

**UNA PROPUESTA INTEGRADORA DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS Y SU  
RELACIÓN CON LA ENERGÍA QUÍMICA: Un análisis desde la pila voltaica.**

**Trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Física.**

**Presentado por:**

**Luisa Fernanda Rincón Camargo**

**Código: 2018246048**

**Directores:**

**José Francisco Malagón Sánchez**

**Sandra Sandoval Osorio**

**Línea de profundización: La actividad experimental para la enseñanza de las ciencias.**

**Grupo de investigación: Estudios Histórico Críticos y Enseñanza de las Ciencias.**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**Licenciatura en Física**

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA**

**2023**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por las bendiciones que me ha otorgado a lo largo de mi carrera profesional. De la misma manera, a mis queridos y adorados padres, Rosendo Rincón y María Luz Camargo, por su amor, apoyo, esfuerzo y sacrificio, ellos han sido y serán siempre el motor de mi vida; por siempre enseñarme a seguir adelante y no rendirme nunca en el camino, me siento orgullosa de ser su hija, a ellos debo todo lo que soy y seré, les estaré agradecida de por vida, los amo.

Agradezco a mi compañero de vida, Pablo Ortiz, por brindarme seguridad y paz en los momentos más difíciles de este proyecto; por su dedicación con mi vida académica como si fuera la suya, porque siempre me muestras el camino positivo, gracias por caminar siempre conmigo.

De la misma manera, a la familia que me ha brindado amor incondicional, a mis suegros Carlos Ortiz y María Gutiérrez, y mis cuñados, Lorena Ortiz y Juan José García, por darme una voz de aliento en los momentos más necesarios, por abrirme las puertas de su corazón y siempre apoyarme en este bello camino.

A mis familiares y amigos que siempre me acompañaron con una sonrisa y un abrazo en los momentos más difíciles.

A mis directores de trabajo de grado, José Francisco Malagón Sánchez y Sandra Sandoval Osorio, porque siempre han sido incondicionales conmigo, me han brindado el apoyo y cariño que he necesitado para construirme como docente, por su inmensa paciencia y esfuerzo que han puesto en mi proceso.

Por último, pero no menos importantes, a los profesores y compañeros de la Universidad Pedagógica Nacional que acompañaron mi proceso de formación.

Gracias a todos.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
1. SOBRE LA HISTORIA DE LA PILA VOLTAICA Y SU RELACIÓN CON LA ELECTROSTÁTICA. ....	10
2. LA COMPRESIÓN DE LA ESTRUCTURA ELECTROSTÁTICA, SUS MAGNITUDES Y PRINCIPALES INSTRUMENTOS DE MEDIDA. ....	15
2.1. ¿Cómo electrificar un objeto?.....	16
2.2. Instrumentos de medida de las acciones electrostáticas. ....	18
2.3. ¿Cuál es la magnitud que define a la cantidad de electrificación? .....	21
3. RELACIONANDO EL POTENCIAL ELÉCTRICO QUE SE PRODUCE EN PROCESOS ELECTROSTÁTICOS CON EL QUE SE GENERA EN LA PILA VOLTAICA. ....	23
3.1. La energía potencial. ....	23
3.2. El potencial eléctrico en la electrostática.....	24
3.3. El potencial eléctrico en la Pila de Volta.....	25
4. ¿FUERZA ELECTROMOTRIZ O POTENCIAL ELÉCTRICO?: Un análisis desde la transformación de la energía.....	28
4.1. La fuerza motriz. ....	28
4.2. La fuerza electromotriz en la pila de Volta. ....	29
5. ¿QUÉ VIENE DESPUÉS DEL IMPULSO GENERADO POR LA FEM O LA DIFERENCIA DE POTENCIAL? .....	33
5.1. Carga eléctrica. ....	33
5.2. ¿Carga eléctrica en movimiento?.....	34
5.2.1. El flujo.....	34
5.3. La corriente eléctrica que se genera en el aparato de columna.....	36
6. SOBRE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE OCURREN EN LA PILA DE VOLTA: De la energía química a la energía eléctrica. ....	39
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	48

## Lista de figuras

Figura 1. Pila de limones. Autoría propia.....	6
Figura 2. Aparato de columna. VOLTA, 1800, p. 774.....	6
Figura 3. Indicador electrostático. MEDINA, TARAZONA, 2011, p. 72. ....	16
Figura 4. El electroscopio. Sociedad de Estudios Vascos. Tomado de E01.- Fenómenos eléctricos básicos.....	17
Figura 5. Electroscopio. Depto. Física UPN.....	17
Figura 6. Electroscopio. Imagen propia.....	18
Figura 7. Diagrama de las acciones que radican sobre el cuerpo. Autoría propia.....	21
Figura 8. Pila hecha de monedas, papel aluminio y cartón. Autoría propia.....	23
Figura 9. Ilustración de la disposición de los materiales en la pila.....	
Figura 10. Estado de la moneda y el papel aluminio. Autoría propia.....	24
Figura 11. Pila de limones. Autoría propia.....	28
Figura 12. Pila de limones, 0 min, 5,76 V. Autoría propia.....	28
Figura 13. Pila de limones, 30 min, 1,58 V. Autoría propia.....	28
Figura 14. Pila de limones,60 min, 1,70 V. Autoría propia.....	29
Figura 15. Pila de limones, 70 min, 1,71 V. Autoría propia.....	29
Figura 16. Cómo enfrentar el alto flujo vehicular en carreteras. PULSO, 2020.....	31
Figura 17. ¿Qué son los manantiales? PORTILLO, 2022.....	32
Figura 18. Transferencia de calor por convección. ZAPATA, 2020.....	32
Figura 19. Aparato de corona de tazas. VOLTA, 1800, p.770.....	34
Figura 20. La tensión producida entre la moneda y el papel aluminio. Autoría propia.....	38
Figura 21. La tensión producida entre la moneda dentro del vinagre blanco. Autoría propia.....	38
Figura 22. Moneda desgastada dentro de vinagre. Autoría propia.....	39

Figura 23. Pila en circuito cerrado, conectada a un electrómetro. Autoría propia.....41

**Lista de tablas**

Tabla 1. De 0min a 37 min.....29

Tabla 2. De 34 min a 51 min.....29

Tabla 3. De 52 min a 90 min.....29

## INTRODUCCIÓN

A inicios del año 2020, Colombia y el mundo entero entraron en un gran letargo; las calles estaban vacías, los centros comerciales y grandes almacenes cerraron durante varios meses sus puertas, los conciertos y eventos públicos fueron cancelados y todos los viajes de turismo tuvieron que ser pospuestos. En los colegios y universidades no había estudiantes ni docentes y las únicas instituciones en donde se concentraba la población eran los hospitales; nosotros, y nuestras familias esperamos en nuestros hogares, procurando reducir al mínimo el contacto físico social. Allí me encontraba yo, Luisa Fernanda Rincón Camargo, estudiante de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, angustiada porque de pronto desde el día 15 de marzo el gobierno había cancelado las clases presenciales en todo el país; y debía asumir entonces, junto con mis compañeros y profesores, el gran reto de acomodar mis rutinas y mis espacios domésticos, para seguir clases con “normalidad” en plataformas digitales.

En la virtualidad encontramos grandes dificultades, especialmente en carreras y asignaturas de carácter experimental, en las que no contábamos con los materiales de laboratorio necesarios para el aprendizaje. Sin embargo, en la mayoría de los casos, fue mayor el ingenio de los estudiantes y docentes, que lograron crear y rediseñar aparatos, dispositivos e instrumentos que posibilitaran la actividad de laboratorio. Esto respondía también al creciente número de estudiantes que nos disponíamos a encontrar en la actividad experimental, no sólo una manera de apoyar nuestros trabajos universitarios, sino de entender el mundo desde la calidez de nuestros hogares, planteándonos interrogantes, hipótesis y conclusiones a raíz de lo que hacíamos, no sólo en clases sino en las numerosas reflexiones personales que, de alguna manera, motivaba también el confinamiento.

Fue en estas circunstancias que en mis pesquisas académicas me tope con un experimento particular; frecuentemente referenciado en internet y numerosas veces comentado en clases: “la pila de limones”. Este causó en mí una gran curiosidad; quería observar si era posible su funcionamiento y procedí a conectar unos cuantos limones por medio de tornillos y cables de cobre a un pequeño led (figura 1). Para mi sorpresa el experimento funcionaba, fascinada

empecé a adentrarme en el estudio de las pilas. No era suficiente con encender un bombillo, quería entender ¿cómo se explicaba este fenómeno? ¿Qué producía la energía eléctrica necesaria para que el pequeño led alumbrara? Y así, poco a poco pasé de la sorpresa a la indagación.



Figura 1. Pila de limones. Autoría propia.

Con el transcurso de la pandemia encontré la manera de formalizar los fenómenos que ocurrían gracias a este dispositivo; y en el desarrollo de mis actividades académicas como monitora de investigación del proyecto “Teorización y formalización en la estructuración de la relación carga-IÓN”, en el grupo *Estudios Histórico Críticos y Enseñanza de las Ciencias*, encontré que éste había sido inventado por Alessandro Volta y que su nombre original era *aparato de columna* (figura 2). Me propuse estudiarlo a profundidad; tarea que curiosamente, aumentaba mi motivación a medida que se dificultaban las condiciones en las que me encontraba. Para entonces, en los noticieros anunciaban alarmantes cifras relacionadas al COVID-19; con el paso de los días, mi familia y yo contrajimos la enfermedad y con los cuidados necesarios, tras varias semanas pudimos recuperarnos sin complicaciones. Pocos meses antes de que llegaran las primeras vacunas, afrontamos la difícil pérdida de seres queridos que no encontraron respuesta en el saturado sistema sanitario. En mi corazón, guardo para siempre su recuerdo como un motor de acción en mi vida cotidiana.

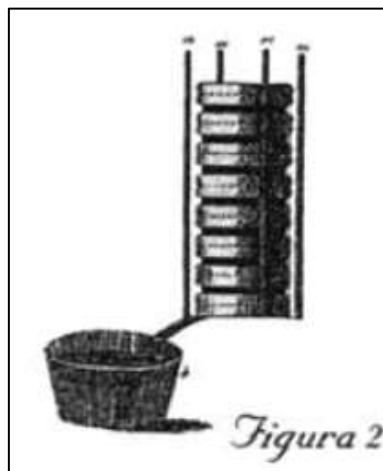


Figura 2. Aparato de columna. VOLTA, 1800, p.774.

Todo esto, me hizo reflexionar sobre la importancia de comprender las condiciones sociales en las que las personas desarrollan teorías, instrumentos, dispositivos y artefactos científicos y tecnológicos; que no ocurren como eventos ahistóricos, y que, por el contrario, están contextualmente situados y responden a condiciones y procesos específicos de su propio tiempo. Pensé de manera particular al respecto, en relación con el caso de la pila de Volta; y me preguntaba cómo su contexto me ayudaba a entender por qué fue creada, qué hizo posible su surgimiento y qué cosas revolucionarias trajo para la ciencia.

Es importante también, realizar una reflexión sobre los planes de estudio para la enseñanza de la física. Usualmente, en las clases de física, los temas se dividen en la explicación de magnitudes de forma separada, y solo posteriormente se procede a la construcción del fenómeno que sustenta la construcción de las magnitudes de las cuales se está hablando. Esto deja de lado, la forma en la que se desarrollan las ideas científicas y los estudios fenomenológicos<sup>1</sup>; cerrando espacios para la configuración crítica de ideas propias en los estudiantes, desde la observación de sus prácticas experimentales. Considero que una alternativa posible, es el camino contrario: partir de la observación del fenómeno, para la generación de preguntas e ideas, que sean luego formalizadas en teorías y leyes físicas.

