías cumplen con una serie de características; en primer lugar, contradice el paradigma. En segundo lugar, la comunidad científica suele pensar que son errores de medición, experimentación o interpretación. En tercer lugar, genera problemas en la teoría que son obligados a revisar o ajustar. En cuarto lugar, se sucede a una acumulación de otras anomalías, provoca un cambio importante, derivando en una crisis científica y, en quinto lugar, si las anomalías no se resuelven, surge un nuevo paradigma que explique adecuadamente el fenómeno (Kuhn, 1971).

En el campo de la enseñanza de la electricidad y su relación con la materia, estos antecedentes y referentes sirven para el diseñar una propuesta en el aula, que reconozca la evolución histórica del conocimiento y la importancia que juega el papel de las anomalías en el pensamiento científico.

2.2. Historia de la electricidad siglo XIX

En la educación las implicaciones que tiene la historia para la didáctica de las ciencias no son simplemente como anécdota, es una muestra de cómo se construye el conocimiento científico, que emerge de problemas concretos, se reformula, se corrige y se reemplaza al no ser un proceso lineal, por lo tanto, la ciencia no es un conjunto de verdades absolutas, permite trabajar dificultades conceptuales y concretar los conceptos con experiencias concretas.

Asimismo, evitar una enseñanza exclusivamente abstracta, favoreciendo la comparación de explicaciones, validar, refutar y justificar determinado modelo, además de desarrollar habilidades argumentativas, entendiendo el porqué de un concepto, derivando la ciencia como actividad social, no solo se trata de lógica o datos, existen instituciones, comunidades, consensos, inclusive disputas de poder, establece una alfabetización científica crítica y una visión menos ingenua de la ciencia.

2.2.1. Luigi Galvani y Alessandro Volta

Uno de los científicos que realizó varios experimentos e investigaciones en este mundo de la electricidad fue Luigi Galvani (1737-1798), médico y físico italiano, le daba ciertas propiedades a este tipo de electricidad, como la propagación a través de los metales, los cuales actúan como intermediarios, donde variaba los metales, condiciones ambientales o la hora, se seguía presentando las contracciones de las ranas en su obra Galvani.

Inmediatamente hice lo mismo con otros metales, en otros lugares, a otras horas y en otros días, y el resultado fue el mismo; excepto que las contracciones eran diferentes según la diversidad de los metales, más fuertes en unos, más débiles en otros (Galvani, 1791, p.18)⁷.

⁷ Todas las citas de Galvani, han sido traducidas del italiano al español, con la ayuda de un traductor de Google.

En esta última cita, habla de la variación de fuerza o de intensidad según el metal, esta se podría ver afectada por la superficie de contacto de la rana con el metal, resalta la importancia del contacto, otras características es que debe ser un circuito eléctrico cerrado, esta condición aplica para cualquier animal no se limitaba para ranas, en la misma obra él describe:

Sin embargo, es difícil decir cuál es la capacidad de este plano para inducir contracciones musculares, y su aptitud para ello, es decir, cómo se pueden obtener contracciones de gran magnitud, frecuentes y, a veces, incluso constantes. Esto no solo ocurre cuando el pie es presionado contra la médula espinal o el plano metálico, o cuando se frota sobre él, sino también cuando el pie mismo toca la superficie. Y si, después de tocarla, el contacto con la superficie se modifica de alguna manera, como si rozara ligeramente la superficie, sobre la que se encuentra el animal, o los cuerpos que descansan sobre ella. Pero esto se refiere únicamente al fenómeno relacionado con el tipo de arco que presenta la superficie metálica, hasta aquí. (Galvani, 1791, p.20).

Él hizo experimentos con materiales aislantes, lo que le llevó a plantear la idea o hipótesis de la electricidad como un fluido propio de los animales, el cual viaja por el sistema nervioso para producir una respuesta en los músculos. Esto le generó gran inquietud y admiración al observar que se producían estas contracciones, por lo cual buscó dar respuesta al resultado a dicho resultado experimental. En la página 18 se visualiza:

Luego se nos ocurrió utilizar otros materiales que casi no conducen electricidad, como el vidrio, la goma, la resina, la piedra y la madera seca; pero en estos casos no ocurrió nada similar. No se pudieron observar contracciones ni movimientos musculares. Este resultado nos causó una gran admiración y comenzó a generar cierta sospecha sobre la electricidad inherente al propio animal. Nuestra sospecha aumentó aún más por la aparición, que notamos por casualidad, de una especie de circuito de un fluido nervioso muy fino que, mientras ocurría el fenómeno, se movía de los nervios a los músculos, y que se asemejaba al circuito eléctrico que se completa en la botella de Leyden (Galvani, 1791, p.18).

Por otro lado, Alessandro Volta (1745-1827), un físico italiano, en la historia ha sido considerado como uno de los padres de la electricidad. Otros son Benjamin Franklin (1706-1790), por sus experimentos con las cometas y las llaves; William Gilbert (1544-1603), por su tratado *De Magnete*, por acuñar el término de electricidad; incluso Michael Faraday (1791-1867), por sus investigaciones sobre los campos magnéticos y la inducción electromagnética.

En relación con otro asunto, Volta rechazó la idea de la electricidad animal, lo que dio inicio a uno de los debates más famosos de la época. Galvani nunca aceptó que su hipótesis fuera refutada; además, no llegó a conocer la pila de Volta, ya que murió en 1798. Su pérdida de la cátedra de Anatomía en la Universidad de Bolonia en Italia, estuvo relacionada con decisiones políticas de Napoleón Bonaparte, mientras que Volta sí recibió el reconocimiento de Napoleón: en 1801, París, tras demostrar su famosa pila en el Instituto de Francia, dijo: “Honra a Italia y a la humanidad” (Bonaparte, 1801).

¿Pero a qué se debe tal reconocimiento? Recordemos que en la época de Volta se pensaba la electricidad en tres formas: natural, vital y electrostática. Nadie antes de Volta había diseñado un instrumento o aparato capaz de generar electricidad estable. Dejó de ser la electricidad como magia o un acto de circo, este hallazgo permitió la generación de nuevas ramas, por ilustrar la electroquímica, el electromagnetismo, interviniendo académicos tales como Oersted, Ampère, Faraday y Davy.

Este último, aisló elementos químicos mediante la descomposición de sales haciendo uso de las pilas voltaicas, siendo un instrumento poderoso para sus investigaciones, ya no se concebía como algo momentáneo ni fugaz, ya la podíamos controlar. ¿Pero en qué consistía tal instrumento? En una carta del 20 de marzo de 1800 para Sir Joseph Banks, presidente de la *Royal Society* de Londres, describe:

La pila consistía en un cierto número de discos de estaño y un número igual de discos de plata o cobre. Las placas de zinc y estaño están en contacto y cada par está separado por algún material húmedo...Todos los efectos producidos son iguales a los que se obtienen de las máquinas eléctricas (Volta, 1800, p. 403).

La pila de Volta es un circuito cerrado, el cual usa conductores húmedos, como ácido diluido (ácido sulfúrico o ácido nítrico), También otros científicos que lo usaron fueron Ritter y Carlisle. La pila de Volta usa discos de plata, zinc y cobre. Vale señalar que Volta fue muy astuto en enfocarse solo a grandes rasgos. Él postulaba la teoría por contacto: se generaba un flujo de electricidad entre distintos pares bimetálicos, con presencia de este conductor húmedo, el cual era esencial.

2.2.2. Humphry Davy y Michael Faraday

Humphry Davy (1778-1829) es un destacado científico muy reconocido por sus investigaciones sobre el aislamiento de elementos químicos, lo cual le dio un cierto estatus con sus contemporáneos, un personaje brillante, ambicioso, incluso considerado ser hasta vanidoso, para entender la concepción de la electricidad de Davy, debemos centrarnos en la discusión de afinidad química, es decir, una fuerza que hacía que las sustancias se combinaran con otras, para él, los átomos se unían por una atracción de tipo eléctrica.

Davy realizó diferentes pruebas con metales, como hierro, estaño, zinc y cobre, los cuales estaban en contacto con mercurio, con el fin de evidenciar que el comportamiento era distinto con cada uno, en el caso del hierro se adhería menos, es decir poca cohesión, y otros como el zinc se adhería más, es decir fuerte, el pensamiento clásico, es que la afinidad química unía los metales con otros, esta era una fuerza misteriosa.

En cambio, Davy interpretaba que la afinidad se debe porque existen diferentes estados eléctricos, es decir, la del zinc, el mercurio y el cobre, tiene diferentes energías eléctricas, y esta fuerza eléctrica es proporcional a la afinidad química. En su obra *Bakerian Lecture: On some chemical agencies of electricity*, describe sus experimentos.

Todos los casos de contacto del mercurio con otro metal, sobre una gran superficie, parecen adherirse en consecuencia de la diferencia de sus estados eléctricos, y con una fuerza proporcional a la exaltación de esos estados...El estaño, el zinc y el cobre, que se adhieren mucho más fuertemente, comunican cargas más altas al electrómetro de condensación: no he tenido instrumento suficientemente exacto para medir las diferencias; pero parecería que la adhesión proveniente de la diferencia de estados eléctricos debió haber actuado en estos experimentos; lo cual, siendo proporcional a las energías eléctricas, es, según la hipótesis antes expuesta, proporcional a las afinidades químicas (Davy, 1806, p. 55).

Además, él fue uno de los pioneros en usar las pilas de Volta en la descomposición de sustancias, hacer diferentes pruebas con muriato de cal, ácido sulfúrico, nitrato de potasio y agua, y estas sustancias tienen un comportamiento donde se atrae o repele dependiendo de su

carga, en el caso de los óxidos metálicos, metales son atraídos a la superficie negativa y se repelen a las cargas positivas, donde la electricidad puede modificar o alterar el comportamiento, ya que él puede interrumpir o romper enlaces químicos para combinarse en otras sustancias, es decir estas fuerzas pueden establecer cómo se organizan los átomos. Con respecto a cómo la electricidad interviene en la estabilidad de la molécula, en la misma obra de Davy, El declara:

El hidrógeno, las sustancias alcalinas, los metales y ciertos óxidos metálicos, son atraídos por superficies metálicas negativamente electrificadas y rechazados por superficies metálicas positivamente electrificadas; y, por el contrario, el oxígeno y las sustancias ácidas son atraídas por superficies metálicas positivamente electrificadas y rechazadas por superficies metálicas negativamente electrificadas; y las fuerzas atractivas y repulsivas son suficientemente enérgicas para destruir o suspender la operación habitual de la afinidad química (Davy, 1806, p. 28).

Davy relacionó los cambios químicos con el paso de una corriente eléctrica, la cual es capaz de mover o transferir las sustancias a través del medio. Consideraba este proceso con un cierto orden y no ocurría de manera al azar, es decir consideraba la electricidad como un agente que separaba o unía las sustancias, idea que se visualiza en su obra *Bakerian Lecture on some chemical agencies of electricity* (1806), describe sus experimentos. “Estos hechos hacían probable que los elementos salinos liberados en las descomposiciones por la electricidad fueran capaces de ser transferidos de una superficie electrificada a otra, de acuerdo con su orden habitual de disposición” (Davy, 1806, p. 22).

Se puede concluir que la electricidad para Davy es una fuerza que influye en la interacción al interior de un compuesto químico, pero esta visión fue refutada por el surgimiento de nuevas teorías sobre la electricidad. Michael Faraday (1791-1867) un físico y químico británico, cambió la idea de que la electricidad actúa únicamente por contacto entre los cuerpos, sino mediante campos que se extendían por el espacio, lo que denominó como líneas de fuerzas, Faraday entendía la electricidad y el magnetismo como fenómenos relacionados.

Por otro lado, Faraday describe el fenómeno de la electrólisis, y propone la hipótesis que la descomposición no ocurre en el contacto de las sustancias con las placas como electrodos, sino que la descomposición ocurre al interior del electrolito. En este proceso, las especies adquieren carga eléctrica y migran hacia los electrodos donde se produce su liberación, es decir, los electrodos son la entrada o salida de este proceso. Esto conlleva a requerir un nuevo vocabulario, por lo tanto, el cátodo (positivo) es la salida y el ánodo (negativo) es la entrada, esto lo podemos ver en el libro *La electricidad transforma sustancias*, donde se cita:

La descomposición química no aparece en los puntos donde la electricidad penetra en el electrolito y en los puntos donde la abandona; siguiendo lo habitual, se considera que la dirección de la electricidad es aquella en la cual la tensión positiva disminuye, y por la cual la electricidad positiva se mueve. Los puntos de entrada y de salida de la corriente son llamados electrodos: el punto de entrada, es el ánodo y el punto de salida el cátodo (Ostwald, 1912, pp. 97-98, Citado por Tarazona y otros, 2022, p. 49).

Además, existen ciertas partículas las cuales están cargadas, él las denomina iones, responsables del transporte de la carga eléctrica a través del electrolito durante el proceso de electrólisis, aquí concibe que la electricidad no pasa como un rayo a través del líquido, sino más bien que hay ciertas partículas que hacen ese movimiento o trayectorias definidas (líneas de fuerzas) las cuales estarán determinadas por el campo eléctrico, estos iones se dividen en dos categorías: los cationes que se dirigen al cátodo y los aniones que se dirigen al ánodo.

Además, existe una relación cuantitativa en la cantidad de sustancia liberada, que es proporcional a la cantidad de electricidad que se requiera, es decir, no es algo al azar o aleatorio tiene una relación fija y determinada, lo denominó electroequivalente químico. Esto lo podemos ver en el mismo libro donde se afirma:

Los componentes de las electrólisis conducen la electricidad (o son conducidos por ella) de manera tal que viajan cantidades equivalentes de los elementos con cantidades equivalentes de electricidad. Estos componentes son llamados iones: aquellos que aparecen en el cátodo, es decir, el hidrógeno y los metales, reciben el nombre de cationes; aquellos que aparecen en el ánodo son llamados aniones (Ostwald, 1912, pp. 97-98, Citado por Tarazona y otros, 2022, p. 50).

Esto dio paso para formular las leyes de la electrólisis, que sirven como una herramienta de medida y que son enunciadas así:

- ✓ Las cantidades descompuestas de una sustancia determinada son siempre proporcionales a las cantidades de electricidad que han pasado.
- ✓ Los pesos de los elementos liberados de su combinación, en un tiempo dado, son proporcionales a los equivalentes químicos de estos elementos.
- ✓ Las cantidades de sustancias que viajan con cantidades iguales de electricidad son químicamente equivalentes (Ostwald, 1912, pp. 97-98, Citado por Tarazona y otros, 2022, p. 50).

2.2.3. James Clerk Maxwell y Joseph John Thomson

A principios del siglo XX, la comunidad científica llega a la conclusión de que existen cuatro fuerzas fundamentales que rigen el comportamiento de nuestro universo, las cuales son: fuerza nuclear fuerte, fuerza nuclear débil, gravedad y electromagnetismo. En esta última, un físico y matemático escocés conocido entre sus contemporáneos por sus trabajos e investigaciones, James Clerk Maxwell (1831-1879), realizó grandes aportaciones para desarrollar una nueva rama de la física. Incluso hoy en día es considerado el padre del electromagnetismo, este que estudia las interacciones de los campos, así como las cargas en movimiento.

Es irónico pensar que un personaje así no conocería el electrón, puesto que moriría antes de la realización del experimento que relación carga/masa por J. J. Thomson. Cabe preguntarnos cómo es que sus ecuaciones que se usan para explicar estos fenómenos sobrevivieron a pesar de esta falta de marco teórico de las cargas. Sin embargo, es de reconocer que en la época estaba en auge el fenómeno de la electrólisis, realizado por científicos ya mencionados como Faraday, Davy y Ritter, entre otros.

En el libro *Teoría del calor*, capítulo 5, Maxwell describe la teoría de Clausius, donde habla de la disociación de las moléculas en lo que hoy conoceríamos como iones, ya sea cationes de carga positiva o aniones de carga negativa. Cito: “La fuerza electromotriz hace que las moléculas de uno de sus componentes se desplacen en una dirección y la del otro componente en la dirección opuesta” (1871, p.94-108). Maxwell describe esta teoría molecular, dado que

esta parece aceptar dicho fenómeno. No obstante, en el artículo titulado: *Reflexiones sobre el tratado de Maxwell*, publicado en 2014 por un científico, Arthur Yaghjian, en el apartado “Carga eléctrica, corriente y polarización”, resaltó la frase que dice:

Maxwell, por conveniencia, uno puede explicar la electrólisis suponiendo una molécula de electricidad, aunque esta idea es burda y está en desacuerdo con el resto del tratado. Sin embargo, es sumamente improbable que, cuando lleguemos a comprender la verdadera naturaleza de la electrólisis, conservemos en alguna forma la teoría de cargas moleculares (Yaghjian, 2014, p. 237).

Se puede inferir que Maxwell veía la molécula de la electricidad o iones como algo más simbólico o conveniente para explicar algunos fenómenos como la electrólisis, es decir, la electricidad no la concebía como partículas cargadas. He de resaltar la diferencia entre una molécula teórica y una molécula experimental. La primera, como en el caso de Maxwell, utilizó una molécula teórica como un símbolo para comprender la disociación de cargas de la electrólisis.

En aquel momento se puede decir que la electricidad se entendía como un fluido, algo continuo o, en otras palabras, un éter, el cual necesitaba de un medio. Maxwell era uno de los que apoyaba dicha teoría, reflejándose un pensamiento clásico de la época. En su tratado *Teoría electromagnética de la luz*, afirma:

En varias partes de este tratado se ha intentado explicar los fenómenos electromagnéticos por medio de una acción mecánica transmitida de un cuerpo a otro mediante un medio que ocupa el espacio entre ellos. La teoría ondulatoria de la luz también supone la existencia de un medio. Ahora debemos mostrar que las propiedades del medio electromagnético son idénticas a las del medio luminífero (Maxwell, 1873, Vol. II, Part IV, Cap XX: Electromagnetic Theory of Light, parr. 781)⁸

Esta teoría después sería refutada por uno de los experimentos más importantes en la física, Michelson y Morley (1887), el cual quería detectar un viento de éter. Esto causaría una diferencia en la velocidad de la luz. Para medirla, los científicos crearon un interferómetro, y

⁸ La cita de Maxwell, ha sido traducida del inglés al español, con la ayuda de un traductor Google.

al enviar la luz en diferentes direcciones, se comprobó que esta era constante, dando como resultado que la radiación electromagnética no necesitaba de un éter o un medio para viajar.

Esto también dio paso para la teoría especial de la relatividad de Albert Einstein en 1905, siendo constante la luz en el vacío e independiente del observador. A pesar de ello, las ecuaciones de Maxwell sobrevivieron, dado que todas describen las interacciones entre los campos eléctrico y magnético, en estas son independientes de un éter. Además, él trata la carga eléctrica como densidad de carga: se define como la carga eléctrica dentro de un volumen o región del espacio.

2.3. Profundización del análisis histórico

Se desarrolló un análisis más profundo sobre la electrólisis, la cual se enfocó en la serie 5 y 6 de *Experimental Researches in Electricity* de Michael Faraday. Estos estudios permitieron la formulación de leyes y consolidó conceptos fundamentales que actualmente se usan relacionados con la interacción entre la corriente eléctrica y las transformaciones químicas. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de la conferencia presentada por Humphry Davy, la cual reúne diferentes experimentos y aportes que contribuyen al desarrollo inicial de la electroquímica, como una nueva rama de las ciencias.

Esto permite comprender la evolución de las ideas científicas, así como comparar entre estos dos científicos sobre los fenómenos electroquímicos. Es importante señalar que esta sección no es una repetición del análisis anterior, sino una interpretación propia, basada en las fuentes originales de los autores desde una perspectiva etimológica sobre la construcción del conocimiento en torno a la electrólisis.

2.3.1 Bakerian Lecture por Dr. Humphry Davy

Davy comenta que pasó tiempo desde que presentó, ante *Royal Society*, la relación entre electricidad y química, donde formuló leyes generales de la descomposición electroquímica

que fueron confirmadas mediante resultados prácticos similares. Ello le permitió un nuevo campo de investigación; en consecuencia, se dedicó durante un tiempo a la química experimental, y que ahora quiere presentar los resultados, aunque no estén completamente terminados.

A pesar del avance científico sobre nuevas teorías, como las de Hans Christian Ørsted (1777-1851) y Giuseppe Morichini (1779-1838) sobre la electricidad y magnetismo, Davy afirma que no va a cambiar las bases de su teoría original de hace veinte años, aunque muestren fenómenos nuevos y complejos conectados con cambios electroquímicos, que pueden tener gran alcance para conocer la estructura íntima de la materia o cambios corpusculares para comprender la verdadera naturaleza.

Algunos detalles históricos

Davy considera necesario hacer un breve resumen histórico sobre los primeros trabajos electroquímicos, porque se han difundido errores de otros países llegando al suyo. Además, autores proponen que no existe una obra fiable y precisa que explique la electroquímica.

Para él existe una idea equivocada del origen de la electroquímica. Cita autores como Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) y Jakob Winterl (1739-1809), quienes algunos consideraban precursores de la relación entre la electricidad y la afinidad química antes de la invención de la pila de Volta, lo cual para Davy no es correcto. No ignora que Ritter realizó experimentos originales enfocados en circuitos galvánicos, pero estos tenían ideas inexactas y extravagantes, investigaciones más orientadas al electromagnetismo que a la electroquímica. Ritter no postuló ideas claras sobre este fenómeno químico.

Por otro lado, Winterl tenía ideas muy metafísicas y envueltas de un lenguaje oscuro. Un ejemplo de ello es su sustancia llamada Andronia, la cual podría interpretarse como una relación de poderes del ácido con la base. Davy menciona que incluso las ideas de Newton están siendo malinterpretadas en sus trabajos de óptica, donde sería injusto atribuir los

descubrimientos a conjeturas antiguas. Aparecen explicaciones vagas, dando como resultado teorías demasiados generales, como que todas las fuerzas químicas, eléctricas, magnéticas y gravitatorias dependen de una sola causa.

La obra de Ritter contiene algunos experimentos muy ingeniosos y originales sobre la formación y las propiedades de los círculos galvánicos individuales; y la de Winterl algunas opiniones audaces, aunque poco rigurosas, sobre las causas primarias de los fenómenos químicos. En la oscuridad del lenguaje y la metafísica de ambos autores, es difícil decir qué podría no encontrarse. En las ingeniosas, aunque descabelladas ideas y a menudo inexactos experimentos de Ritter, hay más indicios que pueden considerarse aplicables al electromagnetismo que a la electroquímica; y la milagrosa “Andronia” de Winterl podría considerarse, con la misma propiedad, un tipo de todas las sustancias químicas. (Davy, 1826, p. 385)

El punto de partida de la electroquímica, según Davy fue el 30 de abril de 1800 por William Nicholson (1753-1815) y Anthony Carlisle (1768-1840), quienes observaron la descomposición del agua con la pila de Volta⁹; es decir, la electricidad producía cambios químicos directos. Además, ampliaron su hallazgo en la descomposición de soluciones metálicas. Otros aportes vinieron de las manos de William Cruickshank (1745-1810), quien descompuso sales como muriatos de magnesia, soda y amonio. Encontró que el álcali aparece en el polo negativo y el ácido en el polo positivo. Otro científico a mencionar es William Henry (1774-1836), ya que logró descomponer potasa en solución.

Davy menciona las contribuciones de siete artículos de su autoría, entre los años 1806 y 1820 que muestran: primero, que el oxígeno y el hidrógeno se separan del agua en proporciones definidas; segundo las sustancias aparecen en polos opuestas, es decir, las descomposiciones químicas presentan carácter polar; y tercero, que los metales y el azufre se dirigen al polo negativo y el oxígeno y el nitrógeno al polo positivo.

En estos artículos demostré que el oxígeno y el hidrógeno se despendían de porciones separadas de agua, aunque intervinieran sustancias vegetales e incluso

⁹ Según Davy, Nicholson y Carlisle son quienes se destacan por descomponer el agua con la electricidad voltaica, pero el mismo Volta, en carta a Brugnatelli registra este proceso: Volta, A (1800). Lettera del prof. Alessandro Volta al prof. Brugnatelli sopra alcuni fenomeni chimici ottenuti col nuovo apparecchio elettrico. En le opere di Alessandro Volta (Vol. II, parte II). Ulrico Hoepli.
https://www.padrisomaschi.com/Data/Progetto_Fonti_Testi/Volta/OPERE%20VOL.2/OPERE_2.pdf

animales; y, concibiendo que todas las descomposiciones podrían ser polares, electrifiqué diferentes compuestos en los distintos extremos y descubrí que el azufre y las sustancias metálicas aparecían en el polo negativo, y el oxígeno en polo positivo, aunque los cuerpos que los producían estaban separados entre sí. (Davy, 1826, p. 387)

De aquí concluye que la electricidad y los cambios químicos producidos con la ayuda de la pila están íntimamente relacionados y depende de una misma causa. Davy comenta que en 1802 logró construir pilas con metales, carbón y distintos fluidos, ya sean ácidos o alcalinos, y cómo se comportaban: el álcali era polo positivo y el ácido el polo negativo.

Por otro lado, menciona que ese mismo año William Hyde Wollaston (1766-1828) afirma que el galvanismo y la electricidad común son el mismo fenómeno. También Davy destaca los avances de Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) y Wilhelm Hisinger (1766-1852) en 1804, quienes mostraron que las sales neutras se descomponen por una corriente eléctrica: el álcali va al polo negativo y ácido al positivo.

Davy hace una aclaración: en un artículo del 1805, el cual surgió una confusión, algunos afirmaban que el ácido y el álcali se forman a partir del agua durante la electrólisis mientras que otros lo negaban¹⁰. Davy menciona que, a comienzos de 1806, quiso saber si los ácidos y los álcalis aparecen en la electrólisis, es decir, si son productos o, en cambio son combinaciones preexistentes.

Si se electrificaban dos porciones separadas de agua, separándolas del contacto con sustancias alcalinas o ácidas, se generaban ácidos y álcalis; de modo que, hasta entonces, la cuestión de si estas sustancias se liberaban de sus combinaciones o se formaban a partir de sus elementos por acción de la electricidad no podía considerarse resuelta: una circunstancia que no resulta tan sorprendente si se tiene en cuenta la naturaleza novedosa y extraordinaria de toda la clase de fenómenos galvánicos (Davy, 1826, p. 389).

¹⁰ Investigadores como William Hyde y Jean Baptiste Biot, negaba que el álcali y el ácido observados durante la electrólisis se formaran a partir del agua pura, otros como Jöns Jacob Berzelius y Wilhelm Hisinger atribuían estos productos a la descomposición del agua.

A partir de sus resultados experimentales; los resultados son que las sustancias como los ácidos y álcalis no aparecen a partir del agua pura, sino que se forman por impurezas presentes en el montaje experimental, con la ayuda de la acción de la electricidad usando la pila de Volta. Además, encontró un patrón: las sustancias inflamables y el oxígeno, los álcalis y los ácidos, los metales oxidables y los metales nobles, estas parejas se comportan como opuestas eléctricamente. De aquí Davy concluyó que las combinaciones y descomposiciones producidas por la electricidad obedecen a fuerzas de atracción y repulsión.

Se encontraban en relaciones eléctricas positivas y negativas, llegué a la conclusión de que las combinaciones y descomposiciones por electricidad se debían a la ley de las atracciones y repulsiones eléctricas, y planteé la hipótesis de la atracción química y eléctrica se producían por la misma causa. (Davy, 1826, p. 389)

Davy aclara que sus ideas no le pertenecen a Hisinger y Berzelius, dado que no tenía conocimientos de sus trabajos cuando realizó sus experimentos, y que él fue el primero en tener atención pública de estas investigaciones. Por otra parte, Davy observa que existen interpretaciones distintas de su teoría electroquímica. Por ello considera importante dar precisión y significado para resolver la controversia.

Con respecto a la ley electroquímica relacionado con el principio de polaridad electroquímica, considera que las sustancias que son sometidas a la acción eléctrica adquieren dos estados opuestos: negativo y positivo, la cual es una consecuencia inmediata, donde la electricidad atrae y repele cosas y por ello ocurren la separación de sustancias. “Como en los casos de acción electroquímica siempre existen dos estados opuestos correspondientes, consideré que la parte del sistema que tocaba el conducto poseía el mismo estado eléctrico que el exhibido por la lámina” (Davy, 1826, p. 392).

Para Davy, la pila es un instrumento químico, donde a partir de una serie de procesos químicos dentro de la pila da como resultando la electricidad; es decir, esta no es una causa primaria. Para Davy, cuando ciertos compuestos se combinan químicamente producen un estado eléctrico determinado y cuando una corriente atraviesa una sustancia ocurre una separación en componentes opuestos.

Da como ejemplo la pila, se combinan químicamente con el ácido y simultáneamente se producen fenómenos eléctricos; mientras tanto, en la descomposición del agua aparece oxígeno en un polo e hidrógeno en el otro. Davy generaliza qué las sustancias se separan según su naturaleza electroquímica.

Posteriormente, algunos científicos desarrollaron explicaciones distintas sobre el fenómeno de la polaridad, suponiendo que las partículas tienen un polo propio y permanente, como los imanes. Lo que realmente quería decir es que la corriente produce temporalmente una descomposición polar en las partículas de las sustancias, orientándolas hacia polos opuestos.

Al aplicar energía a los polos de la batería, el cambio virtual puede considerarse que tiene lugar en los dos extremos de estas zonas, más cercanos al punto neutro; de modo que, mediante una serie de descomposiciones y recomposiciones, las sustancias alcalinas y el hidrógeno se separan por un lado y el oxígeno, puro o en combinación, (...). De esta forma, las dos corrientes eléctricas pueden considerarse como las transportadoras de las sustancias ponderables, que adquieren sus propias características partículas al llegar al punto de reposo (Davy, 1826, p. 417).

Por otro lado, la idea no debe entenderse como una explicación basada en fuerzas opuestas abstractas, ni como una interpretación filosófica del mundo. La teoría de Davy no se relaciona con la metafísica; lo que pretende es hacer una generalización con base en sus experimentos para así predecir el fenómeno.