En síntesis, planteo desde mi experiencia, la existencia de una brecha pedagógica debida al planteamiento de currículos basados en la memorización de conceptos y definiciones científicas; que consolidan dificultades en el proceso de aprendizaje del estudiante, pues no logra establecer un vínculo entre los fenómenos y magnitudes presentados en clase. De esta manera, propongo tomar como caso de estudio la Pila de Volta, por ser un dispositivo que permite analizar desde la actividad experimental, ciertas magnitudes tales como la fuerza electromotriz, el potencial eléctrico y la corriente que describen estados que apoyan la caracterización de los fenómenos; así como la relación de estos, como, por ejemplo, la producción de electricidad y la transformación de las sustancias.

Para ello propongo:

- Identificar que las ideas y teorías científicas son construidas históricamente y se desarrollan en la constante revisión de los fenómenos y magnitudes.
- Diseñar y realizar actividades experimentales donde se puedan representar y comprender magnitudes tales como, el potencial, la fuerza electromotriz y la corriente.
- Establecer analogías entre diferentes situaciones que aporten a la comprensión de los fenómenos electroquímicos en la pila de Volta.

---

<sup>1</sup> Por estudios fenomenológicos me refiero a una forma de investigar y comprender las experiencias, teniendo en cuenta las perspectivas y significados subjetivos, para que estos sean cuestionados, organizados y formalizados, con la finalidad de explorar situaciones particulares que aporten al conocimiento científico y crítico, adquiriendo formas generales, racionales y objetivas.



Para ello, en el siguiente texto primero presentaré un contexto histórico en el que mostraré los factores contextuales que influyeron en la invención de la pila de Volta; posteriormente profundizaré sobre los aspectos importantes de la electrostática, que son uno de los elementos importantes para la explicación fenomenológica del aparato de columna. En el tercer apartado desarrollaré la idea de que el potencial es una magnitud, que describe la acción que posibilita la producción de efectos eléctricos; y, posteriormente, procederé a mostrar algunos aspectos relevantes desde el estudio de la fuerza electromotriz; en el apartado 5 explicaré cuáles son los factores que permiten la alteración de la carga eléctrica y la manera en que podemos dar cuenta de ella. Finalizaré este documento, mostrando que el estudio de las reacciones químicas del aparato de columna es fundamental para la descripción de los procesos electroquímicos.

## 1. SOBRE LA HISTORIA DE LA PILA VOLTAICA Y SU RELACIÓN CON LA ELECTROSTÁTICA.

Uno de los hallazgos más importantes de la ciencia en la transición al siglo XIX fueron los efectos de la electricidad; estos configuraron paradigmas de investigación que motivaron la invención de aparatos experimentales con los que se buscaba analizar a profundidad las características y usos especiales de la electricidad. Uno de los primeros dispositivos, fue la llamada Botella de Leyden ideada por Ewald Georg von Kleist y Pieter van Musschenbroek en 1745, se trataba de un envase de vidrio capaz de generar chispa eléctrica convirtiéndose en el primer condensador de la historia. Sin embargo, debido a que esta no proporcionaba efectos de larga duración los científicos de la época se propusieron idear o crear aparatos que permitieran una mayor duración de la misma, hasta la creación de la pila voltaica.

En este apartado detallaré las explicaciones que destacados científicos formularon desde mediados del siglo XVII y cómo estas contribuyeron a consolidar un campo de estudio en torno a la electricidad, que sirvió de insumo para idear las teorías propuestas por Alessandro Volta en las primeras décadas del siglo XIX.

Stephen Gray (1666-1736) reconocido científico natural inglés, descubrió en 1702 que los materiales se dividen en dos conjuntos, los que son eléctricos, es decir aquellos que podían ser excitados (cargados eléctricamente) por medio de la fricción y los que no. Aunque Gray plantea las propiedades eléctricas de los cuerpos, ya en el año 1646 el término electricidad se encontraba en la obra del escritor Thomas Browne, *Pseudodoxia Epidémica o Investigaciones sobre muchos principios recibidos y verdades comúnmente supuestas*. En este texto detalla temas de gran interés para su época; la electricidad particularmente ocupa un lugar en el *Libro II: Minerales y Vegetales*, más específicamente en el *Capítulo IV: De Cuerpos Eléctricos*; allí<sup>2</sup> menciona la manera en que se había probado experimentalmente cuáles cuerpos se atraen o se repelen entre sí y hace referencia al “Electricick”<sup>3</sup> como la

---

<sup>2</sup> El texto tiene como subtítulo: *De diversos principios populares sobre los cuerpos minerales y vegetales, generalmente considerados como verdaderos, que examinados resultan falsos o dudosos.*

<sup>3</sup> *Electricick* también se refiere al cuerpo o material.

propiedad que algunos cuerpos tienen más que otros, y que se puede adquirir por medio de la fricción, y perderse por el contacto con otros materiales.

(...) y si se sostiene el Electrick a la luz, se puede observar que muchos de ellos volarán, y serán como si se descargaran del Electrick a una distancia de dos o tres pulgadas cuyo movimiento es realizado por el soplo del efluvio que sale con agilidad; pues a medida que se enfría la Electricidad, cesa la proyección de los Átomos. (BROWN, 1658 p. 62)

También explica el fenómeno de repulsión, desde una mirada electricista del siglo XVII:

Si también el Electrick es ancho, y las pajas livianas y ásperas, y se mantienen a una distancia razonable, no se levantarán hasta el medio, sino que se adherirán hacia el borde o los bordes del mismo. Y, por último, si se juntan muchas pajitas y se acerca un ágil Electrick, no todas se levantarán hacia él, pero algunas comúnmente se apartarán y serán giradas a una distancia razonable de él. (BROWN, 1658 p. 62)

Brown menciona otros aspectos interesantes acerca de cómo algunos materiales, tales como la cera, la madera, el ámbar, el latón, o el hierro, actúan cuando están sumergidos en sustancias, como el aceite, el vino, el agua o la orina; y los cambios que ocurren cuando se ponen en contacto entre sí una vez secos. También explica los efectos de dichas sustancias cuando entran en contacto con otras.

(...) Pero que el azabache y el ámbar no atraigan pajitas aceitadas es en parte cierto y falso. Porque si las pajas están muy mojadas o empapadas en aceite, cierto es que el ámbar no los atrae; porque entonces el aceite hace que las pajas se adhieran a la parte donde están puestas, de modo que no puedan subir al Atractor; y esto es cierto, no sólo si están empapados en Aceite, sino en espíritus de Vino o Agua. Pero si hablamos de pajas o divisiones festivas ligeramente echadas sobre aceite, y de modo que no cause adherencia; o si concebimos una antipatía entre Oyl y Amber, la Doctrina no es verdadera, porque el ámbar atraerá pajitas aceitadas (...) (BROWN, 1658 p. 3)

Partiendo de estos análisis, en el año 1746 Cunaeus (Circa 1720 – Circa 1786), Muschenbroeck (1692-1761) y Allamand (1713-1787), descubren que cuando los cuerpos electrificados son expuestos a la atmósfera terrestre pierden parcialmente su electricidad (THOMSON, 1840, pp. 291-319). Este hallazgo los llevó a la creación de manera accidental

de la ya mencionada Botella de Leyden<sup>4</sup>. Con la invención de un método para la acumulación de electricidad, los científicos encontraron escenarios factibles, fácilmente replicables y manipulables para el estudio de sus propiedades y leyes.

La botella de Leyden a su vez funcionaba como condensador; al juntar una gran cantidad de estas se formaría una batería (THOMSON, 1840, pp. 386-395) que, pese a su inestabilidad, pues al tocarla se descargaba fugazmente era funcional para los experimentadores de la época.

En 1780 Luigi Galvani, un médico y fisiólogo boloñés (1737-1798), observó que al tocar con un bisturí el nervio de un anca de rana colgada de un metal, se producía una chispa eléctrica por el encuentro de los dos metales, lo que ocasionaba que el anca del animal tuviera movimientos repentinos e imprevistos (SANDOVAL, MALAGÓN, AYALA, GARZÓN, TARAZONA, 2022, p. 5). Galvani afirmaba (en su obra *La fuerza eléctrica en el movimiento muscular*<sup>5</sup>) que la electricidad que se generaba era propia de los tejidos y músculos de los animales.

Sin embargo, Alessandro Volta (1745-1827) deducía, a raíz de sus experimentos, que la electricidad se manifestaba a causa del circuito formado por los metales puestos en contacto (Bisturí, ancas de rana, metal de donde colgaban). Para aclarar su punto de vista ante la comunidad científica, realizó diferentes experimentos con materiales húmedos y secos, lo que le conduciría al desarrollo de su famosa pila, un dispositivo capaz de superar a las baterías y condensadores de la época.

En 1800, escribe dos cartas dirigidas al presidente de la *Royal Society* de Londres, Sir Roger Banks, en las que explicaba su estudio de lo que denominó *Órgano eléctrico artificial*<sup>6</sup>. En estos escritos detalla los experimentos nombrados como *de corona de tazas* y *aparato de columna*; allí mostraba que, con diferentes materiales se lograban resultados similares a los que registraba Galvani utilizando partes de tejidos y cordones nervosos de animales. Esto le

---

<sup>4</sup> Llamada así en honor a la universidad en la que se dio el hallazgo.

<sup>5</sup> O en su idioma original: *De viribus electricitatis in motu musculari* (1791).

<sup>6</sup> La primera carta fue enviada el 20 de marzo de 1800 y la segunda el 1 de abril del mismo año y estaban escritas originalmente en francés; en la primera se expone el *Órgano eléctrico artificial*, mientras que en la segunda se explica puntos importantes que no fueron desarrollados en la primera carta. Se unen las dos partes y se comparten a la Royal Society el 26 de junio de 1800 y más adelante es publicada en inglés en *Philosophical Magazine* en el mismo año. (En SALLEN, 2000, p. 763)

sirvió de insumo para afirmar que los efectos observados, eran de la misma naturaleza que los registrados en los animales y que el contacto de los metales de diferentes tipos era el que producía esta electricidad, que se llamaría voltaica.

El experimento *aparato de columna* es lo que conocemos hoy en día como Pila Voltaica, se trata de un aparato electromotor que fue de gran interés en su época por lograr generar energía de manera duradera, que no se desgastara en un solo uso como ocurría con la Botella de Leyden.

(...) Así pues, este órgano, formado únicamente por substancias conductoras, no puede compararse, ni a un electróforo o condensador, ni a una botella de Leyden, ni a una máquina de cualquier tipo, excitable sea por rozamiento, sea por cualquier otro medio capaz de electrificar los cuerpos aislantes, que se creían, antes de mis descubrimientos, los únicos originariamente eléctricos. (VOLTA, 1800, pp. 781-782)

Es importante mencionar que, aunque la construcción del aparato<sup>7</sup> y los materiales allí dispuestos, permitían la generación de electricidad con efectos prolongados, estos resultaban ser un poco más débiles que en el caso de los condensadores, caracterizados por su duración efímera, y por su elevada intensidad de carga eléctrica.

Así mismo, vale la pena precisar que Volta continuó profundizando su trabajo sobre la pila; en el proceso investigativo encontró una serie de magnitudes al parecer “nuevas” que se presentaban de maneras distintas en los dispositivos electrostáticos. De allí surgen conceptos como: fuerza electromotriz, corriente, tensión (también llamada diferencia de potencial o voltaje), y por último, pero no menos importante, aquellas que derivaban de la relación entre la electricidad y las reacciones químicas. Esto da apertura a un nuevo campo de estudio fenomenológico: la electroquímica; en el que se realizaron importantes aportes para el desarrollo tecnológico y científico, siendo los más reconocidos, los formulados por Michael Faraday<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> En el apartado 3.3 del presente trabajo presento un análisis más detallado sobre la construcción de la pila Voltaica.

<sup>8</sup> En el Cap. 6 del presente trabajo se explicará en detalle las reacciones químicas que ocurren en la pila para la producción de efectos eléctricos.

Volta se dio cuenta que para reconocer y medir los efectos del aparato de columna debía tener dispositivos con los que pudiera distinguirlos y cuantificarlos; aunque en un principio había experimentado utilizando sentidos como el tacto o el gusto, estos rápidamente resultaron insuficientes, por no asegurar con precisión parámetros como la intensidad. Esto suponía un reto considerable ya que todos los instrumentos de medición se encontraban diseñados en torno a la electrostática; a pesar de estar inicialmente concebidos para medir efectos eléctricos y ser potencialmente aplicables al aparato de columna, Volta notó que estas manifestaciones pese a ser del mismo tipo, se comportaban de manera diferente, lo que requería de modificaciones en los artefactos existentes o de plano la invención de nuevos instrumentos. Según lo que he mencionado es posible afirmar que el aparato de columna fue un dispositivo revolucionario; su invención, así como la innovación en los instrumentos de medición, fortaleció la creación de nuevos campos de investigación en torno a la presencia de nuevas magnitudes (la corriente, la diferencia de potencial, la fuerza electromotriz); este es precisamente el caso de la electroquímica. (PANCALDI, 2003, p. 110)

Resulta también importante, estudiar el campo de la electrostática dentro del que se ideó la hoy conocida Pila de Volta; profundizar en este tipo de fenómenos nos permitirá determinar las comprensiones iniciales de los fenómenos y magnitudes que la caracterizan. En el siguiente apartado puntualizaré sobre la manera en que el potencial eléctrico ha sido representado y cómo estas interpretaciones aportan a la comprensión de lo que conocemos como diferencia de potencial.

## **2. LA COMPRENSIÓN DE LA ESTRUCTURA ELECTROSTÁTICA, SUS MAGNITUDES Y PRINCIPALES INSTRUMENTOS DE MEDIDA.**

Para la comprensión de los procesos que se encuentran en la relación de los fenómenos electroquímicos, es necesario profundizar en los análisis de la electrostática, que fundan los estudios de la electricidad abriendo paso a nuevas fenomenologías en torno a las acciones eléctricas; para ello parto de los análisis realizados por Julián Medina y Milton Tarazona, en la investigación *El caso de la medición del potencial eléctrico: un ejemplo de recontextualización de saberes* (2011). Allí, los autores destacan la importancia de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias, por permitir elaborar concepciones de los problemas centrales en torno a los fenómenos físicos. En este trabajo se hace referencia a los experimentos de James Maxwell, cuyas reflexiones disciplinares contribuyen a la comprensión de los fenómenos eléctricos y la construcción del concepto de carga eléctrica como magnitud.

De igual manera, desde mi investigación observo la importancia de pensar el carácter epistemológico de la construcción de magnitudes; si bien sus definiciones ya están ampliamente establecidas, resulta primordial la reflexión sobre las formas de comprensión de los conceptos que nos son presentados en clase. Esto nos permitirá complejizar, teorizar y demostrar las representaciones que damos sobre los fenómenos físicos.

Por ejemplo, cuando hablamos desde la física de conceptos como fuerza, la mayoría de nosotros tendremos ideas iniciales porque reconocemos desde la cotidianidad acciones como halar, empujar, alzar etc. y somos capaces de discriminar sus efectos. Esto se convierte en punto de partida para analizar las condiciones y factores que intervienen cuando se trata de formalizar la fuerza mecánica. Otros ejemplos interesantes son los relacionados con lo térmico, que normalmente podemos percibir desde nuestros sentidos; si estamos en un día lluvioso en el que la temperatura es baja y vamos por la calle, es normal que sintamos “frío”, pero si es un día de verano en el que la temperatura es alta, entonces sentiremos calor.

En este orden de ideas, encuentro que la forma en que entendemos los fenómenos y magnitudes puede verse relacionada a nuestras experiencias cotidianas, frecuentemente desde lo sensorial. Aclaro, sin embargo, que los procesos de teorización y formalización proceden de análisis posteriores en relación a formas de pensamiento más complejas.

Es importante resaltar que esto no ocurre con todos los conceptos de la física, para el caso de la electrostática se nos presentan conceptos más complejos, en los que no encontramos percepciones sensoriales o experiencias cotidianas fácilmente relacionables. Es así como las expresiones cotidianas funcionan como punto de partida para la comprensión: es común decir cosas como: “Parece que tienes fiebre, voy a medirte la temperatura” o “Para levantar esta caja debemos hacer fuerza entre todos”; sin embargo, en nuestra comunicación diaria, parecemos carecer de expresiones para hablar de la electrostática.

En este sentido, Julián Medina y Milton Tarazona sugieren ahondar los esfuerzos en el proceso de enseñanza, realizando propuestas que desarrollen, establezcan y construyan las experiencias por las cuales se identifiquen cualidades y procesos de medición de las magnitudes asociadas al fenómeno electrostático.

Si analizamos los textos escolares y universitarios con los que los estudiantes aprendemos sobre la electricidad; veremos que presentan una serie de experiencias referentes a la acción de frotar un cuerpo que atrae a otro de menor tamaño, por ejemplo, frotar una bomba de goma y atraer *confetis* de fiesta; inmediatamente después, aparecen teorías que ya están formalizadas, como las leyes de Maxwell o Coulomb sin abrir espacio a la reflexión propia del educando. Así, resulta crucial el estudio del desarrollo del pensamiento físico, haciendo una pausa en el análisis del papel que cumplen las experiencias en la obtención de conocimiento.

### **2.1.¿Cómo electrificar un objeto?**

Como he mencionado anteriormente, es importante priorizar la formación desde una base experiencial para la comprensión del fenómeno electrostático; pero más allá de eso, es evidente la necesidad de indagar y proponer representaciones de lo que observamos en la actividad experimental.

Para empezar a analizar la producción de electricidad estática propongo revisar la acción de frotar, usual en la vida cotidiana, por ejemplo, al lavarnos las manos, cepillarnos los dientes, limpiar los platos, etc., son acciones que nos remiten el concepto; en la electrostática este acto describe la forma en que cambiamos el estado eléctrico de un objeto.



En consecuencia, planteo la acción de frotar una vara de acrílico con un paño de piel de conejo para posteriormente acercarla a pequeños trozos de papel. Como resultado, encuentro que cuando acercaba la vara al paño sin haber realizado un contacto previo entre ellos, no hay manifestación alguna. Sin embargo, posterior al frotamiento, percibo que las fibras del paño se atraen hacia la vara, luego, al acercarla a los papeles, estos también se atraen y se adhieren hacia ella.

Con esto, podemos concluir que los pequeños trozos de papel también han tenido un cambio en su estado eléctrico, aún sin la necesidad de ser frotados. Deducimos entonces, que, si un objeto al que no se le ha alterado su estado eléctrico, se pone en contacto directo con otro al que sí, el primero quedara modificado; a esto le llamamos electrificación por contacto.

Hay factores que se deben atender al realizar un experimento de electrostática como la temperatura o la humedad del espacio en el que se desarrollará la práctica; puede que un objeto que tiene todas las características físicas para mostrar grandes signos de electrificación no lo haga ya que el clima o el lugar afectan su estado.

Si buscamos electrificar un cuerpo, por frotación, se hace necesario también no ignorar la importancia de los materiales y considerar el buen contacto entre los objetos. Es a raíz de esta apreciación que surge la electricidad de tipo vítrea (positiva) o resinosa (negativa), a partir de los experimentos que Charles du Fay publicó en un artículo en diciembre de 1733 en *Philosophical Transactions*. Allí aclaraba que los cuerpos pueden ser electrificados, además de por frotación, por calentamiento, con excepción de los metales, líquidos u objetos blandos<sup>9</sup>. Estos últimos pueden electrificarse por medio de inducción, el vidrio tiene un papel aislante tanto como la seda; el hilo es mejor conductor húmedo que seco, y los cuerpos que tienen carga vítrea atraen a los cuerpos con electricidad resinosa y repelen a los que tienen electricidad vítrea. (DUFAY, 1734. Pp. 258-266). Otras dos formas de electrificación a tener

---

<sup>9</sup> Es importante tener en cuenta las consideraciones que hace Charles Du Fay sobre las formas de electrificar objetos, pues esto aporta a la comprensión de que en el área de la electricidad existen diferentes formas de producir electricidad.

en cuenta son por conducción<sup>10</sup> y particularmente, por inducción que explicaré en el siguiente apartado.

## 2.2. Instrumentos de medida de las acciones electrostáticas.

Como pudimos establecer, la acción de frotar objetos entre sí muestra una serie de efectos como la atracción, que se le atribuyen a un fenómeno llamado “electrificación”<sup>11</sup>; mencioné también, que no conseguimos reconocerlo sensorialmente, por lo que debemos recurrir a instrumentos que permitan observarlo. Es por esto que Medina y Tarazona (2011) proponen la construcción de un indicador (figura 3) que evidencie la acción de los cuerpos electrificados. Aunque este instrumento no mida la cantidad de electrificación de un cuerpo, muestra el momento en que algún objeto, sin importar su material se encuentra o no en este estado.

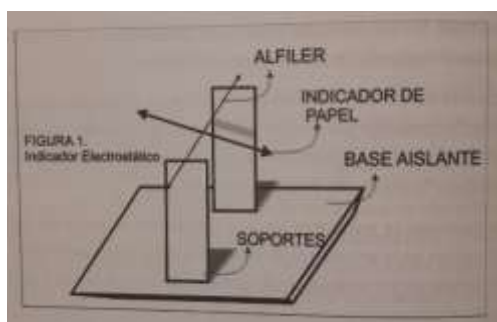


Figura 3. Indicador electrostático. MEDINA, TARAZONA, 2011, p. 72.

Además del indicador que proponen MEDINA Y TARAZONA (2011) también encontramos el electroscopio que cumple el mismo papel. Como se observa en la figura 4, este instrumento evidencia el tipo de carga del objeto; si el tipo de electrificación es igual al del electroscopio, entonces las láminas de oro se separarán, si se juntan, entonces el objeto tendrá un tipo diferente.

En otras palabras, si el objeto tiene una electricidad vítrea (positiva) y el instrumento una electricidad resinosa (negativa), las láminas se atraerán; si, por el contrario, el objeto tiene

---

<sup>10</sup> La electrificación por conducción ocurre cuando se electrifica un cuerpo por medio de un conductor eléctrico que esté en contacto con otro objeto electrificado ya sea por frotación, inducción o por contacto

<sup>11</sup> Un cuerpo adquiere propiedades eléctricas ya sea de atracción o repulsión hacia otro cuerpo al ser frotado, por lo tanto, esto se convierte en una manera de electrificar un cuerpo. También el estado de electrificación de un cuerpo cambia cuando un objeto electrificado se coloca próximo a otro que no lo está, generando un cambio en el estado de electrificación del último objeto.

electricidad vítrea al igual que el electroscopio, entonces las láminas se separarán. De esta forma no sólo observamos si un cuerpo se encuentra electrificado, sino que además podemos caracterizar su tipo de electrificación.