Como ya se mencionó, en la época existían dos posturas del origen de los ácidos y los álcalis en una sal durante la electrólisis. La primera, postura de Davy, es que tanto el ácido como el álcali provienen de la sal; esto es un efecto de la descomposición directa de la sal por la corriente eléctrica. La segunda postura, de otros químicos¹¹ dice que la descomposición del agua se da en etapas; Primero se separa el agua en oxígeno e hidrógeno. A partir de esta separación, se creía que el oxígeno se relaciona con sustancias ácidas, mientras que el hidrógeno se asocia con la formación de sustancias alcalinas.

¹¹ Existen dos posturas. Para Davy los ácidos y álcalis estaban presentes en la sal y simplemente la electricidad los separaba, la segunda postura defendía por Giovanni Pacchiani y Joseph Peale los ácidos y álcalis se formaba durante la electrólisis a partir de otros elementos.

Al comprobar que las sustancias ácidas y alcalinas, incluso cuando existían en las combinaciones más sólidas o en la proporción más pequeña en los cuerpos más duros, se generaban mediante electricidad voltaica, establecí que era el resultado de la descomposición y no de la composición o la generación (Davy, 1826, p. 389).

Davy quiere mostrar que esta segunda postura es incorrecta con un ejemplo del año 1806 de cloruro de sodio, donde en el polo positivo aparece ácido clorhídrico y en el polo negativo aparece hidróxido de sodio o también denominado sosa. Él concluye que estaban contenidos en la sal y no en el agua. Otro experimento es el nitrato de plata: aquí en el polo positivo aparece ácido nítrico y en el polo negativo aparece plata metálica.

Él realiza un montaje con dos recipientes comunicados por un tabique poroso, que permitía el paso de la corriente eléctrica, pero impedía la mezcla de los productos formados en cada compartimiento. Los recipientes estaban conectados a los polos de una pila mediante conductores metálicos de platino.

Observó que el líquido de un recipiente se vuelve más ácido mientras que en el otro se deposita plata metálica sin liberación inicial de hidrógeno. Davy concluye entonces que la corriente separa los componentes de la sal y que el agua interactúa principalmente como el transporte, por ello refuerza su conclusión mediante experimentos con diversas sales fundidas donde ocurren incluso sin la presencia de agua; sin que esta fuera obligatoria en la descomposición.

La mayoría de los fluidos que adoptan con fuerza en combinaciones voltaicas contienen agua, oxígeno e hidrógeno, se ha sospechado que estos principios eran esenciales para el efecto; sin embargo, esto no parece ser así, pues encontré que el cine el platino formaban potentes círculos electromotrices en litargirio fundido y oxiclurato de potasio fundido,...), Se sabe que contiene agua; y no me cabe duda de que se producirían efectos similares con otras sales fundidas que contengan únicamente ácido y material alcalina (Davy, 1826, p. 406 - 407).

Otro punto que destaca Davy es la fuerza de una pila. No depende exclusivamente del contacto entre metales, también depende de los distintos medios químicos y las interacciones

químicas entre los electrodos. “si el contacto de los metales fuera el único necesario para la continuidad del movimiento eléctrico, estos resultados, (...) serían imposibles” (Davy, 1826, p. 410).

Sus experimentos muestran que un metal presenta diferentes polaridades al estar en diferentes medios, por ello sostiene que es posible genera efectos eléctricos sin usar dos metales distintos. Científicos como Auguste De la Rive (1801-1873) y Antoine César Becquerel (1788-1878) apoyaron posteriormente esta interpretación mediante nuevos experimentos.

Cuando el platino entra en contacto un ácido, el polo que toca el ácido es negativo y el polo opuesto es positivo, cómo he probado con el electrómetro de condensación; y ocurre lo contrario cuando entra en contacto con un álcali (Davy, 1826, p. 402).

Davy menciona la relación entre los fenómenos electroquímicos y termoelectrónicos. “Podría entrar en otras opiniones generales sobre las relaciones puramente científicas de este tema y su conexión con la termo electricidad y los fenómenos de cohesión”. (Davy, 1826, p. 419). Los trabajos de Thomas Johann Seebeck (1770-1831) sobre la termoelectricidad muestran que si dos metales distintos unidos se calientan aparece una corriente eléctrica.

Aunque para Davy no significa que el calor sea igual a la afinidad química porque sus causas son diferentes, pero ambos si perturban al equilibrio eléctrico. Donde las reacciones químicas aparecen para corregir este cambio, Davy (1826) afirmó que “Los cambios químicos siempre tienden a restablecer el equilibrio eléctrico destruido por el contacto de los metales” (p. 411).

Davy resume los principios electroquímicos en seis apartados. Primero: la pila es un dispositivo capaz de producir electricidad a partir de las acciones químicas. “Todos estos hechos apuntan al mismo punto y confieren la visión que adopté sobre la naturaleza de las combinaciones voltaicas (..) siempre se restablecen mediante cambios químicos”. (Davy, 1826, p. 414).

Segundo: la corriente eléctrica produce descomposición química al atravesar por líquidos o sales fundida. Tercero: la ley de la polaridad electroquímica, según la cual las partículas resultantes de la descomposición se distribuyen en dos estados opuestos y se dirigen hacia polo diferentes de acuerdo con su naturaleza electroquímica. Cuarto: defiende que las acciones químicas y eléctricas están estrechamente relacionadas, aunque se manifiesten formas distintas.

Quinto: sostiene que las sales pueden descomponerse directamente sin la participación del agua. Sexto y último: establece que la intensidad de la pila es directamente proporcional a la energía química involucrada, aunque reconoce esta no es la única fuente de electricidad, ya que también puede generarse mediante el calor. “La acción se intensifica en proporción a la fuerza de las interacciones químicas, siempre que no existan circunstancias que interfieran” (Davy, 1826, p. 402).

Davy también analizó en su obra: *sobre los fenómenos magnéticos producidos por la electricidad*, trabajos recientes que pusieron de manifiesto la estrecha conexión entre magnetismo y electricidad y reforzaron la idea de que las distintas fuerzas de la materia podrían estar relacionadas entre sí. “Este estos experimentos demostraron claramente que el magnetismo se producía siempre que la electricidad concentrada pasaba por el espacio” (Davy, 1820, p. 14).

Reconoció la importancia de los experimentos de Hans Christian Orsted (1777-1851) sobre la desviación de una aguja magnética por efecto de una corriente eléctrica y los trabajos de André Marie Ampère (1775-1836), quien mostró que las corrientes eléctricas pueden atraerse o repelerse entre sí. A partir de estos resultados, se planteó que el magnetismo podía derivar de la electricidad, del mismo modo que la atracción y repulsión entre imanes podían explicarse por acciones eléctricas.

El descubrimiento de la verdadera conexión entre electricidad y magnetismo, parece haber estado reservado para M. Oersted, para este año. Estos descubrimientos, por su importancia y carácter inesperado, no puede dejar de despertar un gran interés en el mundo científico; y abre un nuevo campo de investigación (Davy, 1820, p. 8).

Por otra parte, Davy utilizó la pila en una de las aplicaciones experimentales más exitosas de su época: la descomposición del hidróxido de potasio y del hidróxido de sodio. Sus experimentos son descritos en su obra: *La descomposición de los álcalis fijos y los metales alcalinotérreos*. Observó la liberación de gases y la aparición de pequeñas gotas metálicas brillantes.

Aparecieron pequeños glóbulos con un alto brillo metálico, de apariencia similar al mercurio. A algunos de ellos ardieron con explosión y llama brillante tan pronto como se formaron, mientras que otros permanecieron simplemente empañados, y finalmente cubiertos por una película blanca que se formó en su superficie. Numerosos experimentos te mostraron que estos glóbulos eran la sustancia que buscaba, y un peculiar principio inflamable, base de la potasa (Davy, 1807, p. 5).

De esta manera logró aislar por primera vez el potasio y el sodio metálicos. A partir de estos resultados concluyó que los álcalis no eran sustancias elementales, sino compuestos que contenían metales extremadamente reactivos y con gran afinidad por el oxígeno. “Resulta, pues, que en estos hechos se encuentra la misma evidencia de la descomposición del potasio y la soda en oxígeno y dos sustancias peculiares” (Davy, 1807, p. 8).

El gran debate que recalca Davy, es cómo es la interacción del agua. Según Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) y Theodor Von Grotthuss (1785-1822), el agua se descompone primero, produciendo hidrógeno y oxígeno, luego reacciona con la sal. En un inicio Davy concuerda con esta hipótesis, pero experimentos posteriores lo llevan a rechazar esa idea, tales como las sales fundidas. “La presencia de agua, al parecer, impedía cualquier descomposición; por ello, utilicé potasa en fusión ígnea” (Davy, 1807, p. 3).

Según Davy la descomposición podía ocurrir incluso sin el agua, fortaleciendo la idea de que la corriente actúa directamente sobre los componentes de la sal. Sin embargo, Davy reconoce que soluciones acuosas el agua puede intervenir en la conductividad de algunos procesos electroquímicos. “Perfectamente secado por ignición, es un no conductor; sin embargo, se vuelve conductora con una muy pequeña adición de humedad, la cual no destruye perceptiblemente su estructura de agregación; y en este estado se funde fácilmente y se descompone por la acción de fuertes fuerzas eléctricas” (Davy, 1807, p. 4).

Davy propone además que los metales pueden ordenarse según su tendencia a combinarse químicamente. Observa que sustancias como el zinc intervienen en procesos químicos más enérgicos que metales menos reactivos, como la plata o el oro y sostiene que la intensidad de la acción eléctrica en una pila voltaica depende de la energía con que reaccionan. De este modo, establece una relación entre reactividad química y fenómenos eléctricos. Esta idea es descrita en su texto *Elements of Chemical Philosophy* y posteriormente serviría para comprender la protección galvánica de los metales ante la corrosión.

Las combinaciones voltaicas más potentes se forman con sustancias que reaccionan químicamente con la mayor energía entre sí; y aquellas sustancias que no experimentan cambios químicos al combinarse no presenta potencia eléctrica. Así, el zinc, el cobre y el ácido nítrico forman una potente batería; mientras que la plata, el oro y el agua que no reaccionan químicamente entre sí; no produce ningún efecto perceptible (Davy, 1812, p. 90-91).

Científicos como Christian Friedtich Schonbein (1799-1868) y Michael Faraday (1791-1867) permitieron comprender el fenómeno de la pasivación en los metales. Observaron que el hierro puede resistir el ataque del ácido nítrico concentrado debido a la formación de una capa superficial de óxido que actúa como barrera protectora. Esta película adherente reduce la reactividad del metal y modifica su comportamiento electroquímico, hasta el punto de que el hierro puede comportarse como metal noble.

Davy en sus investigaciones sobre las tierras alcalinotérreas, concluyó que las sustancias como la Baryta, la estronciana y la cal no eran elementos simples, sino compuestos de oxígeno y bases metálicas. En su texto *Elements of Chemical Philolophy* afirmó que “la barita está compuesta de bario y oxígeno queda demostrado por la combustión del bario en oxígeno” (Davy 1812, p. 193).

Mediante el uso de la electricidad logró aislar las bases metálicas del bario, estroncio y calcio, observando que estos nuevos metales eran altamente reactivos y se oxidaban rápidamente al contacto con el aire. En caso de la magnesia, aunque obtuvo una base metálica, no consiguió aislarla completamente en un estado puro con el uso de los procedimientos disponibles de la

época. Estos experimentos demostraron que la electricidad es una herramienta eficaz para saber la verdadera composición de sustancias.

A partir de ello, Davy estudió la composición de los ácidos mediante experimentos de electrólisis. Observó que, durante la acción de la corriente eléctrica, distintas sustancias se desplazaban hacia polos opuestos: el hidrógeno y los metales aparecían en la superficie negativa, mientras que el oxígeno, el cloro y los componentes ácidos se dirigían a la superficie positiva. Estas observaciones contribuyeron a diferenciar los ácidos que contenía oxígeno de aquellos formados por hidrógeno combinado con elementos, conocidos posteriormente como hidrácidos.

Es como consecuencia de los fenómenos de descomposición eléctrica, los metales, los cuerpos inflamables, los álcalis, las tierras y los óxidos son llevados a la superficie negativa, mientras que el oxígeno, el cloro y los ácidos son llevados a la superficie positiva (Davy, 1812, p. 90).

Para Davy afirma que los principios de la electroquímica de su conferencia Bakerian se mantiene y de hecho se ampliaron, creando nuevas áreas y hallazgos importantes como la unión entre la electroquímica y el electromagnetismo.

Me resulta particularmente satisfactorio contestar que no tengo nada que modificar en la teoría fundamental y respuesta en mi comunicación original; y qué, tras veinte años, sea continua, como al principio, siendo la guía y el fundamento de todas mis investigaciones (Davy, 1826, p. 383).

Davy comienza a describir diversos experimentos realizados con sustancias obtenidas mediante la acción de corrientes eléctricas intensas en su obra: *sobre algunos fenómenos nuevos de los cambios químicos producidos por la electricidad, particularmente la descomposición de los álcalis fijos y la exposición de las nuevas sustancias que constituyen sus bases; Y sobre la naturaleza general de los cuerpos alcalinos* del año 1808.

Entre ellos analiza la reacción de la base de potasa con azufre fundido, observando que ambas sustancias desprenden calor y luz, lo que evidencia la gran energía asociada a estas reacciones químicas, señala que durante el proceso se forma una sustancia gris, es parecida

a sulfuro artificial de hierro, mostrando que la acción eléctrica puede formar nuevos compuestos.

Por otro lado, ocurre una reacción en presencia del aire, Davy observa que libera luz y calor y se forma sulfuro de potasio. Estos resultados refuerzan la idea de que la electricidad no solo podía provocar descomposiciones químicas sino también nuevos compuestos, el cual es acompañado de fenómenos como la emisión de energía.

Cuando la base de la putaza se pone en contacto con azufre en fusión, en tubos llenos de vapor de nafta, se combinan rápidamente con la liberación de calor y luz, y se forma una sustancia gris, de apariencia similar al sulfuro de hierro artificial.

Cuando este experimento se realizó en un tubo de vidrio sellado herméticamente, no se libera gas ni en el tubo se abre abajo mercurio (...) los fenómenos son similares a los producidos por la unión del azufre con los metales excepto que la ignición es más fuerte (Davy, 1808, p. 16).

Davy también estudió la acción de la corriente eléctrica sobre el vidrio y observó que este material podía ser alterado químicamente. Señaló que la base de la potasa descomponía con facilidad diferentes tipos de vidrio al combinarse con el oxígeno presente. Estos experimentos demostraban que materiales considerados resistentes podía transformarse bajo determinadas condiciones químicas.

Como consecuencia de esta propiedad, la base de la potasa¹² descompone fácilmente el vidrio de sílex y el vidrio verde cuando se aplica un calor moderado; el oxígeno actúa sobre los óxidos formando de inmediato un álcali que disuelve el vidrio, de modo que una nueva superficie queda rápidamente expuesta a la acción del agente. (Davy, 1808, p. 19).

Asimismo, analizó la relación entre la electricidad y el agua, mostrando que las nuevas sustancias obtenidas mediante la electrólisis reaccionaban enérgicamente con el agua y daban lugar a la liberación de hidrógeno. Estas observaciones constituían una evidencia importante de la participación del agua en numerosos procesos químicos.

¹² El texto utiliza nomenclatura química de comienzo del siglo XIX, la base de la potasa se refiere al metal que luego se identificó como el potasio.

Su reacción con el agua ofrece la prueba más satisfactoria de su naturaleza. Al ser vertido sobre este fluido, produce una efervescencia violenta, acompañada de un fuerte silbido; se combina con el oxígeno del agua para formar sosa, que se disuelve, y su hidrógeno se libera (Davy, 1808, p. 23).

Además, Davy extendió sus investigaciones al amoníaco y examinó los productos de la descomposición mediante procedimientos eléctricos y térmicos. “Estas circunstancias parecen probar claramente la formación de agua en esta operación de descomposición del amoníaco” (Davy, 1808, p. 36).

Davy resume sus hallazgos en cuatro ideas preliminares: primero, sostiene que la electricidad puede descomponer numerosas sustancias; segundo, la electricidad puede dar transformaciones químicas complejas; tercero, la importancia de electrodos puede modificar los productos; y cuarto la electrólisis sirve como una herramienta de análisis de sustancias.

La importancia de la teoría propuesta por Davy, está en la capacidad para relacionar fenómenos químicos y eléctricos bajo un mismo principio, el cual consiste en que la acción eléctrica es un medio poderoso para analizar la composición de los cuerpos y estudiar las fuerzas responsables de las combinaciones químicas.

2.3.2 Análisis de serie 5 de Faraday

Parte 1. Nuevas condiciones de descomposición electroquímica

Al inicio de esta serie, Faraday establece la diferencia entre la electricidad obtenida a partir de las máquinas electrostáticas y la electricidad producida por las pilas voltaicas, las máquinas electrostáticas producen electricidad de alta tensión o alto voltaje capaz de originar descargas fuertes y visibles, aunque la cantidad de electricidad total es de poca duración y la carga almacenada es muy pequeña. Por otro lado, las pilas voltaicas generan una electricidad de menor tensión o menor voltaje, pero estas tienen una corriente continua la cual se sostiene en el tiempo, por ende, permite disponer una mayor cantidad de electricidad de manera constante, es decir, una mayor cantidad total de corriente eléctrica.

Aunque las características son distintas, en ambas se producen efectos químicos y magnéticos, concluye Faraday que son manifestaciones de un mismo fenómeno eléctrico, ya sea de alta o baja tensión. Con base en este planteamiento decide usar electricidad de alta tensión para sus investigaciones sobre la electrólisis, con el fin de comprender si se produce cambios internos en las sustancias durante la descomposición.

Faraday usa la máquina electrostática, para estudiar cómo los componentes de las sustancias que son sometidos a la acción eléctrica migran hacia los polos opuestos durante la electrólisis; para ello, usa un papel tornasol, el cual es un indicador, lo coloca en el polo positivo, y un papel cúrcuma, también indicador que se coloca en el polo negativo, los cuales se encuentran en una solución de sulfato de sosa. El resultado es que aparece ácido en el papel tornasol y álcali en la cúrcuma; concluyen que tanto la máquina como la pila voltaica producen los mismos efectos químicos.

Michael Faraday llevó a cabo un experimento, que consistía en colocar indicadores químicos sobre una placa de vidrio, las cuales están separadas entre sí y conectadas por una cuerda impregnada con sulfato de sodio, luego aplica electricidad de alta tensión, él observó que en el polo negativo se producía una sustancia alcalina, mientras que en el polo positivo aparecía una sustancia ácida¹³, además al aumentar la distancia entre los extremos mediante la cuerda más larga los efectos químicos seguían presentándose de la misma manera.

Con estos experimentos Faraday concluye que, la acción eléctrica podía transmitirse por medio del conductor, incluso si se modifica la longitud de la cuerda, se mantenía los mismos efectos. Posteriormente, Michael Faraday modificó el experimento retirando el polo negativo y dejando únicamente el polo positivo conectado a la máquina electrostática, y el otro extremo de la cuerda humedecía era sostenida con la mano.

¹³ Faraday conserva la nomenclatura empleada por Davy sobre la descomposición de las sustancias, refiriéndose a los extremos del circuito como polo positivo y polo negativo. Más adelante esta terminología sería sustituida por una más precisa.

Al usar la máquina apareció ácido de la misma manera que los experimentos anteriores, lo que le permitió concluir que no era dispensable contar con los dos polos metálicos para que se diera el proceso de descomposición química, después realizó nuevamente una modificación, donde dejó la cuerda aislada en el aire. Observó que se produjo el mismo efecto químico. Por lo tanto, él plantea que los fenómenos observados no son accidentales, sino que siguen un mismo comportamiento constante y ordenado bajo una misma ley química.

Cuando alguno de estos experimentos se repitió con diferentes configuraciones eléctricas con el conductor negativo, se tiene los mismos efectos químicos incluso cuando se usa conductores en condiciones imperfectas o degradadas. O ya fueran uno o dos cables solo se tienen en consideración la dirección de la corriente (Faraday, 1839, ¶ 459).

En el párrafo 464 usa un trozo grande de papel de cúrcuma humedecido, el cual tiene un extremo grande conectado a la máquina en el polo positivo y uno puntiagudo que es el tren de descarga negativo. Al funcionar la máquina electrostática aparece álcali en el papel por el extremo puntiagudo; incluso cuando se quita el tren de descarga, la electricidad se difunde por el aire. Se puede decir que la corriente pasa desde el extremo más grande al más puntiagudo y que la dirección de la corriente determina dónde aparece el álcali. Faraday lleva esta idea más allá, ya no es necesario un polo metálico.

Entonces se establecieron disposiciones en las que no se podía comunicar con el metal; se permitía la materia en descomposición, pero ambos polos formados por aire. Un trozo de cúrcuma *a* (Fig 50), y un trozo de papel de tornasol *b*, fueron sumergidos en una solución de sulfato de sodio, ensamblados para formar un conductor húmedo y puntiagudo, y soportados sobre cera entre dos puntos de aguja, uno, *p*, conectado por un alambre con el conductor de la máquina, y el otro, *n*, con el tren de descarga. El intervalo entre los puntos en cada caso era de aproximadamente media pulgada; el punto *positivo p* estaba opuesto al papel tornasol; el punto *negativo n* opuesto a la cúrcuma. La máquina se utilizó durante un tiempo, tras lo cual rápidamente aparecieron evidencias de descomposición, ya que la punta del tornasol *B* se enrojeció por el ácido que se produjo allí, y la punta de la cúrcuma *A* se enrojeció por una producción similar y simultánea de los álcalis. (Faraday, 1839, ¶ 465).

Aquí ambos, el aire puede ser polo positivo y negativo simultáneamente, Usó un papel de cúrcuma y un papel de tornasol, luego los humedeció en una solución conductora y los puso

sobre cera, ensamblados para formar un conductor húmedo, teniendo dos extremos: el punto P conectado a la máquina positiva y el N negativo conectado al tren de descarga, sin conectar ningún metal. Al encender la máquina, la electricidad fluye del positivo al negativo y se evidencia un cambio en el color de los papeles.

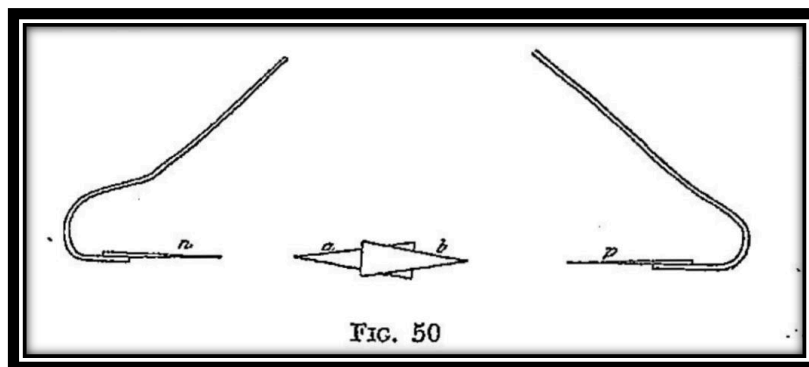


Ilustración 1: experimento de descomposición en la cual ambos polos están formados por aire.

En el párrafo 466 describe cómo realizó el cambio de polaridad, girando el conductor de papel; en consecuencia, ahora el papel de cúrcuma recibiría la electricidad y el papel tornasol la emitiría, por ende, desaparecen las manchas rojas. Mostrando así que los efectos químicos dependen de la dirección de la corriente eléctrica.

A partir de estas observaciones experimentales, Faraday explica que el papel tornasol y el papel de cúrcuma actúan como un solo conductor independiente, es decir, como un único sistema donde realmente ocurre la descomposición química, la cual cumple con tres funciones: En primer lugar, el conductor recibe la acción eléctrica por uno de sus extremos: segundo lugar, la transmite a través del todo el sistema: y, por último, permite que esta acción se manifieste en el otro extremo. Faraday concluye que la formación de ácido y álcali, no ocurría de forma espontánea dentro de líquido, sino por la acción de la electricidad sobre las sustancias.

Si en este experimento se considera que el papel tornasol y el papel de cúrcuma combinados constituyen un conductor independiente de la máquina o del tren de descarga, y se consideran los lugares finales de los elementos producidos en relación con este conductor, se encontrará que el ácido se acumula en el extremo o polo *negativo* o receptor del dispositivo, y el álcali en el extremo *positivo* o de descarga. (Faraday, 1839, ¶ 467).

En el párrafo 468 vuelve a hacer el experimento, muy similar a los anteriores, pero la cuerda es muy larga y gran parte del conductor está lejos de la máquina; esto ocasiona que la cantidad de reacción disminuya si se pierde la electricidad en el aire, concluyendo que depende del flujo eléctrico y no de la materia, siendo esta una idea cuantitativa de la electrólisis. “Pero este último no fue tan abundante como en los casos anteriores, ya que gran parte de la electricidad pasó de la cuerda al aire y disminuyó la cantidad descargada en la punta de cúrcuma” (Faraday, 1839, ¶ 468).

Él no solo usó conductores largos, sino que también hizo cuatro conductores independientes, cada uno formado por un papel de tornasol, uno de cúrcuma y uno humedecido con sulfato de sodio. Los aisló con varillas de vidrio a poca distancia y consideró los siguientes puntos: el P (máquina), el punto N (tren de descarga), el punto por donde entra la electricidad es el punto B, y por donde sale la electricidad en el papel de cúrcuma, es el punto A. Es decir, Faraday trabaja con cuidado de tener chispas, con el fin de eliminar reacciones con el aire y efectos mecánicos, así como el calor.

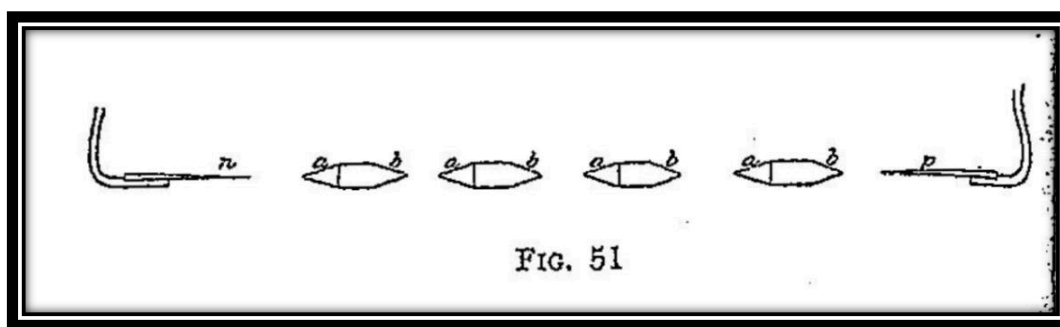


Ilustración 2 : conductores humedecidos con solución de sulfato de sodio.

Él demuestra que cada conductor es un pequeño sistema electrolítico autónomo, ya que en todas las puntas se evidencia, en el caso del papel tornasol, ácido y en el caso del papel de cúrcuma álcali.

Finalmente, una serie de cuatro pequeños conductores compuestos, consistentes en papel tornasol y papel de cúrcuma (fig 51) humedecidos en una solución de sulfato de sodio, se apoyaron sobre varillas de vidrio, en una línea a poca distancia entre sí, entre los puntos *p* y *n* de la máquina y el tren de descarga, de modo que la electricidad pudiera circular sucesivamente a través de ellos, entrando por los

puntos de tornasol *b* y *b* y saliendo por los puntos de cúrcuma *a* y *a*. Al operar la máquina con cuidado, para evitar chispas y escobillas (322), pronto obtuve evidencia de descomposición en cada uno de los conductores húmedos, pues todas las puntas de tornasol mostraron ácido libre, y las puntas de cúrcuma mostraron igualmente álcali libre (Faraday, 1839, ¶ 469).

Esta misma experiencia se replicó con otras soluciones, como yoduro de potasio y acetato de plomo, y todos fueron consistentes. Según Faraday demostró que los efectos producidos en el papel tornasol y en el papel de cúrcuma corresponden a una misma acción eléctrica, ya sea en una pila voltaica como en una máquina electrostática, aunque los aparatos fueran diferentes.

Además, Faraday habla de la acción interna de la descomposición dentro del conductor y no solo en los extremos de los polos; esta fuerza que separa el álcali y el ácido no ocurre fuera de la materia, sino dentro de ella. Por último, esta sección de esta serie nos muestra su método científico, ya que analiza cada parámetro antes de llegar a una conclusión general, donde profundizará más adelante sobre lo que ocurre dentro de la materia.

Estos casos de descomposición electroquímica son, en su naturaleza, exactamente del mismo tipo que los que se producen en circunstancias ordinarias con la batería voltaica, a pesar de las grandes diferencias en cuanto a la presencia o ausencia, o al menos en cuanto a la naturaleza de las partes habitualmente llamadas polos; y también en cuanto a la situación final de los elementos eliminados en las superficies límite electrificadas (467). Indican de inmediato una acción interna de las partes en descomposición y parecen demostrar que la fuerza que separa los elementos se ejerce allí, y no en los polos. Pero aplazaré la consideración de este punto por un momento (493. 518.), para poder considerar previamente otra supuesta condición de descomposición electroquímica (Faraday, 1839, ¶ 471).

Parte 2. Influencia del agua en la descomposición electroquímica

En esta sección, Faraday aclara que, en su contexto, algunos filósofos de su época consideraban el agua fundamental para los procesos de descomposición; sin esta no hay electrólisis, y no funciona la batería. Luego explica que cada celda de batería experimenta

una descomposición con sustancias específicas, Faraday menciona a Humphry Davy, quien había dicho que no se conocía otro fluido, a excepción del agua, para la electrólisis.