Figura 4. El electroscopio. Sociedad de Estudios Vascos. Tomado de E01.- Fenómenos eléctricos básicos.

Resulta importante señalar, que ya existen otros dispositivos que cuantifican la cantidad de electrificación de los objetos, como el que encontramos en la figura 5. Como lo menciona su descripción, aunque este aparato es un electroscopio al tener la capacidad especial de medir, lo llamamos electrómetro.

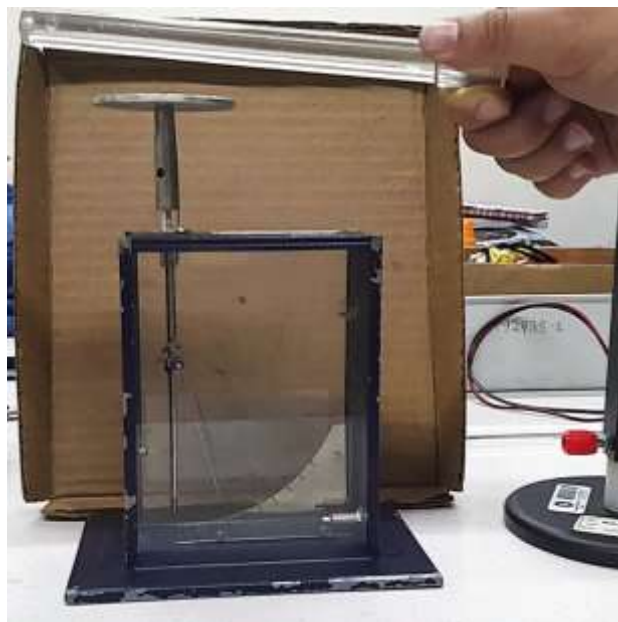


Figura 5. Electroscopio. Depto. Física UPN.

Dichos instrumentos funcionan por inducción, esto quiere decir que no requieren de contacto directo entre sí para que exista una interacción electrostática entre las cargas del cuerpo

electrificado y las del dispositivo. Esto ocasiona que la distribución de cargas sea alterada, ya que, al acercarse el objeto, este redistribuirá las cargas del electroscopio y en algunas zonas estará cargado ya sea positiva o negativamente, porque el inductor (cuerpo electrificado) induce una carga con signo contrario en los extremos del aparato.

En la figura 6 se puede apreciar el comportamiento del electroscopio de la Figura 3 cuando se le aproxima una vara de acrílico electrificada por fricción. Allí podemos evidenciar, que, al acercarse el cuerpo, la aguja medidora se eleva señalando alguna línea ubicada en la parte inferior del instrumento, permitiéndonos saber qué tanto ha sido electrificado el objeto. En concordancia, resulta evidente que al verificar o cuantificar la electrificación que tiene un objeto, también estoy afectando el estado eléctrico del instrumento en cuestión.



*Figura 6. Electroscopio. Imagen propia.*

Por todo lo expresado previamente, podemos reconocer la característica principal que identifica al fenómeno electrostático: observamos que existe una cantidad de electrificación, y que esta puede ser identificada y cuantificada por medio de instrumentos como el electroscopio o el electrómetro.

### 2.3. ¿Cuál es la magnitud que define a la cantidad de electrificación?

En el apartado 2.2 he abordado los instrumentos de medida que indican la cantidad de electrificación que tiene un objeto, también he mencionado las distintas acciones para cargar un objeto. La carga se encuentra intrínsecamente relacionada a los fenómenos eléctricos, pues representa la cantidad de electricidad que posee un cuerpo.

Ahora bien, si pensamos en la vara de acrílico frotada, podemos afirmar que su estado inicial es neutro, porque al acercarla a los trozos de papel no tiene ningún efecto sobre estos, ni en la aguja indicadora del electrómetro; después de ponerla en contacto con el paño, es posible evidenciar que su estado eléctrico cambia, ya que la aguja se mueve y los papeles se atraen hacia ella; es así como defino a la carga electrostática. Otra característica importante a tener en cuenta es su capacidad de transferirla de un cuerpo a otro, por alguna forma de electrificación de las anteriormente mencionadas.

Por lo tanto, la cantidad de carga acumulada es una magnitud de modo extensiva<sup>12</sup>; cuando froté la vara de acrílico con la piel de conejo, pude concluir que ambos objetos estaban igualmente electrificados, aunque con cargas opuestas, esto lo pude evidenciar cuando acerqué tanto la vara como el paño al electrómetro y, posteriormente al indicador de la figura 3. Ahora bien, si quisiéramos acumular esta cantidad de electrificación en otro cuerpo X, podemos concluir lo mismo, pues la cantidad que se encuentra en X es la suma de las electrificaciones que fueron transferidas a este; por tanto, se trata también de una magnitud aditiva.

Según los modelos mecanicistas, estas interacciones electrostáticas cumplen con la tercera Ley de Newton. Volvamos al caso de la vara de acrílico cargada (A) que atrae a los trozos de papel (B); observamos que ocurre una fuerza de atracción eléctrica del primero hacia el segundo, al estar en contacto A con B. De allí infiero que B cambia su estado eléctrico, pues de lo contrario, los papeles hubieran quedado dispuestos en la mesa sin cambio alguno; al realizar esta acción, B también ejerce una fuerza sobre la vara al cambiar su estado eléctrico.

---

<sup>12</sup> La carga eléctrica acumulada en la vara de acrílico es una magnitud extensiva, debido a que el total de esta es la suma de todas las cargas que se le añadan al cuerpo, es decir, si a la vara frotada la vuelvo a frotar (puede ser o no con otro paño) esta aumentará su cantidad de electrificación.

Hasta el momento he presentado una caracterización de la cantidad de electrificación adquirida por un objeto electrificado, de esta manera concluyo que la magnitud que define mejor esta acción es la carga eléctrica, de la cual les hablaré con mayor profundidad en el apartado 5 del presente trabajo.

### 3. RELACIONANDO EL POTENCIAL ELÉCTRICO QUE SE PRODUCE EN PROCESOS ELECTROSTÁTICOS CON EL QUE SE GENERA EN LA PILA VOLTAICA.<sup>13</sup>

#### 3.1. La energía potencial.

En la mecánica se menciona que se genera trabajo cuando se aplica una fuerza a un cuerpo para llevarlo de un lugar a otro (SERWAY, 1977, p. 173). Esto ocasiona no sólo un cambio en la posición del objeto sino también en el estado del mismo, pues para producir trabajo se genera una energía que se almacena (Halliday & Resnick, 1984, p. 149; Serway, 1977, p. 205), tanto en el cuerpo, como en el sistema que lo rodea y que hace posible moverlo mediante las interacciones que lo comprenden, a esto se le llama energía potencial. Haciendo un ejercicio mental podemos exponer lo siguiente: tomemos el caso de un globo que inflamos con el esfuerzo que permite que el aire sea expulsado de nuestros pulmones. Al terminar de realizar esta acción lo soltamos y como es de esperarse saldrá volando por todas partes sin un rumbo determinado debido al cambio de presiones (una atmosférica y otra interna del globo), hasta desinflarse casi por completo y finalmente caer, quedando en equilibrio el sistema.

En esta actividad podemos observar varias situaciones interesantes, la primera ocurre cuando inflamos el globo generando un trabajo, pues debemos hacer un esfuerzo corporal; en el segundo momento, cuando deliberadamente soltamos el globo y este se mueve de un lugar a otro sin rumbo fijo hasta caer en algún punto del espacio, podemos observar que el trabajo que generamos se transforma en movimiento, pues la presión interna del globo y la presión atmosférica que lo rodea buscan quedar en equilibrio. Con esto podemos concluir que la fuerza que aplicamos, así como las que actúan sobre el cuerpo: el peso del objeto, la gravedad, la de empuje<sup>14</sup> y la de rozamiento<sup>15</sup> (figura 7), permiten que la energía potencial que se

---

<sup>13</sup> El presente capítulo es producto de una ponencia que realicé para el IV Encuentro de Estudios Históricos para la enseñanza de las Ciencias y VI Encuentro sobre la Enseñanza de la Mecánica. Presentado en la Universidad Pedagógica Nacional, con la participación de la Universidad del Valle y la Universidad de Antioquia, en agosto de 2023.

<sup>14</sup> La fuerza de empuje está direccionada hacia donde se mueva el objeto.

<sup>15</sup> La fuerza de rozamiento es la que se encuentra cuando dos superficies, planos, cuerpos o espacios están en contacto, haciendo que se contrapongan al movimiento.

almacenó al interior de la estructura elástica, entre en equilibrio con la energía potencial del ambiente.

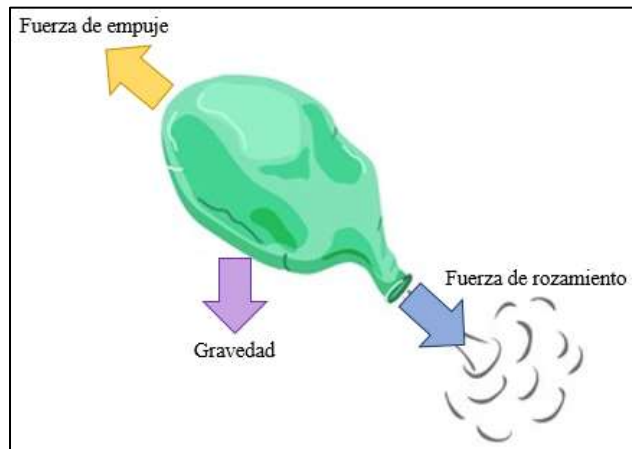


Figura 7. Diagrama de las acciones que radican sobre el cuerpo. Autoría propia.

Ahora bien, esta energía potencial no sólo se manifiesta para casos mecánicos como el anterior, sino que también es posible dar cuenta de ella en otro tipo de fenómenos, como los eléctricos, de los cuales les hablaré a continuación.

### 3.2. El potencial eléctrico en la electrostática.

Al analizar la actividad de frotar la vara de acrílico con un paño y, posteriormente, acercarla a pequeños trozos de papel, pude reflexionar sobre las diferentes situaciones que allí ocurrían. Haciendo una analogía con el caso del globo, deduzco que para electrificar la vara es necesario realizar un esfuerzo, pues no solamente se trata de pasar levemente sobre ella la piel de conejo, sino que es necesario, además, hacer algo de fuerza moviendo la mano de abajo hacia arriba, empuñando el paño y la vara con presión repetidas veces hasta que esta sea electrificada; es evidente, para mí, que en este proceso estoy generando un trabajo.

Posteriormente encuentro otro momento donde también se genera trabajo: pareciera que la vara frotada, para atraer los papeles que se encuentran en la mesa tuviera que realizar un esfuerzo, como si la cantidad de electrificación que en ella se encuentra fuera la que realizara esta acción. Volvamos al momento en el que se desinfló el globo, donde la presión interior del objeto se equilibraba con la del sistema; en este caso, es como si la vara y el sistema estuvieran llegando a un punto de equilibrio con respecto a la electrificación en el objeto frotado, como si la estuviera compartiendo al medio que lo rodea. Si lo pensamos en estos



términos, podría decirse que la energía potencial en un cuerpo cargado se asocia a la capacidad de hacer un trabajo que dé como resultado atraer un objeto mediante algún proceso de electrificación; fue gracias a esta, que al frotar la vara los papeles se atraían hacia ella, generando al mismo tiempo un esfuerzo al que llamaré trabajo.

Hasta el momento podemos observar que el potencial es una magnitud que describe, además, procesos electrostáticos. En el siguiente apartado presentaré el caso electroquímico con la ya mencionada pila de Volta; allí mostraré que es posible evidenciar la presencia de potencial eléctrico, como en el caso electrostático.

### **3.3. El potencial eléctrico en la Pila de Volta.**

El aparato de columna (figura 2), como lo describe Alessandro Volta, es un dispositivo que es capaz de generar y mantener energía sin la necesidad de que una o varias personas intervenga en todo momento. Esto difiere del caso de la vara frotada con la piel de conejo, en la que vimos que para lograr algún efecto era necesario de un esfuerzo humano para poder electrificar el acrílico.

En el caso de la pila, los efectos eléctricos que produce son posibles debido a una serie de fenómenos electroquímicos, de estos aparecen magnitudes que describen estos procesos, una de estas se trata del potencial eléctrico. Ya mostré en este documento, cómo lo podíamos observar en la electrostática, ahora la pila de Volta será el protagonista en la electroquímica para hablar sobre la presencia del potencial, el trabajo y la fuerza electromotriz.

Para la construcción del aparato, Alessandro Volta expresa lo siguiente:

Me proveo de algunas docenas de pequeñas placas redondas o de discos, de cobre, de latón o mejor de plata, de una pulgada de diámetro más o menos, (por ejemplo, unas monedas) y de un número igual de placas de estaño, o, mucho mejor, de zinc, más o menos de la misma forma y tamaño; digo, más o menos, porque en realidad no se requiere gran precisión, y, en general, tanto las dimensiones, como la forma, de las piezas metálicas es arbitraria; se debe solamente tener cuidado de poder disponerlas cómodamente las unas sobre las otras en forma de columna. Preparo además un número bastante grande de pequeños discos de cartón, de piel, o de cualquier otra materia esponjosa, capaz de absorber y retener gran parte del agua. Para el éxito del experimento se requiere que estos últimos estén bien empapados del humor correspondiente. Estas rodajas o pequeños discos que llamaré discos embebidos, los hago un

poco más pequeños que los discos o placas metálicas, de manera, que, superpuestos a estos, (...) no alcancen los bordes. (VOLTA, 1800, p. 767)

Utilizando monedas, papel aluminio, cartón y vinagre, logré reproducir el dispositivo en cuestión. Su disposición consistía en acomodar una moneda (A), un trozo de papel aluminio (B) y por último el cartón embebido de vinagre (C), hasta conseguir una torre apilada como se presenta en la figura 8.



Figura 8. Pila hecha de monedas, papel aluminio y cartón. Autoría propia.

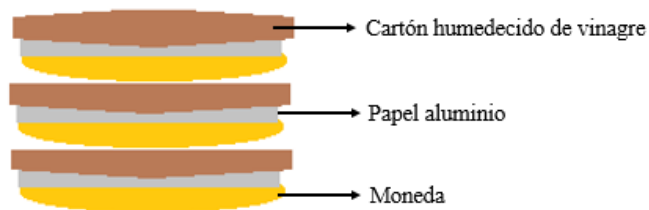


Figura 9. Ilustración de la disposición de los materiales en la pila. Autoría propia.

Posteriormente, comencé a observar que con el paso del tiempo los metales se oxidaban y el vinagre pasaba de ser claro a oscuro con una coloración café. Mientras esto ocurría coloqué dos cables de cobre cada uno a los extremos de la pila y encontré efectos sensibles a los sentidos humanos. Esto lo percibí porque al tomar los dos cables con mi dedo índice y pulgar sentí un cosquilleo, un poco más fuerte en el dedo índice, pues allí tenía una pequeña herida. Recordé la mención al respecto que registró Volta (VOLTA, 1800) al explicar los efectos del aparato de columna; él realizaba una conexión similar para comprobar con sus sentidos, los efectos que el instrumento, al cerrar el circuito le generaban. De manera similar, conecté el dispositivo a un bombillo led que se encendió al entrar en contacto. Al reflexionar al respecto en relación con los experimentos anteriores, inferí que la pila debía realizar algún esfuerzo, que yo no podía observar, para lograr esta acción.

Como mencioné en el apartado 1 del presente trabajo, Volta necesitaba medir y cuantificar los efectos eléctricos que mostraba la pila; para ello utilizó el electrómetro de Cavallo<sup>16</sup>, que modificó con la finalidad de no medir cargas estáticas, sino en movimiento, lo que significaba

<sup>16</sup> El electrómetro de Cavallo funciona de manera similar a los explicados en el segundo apartado, estos se caracterizan principalmente por detectar y medir la carga eléctrica.

una variación en la magnitud del potencial. Por medio de este instrumento logró observar que la *tensión* en el aparato de columna era más duradera pero menos intensa, en comparación a otros dispositivos como la Botella de Leyden, que como ya mencioné mostraban, una duración corta, pero de gran intensidad, a lo que llamaremos chispa.

De la Pila de Volta es necesario mencionar que entre mayor sea la cantidad de conjuntos ABC, la pila aumentará (si sus conjuntos ABC son mayores), o disminuirá (si sus conjuntos ABC son menores) sus efectos eléctricos; así mismo, los materiales se desgastarán (figura 10) con el tiempo (por ejemplo, observamos la oxidación de los metales al estar en contacto con el líquido conductor). Por último, si este aparato se encuentra conectado a algún otro dispositivo (cerrando el circuito) que requiere la energía de la pila, bien sea a un multímetro<sup>17</sup> para medir la capacidad del instrumento, o un pequeño bombillo led para poder encenderlo; entonces la pila sufrirá un cambio en su capacidad de producción de electricidad<sup>18</sup>, generando una diferencia en la capacidad para aplicar trabajo sobre la carga eléctrica, a la cual llamaré diferencia de potencial.



*Figura 10. Estado de la moneda y el papel aluminio.  
Autoría propia.*

Ahora bien, la pila de Volta se caracteriza por ser un generador electroquímico. La disposición de sus elementos permite que la energía química (que se manifiesta por medio de la oxidación de los metales y el cambio de color de los líquidos), se transforme en energía eléctrica (Bokris & Reddy, 1979, p. 903) sin la intervención de otros tipos de energía. De esto, razono que la reacción de oxidación-reducción, es la que realiza el esfuerzo, o, en otras palabras, el trabajo necesario para encender el bombillo. Esto se puede relacionar al caso de la vara de acrílico, que al ser frotada adquiere la energía eléctrica necesaria para atraer los pequeños trozos de papel. En el siguiente apartado haré un análisis más detallado de esta transformación de energía y cómo se define al impulso que permite encender un led.

---

<sup>17</sup> El multímetro es un dispositivo que se caracteriza para medir diferentes magnitudes, por ejemplo, la corriente, el potencial y la resistencia. Para este caso, lo utilizó para medir la diferencia de potencial en la pila.

<sup>18</sup> En el apartado 4, mostraré con evidencias experimentales los cambios en el potencial de una pila.

#### **4. ¿FUERZA ELECTROMOTRIZ O POTENCIAL ELÉCTRICO?: Un análisis desde la transformación de la energía.**

En el capítulo anterior presenté el potencial eléctrico como una magnitud ligada a los fenómenos electrostáticos; señalé también, que este se encuentra presente en otros campos fenomenológicos como la electroquímica, permitiéndonos encontrar relaciones entre magnitudes de carácter eléctrico, con el fin de explicar el funcionamiento de la pila voltaica.

Es importante mencionar, que existen otras acciones eléctricas producidas a causa de otros tipos de energía (en este caso química). Es por esto que a continuación, mencionaré cómo la fuerza electromotriz cumple un papel fundamental en la descripción del funcionamiento de la pila de Volta.

Cuando construí el aparato de columna por primera vez, noté que este dispositivo es capaz de funcionar de manera autónoma, sin la necesidad de que una persona realice una acción constante para garantizar su funcionamiento; sin embargo, esto me generó algunas inquietudes: ¿De dónde toma la energía la pila para su funcionamiento?, según el principio de conservación de la energía, se nos menciona que esta no se crea ni se destruye, solo se transforma, ¿cuál es entonces el tipo de energía que se transforma en energía eléctrica? ¿qué características me dan cuenta del paso de la electricidad por un circuito cerrado en la pila?

Como consecuencia de lo anterior, en los siguientes apartados me doy a la tarea de retomar los análisis mencionados y encontrar la manera en que la fuerza electromotriz describe el proceso por el que se genera electricidad en la pila.

##### **4.1. La fuerza motriz.**

La motricidad, es *la capacidad que tiene un cuerpo para moverse o producir movimiento* (ASALE, s. f.), podemos comprobar esta definición cuando observamos todos los días a las personas, que caminan, levantan sus brazos, corren, mueven sus manos, etc., así como nos podemos mover, también podemos producir el movimiento.

Otro ejemplo lo podemos encontrar en espacios como el laboratorio; si un estudiante desea desarrollar una máquina con base en los principios termodinámicos, podrá encontrar que una opción será la locomotora de vapor. En esta máquina, el motor convierte la energía térmica que se produce por el agua, transformada en vapor al momento de la ebullición, en energía

mecánica; esto ocurre al empujar por presión uno o varios pistones, que por un sistema refrigerante son devueltos a su posición inicial, haciendo que se impulsen cada tanto tiempo. En este proceso se genera un movimiento de traslación, que posteriormente se convierte en rotación de una o varias manivelas anexas a alguna o varias ruedas del tren. En este ejemplo podemos observar, que si el estudiante requiere que el objeto en cuestión se mueva sin la necesidad de que él lo empuje, debe haber un sistema que produzca el movimiento (en este caso el motor a vapor); a esto se le denomina fuerza motriz, o también, potencia motriz<sup>19</sup>. Para este caso ocurre una acción espontánea donde el tren cada vez más adquiere velocidad, para llegar de un punto bajo a uno alto.

Ahora recordemos brevemente la representación de potencial. En el ejemplo del tren, podemos observar que, si los pistones no son impulsados por el vapor y devueltos por el sistema refrigerante, no se produce movimiento. Por tanto, es necesario que haya un impulso generado por el agua, dispuesta en una fuente de calor que la transforma en vapor. La magnitud que describe el sistema que hace posible dicho impulso, lo podemos definir como la energía potencial que posibilita el movimiento del tren.

Volviendo al caso de la pila voltaica, es necesario mencionar que, aun cuando no es evidente a simple vista, en este dispositivo también se genera movimiento cuando se dispone en un circuito cerrado. Esto nos permite concluir que existe una energía potencial (tal como lo mencioné en el apartado 2.3) que propicia los movimientos internos de la pila<sup>20</sup>. Para comprenderlo detallaré a continuación lo que ocurre antes, durante y después del funcionamiento del dispositivo.

#### **4.2. La fuerza electromotriz en la pila de Volta.**

Una de las observaciones más importantes en la pila de Volta es que la existencia de energía eléctrica, como lo mencioné, se puede entender en términos de la ley de conservación de la energía; y en este sentido, proviene de otro tipo de energía, que podemos identificar mediante las distintas afecciones que sufren los materiales dispuestos en el dispositivo. En este sentido, la segunda observación es que, en el interior de la pila, los metales van pasando por un

---

<sup>19</sup> Este aspecto se plantea a profundidad en las memorias *sobre la potencia motriz del fuego* de Sadi Carnot, donde explica cómo se teoriza la producción de movimiento a partir del calor en una máquina térmica.