No obstante, Faraday cuestiona esta idea, ya que existen sustancias secas que se descomponen al recibir electricidad, como el nitrógeno seco, la potasa cáustica y la sosa. Otros cuerpos, como el litargirio¹⁴ fundido y el clorato de potasa, podían formar pilas; es decir, la ausencia de agua no impide la conducción, según Faraday, en los párrafos 472 y 473. Para él existen muchas otras sustancias que pueden inducir la electricidad; muchos compuestos inorgánicos y orgánicos son igual de eficientes, como los yoduros, cloruros o cianuros.

Incluso hay sustancias mejores que facilitan la conducción y la descomposición más que el agua, que presenta una eficacia relativamente baja. En este sentido rompe con la idea de que el fenómeno eléctrico dependía de una sustancia en particular, ya que al demostrar que muchas otras sustancias se descomponen y conduce corriente, le da un carácter general y amplía la comprensión del fenómeno. Por otra parte, Faraday observa que la naturaleza química de algunas sustancias tales como; con el nitrato de plata o el cloruro de plata, invierte la dirección de la corriente; es decir, la polaridad no depende solo del aparato o del montaje experimental, sino también de las características químicas de la sustancia.

Parte 3. Teoría de la descomposición electroquímica

Para Faraday existe una belleza en la descomposición de sustancias, lo que la convierte en un fenómeno atractivo e importante, gracias a la pila voltaica, que tiene la capacidad de causar la electrólisis porque produce una corriente eléctrica estable, permitiendo la separación de elementos y el estudio de su comportamiento. Además, otros científicos como Antoine César Becquerel (1788-1878) sintetizan sustancias y, con esta idea, comprenden más sobre su naturaleza para descubrir y crear nuevas combinaciones químicas.

¹⁴ Litargirio es una sustancia mineral de color amarillo o rojizo, la cual está compuesta principalmente de óxido de plomo. Se ha usado en procesos industriales y artesanales.

En el párrafo 481, Faraday aborda la teoría de Theodor von Grotthuss (1785-1822) de 1805. Se considera la pila como un imán, el cual tiene dos polos que atraen o repelen elementos como el hidrógeno o el oxígeno; estos están sometidos simultáneamente a fuerzas que actúan en direcciones opuestas. Para Grotthuss, la intensidad de la fuerza depende de la distancia respecto a los polos. Además, los elementos no pasan libres por el medio hasta el polo, sino que la separación ocurre por pasos: una cadena de recomposiciones y descomposiciones. Al llegar al polo, los elementos se unen con la electricidad, ocasionando gases.

Otro científico de la época es Humphry Davy (1778-1829) no adopta el modelo de sucesión o de recomposición y descomposición de Grotthuss. En 1805 Davy explica que el proceso de descomposición electroquímica se da bajo el concepto de acción por atracción y repulsión. Según Faraday, su explicación es muy general, la cual consiste en fuerzas de atracción en la superficie de los polos. Davy sostiene que su intensidad disminuye con la distancia; Es decir, la transmisión de la fuerza del polo se debilita a medida que se aleja de este. Esto significa que, en la mitad de líquido, las fuerzas se equilibran, obteniéndose un punto eléctricamente neutro. Faraday cita un experimento descrito por Davy que interpreta el resultado como una evidencia de que la intensidad de la fuerza disminuye con la distancia al polo.

En referencia a esta disminución de potencia en A distancias aumentadas de los polos, afirma que, en un circuito de diez pulgadas de agua, solución de sulfato de potasio colocada a cuatro pulgadas del polo positivo no se descompuso; mientras que cuando solo dos pulgadas de ese polo, cedió sus elementos. (Faraday, 1839, ¶ 483).

En 1826 la postura de Davy se mantiene con los mismos términos de atracción y repulsión; no añade ni corrige la teoría básica anterior. Una idea diferente es la de Jean René Denis Riffault (1752-1826) y Nicolas Maurice Chompré (1750-1825) de 1807. Para ellos, el proceso de descomposición sucede en el líquido o conductor húmedo, no en los polos. Por ende, existen dos tipos de corrientes: la positiva, que recoge las bases y las lleva a los polos negativos: y la negativa, que recoge los ácidos y los lleva al polo positivo. Es decir, la corriente es un medio de transporte activo y esta tiene más fuerzas cuanto más cerca está a los polos.

En el párrafo 486 describe la postura de Jean Baptiste Biot (1774-1862) no afirma nada sobre la separación de los elementos, pero sí propone la idea de los estados eléctricos: el líquido es más positivo cuando más se acerca al polo positivo, y más negativo cuanto más se acerca al polo negativo; esta intensidad disminuye en el centro. En cuanto al movimiento de las partículas, la sal al descomponerse, la parte ácida se desplaza hacia el polo positivo y hacia las regiones de líquido positivo. Es un efecto directo de gradientes de potencial eléctricos y se diferencia de Grotthuss en que no se presenta un proceso en cadena. Según Biot, la sustancia electrificada transmite la electricidad a las partículas más próximas y conserva un exceso, ya sea negativa o positiva, lo que le permite moverse a través del líquido. En consecuencia, la descomposición solo ocurre en los polos; el líquido actúa como intermediario para el flujo de electricidad.

En el párrafo 489 aparece la descripción de fenómeno de Auguste Arthur De la Rive (1801-1873) de 1825. Para él existe una combinación real entre electricidad y materia, similar a la afinidad química. La electricidad del polo positivo se combina con las bases y libera ácidos; estos se transportan hasta el polo negativo, donde se separan la sustancia y la electricidad. Esta última entra al metal y las bases quedan en la superficie metálica. Solo se descompone la materia en contacto con los polos y de manera definitiva; esto mismo ocurre de forma simétrica en el polo negativo.

Vale señalar que estas teorías coinciden con Riffault y Chompré, dado que en ambas se ve la electricidad como transportadora de materia y no se acepta la idea de Grotthuss y Davy del proceso en cadena. Por último, Faraday en el párrafo 491 menciona la observación de Jean Nicolas Pierre Hachette (1769-1834) que en 1832 usó corrientes magnetoeléctricas para estudiar la descomposición y cuestionar la idea sobre la necesidad de que ambos polos actúen simultáneamente.

Durante las primeras décadas del siglo XIX, diversos científicos intentaron explicar el fenómeno de la electrólisis y la relación entre electricidad y materia. A partir de los experimentos con la pila voltaica, surgieron distintas hipótesis sobre cómo se producía la

descomposición química: algunas atribuían el proceso a fuerzas de atracción y repulsión ejercidas por los polos, mientras otras defendían la idea de corrientes que transportaban materia o mecanismos sucesivos de recomposición entre partículas.¹⁵

Una vez presentadas las teorías, hipótesis o posibles mecanismos de la época, Faraday aclara que la descomposición electroquímica no se causa por la atracción o repulsión de los polos. En experimentos realizados en el aire, no observó acumulación de los productos en los polos; en cambio, aparecía la sustancia en los extremos. Faraday reconoce que el aire puede actuar como una superficie atractiva; por ello realiza un montaje en el párrafo 494.

Faraday describe un recipiente de vidrio dividido por una lámina de mica impermeable. En uno de los compartimentos coloca una solución concentrada de sulfato de magnesio con un electrodo de platino, mientras que en el otro dispone agua destilada, un corcho húmedo y un segundo electrodo casi horizontal. Al hacer pasar la corriente eléctrica, observa desprendimiento gaseoso en ambos polos, aunque la descomposición del agua era mucho más débil que la de la solución salina. Además, el magnesio apareció en la solución y no depositado sobre el electrodo metálico, lo que le permitió cuestionar las teorías que atribuían la electrólisis únicamente a la atracción ejercida por los polos. (Faraday, 1839, ¶ 494).

Primero toma un recipiente de vidrio y lo divide con una mica, la cual es hermética. En un lado introduce una solución concentrada de sulfato de magnesio y un electrodo de platino; en el lado opuesto coloca un corcho húmedo, agua destilada y un segundo electrodo casi horizontal. El resultado es que aparecen gases en ambos polos; la descomposición del agua es muy débil en comparación con la solución de sulfato. El magnesio aparece en la solución y no en el polo metálico.

¹⁵ Jöns Jacob Berzelius fue el principal defensor de la teoría electroquímica que sostenía que los compuestos estaban formados por partes con cargas opuestas, en cambio Theodor von Grotthuss propuso el mecanismo de transferencia sucesiva.

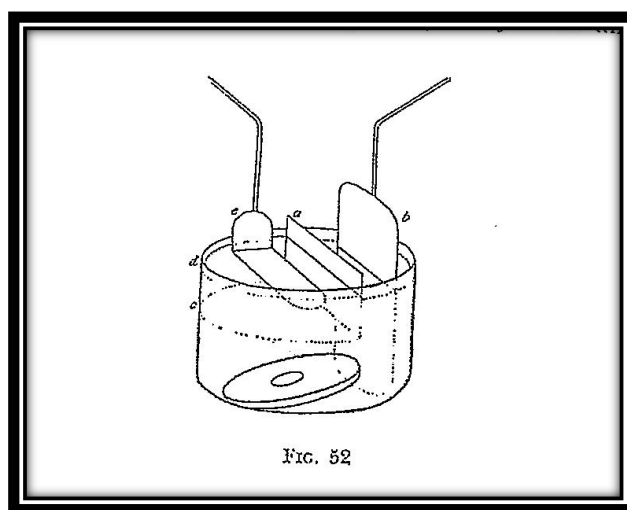


Ilustración 3: conductores humedecidos con solución de sulfato de sodio.

Después de un tiempo de electrólisis, Faraday apaga la corriente, toma los electrodos de platino y toca uno con papel de cúrcuma; este no mostró álcali, por lo que solo había agua. Con el otro electrodo tomó el papel tornasol; este electrodo estaba ácido. Faraday concluye que la separación no fue causada por arrastre químico de sales, sino por la corriente eléctrica, y que los productos de la electrólisis pueden aparecer en distintos lugares como el aire, el agua o los metales.

Faraday argumenta en el párrafo 498 que no está demostrado que la superficie de aire o del agua actúen como polos; solo aparecen productos acumulados allí. Además, aclara que no concuerda con la ley de poder de descomposición. En el párrafo siguiente, sobre la teoría de Grotthuss, se propone que las fuerzas varían inversamente a los cuadrados de la distancia; sin embargo, para Faraday esto no es cierto, ya que en los experimentos que realizó, las partículas sienten la acción de la corriente eléctrica sin importar dónde estén.

Por otro lado, Davy afirma esta idea de disminución de poder, pero Faraday sostiene que no ha encontrado evidencia de ello en otros experimentos. En los párrafos 501 y 502 Faraday realiza dos montajes y concluye que la descomposición ocurre de manera uniforme en la solución. En los párrafos siguientes comenta cómo la fuerza eléctrica actúa dependiendo de la forma del conductor, del recipiente y los polos; por ende, no se puede establecer una ley

basada sobre la forma. Sin embargo, la cantidad de descomposición parece constante según Faraday: no importa si la forma es curva o inclinada; si la corriente es constante, la cantidad de descomposición también lo será. Por ello propone un principio aún más general.

Tengo motivos para creer que la declaración podría hacerse aún más general, y expresado así: Eso para una cantidad constante de electricidad, cualquiera que sea el conductor en descomposición, ya sea agua, soluciones salinas, ácidos, cuerpos fusionados, etc., la cantidad de acción electroquímica también es una cantidad constante, es decir, siempre sería equivalente a una sustancia química estándar efecto basado en la afinidad química ordinaria. Tengo esta investigación en mano, con varias otras, y me papearé para darle en la serie subsiguiente de estas investigaciones. (Faraday, 1839, ¶ 505).

Siendo las bases de las leyes de Faraday, para él la electrólisis no puede explicarse como una atracción de los polos. Por otro lado, crítica a la teoría de De la Rive acerca de que la electricidad transmite materia, porque los hechos experimentales no coinciden. Por ejemplo, en la descomposición del aire las partículas en solución no se mueven a través de él hasta el otro polo

Asimismo, en la electrólisis del agua no se evidencia transporte de materia y aun así se produce la descomposición con el agua en reposo. Además, la teoría de Riffault y Chompre, acerca de la descomposición, en la cual ocurre trayectoria de las corrientes, contradice los hechos experimentales, no hay pruebas, según Faraday en el párrafo 508.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo que sintetiza las teorías de la época sobre el fenómeno de la electrólisis y los contraargumentos de Faraday.

Tabla 3 Comparación de las explicaciones sobre la electrólisis y los contrargumentos de Michael Faraday.

Autor	Explicación de la electrólisis	Movimiento de las partículas	Respuesta o contraargumento de Faraday
Theodor Grotthuss	La composición ocurre mediante una sucesión de recomposición y descomposición en cadena dentro de líquido.	Las partículas no viajan libremente por el líquido el intercambio ocurre en cadena.	Rechaza que existe una disminución de fuerza según la distancia.

Humphry Davy	La descomposición se explica por atracción y repulsión eléctrica	La fuerza disminuye gradualmente alejarse de los polos; en el centro equilibrios.	Considera esta explicación demasiado general y afirma que los experimentos no muestran una pérdida del poder en descomposición con la sustancia.
Riffault y Chompré	La descomposición ocurre en el líquido o conductor húmedo y no en los polos	Existen dos corrientes una positiva que transporta bases y otra negativa que transporta ácidos	No hay evidencia experimental de dichas corrientes ni del transporte de materias a polos opuestos.
Jean-Baptiste Biot	El líquido adquiere diferentes estados eléctricos según la cercanía de los polos.	Las partículas se desplazan siguiendo gradientes eléctricos.	Considera que la acumulación de productos en ciertas regiones no demuestra que si están polos secundarios o Estados eléctricos locales los cuales son responsables de la descomposición.
August De la Rive	Existe una combinación real entre la electricidad y la materia semejante a la afinidad química.	Las sustancias son transportadas justo con la electricidad hacia el Polo opuesto.	Rechaza que la electricidad transporte materia en sus experimentos no hay ninguna prueba de migración de materia por la descomposición.
M. Hachette	Estudia la descomposición con corrientes magnetoelectricas.	No existe mecanismos.	Retoma estas observaciones para mostrar que la electrólisis no depende únicamente de la atracción polar.

Nota. *Elaboración propia.*

Faraday resalta la importancia de aclarar qué se entiende por corriente eléctrica. Filósofos como Benjamin Franklin (1706-1790) proponen la existencia de un único fluido; otros sostienen la existencia de dos fluidos uno negativo y uno positivo. Hachette afirma que no hace falta tener dos tipos distintos de fluidos; por su parte De la Rive dice que cada fluido descompone determinada parte del agua.

En el párrafo 515 Faraday resumen dos ideas distintas; la de Grotthuss, consiste en que el agua, al descomponerse en los polos, combina sus elementos con la electricidad, y De la Rive, propone que los elementos ya están combinados con la electricidad y que al llegar a los polos se liberan. Faraday, tras revisar sus experiencias, concluye que no hay evidencia de una electricidad más fuerte que otra, ni que una varíe sin que la otra se modifique, ni de la existencia de una sin la otra. Para él es una sola fuerza con dos efectos, en direcciones contrarias pero iguales.

A juzgar únicamente por los hechos, todavía no hay la más mínima razón por considerar la influencia que está presente en lo que llamamos lo eléctrico corriente, ya sea en metales o cuerpos fusionados o conductores húmedos, o incluso en aire, llama y medios elásticos enrarecidos, como compuesto o

complicado. Nunca se ha resuelto en algo más simple o elemental influencias, y tal vez sea mejor concebirlas como un eje de poder tener fuerzas contrarias, exactamente iguales en cantidad, en direcciones contrarias (Faraday, 1839, ¶ 517).

Faraday sostiene que la causa de la descomposición se debe a la acción de corpúsculos que se encuentra dentro de la sustancia y están sometidos a la corriente eléctrica. Esta actúa en una dirección, debilitando o reforzando la afinidad química entre las partículas. Las cuales no viajan solas; una partícula de un tipo se mueve hacia su partícula opuesta, impulsada por su afinidad química. Es decir, la corriente modifica la afinidad de las partículas, no crea nuevas fuerzas. En cuanto a las trayectorias, las partículas no siempre se desplazan en línea recta entre polo.

En los experimentos, las líneas de corriente son muy irregulares. El efecto es máximo cuando la línea que une las partículas está paralela a la corriente, menor cuando está inclinada y casi nulo si cuando es perpendicular. Por ello, las partículas pueden moverse en forma diagonal siguiendo la corriente. Esta influencia no es externa sino interna; la corriente hace que las partículas tengan una dirección según su afinidad, provocando una serie de descomposiciones y recombinaciones, hasta llegar a los polos. La partícula solo se mueve si puede interactuar con otra partícula.

Faraday, en los párrafos 525 y 526, describe un experimento para probar la transferencia de sustancias durante la electrólisis, que consistió en preparar diferentes soluciones: la primera es de ácido sulfúrico diluido; la segunda con la misma cantidad ácido y con sodio; la tercera solución es neutral ya que tiene la misma cantidad de hidróxido de sodio y de ácido; finalmente, la cuarta y última solución es de amoníaco puro. Concluyó que la electricidad se comporta de una forma diferente sobre una sustancia si está sola o unida a otra, ya que cuando el ácido está libre sus partículas pueden moverse más fácilmente; en cambio, cuando esta combinado la electricidad no lo descompone de la misma manera, es más difícil.

La cantidad que se descompone de las sustancias depende de qué tan fuerte sea la afinidad química, es decir, qué tan fuertemente unidas están y cómo es la interacción entre sí, según

Faraday en un experimento del párrafo 459, que sirve de ejemplo de cómo hay una transferencia de las partículas de ácido sulfúrico y magnesia, donde ambos se mueven juntos en la electrólisis, y cada uno influye mutuamente sobre el otro; pero él observa que el magnesio solo se puede mover si se une a otra partícula como el ácido; deja de moverse hacia el polo, sino tiene una partícula con la cual combinarse.

La teoría de Faraday sobre la descomposición depende de la afinidad química; además, los productos de la electrólisis aparecen en los polos porque son los límites, ya que en estos no hay más partículas con las cuales recombinarse. En consecuencia, la sustancia queda libre, pero estas sustancias no pueden quedarse pegadas a los polos; se liberan en el medio o en forma de gas, porque el polo no tiene una fuerza atractiva.

Por ende, las sustancias son expulsadas de la masa; es decir, cuando la corriente pasa se rompe la unión entre una partícula, digamos por ejemplo A y B, donde estas ya no pueden unirse con las partículas que tiene a lado. Esto causa que se desplacen o sean expulsadas en el medio hasta encontrar con qué combinarse. Esta teoría de la transferencia de elementos, como la llama Faraday, sirve para explicar numerosos casos en líquidos, en el aire y en sales fundidas. Él explica que las sustancias que no se pueden descomponer por sí mismas, como el ácido o la base, no se desplazan de un polo a otro, a menos que se combine con otra.

Según mi teoría, un elemento o una sustancia no descomponible en las circunstancias del experimento, (como, por ejemplo, un ácido diluido o álcali) no debe transferirse ni pasar de polo a polo, a menos que este en relación química con algún otro elemento o sustancia que tiende a pasar en la dirección opuesta, ya que el efecto se considera esencialmente debido a la relación mutua de dichas partículas. (Faraday, 1839, ¶ 542).

Faraday hace una comparación de la teoría de De la Rive, que postula que las partículas pasan por medio separadas y no necesitan combinarse con otras para desplazarse; esto no concuerda con la teoría de Faraday y menos con los hechos experimentales. Él encontró que dos líquidos siempre se mezclan. Además de que las partículas se combinan.

Faraday sigue con su comparación sobre la teoría de De la Rive en el párrafo 546; dice que los polos se atraen o se repelen. Faraday se pregunta entonces: ¿por qué el metal del polo positivo no se desplaza al polo negativo? En experimentos como carbón pulverizado en ácido diluido, el polo negativo no se desplaza. Existen otros materiales aparentemente inertes como vidrio, sulfato de barita, mármol, pizarra, etc., que si tienen afinidad química solo si están en solución, no por atracción de los polos. En experimentos realizados por Davy con ácidos y tierras alcalinas en la electrólisis. Observó que estas sustancias tienen fuerte afinidad química; por ende, este fenómeno se debe a que cuanto más fuerte es la oposición química, más fácil es la separación y transferencia de las partículas.

En la época de Faraday existía una confusión entre los científicos, porque una sustancia puede aparecer tanto en el polo negativo como en el polo positivo. En el párrafo 552: en el primer caso A, la electrólisis de ácido sulfúrico, se descompone el azufre y aparece en el polo negativo; en un segundo caso, la electrólisis de sulfuro de plata, donde el azufre aparece en el polo positivo. Faraday hace una aclaración importante: el electrodo no es un lugar de afinidad química sino un lugar de liberación de sustancia como el azufre; es decir, el movimiento depende de la relación o interacciones químicas de la sustancia, Faraday concluye que no hay polaridad fija, sino que depende del sistema.

En el párrafo 556 Faraday nos aclara la idea de que los polos son simplemente la superficie de contacto, son los límites físicos del sistema que actúan como las puertas donde la electricidad entra o sale. Entre los polos se puede decir, según Faraday, que los mejores electrodos son los metales. Existen cuatro razones descritas en el párrafo 557: la primera, su alta conductividad eléctrica; la segunda no se mezclan con el líquido, es decir, son inmiscibles con el electrolito; la tercera razón es su estado sólido, lo que permite que los productos tengan un lugar donde liberarse; y la cuarta y última razón es existen metales como el oro o el platino que no reaccionan con el electrolito, es decir, son poco reactivos.

Existen malos polos, como el caso de del agua, Faraday explica que tiene baja conductividad eléctrica, se mezcla fácilmente causando interferencia en la descomposición; además, el agua

tiene una alta afinidad. La naturaleza del agua es neutra, por lo que da interacciones químicas de transferencia en la electrólisis; en consecuencia, los productos no se detienen en la superficie. Otras sustancias como el aire o gases si pueden servir como polos, ya que en los casos de gases tienen bajo poder conductor.

Faraday comenta que por la acción química del electrodo puede reaccionar con las sustancias liberadas, generando un proceso corrosivo; el electrodo entra en un proceso de transferencia y deja de ser así pasivo. Un ejemplo de ello, es el zinc, ya que se produce óxido de zinc en el polo positivo y se desplaza al polo negativo. Existen casos como el carbono, el cual es polo negativo, donde rechaza los productos; esto quiere decir que su comportamiento está determinado por su afinidad química. Esto permite ser estratégico a la hora de elegir un polo, ya sea para que sea inerte o para que reaccione con los productos.

Faraday hace una explicación en el párrafo 562 acerca de por qué los productos de la electrólisis aparecen solo en los polos y no en cualquiera parte de circuito. Este consiste en dos partes: sustancias que si se descomponen. Dentro del líquido, las sustancias se desplazan debido a la acción de la corriente eléctrica, siempre que sean compatibles para reaccionar o interactuar entre sí. Dado que los polos constituyen los límites del sistema, los productos de la descomposición aparecen acumulados en ellos.

2.3.3 Análisis de serie 7 de Faraday

Sin duda alguna, algo que le molestaba a Faraday era el lenguaje tradicional, especialmente “polo positivo” o “polo negativo”, “atracción” o “repulsión”, dado que puede ser un poco engañoso. La fuerza que causa la descomposición no está en los polos sino dentro de la sustancia, como lo deja claro en series anteriores; los polos son la superficie de contacto, no fuerzas activas, solo son la entrada y salida de la corriente. Por ello el propone la palabra electrodo, que es el límite en el proceso de electrodos composición. Además, necesita nombres para distinguir los electrodos: por donde entra la corriente, que es el extremo hacia dónde queda orientada la parte más negativa del electrolito, es el ánodo; en cambio, donde

sale la corriente es el extremo hacia dónde queda orientada la parte positiva del electrolito, es el cátodo.

El ánodo es por tanto esa superficie en la cual la corriente eléctrica, según nuestra expresión actual, entra: es la extremidad negativa del cuerpo en descomposición; es donde oxígeno, cloro, los ácidos, etc. se produce; y está contra o enfrente del electrodo positivo. El cátodo es esa superficie en la que la corriente sale del cuerpo en descomposición, y es su extremidad positiva (Faraday, 1839, ¶ 663).

Además, Faraday quiere clasificar las sustancias. En el párrafo 664 designa electrolito a las sustancias que se descomponen directamente por la corriente eléctrica; otra palabra nueva es electrolizado, es simplemente el verbo que describe el proceso, es decir, descompuesto por una corriente eléctrica; y por último está electrolítico sustancias que pueden pasar por un proceso de electrólisis. Faraday rechaza los términos de electropositivo y electronegativo, porque dan a entender la atracción de los polos; por eso introduce un nuevo término en el párrafo 665: ion, sustancias que se mueven en el electrolito; anión, que va al ánodo, y catión, que va al cátodo. Él aclara que los nombres son ayuda para evitar ambigüedades, pero no sustituyen el pensamiento científico. Por último, no da una explicación concreta de qué es la corriente eléctrica.

Parte 4. Sobre algunas condiciones generales de descomposición electroquímica

Faraday dice que ya no es indispensable el papel que desarrolla el agua en los procesos de electrólisis; otras sustancias se descomponen electrolíticamente e incluso tienen efectos más fuertes que el agua. Esto quiere decir que depende de la naturaleza de los elementos. Sin embargo, hay razones por las cuales es importante el agua: Primero, su composición permite separar elementos; Segundo, sus elementos son muy reactivos. Pero existen sustancias con afinidades fuertes, tal caso es el vidrio; como es una mezcla de sustancias no se descompone. En conclusión, entre más fuerte y estable sea la afinidad entre los componentes de una sustancia, más difícil será su descomposición electrolítica.

En párrafo 674 Faraday observa que existen sustancias que no se descomponen eléctricamente cuando están bajo la acción de la corriente eléctrica; una razón es que tienen

una fuerte afinidad química. Vale señalar que no se explica la naturaleza de la afinidad. Faraday afirma en el párrafo 676 que la conductividad cumple un papel muy importante, ya que sin esta no hay electrólisis. Se puede presentar este caso cuando las sustancias están en estado sólido: solo conducen electricidad si están fundidas o en solución.

No solo depende de la afinidad, también de la capacidad de la sustancia para permitir que pase la electricidad a través de ella. “Todos los compuestos conocidos que no son conductores cuando son sólidos, pero sí lo son cuando son líquidos, se descomponen, tal vez con la única excepción que se conoce actualmente del periodido del mercurio (679. 691.)²⁰; e incluso agua misma” (Faraday, 1839, ¶ 676).

Según Faraday, cuando la sustancia no permite la conductividad mínima no empieza el proceso de electrólisis; al iniciar la conducción ocurre la descomposición. Sus mecanismos consisten en que los iones se separan y se mueven, y la cantidad de electricidad es proporcional a la cantidad descompuesta, “En los electrolitos, el poder de conducción de la electricidad a través de la sustancia depende de su capacidad para descomponerse; que tiene lugar sólo mientras se están descomponiendo y que es proporcional a la cantidad de elementos separados” (Faraday, 1839, ¶ 677).

En el párrafo siguiente Faraday aclara la importancia de las proporciones de los elementos, dando como ejemplos el protocloruro de estaño (SnCl_2), que, si se descompone y conduce electricidad, en cambio el percloruro de estaño (SnCl_4), no conduce ni se descompone. Incluso nombra un caso especial, el perioduro de mercurio, que conduce electricidad, pero no se descompone.

Faraday quiere establecer una ley general de los compuestos binarios¹⁶: para él, los protocompuestos, es decir, los que se encuentran a una menor proporción del no metal, son tanto conductores como descomponibles; los compuestos con mayor proporción, no se

¹⁶ la ley de los compuestos binarios establece que los protocompuestos con menor proporción de no metal conduce electricidad y puede descomponerse por electrólisis.

descomponen ni conducen electricidad. Si se tienen en consideración los hechos experimentales anteriores, se puede decir que los yoduros, cloruros y óxidos concuerdan con la ley, dado que sí son descomponibles, con algunas excepciones como el cloruro de amonio, el perioduro de mercurio y tal vez, el cloruro de mercurio.

Él estudia el caso con ácido sulfúrico: cuando está muy concentrado es mal conductor, pero de lo contrario, si está diluido, es buen conductor. En el electrodo positivo aparece oxígeno y en el negativo aparece hidrógeno y azufre. Él mide la cantidad de hidrógeno y encuentra que no concuerda con la cantidad de azufre. Esto quiere decir que el hidrógeno viene del agua y no proviene del ácido. Luego, Faraday intenta eliminar el agua, dejando el ácido sulfúrico seco y fundido, resultando que ya no se descompone ni conduce electricidad, concluyendo que existe una reacción secundaria y el verdadero electrolito es el agua y no el ácido.

Según Faraday, una sustancia que aumente o facilite la conductividad y descomposición en el agua no significa que sea capaz de descomponerse ella misma o conduzca la electricidad por sí sola. Tal caso aparece en el párrafo 686 del ácido bórico, puesto que éste no es electrolizable. Destaca la observación de De la Rive, donde el cloro también facilita la conducción, pero no se descompone

En los párrafos siguientes, 688 y 689, los protocloruros de fósforo, el protocloruro de carbono y compuestos aliados no se descomponen ni conducen. Esto mismo pasa con el cloruro de azufre, pero Faraday dice que esto no es una contradicción, ya que tener proporciones definidas no es suficiente para ser electrolizado. Faraday sigue buscando excepciones a sus reglas de conducción en estados líquidos y proporciones definidas, pero siempre aparecen explicaciones por presencia del agua, impurezas o reacciones secundarias.

En el párrafo 692 analiza el percloruro de mercurio; éste en estado sólido no conduce; en cambio, fundido sí. Sin embargo, recalca Faraday que se presentan muchas interferencias para poder afirmarlo con seguridad. En caso del protóxido de antimonio, cree que rompe con la regla, ya que cuando está fundido se descompone por la corriente, pero en la proporción en que se descompone es algo atípica: una parte de antimonio y media de oxígeno. Esto indica

que sus elementos no se encuentran en proporciones simples; por lo tanto, no cumple la ley. Él propone que no es un compuesto puro, así la regla no se rompe. Esto también aplica para los protocloruros.