<sup>20</sup> Estos movimientos internos corresponden a la acción de la corriente eléctrica que fluye por el circuito, los cuales se dan gracias a las reacciones químicas.

proceso de oxidación en el transcurso del tiempo, es decir, que las sustancias que antes estaban unidas y que conformaban al metal, se fragmentan para formar nuevos enlaces con el oxígeno. Como estas uniones se hacen sin la necesidad de calentar, agitar o proporcionar alguna clase de trabajo adicional al sistema, entonces podemos considerar que estas nuevas conexiones químicas son espontáneas. Este tipo de reacciones liberan energía (a la que podemos llamar energía química), que se transforma en energía eléctrica.

Si volvemos al ejemplo del tren y lo comparamos con el caso de la pila, nos damos cuenta de que ocurre un proceso similar; en el primero, la energía térmica se transforma en energía mecánica, mientras que en el segundo es la energía química la que se transforma en energía eléctrica. Por lo tanto, la capacidad de dar el impulso que necesita el tren para moverse, lo denominamos fuerza motriz o potencial; en el caso del aparato de columna, lo denominaremos fuerza electromotriz (ahora en adelante FEM) o diferencia de potencial eléctrico.

Recordemos de nuevo el caso de la vara de acrílico, en el que la carga eléctrica adquirida tuvo un potencial mayor inmediatamente después de la acción de frotación, disminuyendo unos minutos después, y terminando con la vara nuevamente en estado neutro (esta afirmación fue verificada por las mediciones del electrómetro). Ahora pensemos en la Botella de Leyden, que cuando se descarga proyecta una chispa, caracterizada (como he mencionado en apartados anteriores) por ser muy intensa y de corta duración; podría decir entonces, que al igual que el caso anterior, pasa de un potencial mayor a uno menor, hasta finalmente quedar en equilibrio.

Propongo de ejemplo ahora, el caso de una manzana que se cae de un árbol; al estar sujeta de las ramas, antes de precipitarse hacia abajo se encuentra en su máximo potencial, pero cuando llega al suelo, su potencial es cero. Ahora bien, este tipo de acciones mecánicas espontáneas, indican que lo “natural” es que las situaciones ocurran de esta manera, por lo que resulta imposible que la manzana autónomamente vuelva a su estado inicial de mayor potencial; la única forma de que esto suceda es que yo tome la manzana y la suelte exactamente a la misma distancia de la que cayó. Sin embargo, existe una característica especial en el potencial o FEM de la pila, pues su acción eléctrica difiere a la de las acciones electrostáticas, ya que su

proceso es contrario; es decir que permite que una carga pase de un potencial bajo a uno alto y por consiguiente, discrepa de las acciones mecánicas que comúnmente conocemos.

Observemos el caso de esta pila que realicé con limones, tornillos galvanizados y trozos de cable de cobre. Para verificar que en la pila había efectos eléctricos, le conecté un led<sup>21</sup> y di cuenta que funcionaba al encenderse el pequeño bombillo (figura 10). Posteriormente lo desconecté y comencé a tomar mediciones de diferencia de potencial con un multímetro, registrándolas sistemáticamente en



Figura 11. Pila de limones. Autoría propia.

una tabla. En el momento inicial, sin conectar el bombillo led (es decir a los 0 min), la pila tenía una diferencia de potencial de 5,76 Voltios (de ahora en adelante V)<sup>22</sup> (figura 11), a los 24 min, sin variar la configuración, ésta marcaba 5,65 V. Ahora bien, a los 30 min. conecté 2 bombillos led al mismo tiempo, uno rojo y otro amarillo durante 1 min; observé con esto, que la tensión bajó a 1,58 V (figura 12). Luego dejé



Figura 12. Pila de limones, 0 min, 5,76 V. Autoría propia.

conectado solamente el bombillo amarillo y por 1 min la medida registrada fue de 1,72 V; cuando hice lo mismo con el bombillo rojo, el multímetro marcó 1,57 V. En este momento han pasado 37 minutos, decido quitar los bombillos y revisar la tensión, que para entonces



Figura 13. Pila de limones, 30 min, 1,58 V. Autoría propia.

marcaba 5,50 V (tabla 1). A los 55 min. la tensión registrada es de 5,34 V es importante mencionar, que después de los 37 min, experimenté conectando el bombillo rojo entre los 41 min. y 51 min.

<sup>21</sup> Es importante aclarar que la variación del potencial no es la misma para los dos colores de LED, según los resultados el bombillo rojo afecta más la medida de potencial que el amarillo, sin embargo, estos fueron utilizados meramente para mostrar el comportamiento del potencial en la pila.

<sup>22</sup> La V hace referencia a la medida de voltaje, que se trata de la misma tensión, FEM o diferencia de potencial.

Lo llamativo surge a continuación; en el minuto 60 decidí conectar nuevamente el led



Figura 14. Pila de limones, 60 min, 1,70 V. Autoría propia.



Figura 15. Pila de limones, 70 min, 1,71 V. Autoría propia.

amarillo midiendo 1,70 V (figura 13). A los 61 min, registré en el multímetro 1,71 V, y observé que esta medida se mantuvo constante hasta los 70 min (figura 14). Decidí entonces, desconectar el bombillo y observé que, pasado el tiempo, a los 90 min la medida en el multímetro era de 5,56 V (tabla 3).

Bombillos	Tiempo (min)	DIF. POTENCIAL
	0	5.76
	20	5.62
	22	5.62
	24	5.65
2 bombillo	30	1.58
amarillo	31	1.72
rojo	32	1.57
	34	5.42
	37	5.50

Tabla 1. De 0min a 37 min.

Bombillos	Tiempo (min)	DIF. POTENCIAL
	34	5.42
	37	5.50
rojo	41	1.57
rojo	43	1.57
rojo	45	1.57
rojo	48	1.57
rojo	51	1.57

Tabla 2. De 34 min a 51 min.

Bombillos	Tiempo (min)	DIF. POTENCIAL
	52	5.36
	55	5.34
amarillo	60	1.70
amarillo	61	1.71
amarillo	63	1.71
amarillo	65	1.71
amarillo	68	1.71
amarillo	70	1.71
	71	5.15
	73	5.30
	75	5.38
	77	5.38
	79	5.45
	81	5.49
	85	5.49
	87	5.52
	90	5.56

Tabla 3. De 52 min a 90 min.

La actividad anterior la he realizado con la finalidad de entender el funcionamiento de la FEM en una pila, cuando el circuito se encuentra cerrado. Podemos observar que hubo momentos en los que su potencial paso de mayor a menor, por ejemplo, entre los minutos 0 y 32, debido a la conexión de los leds, que requerían mayor potencial para encenderse. También podemos notar, como lo he venido mencionando, que el potencial en la pila pasa de menor a mayor entre los 60 y los 90 min posterior a la desconexión de los bombillos.

Para finalizar, en el siguiente apartado les mostraré que es a raíz de estas acciones que se produce la corriente eléctrica.



## 5. ¿QUÉ VIENE DESPUÉS DEL IMPULSO GENERADO POR LA FEM O LA DIFERENCIA DE POTENCIAL?

### 5.1. Carga eléctrica.

Recordemos lo visto en el apartado 2.3 del presente trabajo, donde mencioné que la carga eléctrica es la magnitud que mejor describe la electrificación que adquiere un cuerpo por medio de frotación, contacto, inducción o conducción.

En este sentido me surge la siguiente pregunta: ¿la carga eléctrica es una propiedad que adquieren los cuerpos, o por el contrario todos la tienen y no hay necesidad de alterarla? Cuando acercaba la vara de acrílico al electrómetro, no observaba un cambio en la aguja medidora sino hasta realizar la acción de frotamiento; es decir que solo hasta ese punto la vara adquiriría carga eléctrica. Sin embargo, como he venido mencionando, esta no surge de la nada, por el contrario, es más factible pensar que la vara se encontraba en estado neutro, es decir que, aunque tenía carga eléctrica, no se encontraba alterada y que esta solo aumenta porque en el proceso de frotación se le concede más. Observamos también que no sólo cambia el estado de la vara, sino del paño con el que fue frotada; por tanto, en este proceso ocurre un intercambio de carga eléctrica. Concluimos entonces, que se trata de una propiedad que todos los cuerpos tienen y que puede alterarse.

Es necesario precisar la existencia de otras formas de alterar la carga eléctrica de los cuerpos, y que su comportamiento no será el mismo en todos los fenómenos de tipo eléctrico. En el caso del aparato de columna, la carga eléctrica no se altera porque se hayan frotado todos los materiales que la componen, sino por otras razones que conducen al estudio de la electroquímica<sup>23</sup>. Observamos también otra característica importante que diferencia este dispositivo de otros: su carga eléctrica se mueve debido a las acciones químicas, lo que no sucede en el caso de la Botella de Leyden en el que sus cargas son estáticas. De estos importantes análisis surge la corriente eléctrica como magnitud fundamental, que procederé a detallar a continuación.

---

<sup>23</sup> En el apartado 6 del presente trabajo hablaré a profundidad sobre la relación de los fenómenos electroquímicos con la pila de Volta.

## 5.2. ¿Carga eléctrica en movimiento?

El concepto de carga eléctrica fue fundamental para comprender las acciones eléctricas que se manifestaban en los experimentos electrostáticos; es por consecuencia de esta que en aparatos como la Botella de Leyden vemos como resultado la generación de una chispa. No obstante, esta magnitud no se comporta de igual manera en todos los campos de la electricidad. La Pila de Volta en comparación con sus predecesores produce efectos eléctricos menos intensos pero duraderos en el tiempo, esto significa que su carga eléctrica se prolonga en el tiempo en comparación con la Botella de Leyden, lo que significa que su carga eléctrica no es estática, sino que se mueve a razón de las reacciones químicas en su interior.

Al movimiento de la carga eléctrica se le denomina corriente o flujo, es decir que para que el aparato de columna prenda un pequeño bombillo led, debe existir un flujo de carga eléctrica que lo ocasione.

### 5.2.1. El flujo.

La palabra flujo solemos escucharla con frecuencia en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, si andamos por la calle observaremos que hay flujo vehicular; si lo detallamos con cuidado podremos determinar su cantidad: diremos que el flujo es alto cuando abunden los automóviles, o bajo cuando las vías se encuentren vacías. Así mismo, si nos encontramos en una carretera con dos calzadas en sentido contrario, estimaremos fácilmente cual es más transitada que la otra, o si tienen igual cantidad de flujo (figura 15).



Figura 16. Cómo enfrentar el alto flujo vehicular en carreteras. PULSO, 2020.

Escuchamos también la expresión “flujo de agua”, que comúnmente utilizamos para hablar de manantiales, arroyos, riachuelos, etc.; esta enunciación, al igual que el caso anterior, nos

indica un sentido de dirección: de arriba hacia abajo, de norte a sur, de oriente a occidente etc. (figura 16)



Figura 17. ¿Qué son los manantiales? PORTILLO, 2022.

Otro ejemplo ilustrativo lo podemos encontrar cuando hablamos de “flujo de calor”. Imaginemos que nos encontramos en la cocina y debemos calentar agua para una bebida aromática; tras encender los fogones y esperar unos minutos, esta queda mucho más caliente de lo que indica la receta, que sugiere una temperatura media para la correcta infusión de las hojas de té. Para solucionarlo, decidimos verter agua “fría” que tenemos a disposición en otro recipiente; en el proceso observaremos que el contenido de ambos envases se encuentra a temperaturas diferentes, una es más alta que la otra por lo que tiene una mayor cantidad de energía. El agua caliente fluirá del punto mayor al punto menor al entrar en contacto con el agua “fría” (con menor energía), hasta finalmente establecerse un punto de equilibrio. Si bien, a diferencia de los dos ejemplos anteriores, en este último no es evidente la dirección del flujo, esta se manifiesta tal como se describe en la figura 17; el agua “fría” desciende y el agua caliente asciende.