Pero al trabajar con este óxido y el cloruro, observé hechos que me llevan a dudar de que los compuestos habitualmente llamados protóxido y protocloruro no contengan a menudo otros compuestos, que constan de proporciones únicas, que son los verdaderos protocompuestos. (Faraday, 1839, ¶ 693).

Faraday sigue experimentando con sulfuro en ácido muriático, donde se forma un protocloruro; a partir de este, mediante álcalis, se obtiene protóxido. Él cree que se están nombrando mal los compuestos, ya que su ley no es falsa. Para él, el protóxido de antimonio no es puro, debe contener un óxido verdadero y puro en poca cantidad, estableciendo su ley:

En general, parece probable que todos esos compuestos binarios de cuerpos elementales que son capaces de electrolizarse cuando son fluidos, pero no sólido, según la ley de conducción líquida (394), consisten en proporcionales únicos de sus principios elementales (Faraday, 1839, ¶ 697).

Por otro lado, se debe tener mucho cuidado al excluir el agua; porque si está presente, con tanta frecuencia se producen efectos secundarios que a menudo parecen indicar una electrodescomposición de sustancias, cuando no se ha producido ningún resultado verdadero de este tipo.

Parte 5. Sobre una nueva medida de volta-eletricidad

Faraday comienza con la ley de la electrólisis, que consiste en, si aplica la misma cantidad de electricidad, se descompone la misma cantidad de sustancia y no debe afectar la fuente, el tamaño, la materia de los electrodos o la naturaleza. Esto va conectando la electricidad y la química de una forma cuantitativa.

La acción de descomposición química de una corriente es constante para a cantidad constante de electricidad, a pesar de las mayores variaciones en sus fuentes, en su intensidad, en el tamaño de los electrodos utilizados, en la naturaleza de los conductores (Faraday, 1839, ¶ 704).

Faraday intenta crear un aparato para medir la electricidad y tener así un estándar comparativo, para poder correlacionar con la electricidad. Toma como indicador el agua, ya que se descompone fácilmente al añadir pequeñas cantidades de otras sustancias como ácidos o sales; además, sus productos son gaseosos fácilmente separables, aunque su desventaja es que el oxígeno es fácilmente recombinable, lo que podría modificar los resultados de medición. Por ello, Faraday construye tubos de vidrio especiales descritos en los párrafos 708 y 709.

Faraday quiere comprobar su ley de acción de un electrolito, bajo diferentes circunstancias, como variación de los electrodos, formas, concentraciones, entre otras. Para ello debe tener precauciones con que los gases se mezclen o reaccionen. En el párrafo 716, explica una diferencia en la proporción, ya que a veces se observaba más hidrógeno en proporción al oxígeno. Esto se debe a la solubilidad de los gases, sobre todo en el electrodo positivo. En el caso del oxígeno, este se disuelve en una proporción alta en el agua, lo que ocasiona que la medición sea menor a la esperada respecto al hidrógeno.

Otro parámetro que tuvo en cuenta fueron las burbujas: en el oxígeno eran más pequeñas, se quedaba más tiempo en el líquido y se dependían de la superficie del electrodo; en cambio, las burbujas del hidrógeno son más grandes, se adhieren menos a la superficie del electrodo y suben rápido por el líquido. Faraday comenta que observó los cables finos generan más gas que las placas grandes, aunque la cantidad de electricidad sea la misma.

Una posible razón es que en los cables forman las burbujas más rápido que en la placa, porque están en menos contacto con la superficie de las placas. Por otro lado, cuando se usan electrodos grandes se detectan burbujas de nitrógeno. Esto se debe a que el agua contiene aire disuelto; si el oxígeno se libera, ocasiona un desplazamiento del aire disuelto. Eso solo se nota con placas grandes. Según Faraday en el párrafo 722, es decir, la cantidad descompuesta de agua es la misma, dependiendo de la acción química de la cantidad de electricidad.

Otra propiedad que Faraday modifica en los experimentos anteriores es la intensidad de la corriente eléctrica. Usa baterías primero cargadas fuertemente y luego débilmente. Aquí resulta que no cambio la acción química, Faraday concluye que ya sea que se cambie por mayor o menor fuerza, la acción química es la misma. También, el tamaño de los electrodos, no cambia la intensidad de corriente, entonces el proceso solo depende de la cantidad de electricidad.

Otro factor que cambia Faraday es la concentración. Sabe que el agua pura no conduce electricidad, por ello es necesario agregar ácido sulfúrico. Entonces, si agregó más, se descompone más fácil. Para comprobar si esto es cierto, hizo diferentes soluciones variando la concentración y las sometió a la misma cantidad de corriente eléctrica.

El resultado fue que en todas se descompuso la misma cantidad de agua, inclusive si esta diferencia de concentración es de 70 veces más. Un detalle que resalta Faraday es que ni un ácido débil o fuerte cambia la proporción, pero pareciera que en un ácido débil se genera menos gas, porque se disuelve en el líquido; sin embargo, la cantidad de descomposición es la misma.

Faraday, en el párrafo 729 y 730, explica que quiere comprobar si la acción química de la electricidad en el agua es constante en dos soluciones distintas. En ese caso usó soluciones de ácidos, sales y compuestos acuosos, tales como potasa cáustica, sosa cáustica, sulfato de magnesia y sulfato de soda, todas con la misma cantidad de ácido sulfúrico. Los resultados son iguales: se desprende la misma cantidad de oxígeno e hidrógeno, aunque en ocasiones se observan efectos secundarios.

Ya he dicho, respecto a los electrodos grandes y pequeños, que el cambio de orden no causó ninguna modificación en el efecto general (715.). Lo mismo ocurrió con distintas soluciones, o con intensidades diferentes; y aunque las circunstancias de un experimento pudieran variar, los resultados resultaron extremadamente consistente y demostraron que la acción electroquímica seguía siendo la misma. (Faraday, 1839, ¶ 731).

Parte 6. Sobre el carácter primario o secundario de los cuerpos evolucionados en el electrodo

Antes de comprender el funcionamiento de la voltaelectrómetro, Faraday remarca la importancia de entender qué son los productos primarios y secundarios, ya que esto permite omitir erros que confundieron a los científicos a lo largo de la historia.

Cuando una sustancia en descomposición produce en los electrodos aquellos cuerpos no combinados e inalterados que la corriente eléctrica ha separado, entonces pueden considerarse como resultados primarios, aunque ellos mismos compuestos. Por tanto, el oxígeno y el hidrógeno del agua son resultados primarios; y así también el ácido y el álcali (en sí mismos cuerpos compuestos) sulfato de soda. Pero cuando las sustancias separadas por la corriente son cambiadas en los electrodos antes de su aparición, luego dan lugar a resultados secundarios, aunque en muchos casos los cuerpos producidos son elemental (Faraday, 1839, ¶ 743).

Faraday identifica dos causas por las cuales surgen estos productos secundarios: primero, por la reacción con el electrodo y, segundo, por la reacción con la solución. Para identificar qué tipo de producto es, no es suficiente con observar qué sustancia aparece. Un ejemplo de ello es el nitrógeno con metales como plomo, plata, oro o cobre aparece en el cátodo, y se clasificaba como producto primario, pero en realidad es un producto secundario.

La forma correcta, y que da certeza para identificar el tipo, es mediante la ley de la constante de acción electroquímica. Si se conoce la cantidad de electricidad, también se puede conocer la cantidad de sustancia liberada, ya que los productos primarios siguen las proporciones definidas. En cambio, en los productos secundarios no siguen estas relaciones.

Otro caso es el ácido sulfúrico puro y líquido, el cual no conduce electricidad, pero al hacer pasa una corriente se libera en el ánodo oxígeno y en el cátodo hidrógeno y azufre. Faraday interpreta la formación de ácido sulfuroso como efecto secundario. Cuando él hace una mezcla de ácido sulfúrico con ácido sulfuroso, la solución acuosa es un buen conductor. Aquí aparece en el ánodo oxígeno y en el cátodo hidrógeno, pero los volúmenes de gas no concuerdan con la proporción. Esto quiere decir que el ácido sulfúrico no se descompone por la electricidad; en cambio, el agua sí.

Científicos de la época como Davy pensaban que el azufre se debía a la acción de hidrógeno; otro, como Hisinger y Berzelius, pensaban que el ácido se descomponía por la corriente eléctrica, es decir, sería un producto primario. Pero Faraday piensa que no es un resultado directo de la electricidad que el azufre aparezca en el cátodo, sino que reacciona con el hidrógeno.

El último caso descrito por Faraday es con el ácido muriático HCl. En este aparece en el cátodo hidrógeno y en el ánodo cloro. Este último se disuelve en el líquido o reacciona con la platina. Él observa que aparecen burbujas, pero no son de oxígeno. Para él, el ácido muriático es electrolizado directamente por su ley de acción electroquímica.

Faraday varió la concentración, diluyó gradualmente el ácido clorhídrico. Con 6 y 8 partes solo se libera cloro; con 9 partes de agua aparece un poco el oxígeno y cloro; y con 15 partes de agua se libera más oxígeno y se obtiene también cloro. Sin embargo, se vuelve un mal conductor, por eso añade ácido sulfúrico. La desventaja es que cambia de manera significativa las proporciones de cloro y oxígeno.

De aquí interpreta que el cloro proviene del ácido clorhídrico, mientras que el oxígeno no viene del HCl, sino del agua presente en la mezcla, que también es descompuesta por la corriente eléctrica. Por eso, el oxígeno es un efecto secundario. Cuando el ácido muriático está diluido con 100 partes de ácido sulfúrico, se da una mezcla de gases de oxígeno en la que predomina el cloro, aunque se varíen los pares de 40 a 5 placas en la batería, la proporción se mantiene constante.

No importa cuánto esté diluido el ácido muriático, la cantidad de hidrógeno es constante y correspondiente a la cantidad descompuesta por la electricidad; es decir, el hidrógeno es efecto primario, proviene del ácido muriático y del agua. En cambio, si aparece oxígeno en el ánodo, es un efecto secundario. En el párrafo 765 Faraday comenta que cuando está diluido el ácido muriático, aparece oxígeno con cloro en el ánodo, es decir, se debe a una parte de agua que se descompuso por la corriente eléctrica, pero señala que la proporción de oxígeno es mayor cuando el ácido está diluido que cuando está concentrado, por lo tanto, el ácido muriático se descompone más fácil.

El oxígeno puede ser visto como un resultado secundario; pero me inclino a creer que no es así; porque, si fuera, podría esperarse en mayor proporción del ácido más fuerte, mientras que hecho es lo contrario. Esta consideración, junto con otras, también me lleva a concluir que el ácido muriático se descompone más fácilmente por la corriente eléctrica que el agua (Faraday, 1839, ¶ 765).

Para el caso de ácido hidriódico concentrado, tiene un comportamiento similar al ácido muriático. En el cátodo aparece una cantidad de hidrógeno que concuerda con la proporción de electricidad que se utilizó y en ánodo encuentra yodo, pero sin oxígeno. Esto quiere decir que es un producto primario. Cuando está diluido, en el cátodo pasa igual, pero en el caso del ánodo aparece yodo con un poco de oxígeno; por ende, ese oxígeno proviene de agua y no de ácido. La conclusión de Faraday (1839) es que la descomposición del ácido hidriódico en este caso es directa, por las razones ya expuestas respecto al ácido muriático (¶ 768).

En el párrafo siguiente, Faraday detalla qué pasa con el yoduro de potasio cuando es disuelto en agua. En el ánodo aparece yodo sin oxígeno y en el cátodo aparece hidrógeno con algo de álcali. Él dice que el mecanismo es parecido a lo que sucede con los cloruros: el yoduro se descompone y aparece yodo sin oxígeno en el ánodo y potasio aparece en el cátodo, pero este reacciona con el agua, ya que no puede estar en forma libre; es decir, la base es un efecto secundario.

Para el caso del ácido fluorhídrico y los fluoruros, explica que presenta un comportamiento distinto, ya que estos no se descomponen por la electricidad; en cambio, el agua sí. Dado que Faraday no encontró flúor en forma libre, no da una explicación acerca del resultado. Posteriormente menciona al ácido hidrocianhídrico en solución, el cual conduce mal la electricidad. En el cátodo aparece hidrógeno y en el ánodo se encuentra oxígeno y cianógeno disuelto. Es parecido al cloruro. Él añade ácido sulfúrico para que mejore la conductividad. El comportamiento es igual para ferrocianuros, ácidos sulfónicos y sulfocianuros.

Faraday analizó el comportamiento de ácido acético. Éste, en condiciones puras, no conduce la electricidad ni se descompone. Al añadir agua mejora un poco la conductividad, pero si se

añade ácido sulfúrico sí conduce mejor y en el cátodo aparece una cantidad de hidrógeno que concuerda con la proporción definida y en el ánodo un poco de oxígeno con ácido carbónico.

Esto significa que el ácido acético no es electrolizable, dado que el oxígeno del ánodo reacciona con el ácido acético producto de una reacción secundaria. En los casos de sales de ácido acético o acetatos, en la mayoría de electrólisis los productos de los electrodos son resultados secundarios; Sin embargo, aparecen ciertas excepciones, como el sodio fundido y seco, aunque sus productos reaccionan rápidamente.

En el caso de ácido tartárico, es un mal conductor, pero mejora con añadir ácido sulfúrico. En el ánodo aparecen productos primarios y secundarios en proporciones variables. Estas dependen de la intensidad de la corriente y la concentración, aunque en el cátodo siempre aparece la misma cantidad de hidrógeno, con excepción de usar algunas sales metálicas.

Para otras sustancias más complejas, como las orgánicas, tales como ácidos vegetales, azúcar, goma, albúmina, se puede dar un resultado general donde en el electrodo positivo aparecen productos secundarios en mayor o menor medida. Se puede concluir que no es una electrólisis simple; este es un fenómeno muy complejo y solo se pueden dar principios generales.

Hay dos modos en los que las sustancias se pueden descomponer, ya sea por la fuerza directa de la corriente eléctrica o por la acción de los cuerpos que esa corriente pueda producir. Hay también dos modos por los cuales se pueden formar nuevos compuestos, es decir, por la combinación de las sustancias mientras están en su estado incipiente (658.), directamente con la materia del electrodo; o bien su combinación con dichos cuerpos, que son contenidos en, o asociados con, el cuerpo que sufre descomposición, están necesariamente presente en el *ánodo* y *cátodo*. La complejidad es aún mayor porque dos o más de estas acciones pueden ocurrir simultáneamente, y también en proporciones variables entre sí. (Faraday, 1839, ¶ 777).

A continuación, se presenta una tabla resumen en la cual describe la descomposición que ocurre durante la electrólisis, estableciendo los productos que se produce en los electrodos, Además la clasificación de producto primario o secundarios según los planteamientos de Faraday.

Tabla 4 Resumen de los productos obtenidos durante la electrólisis y su clasificación en productos primarios o secundarios

Sustancia	Productos en electrodos	Clasificación
Descomposición del agua	Hidrógeno en el cátodo y Oxígeno en el ánodo	Ambos son efectos primarios
Ácido sulfúrico puro	Oxígeno en el ánodo y azufre e hidrógeno en el cátodo	Se forma ácido sulfuroso que es un efecto secundario
Mezcla de ácido sulfúrico y ácido sulfuroso	Hidrogeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo	El agua es la que se descompone
Acido muriático (clorhídrico)	Hidrogeno en el cátodo y cloro y oxígeno en el ánodo	De la descomposición del agua se da como producto secundario el oxígeno
Ácido Hidriódico (Yodhídrico)	Hidrógeno en el cátodo y yodo y oxígeno en el ánodo	Yodo es el producto primario y la base es el producto secundario
Acido fluorhídrico y fluoruros	No se presenta una descomposición clara de este ácido	El ácido no se electrolizable, el agua se descompone
Ácido acético	Hidrógeno en el cátodo y dióxido de carbono y oxígeno en el ánodo	Predomina reacciones secundarias
Acido tartárico	Hidrógeno en el cátodo y mezcla de productos en el ánodo	Primarios y secundarios depende de concentración
Sustancias orgánicas	Productos complejos	Se descompone principalmente productos secundarios

Nota. Elaboración propia.

En las soluciones acuosas las reacciones secundarias son frecuentes. Prueba de eso son los experimentos de Davy que menciona Faraday, donde se obtuvo una cantidad de potasio metálico a partir de la electrólisis de soda e hidratos de potasa. Este producto se debe a una reacción secundaria. No aparece oxígeno, ni hidrógeno, pero estas reacciones secundarias no solo pasan cuando se tiene presencia de agua.

Un ejemplo que menciona Faraday son los cloruros fundidos, en los cuales el cloro reacciona con el platino del electrodo; esto es un efecto secundario. En el caso del protocloruro de estaño, el cloro ya no reacciona con el platino, sino que reacciona con el mismo compuesto, lo que da como resultado percloruro, en el caso de bórax fundido, no se descompone por la electricidad, pero sí reacciona con el sodio del cátodo, que posteriormente reacciona con el ácido bórico para hacer aparecer boro como efecto secundario.

Faraday afirma en el párrafo 781 que estas reacciones secundarias pueden complejizar el fenómeno de la electrólisis, pero esta es útil en el ámbito científico. Da ejemplos de científicos como Becquerel, donde consiguió obtener compuestos antes desconocidos e

imitar procesos naturales. Además, esto sirve para estudiar mejor la descomposición de las sustancias, ya que entrega información de la composición y estructura interna de las sustancias. Dado que la electricidad permite controlar diferentes variables, como la intensidad de corriente y el tamaño de los electrodos, entre otros, hace que este sea un método prometedor.

Parte 7. Sobre la naturaleza definida y el alcance de la descomposición electroquímica.

En esta sección Faraday comienza a anunciar su ley, la cual es validada por muchos experimentos con el voltaeletrometro y que es fundamental para la electroquímica, en especial para el caso del agua. Según Faraday (1839), la ley se expresó así: “El poder químico de una corriente de electricidad es directamente proporcional a la cantidad absoluta de electricidad que pasa” (§ 377).

Ahora Faraday busca analizar más detenidamente su ley y evidencia consecuencias prácticas. Para ello solo usará sustancias simples con mínimas reacciones secundarias, con la finalidad de tener los resultados más precisos y claros. Los experimentos confiables de esta ley son el agua, el ácido muriático y el ácido hidriódico, aunque para ácidos menos comunes como el ferrocianuro, hidrocianico, fluorhídrico y sulfocianuro, estos parecieran tener la misma confiabilidad y siguen la misma ley de acción electroquímica.

A diferencia de los experimentos anteriores, ahora Faraday busca donde no intervenga el agua. Para ello preparó el electrodo positivo de la siguiente manera: tomó un alambre de platino, el cual enrolló en una perrilla que estaba pesada, y selló el tubo de vidrio para aislarlo. Este estaba lleno hasta la mitad con protocloruro de estaño. Conectó al electrodo positivo al alambre de platino y el electrodo negativo estaba aislado. El tubo fue calentado para fundir el cloruro, todo ello para evitar alguna interferencia del agua.

El resultado fue que en el ánodo se libera cloro, que reacciona con estaño, para dar bicloruro de estaño, el cual se evaporó como humo en el cátodo y se libera estaño, que reaccionó con el electrodo de platino, es decir, una aleación. En consecuencia, el cloruro pudo ser medido

por la electrólisis. Se desconectó la batería y se dejó enfriar el tubo para separar el cloruro; se lavó y pesó la perilla, donde se evidenció un incremento en el peso por el estaño liberado y depositado, que es proporcional a la cantidad de electricidad.

Faraday da los datos concretos en el párrafo 791, antes y después del experimento. Al inicio, el electrodo negativo pesaba 20 granos; después 23,2, es decir, una diferencia de 3,2 granos. Con el voltaelemetro, se obtuvo una recolección de gases de la siguiente manera: para el oxígeno e hidrógeno obtuvo 3,85 pulgadas cúbicas, equivale a 100 pulgadas cúbicas de agua, es decir, 12,92 granos por porción. Son 3,85 pulgadas cúbicas, dando como resultado 0,497 granos descompuestos.

$$100 \text{ pulgadas}^3 \rightarrow 12,92 \text{ granos}$$

$$3,85 \text{ pulgadas}^3 \rightarrow x \text{ granos}$$

Por lo tanto;

$$x \text{ granos} = \frac{(3,85 \text{ pulgadas}^3)(12,92 \text{ granos})}{100 \text{ pulgadas}^3} = 0,497 \text{ granos}$$

Luego lo compara con el peso 3,2 granos del estaño depositado. En la época, Faraday usa el equivalente del agua que es 9, es decir, está compuesta por 8 equivalentes de oxígeno y 1 de hidrógeno, 0,497 granos corresponden al equivalente del agua que es 9. Faraday buscó la relación de 3,2 granos de estaño depositados a que valor equivale del agua. y le dio una equivalencia de estaño de 57,9. Este valor es cercano al actual de 58.

Por lo tanto;

$$x \text{ g} = \frac{(3,2 \text{ g})(9)}{10,497 \text{ g}} = 57,9$$

Esto muestra la precisión de su experimento. Se realizó 4 veces más con los protocloruros de estaño, y el gas despendido fue 2,05 a 10,29 pulgadas cúbicas. Realizó un promedio de equivalencia, dando como resulta que el estaño es 58,52.

Otra experiencia que hizo Faraday descrita en el párrafo 794, fue con cloruro de plomo, usando un electrodo de platino. Pero el cloro que aparece en ánodo reaccionó con el platino, permitiendo que una parte del platino se encontrara en el cátodo, es decir, no sería fiable los datos. Para evitar esto, uso una materia inerte como el plumbago (grafito) como ánodo. Este no reacciona con el cloro ni con el yoduro fundido. Este experimento lo repitió tres veces y su promedio de equivalencia electroquímica del plomo fue de 100,85, valor muy aproximado al actual de 103,5.

De aquí concluye Faraday que tanto el cloro como el plomo tienen cantidades definidas proporcionales a la cantidad de electricidad que pasa. Varios experimentos descritos por Michael por Faraday muestran dificultades para llegar a resultados confiables, por ejemplo, el caso de óxido de plomo donde también quiso medir el equivalente electroquímico del plomo, pero presentaba problemas como la alta temperatura requerida, la fluidez del óxido y el tubo se rompía rápido.

Para ello usó un crisol de porcelana que calentó con carbón, y así proteger el plomo en el cátodo. El tubo se colocó alrededor de electrodo negativo, y dejó expuesto un poco el plomo reducido para que quedara bajo la superficie y así tener de forma precisa la liberación de oxígeno. Aunque hizo todas estas correcciones, en el experimento, Faraday obtuvo un valor de 93,17, muy diferente al actual que es 103,5. Tal vez se debe al manejo del óxido fundido, que no fue el indicado.

Otro caso es borato de plomo, Faraday lo usó ya que es más estable, donde lo fundió y le pasó una corriente eléctrica. Aparece depositado en el cátodo plomo y en el ánodo oxígeno. Aquí el ácido bórico no se descompuso. El resultado fue una equivalencia electroquímica del plomo de 101,29 más cercano al 103,5.

El otro problema son las reacciones secundarias. En el caso del experimento de plomo, PbI_2 , se calentaron tubos de lámpara de alcohol, pero los resultados variaban mucho. Se puede deber a que el yodo reacciona con el plomo del electrodo negativo. En consecuencia, parte

del plomo vuelve y reacciona con el yodo, por lo que no se tiene una cantidad fiable depositada. Por ello no se pudo tener un resultado preciso. Faraday lo que hace es separar más los electrodos. Esto hace que las interferencias disminuyan considerablemente y da como valor de medición de 89,04, el cual no es bueno frente al actual de 103,5.

En el párrafo 804 usa describe el caso del protioduro de estaño. Este se descompone y conduce corriente. En el ánodo aparece estaño y en el cátodo, como efecto secundario, aparece periodice. El problema recae en la temperatura de fusión, que es muy alta, en consecuencia, no se puede tener un resultado confiable. Por otro lado, electroliza yoduro de potasio, donde el cátodo es un globo de plomo, con la finalidad de medir el potasio, pero vuelve a presentarse alta temperatura y se presentó una reacción con el vidrio.

Otra vez no se pudo obtener un resultado. Faraday también puso varias sustancias, como protocloruro de estaño, cloruro de plomo y agua en series, las descompuso usando corriente eléctrica. Lo que pudo evidenciar fue lo siguiente: encontró estaño y plomo en los electrodos, y gases de cloro, hidrógeno y oxígeno. Las cantidades estaban equivalentemente correctas a la acción electroquímica.

Faraday orientando por la ley de electrodescomposición, decide cambiar de enfoque y se hace la pregunta si existe una sustancia que sea capaz de cambiar la cantidad de sustancia que se produce en la electrólisis. Él considera que podría ser los electrodos, según lo que describe en el párrafo 807. Toma tres materiales con afinidades químicas diferentes: el platino no se combina con oxígeno, el cobre se oxida con ayuda de electricidad y el zinc que reacciona con el agua sin necesidad de corriente eléctrica.

Los usó como ánodos con una solución de ácido sulfúrico y se dio cuenta de que la cantidad de electrólisis no depende de la reactividad química de electrodo, sino solo de la corriente eléctrica, ya que en todas se descompuso la misma cantidad de agua y hubo la misma liberación de hidrógeno. Sin embargo, él quiere saber qué pasa si no usa agua y trabaja con sales fundidas en la electrólisis. Ejemplo de ellos son los cloruros derritió y electrodos de

plata. Aquí el cátodo gana plata, porque se reduce el cloro, y en el ánodo pierde plata, disminuye su tamaño. La cantidad que gana o pierde un electrodo con respecto al otro son exactamente iguales.

Él reconoce que hay un problema: la plata forma cristales a esa temperatura; en consecuencia, los electrodos se conectan accidentalmente, generando resultados no muy confiables. La solución es diseñar un tubo de vidrio con dos cavidades pequeñas con un electrodo fijo, con el fin de evitar la unión de los electrodos o cortocircuitos. Funde cloruro de plomo; este plomo es introducido a electrodo, siendo este el ánodo. En el cátodo se depositó una cantidad de plomo metálico. Gracias al resultado medido con el voltaelectrómetro, concluye que la electricidad transporta cantidades exactas de materia, aunque se usen sales fundidas.

En este experimento, el electrodo positivo había perdido tanto plomo como el negativo lo había ganado (795.), y la pérdida y la ganancia fueron muy similares a los equivalentes del agua descompuesta en el voltaelectrómetro, dando para el plomo el número 101,5. Es evidente, por tanto, en este caso, que una fuerte *afinidad*, o ninguna *afinidad*, por la sustancia producida en el *ánodo*, activa durante el experimento (807.), no produce variación en la acción definida de la eléctrica. (Faraday, 1839, ¶ 817).

Ahora Faraday repitió el experimento usando yoduro de plomo fundido. Observa que no se libera yodo y que en el ánodo se pierde la misma cantidad de plomo que se gana en el cátodo; es decir, la regla establecida por Faraday sigue cumpliéndose con otro haluro como el yodo. En el párrafo 819, Faraday usa protocloruro, donde el estaño metálico se forma en el cátodo, en la misma cantidad que pierde el ánodo. Él hace una anotación importante, ya que al revisar los electrodos observa que no son sólidos ni uniformes; para que la medición sea correcta es necesario examinarlos y limpiarlos. También reconoce que puede existir excepciones, como una baja afinidad, pero en sí no afecta la conclusión general:

Que el poder químico de una corriente de electricidad está en proporción directa a la cantidad absoluta de electricidad que pasa (377. 783.). Demuestran también que esto no sólo es cierto con una sustancia, como el agua, sino en general con todos los cuerpos electrolíticos; y, además, que los resultados obtenidos con cualquier sustancia no solo coinciden entre sí, sino también con los alcanzados con otras sustancias, combinándose todas en una serie de acciones electroquímicas definidas (505.). (Faraday, 1839, ¶ 821).

Gracias a los resultados derivados de la electrólisis, se pueden clasificar las sustancias basadas en su comportamiento según Faraday, donde se evidencia dos grupos grandes. Primero, los descomponibles por corriente eléctrica, es decir, los electrolitos, que siguen la ley de conducción eléctrica y no dependen de la naturaleza de sus elementos.

La otra categoría son los compuestos que no se descomponen al aplicar una corriente eléctrica. Los electrolitos tienen ciertas características; la primera, no son elementos puros sino combinados; la segunda, su comportamiento depende de la afinidad química; y tercero, se descomponen o dividen en proporciones definidas al usar electricidad. Además, él menciona su nueva terminología acerca de iones, cationes o aniones.

Un solo *ion*, es decir, uno que no esté en combinación con otro, no tendrá ninguna tendencia a pasar a cualquier de los electrodos y será perfectamente indiferente al paso de la corriente, a menos que sea él mismo un compuesto de iones más elementales, y así sujeto a la descomposición real. (Faraday, 1839, ¶ 826).

Él aclara como es el movimiento de estos iones: cuando se descompone, viajan según su carga; es decir, los aniones se dirigen al ánodo y los cationes al cátodo. Además, este movimiento debe ser simultáneo: si un ion va hacia un electrodo, el otro ion de carga opuesta también va al electrodo correspondiente. Siempre se cumple que un electrolito está compuesto por dos iones, uno positivo y otro negativo.

Otro detalle que resalta Faraday es que cada ion se transfiere en la misma proporción de electricidad aplicada; no puede ser ni más ni menos que su equivalente electroquímico, dado que son consistentes porque la cantidad de sustancia descompuesta por la corriente eléctrica es exactamente proporcional a su reacción química. Según Faraday (1839) postula “Los equivalentes electroquímicos coinciden y son iguales con equivalentes químicos ordinarios” (¶ 836).

Hay algunas sustancias como el ácido bórico que se pueden comportarse como un ion, pero no se descomponen por la electricidad, es decir, no liberan sus elementos. Por otro lado, la

naturaleza de la materia del electrodo no influye en cuánta cantidad descompuesta se puede obtener, aunque estos pueden reaccionar con el ion. En cambio, si la reacción ocurre en líquido, es necesario investigar a que se debió. Los iones pueden ser compuestos, es decir, no son equivalentes exactos o iones simples. Ejemplo de ellos son los ácidos como el sulfúrico, bórico y fosfórico.

Estos permiten deducir los equivalentes electroquímicos a partir de los productos liberados, porque se conoce su composición química, si son descomponibles. Incluso los productos secundarios también permiten medir el equivalente, ya que muestran la cantidad de electricidad aplicada, aunque Faraday aconseja que se deben evitar interferencias ya que dificulta determina la precisión entre la cantidad de sustancia descompuesta y la cantidad de electricidad usada.

Faraday aclara que simplemente hizo correcciones en sus experimentos para tener resultados más precisos y una forma de refinar los equivalentes electroquímicos. Esto se evidencia en la siguiente tabla que postula Faraday, la cual no es la definitiva, sino su primer intento para acercarse a los datos de equivalencia. Además, los datos no son exclusivos de sus investigaciones, sino que también se basan en resultados de otros químicos. Los datos están en el párrafo 847, la cual está organizada aniones y cationes, sustancias que puede ser simples, es decir, en elementos. Por otro lado, presenta compuestos, como cianógeno o sulfocianógeno.

Oxígeno.....8	Ácido selénico.....64	Ácido tartárico.....66
Cloro.....35,5	Ácido nítrico.....54	Ácido cítrico.....58
Iodo.....126	Ácido clorhídrico.....75,5	Ácido oxálico.....36
Bromo.....78,3	Ácido fosfórico.....35,7	Azufre (?).....16
Flúor.....26	Ácido carbónico.....22	Selenio (?).....
Cianuro.....2	Ácido bórico.....24	Sulfocianuro.....
Ácido sulfúrico.....40	Ácido acético.....51	
Hidrógeno.....1	Cadmio.....55,8	Soda.....31,3
Potasio.....39,2	Cerio.....46	Lithia ⁶¹18
Sodio.....23,3	Cobalto.....29,5	Barita ⁶²76,7
Litio.....10	Níquel.....29,5	Estroncia ⁶³51,8
Bario.....68,7	Antimonio.....64,6?	Lyme ⁶⁴28,5
Estroncio.....43,8	Bismuto.....71	Magnesia ⁶⁵20,7
Calcio.....20,5	Mercurio.....200	Alúmina ⁶⁶(?)
Magnesio.....12,7	Plata.....108	Protóxidos en general.....
Manganeso.....27,7	Platino.....98,6?	Quinina ⁶⁷171,6
Zinc.....32,5	Oro.....?	Cinchona ⁶⁸160
Estaño.....57,9	Amoníaco.....17	Morfina.....290
Plomo.....103,5	Potasa.....47,2	Álcalis vegetales en general
Hierro.....28		
Cobre.....31,6		

Ilustración 4: primer intento de Faraday para establecer equivalentes electroquímicos, a partir de datos experimentales propios o de otros científicos de la época.

Estas cumplen con la característica de que, en un proceso de electrólisis, la electricidad las trata como entidades completas e indivisibles. El segundo grupo son ácidos, bases y sustancias que sean similares. Esta no reacciona con sustancias simples como el oxígeno o el hidrógeno, pero sí reaccionan entre sí.

Además, Faraday plantea la posiblemente todos los compuestos y elementos actúan como iones, que están sometidos por fuerzas eléctricas, teniendo una afinidad química. Estas leyes que rigen la electrólisis permiten calcular los pesos atómicos mediante las relaciones de los equivalentes electroquímicos.

2.4. Referentes Pedagógicos

El fundamento pedagógico de esta propuesta se sustenta en una concepción de la enseñanza de las ciencias en la que la actividad experimental ocupa un lugar central en la construcción del conocimiento, El análisis histórico desarrollado sobre la relación materia y la electricidad evidencia que los experimentos realizados por Humphry Davy y Michael Faraday no solo permite responder las preguntas de la época, también dan origen a nuevas formas de comprender los fenómenos.

En este sentido, las practicas experimentales, el análisis de las investigaciones históricas y la interpretación que realiza el docente son herramientas que favorecen la formulación de preguntas, la construcción de explicación en el aula y la problematización de los fenómenos. Así la enseñanza de las ciencias deja de concebirse como una transmisión de conceptos y se convierte en una oportunidad para comprender como se forma el conocimiento científico.

Desde esta perspectiva, las ideas de Ian MacDougall Hacking (1936-2023), permiten comprender que la ciencia no solo es una construcción de teorías o unas aproximaciones que representan el mundo, sino que además esta tiene la capacidad de intervenir en el fenómeno por medio de la experimentación. Dado que permiten controlar las condiciones en las que se observan los fenómenos, así como el ser reproducibles y modificados, es decir, el desarrollo de la ciencia es una práctica en que la intervención se vincula con la teoría, con el objetivo de validar el conocimiento.

En ese sentido, el análisis histórico del concepto de electricidad en el siglo XIX, la cual se enfoca en los experimentos de la electro descomposición por Michael Faraday y Humphry Davy, permite controlar las condiciones del experimento sobre el fenómeno de la descomposición de sustancias por medio de la electricidad, no son solo demostraciones que buscan la comprobación de teorías preexistentes, sino que trabaja en un realismo práctico, a partir de ello, se generan leyes con relación a la materia y la electricidad, lo que permite aislar elementos antes desconocidos.

Es decir, Faraday y Davy por medio de la descomposición apoyan la idea en que la ciencia está más vinculada con las entidades que con las explicaciones teóricas, puesto que las prácticas de laboratorio respaldan las entidades, dando que son manipulables, en cambio las teorías estrictas pueden variar o ser modificadas a lo largo de la historia. En este caso, la corriente eléctrica, los electrodos, las especies cargadas que participan en la electrólisis y los productos obtenidos constituyen entidades científicas, no es solo un concepto, sino una entidad cuyo estatuto permite intervenir sobre la materia y transformar sustancias.

No obstante, estas prácticas experimentales adquieren sentido cuando se entiende dentro del proceso histórico en las que fueron desarrolladas. Por eso los aportes de Ludwik Fleck (1896-1961), permiten reconocer que el conocimiento científico es el resultado de un proceso de construcción colectivo, en la cual intervienen diferentes comunidades de investigadores que comparten una forma diferente de interpretar los fenómenos. Los conceptos científicos no se entienden como una verdad absoluta, en cambio es una construcción histórica que cambia a través del tiempo. Esta propuesta permite comprender cómo las explicaciones sobre la relación entre materia y electricidad durante el siglo XIX fueron cambiando progresivamente a partir de diferentes científicos como; Galvani, Volta, Davy, Faraday, Maxwell y J.J. Thomson.

En su obra *la Génesis y el desarrollo de un hecho científico*, introduce los conceptos de: colectivo de pensamiento y estilo de pensamiento. El primero se refiere a la comunidad de personas que comparten conocimientos y prácticas científicas, y el segundo se refiere a las formas de interpretar y comprender los fenómenos dentro de esa comunidad. Es decir, para Fleck (1986), lo que en una época se considera un hecho científico depende del estilo de pensamiento.

Tomando en consideración este aporte de Fleck, la secuencia didáctica busca que los estudiantes reconozcan ese carácter histórico dentro de un colectivo de pensamiento científico. A través de un análisis de fuentes originales de los experimentos de la electrólisis,

con la finalidad de que favorezca la comprensión de cómo las explicaciones científicas han sido modificadas y construidas a través del tiempo.

Para que de esta manera los conceptos científicos sean el resultado de todo un proceso histórico y de producción de conocimiento, que actualmente hacen parte de la química y la física. Complementarias, desde Hacking, se busca comprender que los experimentos desempeñan un papel activo en esa construcción, pues permiten intervenir los fenómenos, generar nuevas evidencias y consolidar las explicaciones científicas.

Finalmente, la propuesta de Bruno Latour (1947-2022), amplía esta perspectiva, plantea que la producción de conocimiento científico no ocurre únicamente de la comunidad de investigadores, sino de las redes que relacionen la intervención de laboratorios, instituciones, instrumentos y fenómenos naturales. Desde esta perspectiva, el conocimiento científico no son únicamente explicaciones teóricas, sino el resultado de un proceso de múltiples interacciones de elementos. Esto resulta relevante para el análisis histórico, ya que, con los aportes de diferentes científicos, se vincula estrechamente con las prácticas desarrolladas.

En su obra *la vida en el laboratorio*, Latour y su compañero Steven Woolgar (1950) estudian el trabajo de un laboratorista. Estos autores observan que las actividades de los investigadores no aparecen simplemente por observar la naturaleza, sino por qué son construidas mediante prácticas experimentales, instrumentos, registros, publicaciones, discusiones e interpretaciones.

En consecuencia, el estudio histórico de la electrólisis y el desarrollo de actividades experimentales, permiten que los estudiantes comprendan el conocimiento científico como el resultado de un proceso de construcción permanente, en el que la experimentación y la interpretación esta relacionadas.

La propuesta desarrollada en esta investigación incorpora actividades experimentales, la cual permite a los estudiantes interpretar la electrólisis como un fenómeno, cuyo conocimiento se

desarrolla mediante la interacción entre observaciones, instrumentos y procedimientos experimentales, no únicamente como un conjunto de conceptos teóricos.

3. Marco Metodológico

3.1. Enfoque del proyecto

Se diseñan actividades para el aula que involucren componentes históricos y experimentales, acerca de un tema de relevancia, como la electricidad, favoreciendo la comprensión de hechos históricos y el trabajo en equipo, al comparar posturas de los científicos e interpretar textos científicos. Además, se promueve la conexión teórico-práctica dentro del componente histórico-epistemológico, desde una forma descriptiva de las diferentes concepciones de electricidad durante el siglo XIX y su aplicación experimental en el aula.

3.2. Fases metodológicas del proyecto

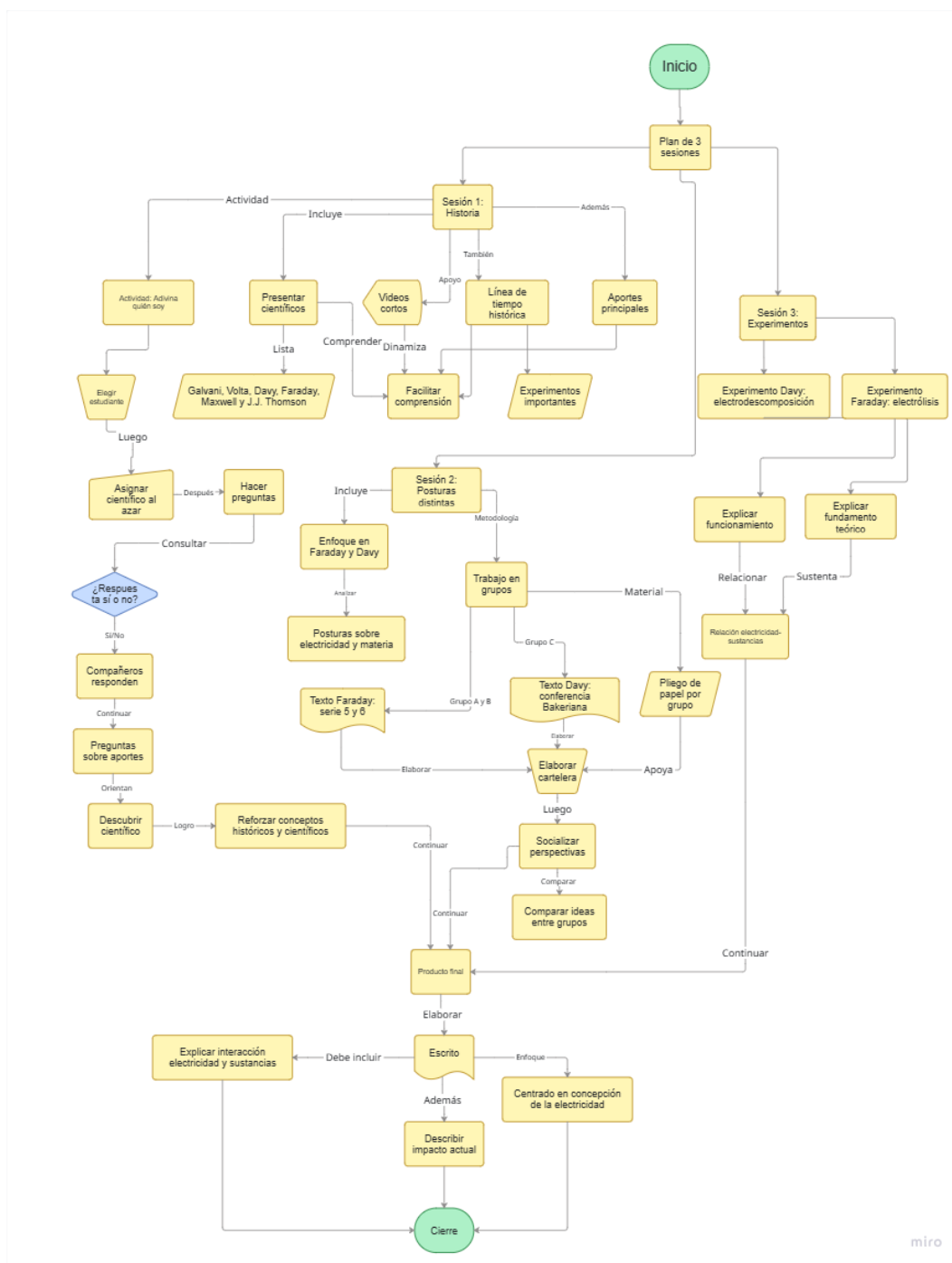
3.2.1. Fase de diseño y estrategia didáctica

Para el proyecto se ha hecho una revisión y un análisis histórico de textos de los científicos, con los cuales se ha logrado hacer una primera interpretación y comparación de los distintos desarrollos acerca de las concepciones sobre la electricidad en el siglo XIX. Eligiendo diferentes académicos de la época como: Galvani, Volta, Davy, Faraday, Maxwell y Thomson, que desarrollaron experimentos para establecer la concepción de la electricidad.

Se vincula al proyecto, con el objeto de comprender su carácter contrastante, lo que conlleva a transformaciones profundas en los paradigmas de la ciencia. Estos cambios o anomalías no surgen de manera aislada, sino por el resultado de cuestionar ideas establecidas. Para el análisis histórico, se tomará como ejemplo central el trabajo de Michael Faraday y Humphry Davy, los cuales realizaron investigaciones fundamentales en la electrólisis. A partir de sus aportes se diseñaron diferentes actividades para el aula, estructurada en varias fases.

A continuación, se presenta un gráfico que describe las tres fases con sus respectivas actividades. En primer lugar, se realizó una contextualización histórica de la época acerca de la electricidad que comprendan las condiciones científicas y tecnológicas en las que se desarrollaron los experimentos. En segundo lugar, se trabajó un taller que incluía fragmentos de los escritos de los científicos que los estudiantes analizaron para comprender la construcción original. Finalmente se llevó a cabo una actividad experimental la cual relaciona electricidad y materia de manera práctica.

Diagrama 1 Actividades realizadas, las cuales, representan las fases del proyecto.



Nota. Elaboración propia.

La propuesta didáctica se desarrolló en tres momentos articulados. En primer lugar, la contextualización histórica. En segundo lugar, textos históricos de las concepciones de los científicos y finalmente prácticas de laboratorio. En el siguiente cuadro se presentan los objetivos, los logros esperados, el planteamiento del problema y las estrategias de enseñanza correspondientes a cada momento.

Tabla 5 *Resumen de la estrategia didáctica.*

Fase	Objetivo	Logros esperados	Planteamiento del problema	Estrategia
Contextualización del siglo XIX	Reconocer los principales aportes de los científicos que trabajaron alrededor de la electricidad y su relación con la materia en el siglo XIX, desde sus interpretaciones las cuales están sujeto a reformulaciones, demostrando que la ciencia no es un proceso lineal sino dinámico en constante evolución.	Se buscó que el estudiante asocie a cada científico con sus contribuciones y explicaciones sobre la electricidad y la interacción con la materia, y cómo las interpretaciones iniciales van cambiando a lo largo de la historia.	La falta de contextualización limita que los estudiantes reconozcan las ciencias como un proceso histórico. En consecuencia, no se identifican los aportes de los científicos y cómo la ciencia no es un conocimiento absoluto, sino que está en continua construcción dentro de la comunidad científica.	En la primera sección se realizó una fase introductoria a la historia de la electricidad con los aportes trabajados por varios científicos (Galvani, Volta, Davy, Faraday, Maxwell y J.J. Thomson). Se presentó a los estudiantes una línea de tiempo en la que se abordaron experimentos históricos importantes (Anexo 1). Además, el desarrollo de la línea de tiempo estuvo acompañado con videos cortos, lo que hizo que la clase fuera más dinámica y se facilitara la comprensión. Para reforzar lo previamente visto, se realizó una actividad lúdica llamada “Adivina quién soy”. Se eligió un estudiante para pasar al frente. Luego, se le asignó al azar el nombre de un científico. El estudiante hizo preguntas a sus compañeros, quienes solo podían dar respuestas cerradas de si o no, con el fin de descubrir qué científico le fue asignado. Las preguntas pueden estar relacionadas con los aportes del científico o la concepción de la electricidad. Esta dinámica permitió reforzar conceptos históricos y científicos que se habían destacado en la línea del tiempo.

Textos históricos de las concepciones de los científicos	Analizar experimentalmente como se explica la concepción de la electricidad. En primer lugar, desde la idea de fuerza que vence la afinidad química (Davy) y, en segundo lugar, la electricidad entendida como un agente capaz de transformar la materia, lo cual permite establecer las leyes de la electrólisis (Faraday).	Se busca que el estudiante analice fragmentos de textos históricos y establezca una relación entre los fenómenos observados, con las explicaciones teóricas de los científicos sobre la electricidad y su interacción con la materia, bajo el marco teórico de su contexto histórico. En este sentido, las interpretaciones deben configurarse dentro de las concepciones científicas de su época.	En las enseñanzas de la ciencia usualmente se presenta a los estudiantes interpretaciones de otros autores, en lugar de los textos originales de los científicos, lo cual puede limitar la comprensión de la concepción de la electricidad en su contexto histórico y cómo se entendía el fenómeno durante el siglo XIX.	En la segunda sección se enfocó en el estudio de dos científicos acerca de la electricidad y su relación con la materia: Michael Faraday y Humphry Davy. Para ello, se trabajó en tres grupos con fragmentos de los siguientes textos: • Serie V y Serie VII de investigaciones experimentales en electricidad de Michael Faraday. • <i>Bakerian Lecture</i> sobre las relaciones de los cambios eléctricos y químicos de Humphry Davy. Posteriormente, se le entregó a cada grupo un pliego de papel para la elaboración de una cartelera sobre una lectura y se socializaron las diferentes perspectivas.
Prácticas de laboratorio	Analizar experimentalmente cómo se relaciona la concepción de la electricidad del siglo XIX, desde la idea de fuerza que vence la afinidad química (Davy) y la formulación cuantitativa según las leyes de electrólisis (Faraday).	Mediante estas prácticas experimentales se buscó que los estudiantes relacionaran, observación, conceptualización y explicaciones teóricas, dadas por los científicos en el siglo XIX, Humphry Davy y Michael Faraday, dónde la electricidad está directamente involucrada en la transformación de la materia.	En la práctica de laboratorio se suele enfocar únicamente en los procedimientos y en la observación de resultados, donde los estudiantes simplemente siguen instrucciones sin integrar el contexto histórico y epistemológico. En consecuencia, las explicaciones científicas pueden derivar en la limitación del aprendizaje, puesto que se reduce las interpretaciones sobre la descripción del fenómeno como la electricidad.	En la tercera sección se realizó los experimentos de electrólisis, que se vincula a la concepción de la electricidad en el siglo XIX, correspondientes a los científicos seleccionados: Michael Faraday y Humphry Davy. Además, se explicó el funcionamiento de cada experimento y el fundamento teórico. Por último, el producto final consistió en la elaboración de un escrito de cada estudiante, en el que se explique cómo interactúan la electricidad y las sustancias, así como el impacto o las contribuciones en la actualidad, centrado en la concepción de la electricidad.

Nota. *Elaboración propia.*

3.3. Grupo de implementación de la actividad

Para la aplicación de la estrategia didáctica y con base en el plan de estudios del programa académico de la licenciatura en química de la Universidad de Pedagógica Nacional (UPN), se selecciona el curso de quinto semestre, espacio académico historia y epistemología de la química.

3.4. Resultados y Análisis de la estrategia en el aula

El trabajo de investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo e interpretativo, dado que se buscó comprender cómo los estudiantes construyeron sus explicaciones y relacionan los conocimientos científicos con los aspectos históricos abordados en la propuesta. Adicionalmente, para la recolección de información se contó con los ensayos realizados por los estudiantes y las diferentes actividades de la estrategia de intervención en el aula diseñada. El análisis de la información se centró en la comprensión del concepto de la electricidad teniendo en consideración el contexto histórico del siglo XIX.

Para la evaluar el ensayo argumentativo se utilizó una rúbrica elaborada de acuerdo con los objetivos de la propuesta. Los criterios de esta rúbrica permiten organizar la información y reconocer los avances y las dificultades presentes en los estudiantes. De manera que la información recolectada sea coherente con objetivos y criterios.

3.4.1. Línea de tiempo sobre contextualización del siglo XIX.

En cuanto al análisis de la primera fase se presentaron diferentes niveles en las preguntas que realizó cada estudiante a sus compañeros:

-Primer nivel - alto, preguntas relacionadas con los aportes de los científicos a la explicación de la electricidad de una forma clara y precisa. Este tipo de preguntas no se presentaron en ningún caso.

-Segundo nivel - medio, preguntas que mostraron un reconocimiento de los aportes por medio de una explicación parcial o una palabra muy específica. Por ejemplo: *Pila de Volta, electrón, británico, patas de rana*.

-Tercer nivel, donde se hicieron preguntas que evidenciaron una dificultad para relacionar el aporte de la explicación teórica con el científico. Este caso se presentó en dos estudiantes.

3.4.2. Taller de Textos históricos de las concepciones de los científicos

Para la siguiente actividad, se diseñaron talleres sobre los escritos de Faraday y Davy (Anexo 2). En el siguiente cuadro se presentan las preguntas y respuestas sobre algunos de los fragmentos del taller que los estudiantes elaboraron.

Tabla 6 Fragmentos y preguntas del taller.

Fragmentos	Preguntas y Respuestas		
	1	2	3
Se observó la aparición de materia ácida y alcalina en el agua sometida a un flujo de electricidad. En las superficies metálicas electrificadas opuestas, en los primeros experimentos químicos realizados con la columna de Volta (Davy, 1807, p.7)	Según el fragmento ¿qué papel juega la electricidad en la separación de sustancias? La electricidad es importante en la separación de sustancias porque permite la descomposición de las sustancias involucradas en una mezcla en más simples, rompiendo enlaces más fácilmente.	Explica ¿por qué aparecen ácido y álcali en polos opuestos? En los polos opuestos aparece ácido o alcalino por la presencia de iones en movimiento que pueden generar un carácter ácido o básico en cada polo.	Si el agua hubiera contenido impurezas ¿cómo podría afectar la observación según las impurezas presentes en el agua? Se pueden presentar afectaciones distintas, como por ejemplo si la impureza es sal podría afectar la coloración del indicador, con bicarbonatos como contaminante el pH, la resistencia a cambiar, en el caso del hierro cambiaría el color del agua afectando ver el tono del indicador.
La tensión de la electricidad de máquina hace que, aunque sea poca en cantidad pase a través de cualquier longitud de agua soluciones u otras sustancias conductoras tan rápido como pueda producirse y por lo tanto en relación con la cantidad tan rápido como podría haber pasado por porciones mucho más cortas del mismo conductor (Serie 5, Faraday, 1834, ¶ 453).	¿Qué tipo de sustancias pueden conducir electricidad según Faraday? Todas las sustancias polares capaces de generar diferencia de potenciales.	¿Por qué la longitud del conductor no afecta la velocidad de paso de la electricidad en este caso? Porque toda la cuerda al estar recubierta del mismo material permite un flujo constante del potencial eléctrico.	

La acción química aparece en los electrodos porque allí concluye el recorrido de las partículas transportadoras; la corriente no descompone el trayecto, sino en los extremos de su curso (Serie 7, Faraday, 1834, ¶ 676).	¿Dónde ocurre la reacción química? La reacción química ocurre principalmente en los electrodos es decir el ánodo y el cátodo.	¿Por qué no ocurre en la solución no ocurre? Porque el interior del electrolito funciona sobre todo como un medio o de transporte de iones no como el lugar principal donde se intercambia electrones	¿Qué muestra esto sobre la naturaleza de la electrólisis? Esto demuestra que la electrólisis es un proceso electroquímico interfacial y dirigido no una simple descomposición homogénea en toda la solución
Una solución nitro-muriática de oro apareció en el tubo que contenía el cable positivo, o el cable que transmitía la electricidad, y una solución de sosa en el tubo opuesto; pero pronto confirmé que el ácido muriático debía su aparición a las sustancias animales o vegetales empleadas (Davy, 1807, p.8)	Identifica ¿qué productos aparecen en el Polo positivo y negativo? y ¿justifica por qué? En el Polo positivo apareció una solución ácida y en el Polo negativo aparece una sustancia básica porque hay una reacción de óxido reducción donde el cátodo consume hidrógenos disminuyendo la acidez y por eso aparece base Sosa y en el ánodo positivo no consume los hidrógenos manteniéndose ácido.	¿Qué indica la aparición del ácido muriático respecto a la pureza de los materiales? Indica que la solución hay presencia de diones cloros lo que evidencia que los materiales no son completamente puros o existen contaminación en el sistema.	Relación a este hallazgo con la regla de polaridad de los elementos observada por Davy. Según Davy los componentes de una sustancia tienen naturaleza eléctrica se separan bajo la acción de una corriente la aparición del ácido muriático y la migración de los iones hacia polos opuestos confirman la regla de la polaridad.
Los trozos de papel tornasol y cúrcuma se colocaron hasta ahora sobre placas de vidrios separado y conectados por una cuerda aislante y un metros y 20 cm a las 11 la máquina aparece la misma de ácido y alcalino que en el caso anterior ya fuera que el punto descomposición contacto con el 3 de descarga tocará el papel de cúrcuma sobre el conductor principal o estuviera conectada a través de la cuerda de 20 m el punto de álcali con igual número de vueltas de la máquina tenía igual intensidad de color(Serie 5, Faraday, 1834, ¶ 455)	¿Qué papel tiene los indicadores como tornasol y cúrcuma en la electrólisis? Pues tienen los indicadores como tornasol y cúrcuma en la electrólisis Para determinar hacia que Polo tiende la electricidad.	¿Qué demuestra este experimento sobre la electricidad que pasa por un conductor largo? Que la electrólisis no depende de la longitud del conductor.	¿Qué demuestra este experimento sobre la relación entre cantidad de electricidad y descomposición química? La descomposición química de una sustancia depende de la cantidad de electricidad que se le suministra.

Si bien en los primeros experimentos se suponía que el agua era esencial para la descomposición electroquímica, ahora se ha demostrado que otros cuerpos pueden conducir electricidad y producir efectos incluso mayores que el agua (Serie 7, Faraday, 1834, ¶ 669)	¿Qué otros cuerpos además del agua puede ser electrolitos? Además del agua puede ser electrodos muchas sustancias que al estar fundidas o disueltas generan iones capaces de transportar corriente como sales bases ácidos sales fundidas.	¿Por qué es importante reconocer que el agua no es el único electrolito? Es importante porque aplica la comprensión de la electrólisis y evita pensar en este fenómeno depende exclusivamente del agua.	¿Cómo influye el tipo de electrolito en los efectos de la electrólisis? El tipo de electrolito influye directamente porque determina qué iones están presentes qué tan fácil se descarga en los electrodos qué productos primarios se forman y qué reacciones pueden ocurrir este tipo de electrolito define tanto la naturaleza como la intensidad de los efectos observados en la electrólisis.
Fueron llenados con agua destilada y expuestos mediante dos alambres de platino a una corriente eléctrica de 150 pares de placas de cobre y zinc., Después de 48 horas se examinó el proceso: el papel teñido con tornasol. se tonó inmediatamente rojo (Davy, 1807, p.9)	Explica ¿cómo se relaciona el cambio del papel tornasol con la electricidad aplicada? El cambio de color nos indica que al aplicar electricidad a una sustancia se puede separar y viajar hacia los polos donde le dan un carácter ácido ya sea básico.	¿Por qué es importante usar alambres de platino en este experimento? Es importante usar alambres de platino porque es un material resistente a la corrosión y muy buen conductor evitando que las sustancias que están en contacto con ellos no generen cambio alguno.	Si se usará agua con sales disueltas ¿cómo se podría variar los resultados? Si se usa agua con sal este de altas el pH puede variar en cada electrodo en el caso el medio se vuelve básico y el tornasol cambia azul mientras que en el ánodo el medio se vuelve ácido y el tornasol cambia a rojo.
Intenté usar esta facilidad de transmitir la corriente a través de cualquier longitud de conductor para investigar el movimiento de los elementos en un cuerpo que se descompone, en direcciones opuestas hacia los polos. Finalmente, se utilizó un trozo de cuerda de veinte metros de largo. Estaba en el aire con suspensores de seda, de modo que la electricidad pasaba por toda su longitud: la descomposición ocurrió exactamente como los casos anteriores, apareciendo álcali y ácido en los dos extremos en sus lugares correspondientes (Serie 5, Faraday, 1834, 265)	¿Qué sucede con la electricidad cuando atraviesa un conductor largo? La electrólisis logra la descomposición correcta ya que la longitud del conductor no afecta el flujo de El potencial eléctrico.	¿Dónde se forman los productos de la descomposición en la electrólisis? En los polos depende de la carga de las sustancias se dirigen hacia el ánodo o el cátodo.	¿Por qué fuera de ahí aisló la cuerda con seda? Para mantener constante la capacidad de flujo de la electricidad.