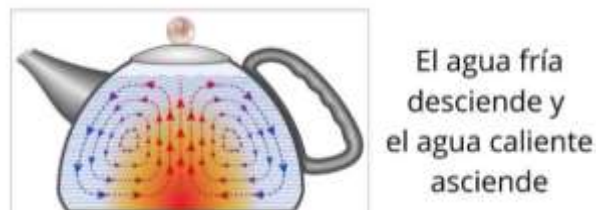


Figura 18. Transferencia de calor por convección. ZAPATA, 2020.

Como hemos visto hasta ahora el flujo está presente en muchos casos, en los que destaca su sentido o dirección como característica principal; sin embargo, no podemos hablar de flujo en todas las situaciones. Por ejemplo, en el caso de la electrostática las cargas se encuentran en reposo, ya que no hay una acción que permita su movimiento; este no es el caso para otros fenómenos de carácter eléctrico y por eso hablamos allí de corriente eléctrica. En el electromagnetismo, para poner un caso, se menciona la relación entre la corriente y el campo magnético pues la primera permite la creación del segundo; esto lo descubrió Oersted en el año 1820 cuando observó que el paso de la corriente eléctrica por un conductor desviaba la aguja imantada de una brújula (BELÉNDEZ, 2008. p. 10), por ende, cuando una carga eléctrica se mueve generando corriente, se produce un campo magnético. En este último ejemplo, podemos evidenciar que el movimiento de una carga genera efectos que no son de tipo eléctrico, sino magnéticos; existe aquí también un flujo que, como en los casos anteriores, tiene dirección.<sup>24</sup>

A continuación, relacionaré lo explicado en estos dos apartados para hablar de la presencia de la corriente en la Pila Voltaica, a que se debe, cómo se puede evidenciar y cómo la relacionamos con los demás fenómenos mencionados, la diferencia de potencial, la fuerza electromotriz y las transformaciones químicas.

### **5.3. La corriente eléctrica que se genera en el aparato de columna.**

Tenemos el caso de la pila en la electroquímica, que como he mencionado anteriormente, se caracteriza por generar corriente; sin embargo, no hay efectos visibles que nos indiquen la dirección de este flujo de carga eléctrica.

En el capítulo 3, en el que profundicé sobre el potencial eléctrico en relación al aparato de columna, detallé la construcción del dispositivo; dicha descripción nos permitirá comprender la manera en que su disposición interviene en el sentido del flujo eléctrico. Allí también expliqué las diferentes conmociones que genera la pila en el cuerpo humano al cerrarse el circuito, de la misma manera que cuando se conecta con un bombillo led. Por último, ahonde

---

<sup>24</sup> Un ejemplo podría ser el caso de los dos alambres por los que se les hace pasar una corriente, haciendo que uno se atraiga al otro, aquí podría hacerse un diagrama vectorial, de acuerdo con la ley de la mano derecha, en donde se puede encontrar la dirección de la fuerza de atracción, el campo magnético y la corriente.

sobre la manera en que los cambios químicos dan indicios de las acciones eléctricas; estas consideraciones guiarán los análisis que puntualizaremos a lo largo de este apartado.

La pila voltaica es un generador electroquímico; allí la energía química se transforma en energía eléctrica (BOKRIS & REDDY, 1979, p. 903), sin la intervención de otros tipos de energía como la térmica, mecánica o magnética. Existen también otros generadores que funcionan bajo el mismo mecanismo, por ejemplo, el aparato de corona de tazas (figura 18), que genera una diferencia de potencial o FEM y una corriente eléctrica relacionada con una reacción de oxidación-reducción. Lo anterior es importante para entender cómo se produce la corriente; sin embargo, es necesario aclarar que ésta solo surgirá cuando se cierre el circuito en la pila, sin esto, lo único que tendremos en el dispositivo será el mantenimiento de una diferencia de potencial.

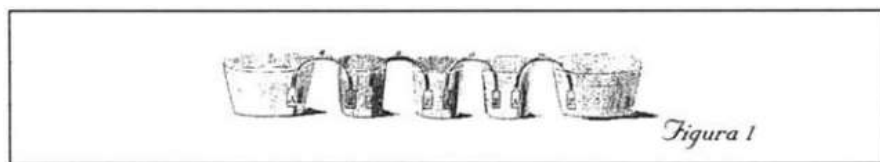


Figura 19. Aparato de corona de tazas. VOLTA, 1800, p.770.

Aún nos resta considerar algunas dudas adicionales: ¿en qué dirección ocurre el flujo de carga?, es decir, ¿hacia dónde se dirige la corriente?, ¿los efectos sensibles que menciona Volta y los que pongo a prueba durante el funcionamiento de la pila ocurren en relación a la corriente o a la diferencia de potencial?

Recordemos que el aparato de columna es un dispositivo compuesto por el apilamiento, de un par de metales diferentes entre sí y un líquido conductor. Con el paso del tiempo, uno de los metales cambia de color (decimos que se está oxidando), mientras el otro mantiene su tonalidad (decimos que se está reduciendo); en cualquier caso, ambos sufren transformaciones en su estructura química. Estos efectos ocurren en cadena, y suceden de igual manera en todos los pares de metales apilados en el dispositivo. Es debido a este efecto que ocurre el flujo de carga eléctrica y que existe, además, una diferencia de potencial que no se mantiene constante en el tiempo.

Volta mencionaba, que cuando acercaba su lengua al aparato encontraba sabores ácidos y alcalinos; de acuerdo a estos sabores encontraba la dirección del flujo eléctrico mientras que el circuito se mantuviera cerrado:

(...) había, como decía, descubierto como consecuencia de este poder que atribuyo a los metales, que dos piezas de metales distintos, en particular una de plata y una de zinc, aplicadas de manera conveniente, excitaban, sobre la punta de la lengua, sensaciones de sabor muy marcadas; que el sabor era decididamente ácido, si, la punta de lengua estaba dirigida hacia el zinc, la corriente eléctrica iba contra él y entraba; y que otro sabor, menos fuerte, pero más desagradable, agrio, tirando a alcalino, se hacía sentir, (estando invertida la posición de los metales), si la corriente eléctrica salía de la punta de la lengua; que estas sensaciones, además, continuaban e incluso se incrementaban, durante varios segundos, si el contacto mutuo de los metales se mantenía y el círculo conductor no se interrumpía en ninguna parte. (VOLTA, 1800. pp. 777-778)

En otras palabras, el flujo de carga eléctrica surge en el sitio en donde se percibe el sabor alcalino y se dirige hacia donde se percibe el sabor ácido, pues *la corriente eléctrica va contra él y entra* (VOLTA, 1800, p. 778); estas apreciaciones del sentido del gusto se deben a las reacciones químicas ya mencionadas. Estos sitios de entrada y salida de corriente que menciona Volta se les denomina electrodos, el punto de entrada (el elemento que se oxida) es el ánodo y el de salida (el elemento que se reduce) el cátodo.

Con lo anterior, continuaré en el siguiente capítulo, explicando en detalle las acciones químicas necesarias para la producción de electricidad en la pila voltaica y las características que mejor definen la dirección del flujo eléctrico.

## 6. SOBRE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE OCURREN EN LA PILA DE VOLTA: De la energía química a la energía eléctrica.

En capítulos anteriores he explicado la manera en que se manifiesta la energía eléctrica la pila de Volta; como síntesis puedo mencionar, que este es un dispositivo que produce diferencia de potencial y que cuando se cierra el circuito genera corriente eléctrica. Establecimos también que la incidencia de carácter eléctrico que se generan en el aparato de columna no es arbitraria, sino que responde a otro tipo de energía; cuál es y por qué manifiesta los efectos mencionados es la pregunta que desarrollo a continuación.

Como lo dije anteriormente, es posible observar que, con el paso del tiempo, se transforman los materiales dispuestos en la pila: las monedas se desgastan y cambian su coloración y la sustancia líquida se torna amarilla.

Es importante mencionar que cuando Volta diseñó el aparato de columna, lo hizo con la intención de mostrar efectos eléctricos prolongados, en comparación, por ejemplo, a la ya mencionada botella de Leyden; por esto dispuso de materiales resistentes que le permitieran conseguir este objetivo. En principio Volta pensó que el “poder” que tenía la pila se debía al contacto de los metales y que el papel de la sustancia era unirlos como una especie de “éter”; por esta razón no prestó mayor atención a la acción de la sustancia líquida sobre los materiales secos y viceversa. Aunque su aporte fue significativo para la ciencia y especialmente para el entonces naciente mundo industrial, otros científicos se plantearon preguntas en torno a los cambios que no parecían ser eléctricos, pero que se relacionaban a la producción de electricidad y que podían ser observados fácilmente.

Thomson (1840) menciona que *“la electricidad desarrollada por combinaciones químicas y descomposiciones fue durante mucho tiempo un tema de controversia”*; con el aparato de columna se había abierto paso a una serie de discusiones sobre nuevas relaciones de carácter eléctrico, como el magnetismo, y especialmente en torno a las reacciones químicas. Afirmar que las acciones eléctricas de la pila se debían solamente al contacto entre metales, era una idea errónea ya que suponía una generación de trabajo eléctrico espontánea, sin una FEM que sustentara dicha producción; así, la pila sería una máquina de movimiento perpetuo.

Volta afirma que la pila hecha de solo metales genera movimiento eléctrico, ya que en sus experimentos barnizó las placas para “aislarlas”, y posteriormente notó que efectivamente había una generación de tensión. Esta afirmación es equívoca, porque el barniz también funciona como sustancia conductora; al respecto científicos como Ritter, Faraday y Davy concluyen que una pila hecha de metales anula las tensiones generadas, recalcando la importancia del análisis del papel de los líquidos conductores. (OSTWALD, 1912, p. 69)

Como detallé en el capítulo 4, la FEM es la acción que permite la obtención de corriente (en un circuito cerrado) por medio de alguna fuente; en este caso no de carácter eléctrico, sino químico. Estos efectos se deben al contacto entre metales y sustancias conductoras; vale la pena aclarar en este punto, que, dependiendo del metal utilizado, las acciones eléctricas serán de mayor o menor intensidad, haciendo que las reacciones<sup>25</sup> sean diferentes. Esto permitió a Volta, establecer un orden al que llamo *serie electromotriz*, en la que observó que cada metal tiene un “poder” diferente al disponerse bien sea en relación a una solución acuosa o a otro metal. Ritter distinguió la relación entre los fenómenos eléctricos y químicos (fundando el estudio de la electroquímica) estudiando dicha serie, también llamada de tensiones<sup>26</sup> o de oxidación. Comprobó que esta, era igual cuando se organizaba con respecto a su afinidad<sup>27</sup> decreciente<sup>28</sup> con el oxígeno (OSTWALD, 1912, p. 70).<sup>29</sup> Llegó a esta conclusión al observar que una placa de zinc sumergida en el agua se oxidaba más rápido que cuando se disponía seca sobre una placa de plata; concluyó con esto, que tal como en la pila, las reacciones químicas podían producir electricidad.

---

<sup>25</sup> Una reacción es un cambio o transformación química que ocurre cuando se ponen en contacto las sustancias, dando como resultado otros compuestos diferentes a los iniciales.