La acción de la corriente eléctrica sobre las sustancias puede ser muy compleja: los productos pueden formarse por acción directa de la corriente o por interacción de sustancias liberadas durante la electrólisis, y múltiples reacciones puede ocurrir simultáneamente y en proporciones variables (Serie 7, Faraday, 1834, ¶ 777)	¿Qué diferencia hay entre los efectos primarios y secundarios? La diferencia principal es que los efectos primarios son los productos que se forman directamente por la acción de la corriente eléctrica sobre electrolito es decir son el resultado directo de la descomposición de las sustancias primarios productos directos de la electrólisis secundarios productos derivados de reacciones posteriores entre los productos cromados.	¿Por qué pueden ocurrir múltiples reacciones? simultáneas en la electrólisis? Pueden ocurrir múltiples reacciones simultáneas porque en la electrólisis no solo sucede la descomposición de los iones en los electrolitos, sino que además los productos de liberados pueden seguir reaccionando con otras sustancias presenten en la solución con el solvente incluso entre sí.	Da un ejemplo de un efecto secundario en un electrolito complejo. Un ejemplo puede ser lo que ocurre en una solución acuosa de cloruro de sodio efecto primario puede liberarse cloro y en el cátodo de hidrógeno efectos secundario el cloro liberado puede reaccionar con el agua y formar ácido hipocloroso y así ha sido clorhídrico o producir hipocloritos.
Era muy probable que el ágata contuviera alguna porción mínima de materia salina, no fácilmente detectable por análisis químico, ya sea en combinación por análisis químico, ya sea en combinación o adherida íntimamente en sus poros. (Davy, 1807, p.9)	¿Cómo podrías las impurezas afecta los resultados de los experimentos eléctricos? Las impurezas pueden acelerar experimentos o generar sustancias totalmente diferentes a las esperadas incluso tóxicas.	Relaciona la observación de Davy sobre el ágata con la necesidad de pureza en química experimental. La necesidad de pureza en química experimental ayuda no solo controlar de una mejor manera el experimento a desarrollar sino también se espera una tasa óptima de los resultados.	¿Por qué Davy considera importante notar incluso cantidades muy pequeñas de sal todavía considera importante notar incluso cantidades muy pequeñas de sal? Porque estas pueden generar cambios significativos en el desarrollo del experimento.
La gran diferencia entre la electricidades obtenidas de estas dos fuentes es la alta tensión o la que puede elevarse la pequeña cantidad producida por la máquina y la enorme cantidad 37 1 3 7 6 que puede obtenerse de la electricidad de baja tensión suministrada por la pila de voltaica pero dada que sus acciones ya sean magnéticas químicas o de cualquier otra naturaleza son especialmente las mismas 360 era evidente que podríamos razonar sobre la máquina para comprender cómo actúa la pila Faraday (Serie 5 Faraday 1834, ¶ 451).	¿Cuál es la diferencia entre la máquina eléctrica y la pila de Volta? La máquina eléctrica funciona por fricción la pila de bolsa funciona mediante reacciones químicas.	¿Qué significa que sus efectos sean esencialmente los mismos? Determinada por todas las fuentes de electricidad llegan a producir el mismo efecto químico en las sustancias independientemente de su tensión.	¿Cómo afecta la tensión a la electricidad que pasa por un conductor? La cantidad de electricidad es diferente, pero causa el mismo efecto en las sustancias químicas.

He creído necesario introducir en estas investigaciones un término preciso para referirme a los puntos de contacto de la electricidad con las sustancias, y he propuesto usar el termino electrodo en lugar de polo, ya que el agua, aire y otros cuerpos pueden ser afectados por la corriente eléctrica. Esto permite un análisis más exacto de la descomposición electroquímica (Serie 7, Faraday, 1834, ¶661)	¿Por qué Faraday prefiere usar el término electrodo en lugar de Polo? Con el fin de explicar cómo la electricidad interactúa con distintas sustancias y no solo con el agua.	¿Qué tipo de sustancia puede ser afectada por la electricidad según Faraday? El agua el aire y otros cuerpos electrólisis.	¿Qué permite este cambio de términos en la investigación de la electrólisis? Al introducir un término preciso para referirse a los puntos de contacto de la electricidad con las sustancias describe su comportamiento cuando circula corriente eléctrica a través de un electrolito
---	---	---	---

Nota. Elaboración propia.

Análisis grupo de Davy

Se evidenció que los estudiantes reconocieron que la electricidad es un agente, capaz de separar sustancias y que las impurezas pueden afectar algunos resultados experimentales. Sin embargo, se observa que varias respuestas incorporaron conceptos de la química moderna, como las reacciones de óxido-reducción y el pH.

Esto indica que el fenómeno es interpretado a partir de los conocimientos científicos actuales de los estudiantes, no desde el contexto histórico en el que Humphry Davy formuló sus explicaciones sobre la electricidad, como una fuerza capaz de vencer la afinidad química, sin recurrir a modelos atómicos modernos. Esta situación resalta la importancia de integrar la historia en la enseñanza de las ciencias, ya que la comprensión del fenómeno no está vinculada a su construcción histórica, ni a las condiciones conceptuales bajo las cuales fueron desarrolladas originalmente.

En cuanto a la cartelera elaborada por los estudiantes, se observa una clara distinción entre un lado ácido y un lado alcalino, representada mediante ejemplos como el ácido nítrico y el hidróxido de sodio. No obstante, es importante señalar que, aunque los términos ácidos y base ya existían en la época de Davy, su comprensión era muy diferente de la actual.

En aquel momento, estos conceptos se entendían principalmente de manera empírica, a partir de propiedades observables como sabor, el olor o sus efectos sobre determinados materiales.

Por ejemplo, algunas sustancias de sabor agrio eran asociadas con los ácidos. En consecuencia, los estudiantes están realizando una interpretación contemporánea de conceptos que, en el contexto histórico analizado, poseían significados distintos y menos desarrollados que los aceptados por la química moderna.

Asimismo, en la representación gráfica del montaje experimental se evidencia un error conceptual, ya que el circuito aparece abierto, lo que impediría el flujo continuo de la corriente eléctrica para que ocurra el fenómeno descrito. Este aspecto sugiere que, aunque los estudiantes reconocen algunos elementos fundamentales del experimento, presentan dificultades para representar adecuadamente su funcionamiento.

Por otra parte, la cartelera señala que el papel tornasol se torna rojo en el polo positivo, asociándolo correctamente con un medio ácido. Sin embargo, no se menciona ni se representa el cambio de color esperado en el polo negativo, donde debería evidenciarse la formación de un medio alcalino básico. Esta omisión limita la comprensión integral del fenómeno y sugiere que la atención de los estudiantes se centró principalmente en la producción de sustancias ácidas, dejando de lado la interpretación de los cambios ocurridos en el otro electrodo.

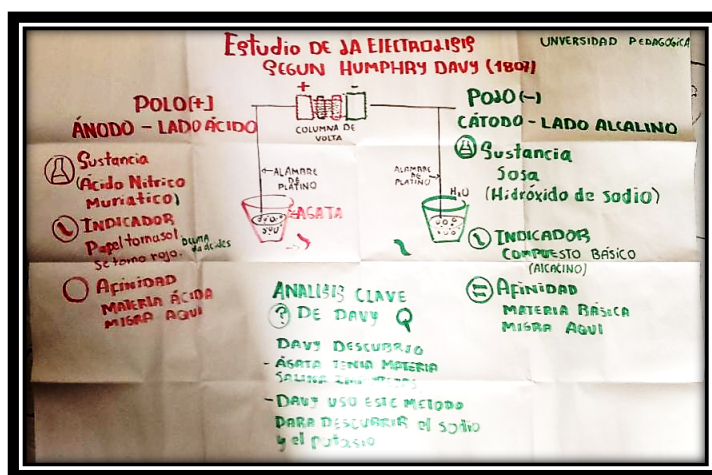


Imagen 1: cartelera del grupo de Humphry Davy 3.

Análisis grupo de Faraday serie 5

Los estudiantes identifican que la electricidad es capaz de generar transformaciones en la materia, independientemente de la fuente, ya sea una máquina electrostática o una pila de Volta. Se puede decir que reconocen ciertos fenómenos, como la separación de sustancias en polos opuestos y la formación de productos de carácter ácido o básico.

Por otro lado, vale resaltar que sus respuestas son de un nivel descriptivo, es decir, no profundizan en la idea central de la lectura, sino que se limitan a mencionar los efectos observados. Se puede concluir que se trata de una comprensión parcial del fenómeno, ya que no logran establecer relaciones como la equivalencia de efectos entre diferentes fuentes, la migración de sustancias hacia los electrodos o la idea de la electricidad como magnitud cuantificable.

En cuanto a la cartelera se puede presenciar el uso de términos que no pertenecen a la época de Michael Faraday, ya que conceptos como orbitales cuánticos o electrones corresponden a la física del siglo XX. En contraste, Faraday describía la conducción eléctrica en términos macroscópicos, es decir, la electricidad como un fenómeno relacionado con la capacidad de ciertos materiales para permitir el paso de la corriente.

La afirmación de que la distancia entre los electrodos no afecta la transferencia de electrones no es del todo correcta desde la física moderna, ya que la resistencia del medio y la separación entre electrodos puede influir en la corriente eléctrica. Sin embargo, en el contexto histórico de Faraday, estas ideas eran coherentes, ya que aún no existía el modelo microscópico de la electricidad como electrones.

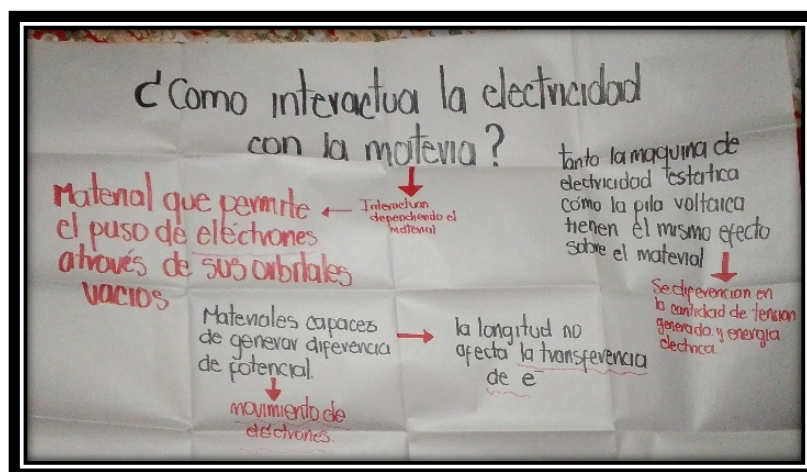


Imagen 2: cartelera del grupo de Faraday serie 5.

Análisis grupo de Faraday serie 7

Según las respuestas dadas por los estudiantes, se evidenció que logran comprender que, en la electrólisis la electricidad interactúa con diferentes tipos de sustancias, no solo con el agua como electrolito. Además, reconocen que este tipo de sustancias pueden influir en los productos obtenidos, produciendo transformaciones químicas específicas. También logran establecer relaciones entre las múltiples reacciones simultáneas que pueden ocurrir y cómo los productos dependen del electrolito. Asimismo, se identificaron conceptos claves como la necesidad de un lenguaje científico específico y la diferencia entre efectos primarios y secundarios. Sin embargo, algunas respuestas están argumentadas desde conocimientos actuales y no desde el contexto de Faraday.

En la cartelera se observa la distinción entre los términos cationes y aniones. Sin embargo, en la época de Michael Faraday no se contaba con un modelo microscópico de la materia ni con el concepto de electrón, por lo que estos términos fueron utilizados para describir el movimiento de sustancias durante el fenómeno de la electrólisis, sin una comprensión completa de su estructura interna.

Por ello, la cartelera presenta una interpretación actual del fenómeno que es diferente de la del siglo XIX, la cual la corriente no se entendía como un flujo de electrones, sino como una

influencia eléctrica o acción. Esta interpretación de electrón sería desarrollada por trabajos de J. J. Thomson.

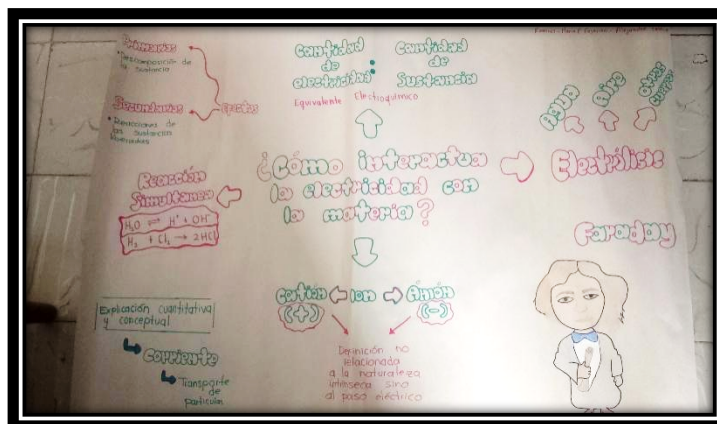


Imagen 3: cartelera de grupo de Faraday serie 7.

3.4.3. Implementación de la práctica de laboratorio de electrólisis

En continuidad con la sección anterior, en el laboratorio se mantuvo la misma organización de los estudiantes que en el taller de Electricidad y Materia. Cada grupo trabajó con el mismo autor asignado de la sesión anterior y con la misma serie.

En esta ocasión, se realizó una práctica experimental de electrólisis que relacionaba la electricidad y la materia desde lo experimental y lo conceptual. Para cada grupo de trabajo de laboratorio se establecieron dos momentos: primero, la observación del fenómeno; y en el segundo momento, la interpretación y la discusión de las preguntas orientadoras (Anexo 3. Talleres experimentales).

Grupo de Humphry Davy

Para esta práctica de laboratorio, el grupo realizó la electrólisis de una solución de sulfato de sodio. Para ello, preparó una solución a partir de un gramo de sal disuelto en 250 mL de agua tipo I y le añadió indicador universal. El montaje experimental constó de dos electrodos de grafito conectados a una fuente de voltaje.

En el primer momento, los estudiantes registraron las observaciones relacionadas con los

siguientes parámetros: la coloración del indicador en los polos positivo y negativo; la formación de burbujas, así como su tamaño y velocidad; los cambios en la intensidad del color; y aparición de depósitos, espuma o turbidez en la solución.

En el segundo momento, los estudiantes respondieron dos preguntas que requirieron la interpretación del fenómeno observado. Estas se centraron en la aparición ácido y álcali en los polos, y su relación con la idea de la electricidad como fuerza capaz de vencer la afinidad química y qué implica que la materia contiene cantidades definidas de electricidad.

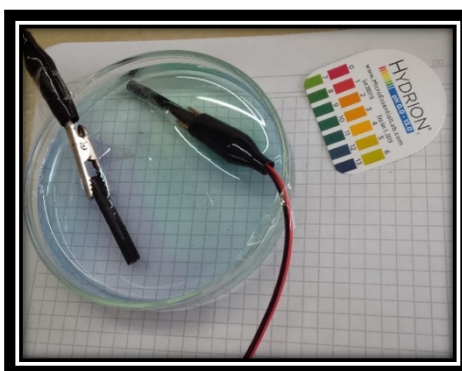


Imagen 4: Electrólisis del grupo del taller de Davy.

En el informe del grupo de laboratorio se evidenció que los estudiantes lograron explicar adecuadamente algunos fenómenos químicos relacionados con la interacción entre electricidad y materia, teniendo en consideración la propuesta de Humphry Davy sobre la electrólisis y la idea de la electricidad como una fuerza capaz de separar la afinidad química.

Además, el grupo observó los cambios de color, formación de burbujas y la diferencia entre ánodo y cátodo, identificando zonas ácidas y básicas. De este modo, lograron establecer la relación entre la acción de la corriente eléctrica y la materia durante el proceso de electrólisis.

Sin embargo, en cuanto a la explicación y argumentación del fenómeno, la idea se desarrolló completamente, especialmente en la vinculación entre la actividad experimental realizada al inicio y las preguntas orientadoras que buscaban integrar elementos de análisis conceptual con la teoría.

Grupo serie 5 de Michael Faraday

Para este grupo, se trabajó una solución de sulfato de cobre al 0,05 M, utilizando electrodos de cobre. El procedimiento se realizó en dos momentos: inicialmente con electrodos gruesos (alambres) y posteriormente con hilos de cobre, con el fin de comparar los resultados.

En el primer momento de observación, los estudiantes registraron la masa de los electrodos en intervalos de 10 y 15 minutos, y calcularon la variación de masa a lo largo del tiempo. Este proceso corresponde a un ejemplo de descomposición por medio de la electrólisis.

En el segundo momento de interpretación, el análisis se centró en las siguientes preguntas: la relación entre la variación de la masa y el tiempo de reacción, si la cantidad total de electricidad depende de la superficie de contacto y, por otro lado, la idea de si la materia contiene cantidades definidas de electricidad.

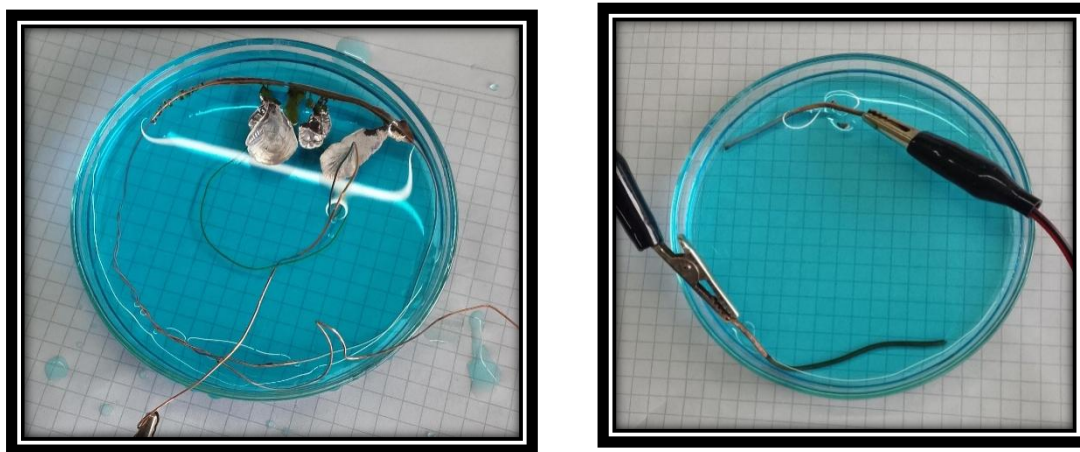


Imagen 5 y 6: Electrólisis del taller del grupo de Faraday serie 5

El informe entregado por los estudiantes muestra que, a partir de los resultados, se puede establecer una relación entre una mayor variación de los electrodos y el aumento del tiempo de electrólisis. Asimismo, se concluye que la cantidad de electricidad transferida está relacionada con la cantidad de sustancia transformada. Este resultado es coherente con la Primera Ley Faraday, establecida en el siglo XIX mediante los experimentos.

Es importante señalar que en ese momento aún no se conocía la estructura de la materia ni la naturaleza discreta de la carga eléctrica. Sin embargo, el grupo utiliza conceptos contemporáneos para explicar el fenómeno observado en el laboratorio. Términos como ion, átomo o electrón no pertenecen al contexto histórico de Faraday, ya que fueron desarrollados posteriormente.

En términos generales, se puede afirmar que el grupo tuvo un buen desempeño, ya que sus respuestas están bien argumentadas en relación con la práctica experimental y los conceptos teóricos trabajados.

Análisis Serie 7 grupo de Faraday

Para este grupo se realizó un montaje de electrólisis sulfato de sodio, similar al utilizado por el grupo de Davy, manteniendo la misma concentración de sal en igual volumen de solución. Sin embargo, el montaje experimental fue diferente, ya que se diseñó un sistema de recolección de gases mediante una bureta invertida. Este sistema contaba con electrodos de cobre y una fuente de voltaje continua (imagen 4).

Durante el primer momento de observación, los estudiantes registraron la coloración en el ánodo y en el cátodo, así como otros fenómenos visibles, como cambios en la solución, variación en el aspecto de los electrodos antes y después del experimento, incluyendo la posible aparición de depósitos. Además, midieron el volumen de gas recolectado en diferentes intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 minutos.

En el segundo momento, correspondiente a la interpretación, se plantearon las siguientes preguntas orientadoras con el fin de establecer la relación entre el tiempo de electrólisis y el volumen de gas producido. En primer lugar, explicar por qué un mayor tiempo implica una mayor cantidad de sustancia transformada y, en segundo lugar, analizar de qué manera el experimento ilustra la Primera Ley de Michael Faraday.

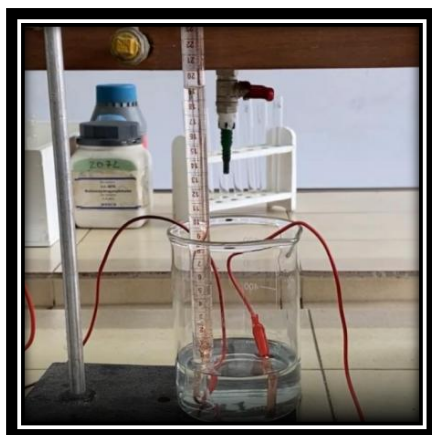


Imagen 7: Electrólisis del taller del grupo de Faraday serie 7.

Según el informe entregado por los estudiantes, se evidencia una comprensión adecuada de la relación entre el tiempo de electrólisis y la cantidad de sustancia depositada o transformada cuando circula una corriente eléctrica. En sus respuestas establecen una relación proporcional entre el tiempo de electrólisis y el volumen de gas recolectado, en las mediciones realizadas a los 5 y 10 minutos.

No obstante, los estudiantes identificaron una inconsistencia en el dato obtenido en el tiempo 15 minutos, ya que estos no son coherentes con la tendencia observada en las mediciones anteriores, ni con lo esperado teóricamente. Asimismo, reconocieron esta diferencia a posibles errores experimentales ocurridos durante la práctica.

Se puede concluir que los resultados por el grupo son consistentes con los planteamientos de Michael Faraday en el siglo XIX. A diferencia de los grupos anteriores, los estudiantes recurrieron a conceptos que no pertenecen al contexto histórico de Faraday, como electrones, iones o átomos, para explicar el fenómeno.

3.4.4. Trabajo final: Ensayos argumentativos

En esta sección se presenta un análisis de cinco ensayos realizados por los estudiantes, sobre el concepto de electricidad desde una perspectiva de Humphry Davy y Michael Faraday hasta su comprensión del concepto, para ello los ensayos se construyeron a partir de una pregunta orientadora: ¿Cómo se transformó la comprensión de la relación entre electricidad y materia desde una fuerza que actúa sobre las sustancias (Davy) hasta una magnitud cuantificable asociada a la materia (Faraday), y cómo se compara esta visión con la concepción actual de la electricidad?

Evaluación de los escritos argumentativos

Para la evaluación de los escritos se usó una rúbrica, la cual es una herramienta educativa donde se toma en cuenta las dimensiones de conceptuales, históricas, argumentativas, y el uso de las fuentes. Permitió establecer parámetros para separar la estructura del trabajo con el fin de analizar su calidad, así como dar una retroalimentación argumentada y reducir la subjetividad.

La rúbrica diseñada, consta de cinco criterios específicos para analizar los respectivos ensayos de los estudiantes. Estos se evalúan en los niveles alto, medio y bajo, según el grado de cumplimiento alcanzado. La valoración se asigna en una escala de 0 a 50, siendo 0 la mínima valoración y 50 la máxima.

Tabla 7 Rúbrica para realizar un análisis de los ensayos.

Criterio	Alto	Medio	Bajo	Valor
Comprensión histórica del concepto de la electricidad	Describe con claridad la diferencia de la electricidad como fuerza externa y magnitud cuantificable y marca el cambio del concepto hasta la actualidad	Identifica la transición histórica del concepto, sin embargo, las interpretaciones conceptuales no son precisas	No se evidencia una interpretación histórica de la evolución de concepto	12
Relación materia electricidad	Interpreta adecuadamente el fenómeno de la electrólisis y cómo éste se vincula con la materia teniendo de precedente un rigor conceptual del mismo	Dar una explicación acudiendo a términos puntuales o a conceptos claves, sin hacer un análisis del fenómeno.	Confunde conceptos para dar cuenta del fenómeno, demostrado baja comprensión.	10
Coherencia y estructura argumentativa	Elabora un ensayo que se vincula coherentemente con el título, la introducción, el desarrollo y la conclusión. Cada	Presenta una adecuada coherencia argumentativa, pero con fallas de organización.	Poca claridad argumentativa o confusa, así como una carecía de la	10

	parte tiene un discurso argumentativo.		estructura de un ensayo	
Fuentes y citas	Una adecuada integración al ensayo de citas y fuentes académicas para validar su concepción de la electricidad	Hace el uso de citas y fuentes, pero, sin una profundización de las mismas	Mínima o nulo uso de citas y fuentes	8
Concepción actual de la electricidad	Incorpora un análisis histórico con su visión contemporánea de la electricidad	Realiza una comparación parcial con la actualidad de la electricidad	No se evidencia una relación entre la concepción de la electricidad con la actualidad	10

Nota. *Elaboración propia.*

Ensayo número 1: De la fuerza a la magnitud: la evolución conceptual de la relación entre electricidad y materia¹⁷

Evidencia un dominio conceptual y una alta comprensión acerca del desarrollo histórico de la electricidad. Además, hace una coherente articulación entre los dos científicos, Humphry Davy y Michael Faraday, en cuanto a sus aportes para el desarrollo del concepto. Se evidencia la transición de una visión cualitativa, como una fuerza, hacia una interpretación cuantitativa, como una magnitud, la cual se puede relacionar directamente con la estructura de la materia. Cito: “El cambio conceptual decisivo se produjo con Michael Faraday, quien pasó de una descripción cualitativa a una interpretación cuantitativa de los fenómenos eléctricos.” (E1, E2, E3)

Asimismo, se evidencia una descripción coherente que tiene en consideración la estructura de ensayo, y se destaca el uso de citas y fuentes que alimentan y argumentan su postura crítica, mostrando dominio del discurso para sustentar históricamente la evolución del concepto siendo reflejo de rigor académico. Sin embargo, se presentan aspectos como la imprecisión terminológica, por ejemplificar, la mención de “magnitud asociada a la materia”, no especifica si refiere a carga, corriente o cantidad de electricidad. Otra afirmación es “la electricidad como propiedad fundamental de la materia”; en realidad, es un fenómeno que ocurre debido a una propiedad de la materia, que es la carga eléctrica en movimiento.

¹⁷ Los autores de los ensayos han sido codificados de E1 hasta E10, de tal manera que los registros textuales incluidos en este análisis están identificados con estos códigos.

No obstante, cumple con el criterio en cuanto a responder la pregunta ¿Cómo se transformó la comprensión de la relación entre electricidad y materia desde una fuerza que actúa sobre las sustancias (Davy) hasta una magnitud cuantificable asociada a la materia (Faraday), y cómo se compara esta visión con la concepción actual de la electricidad? bien fundamentada. Ejemplo de ellos son las siguientes frases:

- “La evolución del concepto de electricidad entre Davy y Faraday representa un cambio fundamental en la historia de la química” (E1).
- “En la actualidad, la electricidad se reconoce como una propiedad fundamental de la materia y está integrada en marcos teóricos más amplios como el electromagnetismo y la física cuántica” (E1, E2, E3).

Ensayo número 2: De la pila a los iones [. E1] camino hacia la electroquímica moderna

Presenta una comprensión parcial del desarrollo histórico de la electricidad; es decir, menciona que existía previamente y qué fue lo novedoso, pero no problematiza el proceso. Aunque reconoce algunos aportes importantes de los científicos, especialmente asociados a Humphry Davy, no realiza un análisis profundo en cuanto a la evolución del conocimiento científico, ejemplo de ello son frases como:

- “En el siglo XIX, la relación entre la electricidad y la química comenzó a adquirir gran importancia.” (E4, E5).
- “Los estudios de Humphry Davy representaron entonces un avance significativo, al explicar los efectos químicos producidos por la electricidad” (E4, E5).
- “Los estudios de Davy y Faraday marcaron un punto de inflexión en la comprensión de fenómenos entre electricidad y química.” (E4, E5).

Además, en cuanto a la contribución de Michael Faraday, hace poco uso de fuentes y citas para argumentar su postura crítica, así como evidencia una carencia de una organización en

la estructura del texto. Por otro lado, se mantiene en un nivel principalmente descriptivo, sin profundizar en las implicaciones teóricas de los desarrollos del trabajo investigativo por parte de los científicos, cito:

- “La electricidad actúa sobre diferentes sustancias, particularmente en soluciones, generando su descomposición” (E4, E5).
- “Al observar que se forman diferentes productos en cada polo del sistema, lo que indica la separación dirigida de los componentes” (E4, E5).

Es decir, no se explica qué significa esto para el conocimiento científico con respecto a la electricidad, ni que consecuencias o implicaciones teóricas tiene en la química o/y física, y el cómo a través de la observación del experimento valida el conocimiento. Por otro lado, en relación con la concepción actual de la electricidad, hace referencia a la nueva terminología propuesta por Faraday, pero no amplía ni problematiza qué contribuciones exactamente derivaron consecuencias o implicaciones actuales, es decir, los menciona de manera muy general. Cito:

- “Proponer una terminología específica, sentó las bases para el desarrollo posterior del concepto de ion, fundamental en la química moderna. Esto evidencia que su contribución no se limitó a interpretar fenómenos” (E4, E5).

El párrafo es correcto al señalar que Faraday aportó a la terminología de la electrólisis, pero exagera su relación con el concepto moderno de ion. El problema es que sugiere que Faraday ya estaba sentando las bases del ion como partícula cargada, cuando en realidad él solo describía el comportamiento de sustancias en procesos eléctricos sin un modelo de partículas. La idea de ion como entidad atómica aparecen teorías posteriores, por lo que la relación planteada es más una reinterpretación histórica que algo que Faraday hubiera concebido de esa manera.

Por otro lado, es impreciso hablar de “partículas” en el contexto de Faraday porque su trabajo

no se basaba en una teoría de la materia como la entendemos hoy en términos partículas subatómicas, sino en la observación del comportamiento de sustancias durante la electrólisis. Por eso, es más adecuado referirse a “sustancias” o “componentes químicos”. Se puede concluir que el resultado final de trabajo es una respuesta parcial a la pregunta.

Ensayo número 3: Electricidad y materia: Un cambio conceptual que Revolución la Química y la Física.

Se evidencia un buen dominio en cuanto a la comprensión contextual, ya que destaca la relación que establece con los aportes de los científicos y logra explicar cómo ellos influyeron en la transformación del conocimiento, mostrando su relevancia en cuanto a las ciencias como la física y la química. Cito:

- “Sus aportes fueron fundamentales para transformar la visión limitada del fenómeno eléctrico en una base sólida para la física moderna, dejando atrás a la electricidad como un fluido incompresible para ser parte de las interacciones fundamentales de la materia” (E6, E7).
- “Faraday llevó la conexión entre materia y electricidad mucho más allá, formulando leyes que cuantifican la relación entre la cantidad de electricidad y la cantidad de materia transformada” (E6, E7).

No obstante, La estructura del fragmento es desorganizada porque no separa claramente la introducción del desarrollo, ya que desde el inicio entra en explicaciones históricas y conceptuales que deberían ir en el cuerpo del ensayo, lo que hace que pierda la función de presentar el tema de forma general. Cito:

- La pila de volta pues, constituyó un cambio sistemático para la experimentación ya que se consiguió producir un aparato de descarga continua, a diferencia de las máquinas de electricidad estática que generaban una corriente instantánea. Esto permitió estudiar los efectos de la electricidad de forma constantes (E6, E7).

Además, el ensayo presenta algunas debilidades en cuanto a la profundización teóricas, ya

que sus ideas no son respaldadas por fuentes o citas, por lo tanto, deriva en una falta de rigurosidad. Se requiere un mayor sustento histórico, especialmente en un trabajo de carácter académico como el ensayo. Ejemplo de ello son afirmaciones como: “La electricidad podía descomponer sustancias” constantes ((E6, E7).

Es decir, es mejor evitar expresiones vagas como “podía” o “la electricidad hace”, porque simplifican demasiado el fenómeno. En realidad, lo esperado es la descripción del proceso de forma más específica. Por otro lado, no incluye el marco conceptual previo de la electricidad y la materia antes que Davy y Faraday, es decir, las teorías del “fluido eléctrico” y las ideas de Luigi Galvani sobre la “electricidad animal”.

Pero muestra un avance adecuado al diferenciar entre el contexto histórico de la electrólisis y la comprensión actual de la materia, y qué implicaciones derivaron de dichos trabajos como por ejemplo el modelo atómico moderno, lo que permite entender la evolución del lenguaje científico. Cito:

- “En la actualidad, esta relación es mucho más clara pues se comprende que la materia está conformada por átomos, los cuales poseen partículas con cargas (protón y electrón), cuyas interacciones explican propiedades como la estructura del átomo, los enlaces químicos, las reacciones químicas constantes” (E6, E7).

Ensayo número 4: Transformación de la comprensión de la electricidad: De Davy a Faraday

En este ensayo se evidencia un intento por abordar el tema de la electricidad desde una perspectiva histórica; sin embargo, lo realiza a un nivel básico de comprensión conceptual de la electricidad. Se presentan frases como:

- “La electricidad era un fenómeno poco claro” (E8).
- “Esta idea fue cambiando hacia algo más preciso y entendible” (E8).
- “Su explicación era más general y no quedaba del todo claro” (E8).

En otros términos, falta explicar qué es exactamente lo que no se entendía, en qué consiste la falta de claridad de ese fenómeno, qué propone el científico y por qué no es suficiente su explicación. Cabe resaltar que el estudiante si menciona los aportes de los científicos, pero no profundiza en el significado del desarrollo del concepto de la electricidad. Cito:

- “Esto lo llevó a pensar que la electricidad influía en la afinidad química” (E8).
- “Faraday cambia esto al decir que la acción no depende solo de los polos” (E8).

No se establece si esta idea es realmente importante, ni cómo eso cuestiona teorías anteriores. Tampoco qué es exactamente lo que cambia Faraday, ni por qué su teoría es mejor o más precisa. Aunque presenta una relación con el concepto actual de la electricidad, desarrolla una descripción. Cito:

- “Se pasa de una idea más cualitativa con Davy a una más cuantitativa con Faraday. Esta última se acerca más a la visión actual, donde la electricidad está relacionada con el movimiento de cargas en la materia” (E8).

Esto sugiere una continuidad directa que implica el proceso histórico, la afirmación se acerca a la visión actual, ellos proponen una equivalencia entre la concepción de la electricidad de Faraday y la concepción moderna de hoy. Además, no se apoya de citas y referencias que fundamente la credibilidad del trabajo, En consecuencia, no lograr dar respuesta a la pregunta orientadora ya que no se evidencia claramente el desarrollo del concepto ni la relación con la actualidad.

Ensayo número 5: Concepciones de la Electricidad

Se logra describir adecuadamente una perspectiva histórica, especialmente al describir los experimentos de Humphry Davy y Michael Faraday. Además, reconoce que la electricidad tiene efectos sobre las sustancias, lo cual evidencia comprensión del fenómeno de la electrólisis. Citó:

Faraday, es importante resaltar sus experimentos frente a la electricidad, específicamente su análisis sobre descomposición de sustancias por medio de electricidad, mientras Davy atribuía la descomposición a los grandes poderes de atracción de las superficies de los polos” (E9, E10).

Se valora que el ensayo incluya referencias a antecedentes históricos como Volta y Grotthuss, lo cual enriquece la comprensión del desarrollo de la electrólisis. Mencionar la pila de Volta y el modelo de Grotthuss permite ubicar las ideas de Davy y Faraday dentro de un proceso más amplio. Cito:

Un momento importante en el desarrollo de las hipótesis de Faraday, es cuando analiza el experimento mental o modelo de Grotthuss quien imaginaba que la pila era como un imán eléctrico. En este diseño, la descomposición y recomposición que ocurrían entre las partículas intermedias de fluido. (E9, E10).

Por otro lado, no se evidencia el uso de citas o referencias que respalden afirmaciones generales, lo que reduce el rigor académico. Esto se refleja también en afirmaciones como la descripción de resultados experimentales sin soporte teórico o histórico claro. Finalmente, en relación con la concepción actual de la electricidad, el ensayo presenta una conexión débil y superficial. Aunque se menciona que estos aportes permitieron. Cito: “Las bases de lo que hoy conocemos sobre la electroquímica” (E9, E10).

No se desarrolla en qué consiste esa visión moderna ni cómo se diferencia del contexto histórico analizado. Falta una comparación más clara entre las ideas del pasado y la comprensión actual, así como ejemplos o implicaciones concretas. En este sentido, el ensayo requiere profundizar en el análisis conceptual actual.

Con base en los análisis anteriores, se presenta un resumen del desempeño académico de los estudiantes según los cinco criterios de la rúbrica. La valoración se asignó según los niveles de cumplimiento de cada ensayo de modo cualitativa.

Tabla 8 *Resumen de los resultados de los ensayos.*

Ensayo	Comprensión histórica del concepto de la electricidad	Relación materia electricidad	Coherencia y estructura argumentativa	Fuentes y citas	Concepción actual de la electricidad
1	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2	Media	Alta	Media	media	Baja
3	Alta	Alta	Alta	Baja	Media
4	Media	media	media	Baja	Baja
5	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja

Nota. *Elaboración propia.*

Con el uso de la pregunta orientadora: ¿Cómo se transformó la comprensión de la relación entre electricidad y materia desde una fuerza que actúa sobre las sustancias (Davy) hasta una magnitud cuantificable asociada a la materia (Faraday), y cómo se compara esta visión con la concepción actual de la electricidad?, se busca en el trabajo una comprensión de la relación entre electricidad y materia por medio del fenómeno de la electrólisis.

En una primera instancia, la electricidad es entendida como una fuerza externa que causa efectos sobre las sustancias; esta propuesta es sugerida por Humphry Davy y basada en sus investigaciones y estudios. Luego, se pasa hacia un cambio de paradigma desde una magnitud cuantificable, la cual está asociada con la estructura de la materia propuesta por Michael Faraday, para así articularlo con la comprensión actual del fenómeno.

En los cuatro ensayos desarrollados por los estudiantes se presenta una interpretación de los aportes de los científicos, en lo cual ellos reconocen su papel en los procesos de electrólisis para entender la concepción de la electricidad y cómo está va evolucionando desde una forma cualitativa a una más cuantitativa.

No obstante, tienen la percepción de que los trabajos de Faraday son solo una ampliación de los trabajos realizados por Davy y no ven la ruptura de la explicación del fenómeno de la electrólisis. Por ello, es necesario fortalecer la comprensión del carácter progresivo del conocimiento científico y cómo se dieron los cambios de los modelos explicativos.

Conclusiones

Se realizó un análisis histórico de los diferentes científicos como Luigi Galvani, Alessandro Volta, Hans Christian Oersted, y en especial, Humphrey Davy y Michael Faraday. Para comprender de una forma progresiva los fenómenos eléctricos por medio de la formulación de teorías, explicaciones, experimentación e interpretación de los resultados.

El análisis permitió identificar cada aporte del científico que modifica la comprensión de la relación entre electricidad y materia, evidenciando que el conocimiento científico avanza mediante la construcción de modelos explicativos, la formulación de preguntas y la práctica experimental. Desde esta perspectiva, se reconoce que los conceptos científicos son el resultado de un largo proceso dinámico en la comunidad científica.

El trabajo profundiza en las contribuciones de Humphry Davy y Michael Faraday, puesto que sus investigaciones son fundamentales en la comprensión de la electrólisis y el comportamiento de la electricidad cuando interactúa con las sustancias. Para el caso de Davy, en el análisis *Bakerian Lecture*, permitió entender la electricidad como una fuerza capaz de vencer la afinidad química, la cual permite separar sustancias durante la electrólisis; en consecuencia, se interpreta la electricidad como un agente activo que interviene en las transformaciones de sustancias y el aislamiento de nuevos elementos, todo bajo una explicación que no cuenta con un marco teórico de modelos atómicos.

En el caso de Faraday, el análisis de las series V y VII del *Experimental Researches in Electricity*, que interpreta la electricidad como líneas de fuerzas que actúan sobre las sustancias. Asimismo, se comprendió que la electricidad es una magnitud cuantificable, relacionada con la cantidad de materia que se transforma durante el fenómeno de la electrólisis, dando como origen las leyes de la electrólisis, sin requerir del concepto de electrón ni de modelos microscópicos.

Con base en el análisis histórico, se logró diseñar una propuesta didáctica que integró elementos epistemológicos, históricos y experimentales para la enseñanza del fenómeno de la electricidad en el espacio académico Epistemología de la Química, en el quinto semestre del programa académico Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Además, la propuesta no se limitó a integrar las explicaciones aceptadas actualmente sobre la electrólisis, sino que buscó aproximar a los estudiantes a las ideas formuladas por los científicos bajo su marco teórico, las cuales permitieron la construcción del concepto de electricidad. Para ello, se estructuraron actividades relacionadas con el contexto histórico del siglo XIX, apoyadas con fuentes primarias y actividades de experimentación.

La propuesta tuvo como punto de partida una contextualización histórica de algunos científicos del siglo XIX, permitiendo evidenciar a los estudiantes que el conocimiento no es un trabajo aislado, sino el resultado de una comunidad científica. De esta manera, se favoreció una mayor comprensión sobre la evolución del concepto de la electricidad.

Posteriormente, la incorporación de actividades de lectura permitió que los estudiantes identificaran diferencias conceptuales entre los dos científicos Davy y Faraday. Asimismo, la implementación de unas actividades experimentales de la electrólisis, permite que los estudiantes observen características del fenómeno y reconozcan los cambios de color, formación de productos, variación de la masa de los electrodos y la producción de burbujas.

Finalmente, los estudiantes elaboraron un ensayo argumentativo, con la siguiente pregunta orientadora: ¿Cómo se transformó la comprensión de la relación entre la electricidad y la materia, desde una fuerza que actúa sobre las sustancias (Davy) hasta una magnitud cuantificable asociada a la materia (Faraday), y cómo se compara esta visión con la comprensión actual? Este trabajo final promovió la reflexión crítica sobre la construcción de los conceptos relacionados con la electricidad.

La incorporación de fuentes históricas en la enseñanza de la ciencia favoreció la comprensión de la interacción entre electricidad y materia. No obstante, se evidenciaron dificultades en los estudiantes para interpretar los fenómenos desde el contexto histórico de los científicos, pero en términos generales, los resultados muestran que la propuesta fortaleció la capacidad de los estudiantes de relacionar las ideas desarrolladas por Humphry Davy y Michael Faraday; sin embargo, sus explicaciones estaban influenciadas por interpretaciones contemporáneas del concepto de electricidad.

En el caso de Davy, los estudiantes reconocieron que la electricidad es un agente capaz de producir transformaciones químicas. Además, identificaron correctamente la formación de los medios ácidos y básicos, la aparición de burbujas y la diferencia entre ánodo y cátodo. Sin embargo, las respuestas elaboradas muestran que recurren frecuentemente a explicaciones que no corresponden al contexto científico de la época.

En el caso de Faraday, los estudiantes identificaron adecuadamente que la electricidad produce efectos químicos sobre la materia y que existe una relación directa entre la cantidad de electricidad y la cantidad de materia descompuesta durante el fenómeno de electrólisis. Sin embargo, sus respuestas presentan conceptos como átomo, electrón, orbitales. Aunque estos son conceptos actualmente válidos, no son propios del siglo XIX, lo que evidencia la dificultad de diferenciar entre explicaciones históricas y las contemporáneas.

Por otro lado, en cuanto al análisis de los ensayos finales, los estudiantes en promedio, reconocieron el proceso de la construcción del conocimiento, al involucrar explicaciones históricas hasta la comprensión actual del fenómeno de la electricidad. Además, se apoyaron en el uso adecuado de fuentes históricas y bibliográficas, lo cual refleja un rigor académico y favorece la profundización de los argumentos.

De igual manera, se usó en promedio una adecuada estructura argumentativa. No obstante, los escritos se mantuvieron en un nivel principalmente descriptivos, mencionan experimentos

sin profundizar en aspectos epistemológicos. También se observó una tendencia a interpretar las explicaciones históricas mediante conceptos de la ciencia actual.

En relación con los ensayos, la conexión establecida entre las ideas desarrolladas por Davy y Faraday, la comparación entre ambas propuestas se realizó de manera general, presentando el desarrollo histórico como un proceso lineal y acumulativo de conocimientos. Este resultado muestra la necesidad de fortalecer, dentro de la enseñanza de las ciencias, el uso de la historia como una herramienta para comprender las rupturas conceptuales, los cambios de modelos, y las transformaciones que caracterizan al conocimiento científico.

En relación de mi formación docente, este trabajo me permitió entender que la ciencia es un proceso dinámico, construido a través de contextos históricos, debates y prácticas experimentales, que son fundamentales para la construcción del conocimiento químico al generar nuevas preguntas y transforma las explicaciones científicas. Esta experiencia permite proyectar una propuesta para la Licenciatura en Química orientada a integrar la historia y la epistemología, donde los estudiantes reflexionen sobre la historia de su disciplina.

Referencias consultadas

- Cano Vásquez, J. A., Gómez Toro, J. D., & Cely Rueda, I. L. (2009). *La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico epistemológico*, Universidad de Antioquia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/f33b1179-43b1-4504-aa15-3d7ac5737166>
- Davy, H. (1806). *Paper, "On some chemical agencies of electricity being the Bakerian Lecture"* [Manuscript]. The Royal Society Archives, London. Recuperado de https://makingscience.royalsociety.org/items/pt_1_2/paper-on-some-chemical-agencies-of-electricity-being-the-bakerian-lecture-by-humphry-davy?page=1
- Davy, H. (1807). *The Bakerian Lecture: On Some Chemical Agencies of Electricity*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 97, 1–56. Recuperado de <https://archive.org/details/philtrans04827404>
- Davy, H. (1808). *The Bakerian Lecture: On some new phenomena of chemical changes produced by electricity, particularly the decomposition of the fixed alkalis, and the exhibition of the new substances which constitute their bases; and on the general nature of alkaline bodies*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 98, 1–44. <https://royalsocietypublishing.org/rstl/article/doi/10.1098/rstl.1808.0001/121391/I-The-Bakerian-Lecture-on-some-new-phenomena-of>
- Davy, H. (1812). *Elements of Chemical Philosophy* (Vol. 1, Parte 1). Londres: J. Johnson and Co. Recuperado de <https://archive.org/details/ElementschemicaVol1Davy>
- Davy, H. (1821). On the magnetic phenomena produced by electricity; in a letter from Sir H. Davy, Bart F.R.S to W.H. Wollaston, M.D P.R.S *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 111, 7–19. <https://royalsocietypublishing.org/rstl/article/doi/10.1098/rstl.1821.0003/117573/II-On-the-magnetic-phenomena-produced-by>
- Davy, H. (1826) *The Bakerian Lecture. On The Relations of Electrical and Chemical Changes*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 116, 383–422. <https://royalsocietypublishing.org/rstl/article/doi/10.1098/rstl.1826.0031/117720/XXVII-The-Bakerian-Lecture-On-the-relations-of>
- Franklin, B. (1751) *Experiments and observations on electricity: made at Philadelphia in America*. London: Printed and sold by E. Cave, at St. John's Gate. Recuperado de <https://archive.org/details/experimentsobser00fran>
- Faraday, M. (1839). *Experimental researches in electricity*. Volumen 1. Project Gutenberg. Recuperado de <https://www.gutenberg.org/files/14986/14986-h/14986-h.htm>
- Faraday, M. (1946). *Las fuerzas de la materia; e Historia química de una vela*. Emecé.

- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico : Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*. Alianza Editorial https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=149295&utm_source=chatgpt.com
- Galvani, L. (1791). *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Bologna: Ex typographin Instituti Scientiarum, recuperado de <https://archive.org/details/AloysiiGalvaniD00Galv>
- Goodman, N. (1968). *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. Indianapolis: Bobbs- Merrill. Recuperado de <https://archive.org/details/languagesofartap0000good>
- Giri, L.A., & Giri, M. D. (2023). Herramientas historiográficas en las Conferencias Notre Dame de Thomas Kuhn. En L.A.-C. P. Martins, L. M. Duque Martinez, L. Federico, G. Guerrero Pino, & M. de las M. O'Lery (Eds.), *Reflexiones filosóficas e historicas: ciencia, enseñanza de la ciencia y política científica* (pp- 67-74). Asociación de filosofía e Historia De La Ciencia Del Cono Sur (AFHIC) y Universidad del Valle afhic.com/wp-content/uploads/2023/11/4-Herramientas-historiograficas-en-las-Conferencias.pdf
- Helmholtz, H. von. (1881). The Modern Development of Faraday's Conception of Electricity. Conferencia ante la Chemical Society, Londres, 5 de abril. *Journal of the Chemical Society*, 39, 277–304. Recuperado de https://www.chemteam.info/Chem-History/Helmholtz-1881.html?utm_source=chatgpt.com
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de cultura Económica <https://www.fodonto.uncuyo.edu.ar/upload/kuhn-laestructuradelasrevolucionescientificas.pdf>
- Latour, B., & Woolgar, S. (1979). *Laboratory life: the social construction of scientific facts*. Sage. https://www.alianzaeditorial.es/primer_capitulo/la-vida-en-el-laboratorio.pdf
- Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Oxford: Clarendon Press. Recuperado de <https://academicweb.nd.edu/~powers/ame.20231/maxwell1872.pdf>
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning How to learn*. Cambridge: Cambridge University Press. Recuperado de https://archive.org/download/novak-j-y-gowin-d.-aprendiendo-a-aprender/Novak%2C%20J%20y%20Gowin%2CD.%20Aprendiendo%20a%20aprender_t_ext.pdf
- Ostwald, W. (1896). *Electrochemie: Ihre Geschichte und Lehre*. Leipzig: Veit & Comp. Recuperado de <https://archive.org/details/elektrochemieih00ostwgoog>
- Ritter, J. W. (1810) *Fragmente aus dem Nachlasse eines jungen Physikers*. Projekt Gutenberg-DE. Recuperado de <https://www.projekt-gutenberg.org/ritter/jungpsys/chap019.html>
- Tarazona Vargas, L., Garzón Barrios, M., Sandoval Osorio, S., Malagón Sánchez, J.F., Bertomeu Sánchez, J. R., Aldana, J. A., Barragán, L. A., Cortés Parra, M. J. & Campos Martin, N. (2022). *la electricidad transforma sustancias. el dominio fenomenológico de la electroquímica*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17878>

- Volta, A. (s.f.) Material de curso. Universidad de Houston. Recuperado de <https://grants.hhp.uh.edu/clayne/HistoryofMC/HistoryMC/VoltaII.htm>
- Volta, A. (1800) Letter (20 de marzo): *Account of electricity excited by contact and conducting substances of different kinds* [Carta manuscrita]. The Royal Society. Recuperado de https://makingscience.royalsociety.org/items/l-and-p_11_137/letter-account-of-electricity-excied-by-contact-and-conducting-substances-of-different-kinds-from-alessandro-volta-to-joseph-banks
- Yaghjian, A. D. (2014) Reflections on Maxwell's Treatise (Invited Paper). *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 149, 217-249, 2014. Recuperado de <https://doi:10.2528/PIER14092503>

Anexos

Anexo 1. línea de tiempo <https://canva.link/ydkvplnn7yke4jd>

Anexo 2. talleres de fragmentos históricos

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA**

ESPACIO ACADÉMICO	
DOCENTE	
ESTUDIANTE	

TALLER

La conferencia Bakerian, sobre algunas agencias químicas de electricidad... De las Transacciones Filosóficas

INTRODUCCIÓN

En esta conferencia, Davy explora como la electricidad puede inducir cambios químicos en diversas sustancias. Observa que, al pasar corriente eléctrica a través de ciertos compuestos, especialmente en algunas soluciones acuosas, se producen transformaciones químicas notables, como la descomposición de los elementos. A través de diversos experimentos, demuestra que la electricidad no solo acompaña los fenómenos químicos, sino que puede ser un agente activo que provoca la ruptura en los enlaces químicos.

Además, Davy destaca la relación entre los gases liberados, electricidad y la materia durante las reacciones químicas, él describe cómo ciertos gases se forman en los electrodos y cómo estos efectos varían según la naturaleza de la sustancia y del electrodo utilizado. Su investigación sugiere que la electricidad podría ser fundamental para describir nuevos compuestos, sentando así las bases del desarrollo electro-químico y abriendo un campo nuevo de estudio, en el que la electricidad y la química se combinarán para revelar la estructura de la materia.

En esta sección realizaremos algunos montajes similares para comprobar los argumentos y conclusiones sobre la relación entre la electricidad y la afinidad química, para posteriormente realizar una actividad experimental.

INSTRUCCIONES

- ◆ Lee atentamente el fragmento que le corresponde del taller
- ◆ Subraya o anota si es necesario resultados experimentales, conclusiones claves del fragmento o ideas principales.
- ◆ Identifica conceptos importantes
- ◆ Contesta las preguntas de forma clara y completa que se encuentran en el taller

Se observó la aparición de materia ácida y alcalina en el agua sometida a un flujo de electricidad, en las superficies metálicas electrificadas opuesta, en los primeros experimentos químicos realizados con la columna de Volta (Davy, 1807 p7).

Explicación

Davy describe cómo la materia puede transformar sustancias, que están disueltas en solución en dos componentes, una en sus propiedades alcalinas y la otra propiedad química ácidos, se forman en los polos opuestos del conductor. Esto ilustra la base de la electrólisis y su relación con la electricidad y reacciones químicas.

Definición

- **Alcalina:** Se refiere a una sustancia solución con un pH superior a 7 lo que indica que es básica
- **Columna de Volta:** Aparato para generar electricidad usando placas de metal en contacto con electrodos.

Preguntas

1. Según el fragmento ¿qué papel juega la electricidad en la separación de sustancias?
2. Explica ¿por qué aparece ácido y álcali en los polos opuestos?
3. Si el agua hubiera contenido impurezas ¿cómo podrían afectar la observación?

Una solución nitro muriático de oro apareció en el tubo que contenía el cable positivo, o el cable que transmitía la electricidad, y una solución de sosa en el tubo opuesto; pero pronto confirmé que el ácido muriático debía su aparición a la sustancias animales o vegetales empleadas (Davy, 1807, p.8).

Explicación

Davy observa que algunos productos químicos migran hacia polos específicos debido a su carga eléctrica, mientras que otros provienen de impurezas. Esto muestra cómo la electricidad afecta sustancias puras y cómo es crucial controlar las condiciones experimentales.

Definición

- **Nitro-muriático:** Mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico.
- **Sosa:** Hidróxido de sodio, compuesto básico.

Preguntas

1. Identifica qué productos aparecen en el polo positivo y negativo y justifica por qué
2. ¿Qué indica la aparición de ácido muriático respecto a la pureza de los materiales?
3. Relaciona este hallazgo con la regla de polaridad de los elementos observados por Davy

Fueron llenados con agua destiladas y expuestos mediante dos alambres de platino a una corriente eléctrica de 150 pares de placas de cobre y zinc, ...después de 48 hora se examinó el proceso: el papel teñido con tornasol.... se tornó inmediatamente rojo (Davy, 1807, p.9).

Explicación

Estos experimentos demuestran la relación entre electricidad y cambio químico el papel tornasol indica acidez mostrando que la electricidad genera productos químicos destacables y medibles

Definición

Alambre de platino: metal resistente a la corrosión y un buen conductor

Papel tornasol: indicador de pH que cambia al color según así eso o alcalinidad

Preguntas

1. Explica cómo se relaciona el cambio de color del papel tornasol con la electricidad aplicada
2. Por qué es importante usar alambres de platino en este experimento
3. Si se usará agua con sales disueltas cómo podría variar los resultados

Era muy probable que el ágata convirtiera alguna porción mínima de materia salina no es suficientemente detectable por análisis químicos ya sea en combinación o adherencia íntimamente en sus poros (Davy, 1807, p.10).

Explicación

Davy analiza como pequeñas cantidades de impurezas en materias sólidas pueden afectar la electrólisis. Esto destaca la importancia de controlar todos los factores experimentales.

Definición

- **Materia salina:** Compuestos iónicos disueltos o adheridos al material sólido.
- **Poros:** Pequeños huecos en los sólidos que pueden retener sustancias

Preguntas

1. ¿cómo podrían las impurezas afectar los resultados experimentales eléctricos?
2. Relaciona la observación de Davy sobre el ágata con la necesidad de pureza en química experimental.
3. ¿Por qué Davy considera importante notar incluso cantidades muy pequeñas de sal?

SOCIALIZACIÓN

Una vez que hayas tenido y entregado este taller y diseña una cartelera en la que su grupo explique cómo interactúa la electricidad con la materia basándose en el análisis del texto

REFERENCIAS

Faraday, M. (1834). Experimental Researches in electricity. Fifth Series. En Philosophical Transactions of the Royal Society of (publicado posteriormente en el volume recopilatorio Experimental Researches in Electricity, Series 1-14)

Davy, H. (1807). The Bakerian Lectura, on some chemical agencies of electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 97, 1_ 56. <https://doi.org/10.1098/rstl.1807.0001>

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA**

ESPACIO ACADÉMICO	
DOCENTE	
ESTUDIANTE	

TALLER

**Michael Faraday sobre la descomposición de sustancias por medio de la electricidad
Serie V.**

INTRODUCCIÓN

La serie 5 del documento de Faraday sobre la electrólisis se centra en la Primera Ley de Faraday, que establece que la cantidad de sustancia que se descompone o deposita en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por el electrolito. En otras palabras, al hacer pasar corriente eléctrica a través de una solución, se produce una descomposición química, donde los iones positivos se desplazan hacia el cátodo y los negativos hacia el ánodo. La masa de sustancia liberada depende únicamente de la carga eléctrica total, no del voltaje ni del tipo de electrodo y se relaciona con la constante conocida como equivalente electro-químico.

En términos prácticos, esto significa que, si aumenta la corriente o el tiempo de paso de la electricidad, se descompone más sustancias. Actualmente la ley se expresa matemáticamente como $m = Z Q$, donde m es la masa de sustancia, Q la carga eléctrica y Z el equivalente electro-químico de la sustancia. Esta serie de experimentos de Faraday permite predecir y cuantificar la descomposición de sustancias por electrólisis, sentando las bases para la electro-química moderna.

INSTRUCCIONES

- ◆ Lee atentamente el fragmento que le corresponde del taller
- ◆ Subraya o anota si es necesario resultados experimentales, conclusiones claves del fragmento o ideas principales.
- ◆ Identifica conceptos importantes
- ◆ Contesta las preguntas de forma clara y completa que se encuentran en el taller

He demostrado una serie reciente de estas investigaciones (265) la identidad de las electricidades derivadas de diferentes fuentes, y me he centrado especialmente en las pruebas de la igualdad de las obtenidas mediante el uso de la máquina eléctrica común y la pila voltaica (Faraday, 1834, ¶450).

Explicación

Faraday dice que la electricidad que proviene de diferentes fuentes (máquina eléctrica o pila voltaica) produce el mismo efecto químico. Esto significa que, aunque la forma de generar electricidad cambie, su acción sobre las sustancias es la misma.

Definición

- **Pila voltaica:** Primer tipo de batería inventada por Alessandro Volta que genera corriente eléctrica mediante reacciones químicas
- **Máquina eléctrica:** Un dispositivo que generaba electricidad por fricción acumulado carga eléctrica en reposo electricidad estática.

Preguntas

1. ¿Qué fuentes de electricidad comparó Faraday?
2. ¿Por qué es importante saber qué diferentes fuentes de electricidad producen el mismo efecto químico?
3. ¿Cómo se relaciona esto con el concepto de corriente eléctrica?

La gran diferencia entre la electricidades obtenidas de estas dos fuentes es la alta tensión a la que puede elevarse la pequeña cantidad producida por la máquina, y la enorme cantidad(371.376) que puede obtenerse de la electricidad de baja tensión suministrada por la pila voltaica; pero dado que sus acciones, ya sean magnéticas, químicas o de cualquier otra naturaleza, son esencialmente las mismas(360) era evidente que podríamos razonar sobre la máquina para comprender cómo actúa la pila (Faraday, 1834, ¶ 551).

Explicación

Faraday explica que la máquina produce electricidad de alta tensión, pero poca cantidad, mientras que la pila produce mucha electricidad, pero de baja tensión. Sin embargo, los efectos sobre los experimentos son iguales, lo que permite usar cualquiera de las fuentes para estudiar la electrólisis

Definición

- **Tensión:** Diferencial de potencial eléctrico que impulsa la corriente
- **Magnética:** La propiedad de ciertos minerales de atraer o repeler objetos, debido a fuerzas generadas por imanes o por cargas eléctricas en movimiento

Preguntas

1. ¿Cuál es la diferencia entre la máquina eléctrica y la pila voltaica?
2. ¿Qué significa que sus efectos sean “esencialmente los mismos”?
3. ¿Cómo afecta la tensión a la electricidad que pasa por un conductor?

La tensión de la electricidad de máquina hace que, aunque sea poca en cantidad, pase a través de cualquier longitud de agua soluciones u otras sustancias conductoras tan rápido cómo pueden producirse, por lo tanto, en relación con la cantidad, tan rápida como podría haber pasado por porciones mucho más cortas del mismo conductor (Faraday, 1834, ¶453).

Explicación

Faraday señala que la electricidad de la máquina puede atravesar conductores largos tan fácilmente como cortos, aunque la cantidad sea pequeña. Esto permite estudiar la electrólisis en experimentos de diferentes longitudes de los conductores.

Preguntas

1. ¿Qué tipo de sustancia pueden conducir electricidad según Faraday?
2. ¿Por qué la longitud del conductor no afecta la velocidad del paso de la electricidad en este caso?

Intenté usar esta facilidad de transmitir la corriente eléctrica a través de cualquier longitud de conductor para investigar el movimiento de los elementos en un cuerpo que sea se descompone, en direcciones opuestas hacia polos. Finalmente, se utilizó un trozo de cuerda de veinte metros de largo. Estaba aislada en el aire con suspensores de seda, de modo que la electricidad pasaba por toda su longitud: la descomposición ocurrió exactamente como en los casos anteriores, apareciendo álcali y ácido en los dos extremos en sus lugares correspondientes (Faraday 1834, ¶ 454)

Explicación

Faraday muestra que incluso en un conductor largo (cuerda de 20 m), la electrólisis funciona igual que en un conductor corto. Los productos de descomposición (ácido y álcali) llegan a los electrodos correctos.

Definición

- **Álcali:** Sustancia básica, opuesta al ácido
- **Polo:** electrodo donde llega la electricidad, puede ser positivo o negativo.

Preguntas:

1. ¿Qué sucede con la electricidad cuando atraviesa un conductor largo?
2. ¿Dónde se forman los productos de la descomposición en la electrólisis?
3. ¿Por qué Faraday aisló la cuerda con seda?

Los trozos de papel tornasol y cúrcuma se colocaron ahora sobre placas de vidrio separadas y conectadas por una cuerda aislada de un metro y veinte centímetros. Al hacer funcionar la máquina apareció la misma evolución de ácido y álcali que en el caso anterior. Finalmente, se usó un trozo de cuerda de veinte metros... la descomposición ocurrió exactamente como antes (Faraday, 1834, ¶ 455)

Explicación

Este experimento confirma que la longitud del conductor o el tipo de soporte no cambia la reacción química, siempre que la corriente eléctrica pase por el sistema.

Definición

- **Tornasol:** Papel indicador que cambia de color según acidez o alcalinidad
- **Cúrcuma:** Otro indicador de acidez que cambia de color

Preguntas

1. ¿Qué papel tienen los indicadores como tornasol y cúrcuma en la electrólisis?
2. ¿Qué demuestra este experimento sobre la electricidad que pasa por un conductor largo?

Luego se hicieron experimentos con sulfato de sodio e yoduro de potasio, para comprobar si la gran longitud de conductor húmeda o del cuerpo en descomposición disminuía el efecto descomposición; pero, ya afuera que el punto de descomposición en contacto con el tren de descarga tocará el papel de cúrcuma sobre el conductor principal o estuviera conectado a través de la cuerda de veinte metros, el punto de álcali, con igual número de vueltas de la máquina, tenía igual intensidad de color (Faraday 1834, ¶ 456)

Explicación

Faraday confirma que la longitud del conductor no reduce la descomposición: la cantidad de electricidad determina la reacción química, no la distancia que recorre

Definición

- **Sulfato de sodio:** Sal soluble utilizada como electrolito.
- **Yoduro de potasio:** Otro electrolito usado para experimentos químicos

Preguntas

1. ¿Qué demuestra que este experimento sobre la relación entre cantidad de electricidad y descomposición química?
2. ¿Por qué es importante que la intensidad del color sea igual?

El punto negativo del tren de descarga, el papel de cúrcuma y la cuerda fueron retirados; el punto positivo quedó sobre el papel tornasol, y este último tocando con un trozo de cuerda humedecida sostenido en la mano. Unas pocas vueltas de la máquina liberaron ácido en el punto positivo tan fácilmente como antes (Faraday, 1834, ¶ 457).

Explicación

Incluso el uso usando un conductor tan simple como una cuerda en la mano, la electricidad puede producir los mismos efectos químicos, mostrando la consistencia de la electrólisis.

Preguntas

1. ¿Qué demuestra este experimento sobre el paso de electricidad por distintos materiales?
2. ¿Cómo se puede comprobar la producción de ácido en la electrólisis?

La descomposición electroquímica depende esencialmente de la corriente eléctrica. He demostrado que, en ciertos casos (375), la descomposición es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa, sea cual sea su intensidad o su origen, y que probablemente lo mismo sea cierto para todos los casos (377), incluso cuando se busca la máxima generalidad por un lado y gran precisión de expresión por el otro (Faraday, 1834, ¶ 510).

Explicación

Faraday establece la Primera Ley de la Electrólisis, la cantidad de sustancias descompuesta depende de la carga eléctrica total, no de cómo se genera la corriente ni de su intensidad. Esto es la base electroquímica moderna

Preguntas

1. ¿Qué establece la Primera Ley de la Electrólisis según Faraday?
2. ¿Por qué no importa la intensidad de la corriente en la descomposición?
3. ¿Cómo se relaciona este principio con las baterías modernas?

SOCIALIZACIÓN

Una vez que hayas tenido y entregado este taller y diseña una cartelera en la que su grupo explique cómo interactúa la electricidad con la materia basándose en el análisis del texto

REFERENCIAS

Faraday, M. (1834). Experimental Researches in electricity. Fifth Series. En Philosophical Transactions of the Royal Society of (publicado posteriormente en el volume recopilatorio Experimental Researches in Electricity, Series 1-14)

Davy, H. (1807). The Bakerian Lectura, on some chemical agencies of electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 97, 1_ 56. <https://doi.org/10.1098/rstl.1807.0001>

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA**

ESPACIO ACADÉMICO	
DOCENTE	
ESTUDIANTE	

TALLER

Michael Faraday sobre la descomposición de sustancias por medio de la electricidad, Serie VII.

INTRODUCCIÓN

La séptima serie de las *Experimental Researches in Electricity* de Michael Faraday representa un momento fundamental en la construcción de lenguaje de la electroquímica. Hasta ese momento, los fenómenos de electrólisis eran descritos mediante términos heredados de teorías químicas previas, como afinidad, atracción o polaridad intrínseca que generaba interpretaciones confusas y a veces contradictorias. Faraday reconoce que el progreso científico requiere separar cuidadosamente la observación experimental de la especulación teórica, por lo que propone una nomenclatura completamente nueva basada únicamente en hechos observables.

En esta serie introduce términos como catión, anión, ion, cátodo, ánodo y electrodo. Estas palabras no describen la naturaleza interna de las sustancias, sino el comportamiento cuando circula corriente eléctrica a través de un electrolito. De este modo, la electrólisis deja de interpretarse como un simple fenómeno de descomposición química provocada por polos atractivos, y pasa a entenderse como un proceso de migración ordenada de materia impulsada por la corriente eléctrica.

La propuesta de Faraday permite relacionar electricidad y materia de manera cuantitativa y conceptual: la corriente no sólo produce efectos, sino que transporta partículas. Esta idea constituye la base de la electroquímica moderna, y posteriormente la teoría iónica para el funcionamiento de tecnologías electroquímicas actuales, procesos de electrodescomposición o baterías.

INSTRUCCIONES

- ◆ Lee atentamente el fragmento que le corresponde del taller
- ◆ Subraya o anota si es necesario resultados experimentales, conclusiones claves del fragmento o ideas principales.
- ◆ Identifica conceptos importantes
- ◆ Contesta las preguntas de forma clara y completa que se encuentran en el taller

he creído necesario introducir en estas investigaciones un término preciso para referirme a los puntos de contacto de la electricidad con la sustancia, y he propuesto usar el término electrodo en lugar de polo, ya que el agua, el aire y otros cuerpos pueden ser afectados por la corriente eléctrica. Esto permite un análisis más exacto de la descomposición electroquímica (Faraday, 1834, ¶ 661)

Explicación

Faraday reemplaza polos por electrodos para describir con precisión como la electricidad interactúa con distintas sustancias. Esto permite estudiar no solo agua sino otros electrolitos.

Definición

- **Electrodos:** superficie de contacto entre un conductor eléctrico y la sustancia que será descompuesta por la corriente.
- **Descomposición electroquímica:** Separación de una sustancia de sus componentes por la acción de la electricidad

Preguntas

1. ¿Por qué Faraday prefiere usar el término de electrodo en lugar de polo?
2. ¿Qué tipo de sustancias pueden ser afectadas por la electricidad según Faraday?
3. ¿Qué permite este cambio de términos en la investigación de la electrólisis?

Es necesario apartarse de los términos previamente empleados, pues implica teorías particulares; deseo adoptar expresiones que sólo indiquen los hechos observados en la descomposición eléctrica, sin suponer causa alguna (Faraday, 1834 párrafo 662).

Explicación

Faraday busca un lenguaje puramente experimental: describir lo que ocurre sin comprometerse con modelos teóricos previos sobre fuerzas o afinidades.

Preguntas

1. ¿Por qué Faraday decide cambiar la terminología existente?
2. ¿Qué problema científico genera usar términos basados en teorías previas?
3. ¿Cómo ayuda esto al estudio experimental de la electricidad?

Daré el nombre de electrodos a aquellas superficies de los cuerpos en descomposición por los cuales la corriente entra o sale; son, por decirlo así, las puertas de tránsito eléctrico (Faraday, 1834, ¶ 664)

Definición

Electrodo: Superficie conductora por donde la corriente entra o sale de electrolito y donde se manifiestan los productos finales

Preguntas

1. ¿Qué es un electrodo según Faraday?
2. ¿Por qué es importante definir claramente esta región del sistema?
3. ¿Cómo se relaciona el electrodo con la reacción química?

Nombrare ánodo al lugar por donde la corriente entra al electrolito y cátodo al lugar por donde sale; estos términos se refieren únicamente a la dirección del paso eléctrico y no a ninguna naturaleza intrínseca del material (Faraday, 1834, ¶ 667)

Preguntas

1. ¿Cómo define Faraday ánodo y cátodo?
2. ¿Por qué la definición no depende del signo de carga conocido hoy?
3. ¿Qué ventaja tiene una definición basada en la corriente?

Las sustancias que son transportadas de una parte a otra del electrolito bajo la influencia de la corriente recibirán el nombre de iones, pues van viajando de un electrodo al otro. (Faraday, 1834, ¶ 607)

Preguntas

1. ¿Qué caracteriza a un ion según Faraday?
2. ¿Por qué el movimiento es esencial en la definición?
3. ¿Cómo conecta esto con la electricidad y materia?

El cuerpo que se dirige hacia el ánodo será llamado anión y el que se avanza hacia el cátodo catión; sus nombres dependen únicamente de la dirección de su marcha (Faraday, 1834, ¶ 673)

Preguntas

1. ¿En qué se basa la clasificación de catión y anión?
2. ¿Cómo se ayuda a esta clasificación a entender la electrólisis?
3. ¿Qué relación existe entre corriente eléctrica y reacción química?

La acción química aparece los electrodos porque allí concluye el recorrido de las partículas transportadas; la corriente no descompone en el trayecto sino en los extremos del su curso (Faraday, 1834, ¶ 676)

Explicación

La reacción química es consecuencia del transporte eléctrico de materia y se manifiesta en los términos los límites del sistema.

Preguntas

1. ¿Dónde ocurre la reacción química?
2. ¿Por qué no ocurre en toda la solución?
3. ¿Qué demuestra esto sobre la naturaleza de la electrólisis?

Si bien en los primeros experimentos se suponía que el agua era esencial para la descomposición electroquímica, ahora se ha demostrado que los otros cuerpos pueden conducir electricidad y producir efectos incluso mayores que el agua (Faraday, 1834, ¶ 669)

Explicación

Faraday muestra que muchos electrolitos pueden ser descomponer eléctricamente, y que el agua no es única. Algunos cuerpos producen efectos más intensos que el agua.

Definición

Electrolitos: Sustancia que conduce electricidad cuando se encuentra en estado líquido o disuelto.

Pregunta

1. ¿Qué otros cuerpos, además del agua, pueden ser electrolitos?
2. ¿Por qué es importante reconocer que el agua no es el único electrolito?
3. ¿Cómo influye el tipo de electrolito en los efectos de la electrólisis?

La acción de la corriente eléctrica sobre las sustancias puede ser muy complejas: los productos pueden formarse por acción directa del corriente o por interacción de sustancias liberadas durante la electrólisis, y múltiples reacciones pueden ocurrir simultáneamente y en proporciones variables (Faraday 1834 ¶ 777)

Explicación

Faraday distingue entre estos efectos primarios (la descomposición directa de la sustancia) y efectos secundarios (la formación de nuevos compuestos por interacción de sustancias liberadas). Esto explica la complejidad de los resultados en electrólisis

Definición

- **Efectos primarios:** Productos directos de la descomposición de la sustancia
- **Efectos secundarios:** Productos formados por reacciones de las sustancias liberadas durante la electrólisis

Preguntas

1. ¿Qué diferencia hay entre efectos primarios y secundarios?
2. ¿Por qué pueden ocurrir múltiples reacciones simultáneamente en la electrólisis?
3. Da un ejemplo de un efecto secundario posible en un electrolito complejo

Todos los efectos de la electrólisis se reducen a la acción de cantidades definidas de electricidad sobre partículas o átomos de la materia, que llamo iones (aniones y cationes), y que se liberan en proporciones definidas llamadas equivalentes electroquímicos (Faraday, 1834, ¶ 824)

Explicación

Faraday establece que la electricidad actúa sobre la materia en cantidades precisas, liberando partículas con carga (iones) en proporciones fijas. Esto permite predecir los productos de la electrólisis

Definición

Ion: Partícula cargada positiva (catión) o negativa (anión) formando durante la electrólisis.

Equivalente electroquímico: Cantidad de una sustancia que se libera por una cantidad determinada de electricidad.

Preguntas

1. ¿Qué es un ion y cuáles son sus tipos?
2. ¿Qué significa que los iones se liberen en proporciones definidas?
3. ¿Cómo se permite esto predecir los productos de una electrólisis?

SOCIALIZACIÓN

Una vez que hayas tenido y entregado este taller y diseña una cartelera en la que su grupo explique cómo interactúa la electricidad con la materia basándose en el análisis del texto

REFERENCIAS

Faraday, M. (1834). *Experimental Researches in electricity*. Fifth Series. En Philosophical Transactions of the Royal Society of (publicado posteriormente en el volume recopilatorio *Experimental Researches in Electricity*, Series 1-14)

Davy, H. (1807). The Bakerian Lectura, on some chemical agencies of electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 97, 1_ 56. <https://doi.org/10.1098/rstl.1807.0001>

Anexo 3. Talleres experimentales.

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA

ESPACIO ACADÉMICO	
DOCENTE	
ESTUDIANTE	
FECHA	

Guía De Laboratorio
Electricidad y Afinidad Química
De Davy a Faraday

INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XIX, los estudios sobre la electricidad y química revolucionaron la forma de entender las reacciones químicas. Humphry Davy mostró que la electricidad podría vencer la afinidad química y separar sustancias en polos opuestos, evidenciando su papel activo en la descomposición de compuestos. Más tarde Michael Faraday estableció que la cantidad de sustancia descompuesta depende directamente de la electricidad total que atraviesa el sistema, formulando leyes cuantitativas que relacionan la electricidad con la materia.

Esta guía propone tres montajes experimentales que permiten reproducir y analizar estos fenómenos, comparando la interpretación cualitativa de Davy con la cuantitativa de Faraday, y comprendiendo cómo se construyeron las bases de la electroquímica.

OBJETIVO

Analizar experimentalmente cómo evoluciona la concepción de la electricidad desde la idea de fuerzas que vencen la afinidad química (Davy) hasta su formulación cuantitativa y asociada a la materia Faraday electricidad que vence estos.

Electricidad Como Fuerzas Que Vence La Afinidad Química

Este experimento reproduce la idea propuesta por Humphry Davy, quien demostró que la electricidad puede separar sustancias químicas al vencer las fuerzas que mantienen unidos a los compuestos. El agua pura conduce muy poca la electricidad. Al agregar sulfato de sodio, se añaden iones que permiten el paso de corriente. *El agua en el aparato que las contenía, aunque fue sometida durante mucho tiempo a un poder (corriente) muy intenso, finalmente no produjo ningún efecto sobre la disolución de nitrato de plata (Davy, 1807, parte II).*

Para Davy, que no apareciera ningún producto (ni ácido ni álcali) bajo la corriente fuerte equivalía a la ausencia de transporte iónico apreciable, es decir, el agua pura conduce extremadamente poco

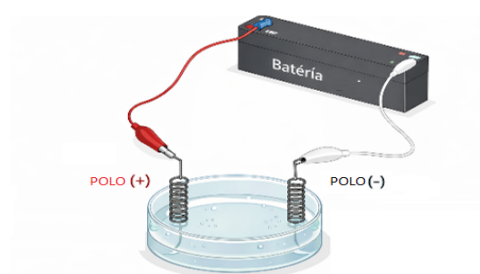
Vamos a realizar la actividad con los siguientes materiales:

- 250 mL de agua destilada
- 1g de sulfato de sodio (Na_2SO_4)
- 5 gotas de indicador universidad
- fuente de corriente continua
- 2 electrodos de grafito
- 1 vaso de precipitado de 250 mL
- cables con pinza

Procedimiento

1. Pesar 1 g de sulfato de sodio (Na_2SO_4)
2. Disolver con 50 ml en un vaso de precipitado con agua destilada
3. Con una probeta completara 250 mL de agua destilada
4. Vierte la solución en la caja de Petri
5. Agrega 2 gotas de indicador
6. Introduce los electrodos separados aproximadamente a 3 cm
7. Conectar a la fuente de voltaje de 6 V
8. Dejar pasar una corriente durante 10 minutos

Montaje



Registros de Observaciones

Coloración indicadora

- Polo positivo: _____
- Polo negativo: _____

Formación de burbujas

- Número aproximado de burbujas por minuto: _____
- Tamaño y velocidad de las burbujas: _____

Otro fenómeno visible

- Cambios en intensidad de color cerca de cada electrodo: _____
- Aparición de depósitos, escamas o espumas: _____
- Turbidez o cambios en la solución: _____
- Comentarios adicionales: _____

Interpretación preliminar

¿Qué indica la aparición de ácido y álcali en polos opuestos?

Relación con la idea de Davy sobre la electricidad como fuerza que vence la afinidad química:

PREGUNTAS

1. ¿Cómo entiende Davy la electricidad en relación con la con la afinidad química?
2. ¿Qué implica afirmar que la materia contiene cantidades definidas de electricidad?

REFERENCIAS

Faraday, M. (1834). Experimental Researches in electricity. Fifth Series. En Philosophical Transactions of the Royal Society of (publicado posteriormente en el volume recopilatorio Experimental Researches in Electricity, Series 1-14)

Davy, H (1807). The Bakerian Lectura, on some chemical agencies of electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 97, 1_ 56. <https://doi.org/10.1098/rstl.1807.0001>

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA**

ESPACIO ACADÉMICO	
DOCENTE	
ESTUDIANTE	
FECHA	

**Guía De Laboratorio
Electricidad y Afinidad Química
De Davy a Faraday**

INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XIX, los estudios sobre la electricidad y química revolucionaron la forma de entender las reacciones químicas. Humphry Davy mostró que la electricidad podría vencer la afinidad química y separar sustancia en polos opuestos, evidenciando su papel activo en la descomposición de compuestos. Más tarde Michael Faraday estableció que la cantidad de sustancia descompuesta depende directamente de la electricidad total que atraviesa el sistema, formulando leyes cuantitativas que relacionan la electricidad con la materia.

Esta guía propone tres montajes experimentales que permiten reproducir y analizar estos fenómenos, comparando la interpretación cualitativa de Davy con la de cuantitativa de Faraday, y comprendiendo cómo se construyeron las bases de la electroquímica.

OBJETIVO

Analizar experimentalmente cómo evoluciona la concepción de la electricidad desde la idea de fuerzas que vencen la afinidad química (Davy) hasta su formulación cuantitativa y asociada a la materia Faraday electricidad que vence estos.

Serie 5 identidad de la electricidad y proporcionalidad

Esta actividad experimental permite trabajarla para la Primera ley de Faraday que establece que la cantidad de sustancia depositada en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad (carga) que circula en el circuito.

Quando se hace pasar corriente eléctrica a través de una solución de sulfato de cobre, ocurre la electrólisis. Si la corriente se mantiene constante, la cantidad de cobre depositada será proporcional al tiempo
vamos a realizar la actividad con los siguientes materiales

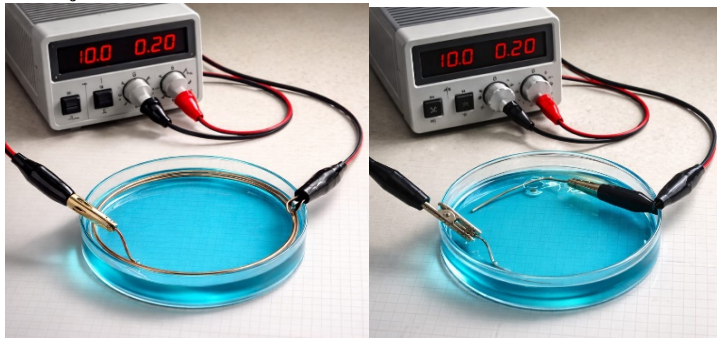
- Solución de sulfato de cobre de 0,5 M 200 mL de solución acuosa.
- 2 electrodos de cobre
- Fuente de corriente continua
- Balanza digital
- Cronómetro

Procedimiento

1. Se realizará el procedimiento primero con electrodos gruesos de cobre y luego con hilo de cobre.
2. Pesar uno de los electrodos (más inicial)
3. Para la celda, vierta la solución de sulfato de cobre de 0,5 molar en una caja de Petri

4. Aplicar corriente durante 10 minutos
5. Retirar el electrodo, secarlo y pesarlo
6. Repetir el procedimiento durante 15 minutos.

Montaje



Comprobar los resultados

Tabla de resultados

Tiempo Masa inicial Masa final Diferencia

10 min

15 min

Análisis

Explicar cómo los resultados evidencian que la cantidad de sustancia depositada depende de la cantidad total de electricidad.

PREGUNTAS

1. ¿Qué información puede inferir a partir de la variación de la masa de los electrodos en el tiempo de reacción?
¿Esto depende de la cantidad total de la electricidad?
2. ¿Qué implica afirmar que la materia contiene cantidades de electricidad?

REFERENCIAS

Faraday, M. (1834). Experimental Researches in electricity. Fifth Series. En Philosophical Transactions of the Royal Society of (publicado posteriormente en el volume recopilatorio Experimental Researches in Electricity, Series 1-14)

Davy, H. (1807). The Bakerian Lectura, on some chemical agencies of electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 97, 1_ 56. <https://doi.org/10.1098/rstl.1807.0001>

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA**

ESPACIO ACADÉMICO	
DOCENTE	
ESTUDIANTE	
FECHA	

**Guía De Laboratorio
Electricidad y Afinidad Química
De Davy a Faraday**

INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XIX, los estudios sobre la electricidad y química revolucionaron la forma de entender las reacciones químicas. Humphry Davy mostró que la electricidad podría vencer la afinidad química y separar sustancias en polos opuestos, evidenciando su papel activo en la descomposición de compuestos. Más tarde Michael Faraday estableció que la cantidad de sustancia descompuesta depende directamente de la electricidad total que atraviesa el sistema, formulando leyes cuantitativas que relacionan la electricidad con la materia.

Esta guía propone tres montajes experimentales que permiten reproducir y analizar estos fenómenos, comparando la interpretación cualitativa de Davy con la de cuantitativa de Faraday, y comprendiendo cómo se construyeron las bases de la electroquímica.

OBJETIVO

Analizar experimentalmente cómo evoluciona la concepción de la electricidad desde la idea de fuerzas que vencen la afinidad química (Davy) hasta su formulación cuantitativa y asociada a la materia Faraday electricidad que vence estos.

Serie 7 Ley cuantitativa y electricidad asociada a la materia

Este montaje permite trabajar experimentalmente la ley primera ley de la electrólisis formulada por Michael Faraday, quien demostró que la cantidad de sustancia transformada en una reacción electroquímica es proporcional a la cantidad total de electricidad que circula.

La masa depositada depende de la carga eléctrica:

$$Q = I \times t$$

- ❖ Q = carga eléctrica (Coulomb)
- ❖ I = corriente (Ampere)
- ❖ t = tiempo (segundos)

Y según Faraday:

$$m = \frac{M}{nF} \times Q$$

- ❖ m= masa depositada (g)
- ❖ M= masa molar del Cu (63,5 g/ mol)
- ❖ n = número de electrones intercambiados
- ❖ F= constante de Faraday (96485C/mol)
- ❖ Q= carga eléctrica (C)

Vamos a realizar la actividad con los siguientes materiales

- 250 mL de agua destilada
- 1 g de sulfato de sodio
- gotas de indicador universal
- Probeta de 250mL
- Fuente de corriente continua de (6V)
- 2 electrodos de cobre
- Cable con pinza
- Amperímetro
- Soporte universal
- Bureta
- Vaso de precipitado de 250 mL

Procedimiento

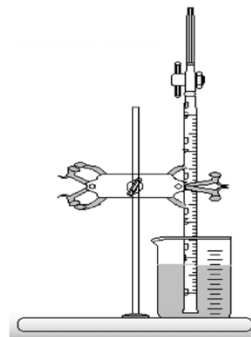
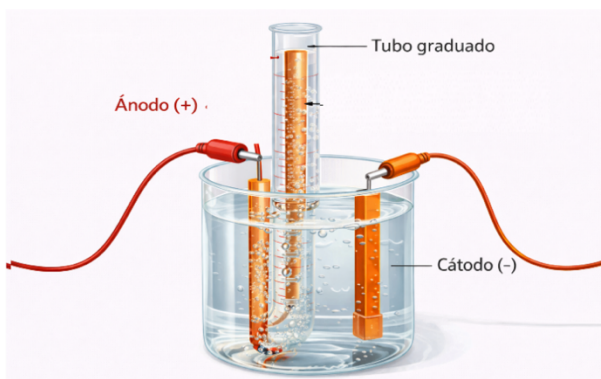
1. Pesar un 1 g de sulfato de sodio
2. Disolver en aproximadamente 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitado
3. Completar el volumen hasta 250 mL con agua destilada
4. Verter aproximadamente la solución en el vaso de precipitado del montaje
5. Agregar 5 gotas del indicador mixto y mezclar suavemente
6. Introducir los dos electrodos de cobre en la solución
7. Conectar el circuito de la forma:

Fuente → Electrodo (ánodo)

Fuente → Electrodo (cátodo)

8. Encender la fuente de 6 V
9. Dejar pasar corriente un determinado tiempo.
10. Registrar el volumen y los cambios observados.

Montaje



Coloración del indicador

- Polo positivo (ánodo): _____
- Polo negativo (cátodo): _____

Otros fenómenos visibles

- Aparición de depósitos o residuo: _____
- Turbidez o cambio de solución: _____
- Aspecto inicial del ánodo de cobre: _____
- Aspecto final del ánodo de cobre: _____
- Aspecto inicial de cátodo: _____
- Aspecto final del cátodo: _____

Tabla de Resultados

Tiempo Volumen de gas recolectado

5 min

10 min

15 min

PREGUNTAS

1. ¿Qué relación se observa entre el tiempo de electrólisis y el volumen de gas recolectado?
2. ¿Por qué un mayor tiempo de electrólisis se implica una mayor cantidad de sustancia transformada?
3. ¿De qué material experimento ilustra la Primera ley de Faraday?

REFERENCIAS

Faraday, M. (1834). Experimental Researches in electricity. Fifth Series. En Philosophical Transactions of the Royal Society of (publicado posteriormente en el volume recopilatorio Experimental Researches in Electricity, Series 1-14)

Davy, H. (1807). The Bakerian Lectura, on some chemical agencies of electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 97, 1_ 56. <https://doi.org/10.1098/rstl.1807.0001>