<sup>26</sup> Volta utilizaba el término *tensión* para referirse a la diferencia de potencial que detallé en el capítulo 3.

<sup>27</sup> La afinidad química es la que ocurre cuando dos compuestos o elementos diferentes se unen mediante reacciones químicas para crear o generar una nueva sustancia o compuesto, esto no ocurre de igual manera en todas las interacciones, por ejemplo, tengo tres sustancias, A, B y C, A con B reaccionan al instante generando un compuesto, A y C, también lo hacen pero no ocurre al instante, sino que su proceso es más demorado, y por último, B y C, cuando se ponen en contacto no reaccionan y no generan otros compuestos, es decir en el primer caso, la afinidad fue mayor a comparación del segundo, y en el último B y C no eran afines.

<sup>28</sup> Esta serie de oxidación consta de un ordenamiento donde los metales se encuentran de mayor a menor afinidad con el oxígeno, en orden decreciente.

<sup>29</sup> Es importante comentar que Volta no tuvo en cuenta la conductividad del aire; el oxígeno cumple un papel fundamental en los procesos de funcionamiento de la Pila Voltaica. Al respecto Haldane menciona, que en espacios cerrados la actividad de la Pila se detendrá pronto. (OSTWALD, 1912, p. 77)



Esta serie electromotriz, fue fundamental en el desarrollo de los estudios sobre los procesos electroquímicos. Allí se indica la relación que tienen las reacciones de oxidación con la producción de electricidad, evidenciando que la tensión eléctrica entre dos metales varía de la misma manera en que su capacidad para oxidarse. Volviendo a la placa de zinc, al ser mayor la oxidación cuando se encuentra sumergida en el agua, también lo es la diferencia de potencial producida, en comparación a cuando se dispone seca en contacto con la placa de plata. Esto se debe no solamente a la afinidad de los materiales en cuestión, sino al papel de la sustancia y su composición que posibilita una reacción electrolítica<sup>30</sup> y por tanto una mayor interacción con la placa de zinc.

Si el caso anterior lo retomamos en relación con la pila voltaica, podemos observar en términos experimentales, que cuando ponemos en contacto una moneda y un trozo de papel de aluminio, estos no marcan una diferencia de potencial en el multímetro, es decir que no observamos tensión entre ambos materiales (figura 19).



Figura 20. La tensión producida entre la moneda y el papel aluminio. Autoría propia.

Ahora, si coloco la moneda dentro de vinagre blanco, veremos en el multímetro, un cambio en la tensión (figura 20). Este fenómeno no solo se atribuye a la afinidad entre los materiales involucrados, sino también a la naturaleza de la sustancia en sí, ya que



Figura 21. La tensión producida entre la moneda dentro del vinagre blanco. Autoría propia.

---

<sup>30</sup> Las reacciones electrolíticas ocurren cuando se separan los elementos de un compuesto por medio de la electricidad.

su composición facilita una reacción electrolytica que potencia la interacción con la moneda.

El vinagre es una sustancia ácida, compuesta principalmente de ácido acético y agua; al disponer la moneda, mayoritariamente de cobre dentro del vinagre, observamos que con el paso del tiempo cambia su coloración y notamos en ella un mayor desgaste (figura 21). En este proceso el metal se ha corroído, es decir que tiene un alto potencial de oxidación; así mismo observamos cambios en el vinagre, al que le aparecen burbujas en la superficie, deduciendo que, a razón de la reacción, se libera un gas en la sustancia; hemos generado en el proceso acetato de cobre. Vale la pena aclarar, que los efectos anteriormente mencionados no ocurren de la misma manera si la moneda se dispone en contacto con el papel aluminio. De esta manera, no veremos visualmente afectados a ninguno de los dos metales, es decir que no presentaran corrosión



Figura 22. Moneda desgastada dentro de vinagre. Autoría propia.

Michael Faraday (1791-1867) se preguntó por la relación entre las acciones químicas y las acciones eléctricas. Para constatar cuáles eran las fuentes de energía en una pila, dedicó su análisis al vínculo entre las descomposiciones y la electricidad. Observó que el desgaste de los materiales es siempre proporcional a la cantidad de electricidad que proporcionan. Cuando se disponen los materiales, húmedos y secos en la pila y pasa por ellos la misma cantidad de electricidad, todo el peso de los elementos que se libera en esta combinación, es proporcional a los equivalentes químicos<sup>31</sup>. (OSTWALD, 1912, p. 96)

Con este estudio fenomenológico y experimental, Faraday consolida sus leyes de la electroquímica en torno a la descomposición; estableciendo así una teoría general sobre la relación de las reacciones químicas con los fenómenos eléctricos. Como parte de estos descubrimientos, se denomina electrolitos a los líquidos que cumplen la función de conducir electricidad, en su proceso de descomposición (OSTWALD, 1912, p. 96). Vale la pena aclarar

---

<sup>31</sup> El peso equivalente es una relación entre el peso atómico de un elemento y su valencia, este indica la cantidad que se puede combinar con otro elemento para generar un compuesto. Por ejemplo, el peso equivalente del oxígeno se obtiene dividiendo su peso atómico que es de 16 g/mol entre su valencia que es de 2, dando como resultado 8 g. En este caso, toda cantidad de compuesto que se libera es proporcional a su equivalente químico; si queremos que el resultado sea agua, debemos determinar también el equivalente del hidrógeno, dividiendo 1g/mol entre 1. Por tanto, necesitaremos 8g de oxígeno por cada gramo de hidrógeno.

que, aunque la mayoría de los líquidos tienen esta característica, algunos poseen una mayor tendencia conductora que otros; según Ostwald *los líquidos más conductores son las soluciones acuosas ácidas, las bases y las sales* (OSTWALD, 1912, p. 97).

En este sentido, así como en el caso de los metales, en los que aquellos con mayor tendencia a verse afectados en coloración y forma, suelen ser mejores conductores; podremos observar que el agua, por ejemplo, es un electrolito débil al no conducir significativamente la energía eléctrica, ya que cuando se disocia<sup>32</sup> lo hace en pequeñas cantidades. De manera contraria, los electrolitos fuertes (bases, ácidos y sales), tienen una disociación mayor, presentando un elevado flujo de electrones, moléculas y por su puesto iones.

Como hemos podido observar, el estudio de las acciones químicas a raíz de la pila de Volta moviliza un desarrollo intelectual de carácter histórico desde principios del siglo XIX. Las teorías propuestas, son complementadas, refutadas o estabilizadas con el pasar del tiempo, de manera que no hablamos de un trabajo individual, sino de la pretensión constante de los científicos, de retomar el trabajo de otros intelectuales para refinar las posibles respuestas al fenómeno.

Me centraré ahora en lo que ocurre en el aparato de columna. Tenemos entonces que se trata de un dispositivo compuesto de varios pares de metales, y de una sustancia conductora, o electrolito. La pila Voltaica que elaboré en el proceso de investigación está compuesta de trozos de papel aluminio, monedas de 1 peso colombiano<sup>33</sup>, vinagre y trozos de cartón; los dispuse uno encima del otro, colocando primero el papel aluminio, encima la moneda y por último el cartón bien humedecido en vinagre, haciendo grupos sucesivos hasta obtener un resultado similar al aparato de columna. Cuando cerré el circuito mediante un cable de cobre, y conectándolo al electrómetro (figura 22), observé lo que mencionaba al comienzo de este capítulo, un cambio de la coloración y de la forma de la moneda, más no así del papel aluminio<sup>34</sup>.

---

<sup>32</sup> La disociación es un proceso por el cual se separan moléculas, compuestos o elementos en otras moléculas más pequeñas, iones o electrones.

<sup>33</sup> Estas monedas de 1 peso colombiano fueron fabricadas entre 1976 y 1981, está compuesta de 65% cobre, 20% zinc y 15% de níquel.

<sup>34</sup> El desgaste de la moneda y el estado del papel aluminio puede verse en el apartado 3.3 del presente trabajo en la figura 9.



Figura 23. Pila en circuito cerrado, conectada a un electrómetro. Autoría propia.

Aunque pensemos que este último no tiene una acción significativa en la pila al no ser visibles sus cambios estructurales; el proceso que le ocurre, contrario a la moneda, no es de oxidación, sino de reducción; hay entonces una reacción redox (oxidación- reducción). Un objeto experimenta un proceso de oxidación, porque está ganando oxígeno; por ende, actúa como agente reductor. En cambio, si sufre reducción, será porque está perdiendo oxígeno, asumiendo así el papel de agente oxidante<sup>35</sup>.

Ahora bien, es importante tener en cuenta que, siguiendo la Ley de Faraday, *cantidades descompuestas de una sustancia determinada son siempre proporcionales a las cantidades de electricidad que han pasado* (OSTWALD, 1912, p. 96); esto quiere decir, que el electrolito (en este caso el vinagre) es quien conduce la electricidad en su proceso de descomposición. Esta misma ley también afirma que:

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. En el ánodo aparecen el oxígeno, los halógenos y los otros elementos no metálicos de los electrolitos; en el cátodo aparecen el hidrógeno, los metales y componentes similares a los metales. (OSTWALD, 1912, p. 98)

Es posible decir entonces, que el ánodo es el metal que se oxida en la pila: la moneda; y que el cátodo, el metal que se reduce: el papel aluminio. De la Ley de Faraday también extraemos que:

---

<sup>35</sup> Resulta importante aclarar que no en todas las reacciones redox interviene el oxígeno, los casos que presento son meramente donde se forman óxidos a partir de los metales, en las cuales hay intervención del oxígeno.

Los componentes de las electrolisis conducen la corriente (o son conducidos por ella) de manera tal que viajan cantidades equivalentes de los elementos con cantidades iguales 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 y son el oxígeno, los halógenos y otras sustancias que se encuentran en combinación con los metales y las sales. (OSTWALD, 1912, p. 98)

Por los cambios que ocurren a razón de la transformación de la sustancia y los metales, se crean iones como nuevos componentes, es decir, el óxido de cobre con la moneda, o el gas que se presenta en pequeñas burbujas sobre el líquido, que podemos llamar gas de hidrógeno.

De esta manera observamos que, en relación con el caso electrostático, hay distintas formas de generar energía eléctrica; desde mi perspectiva, concluyo que el caso de la pila tiene mayor eficiencia, debido a que sus acciones eléctricas son producidas por ella misma, pues el único esfuerzo humano que debo realizar es la disposición de los materiales como lo mencioné anteriormente, es decir, no debo estar presente ni realizando acciones constantes sobre esta.

En el caso electrostático no hay posibilidad de que los efectos eléctricos sean duraderos, esto se puede observar con la Botella de Leyden, donde solamente se genera chispa eléctrica. Sin embargo, en la Pila Voltaica los efectos son persistentes, debido a las transformaciones químicas que ocurren en el aparato, dando como resultado iones (los componentes nuevos) que *conducen la corriente*, por eso podemos afirmar que hay un flujo de carga eléctrica.

Anteriormente he aclarado que la diferencia de potencial o FEM representan la capacidad de los componentes dispuestos para generar corriente en la pila. Esta capacidad responde a parámetros como la calidad de los metales, el ambiente en el que se disponen o a la forma en que se diseñan los conjuntos de materiales secos y húmedos. Si en lugar de monedas compuestas por un 60% de cobre, hubiera utilizado láminas de cobre al 100%; si además las hubiese puesto en contacto por medio de piel en lugar de cartón, humedecida por ácido acético en lugar de vinagre; y si incluso hubiera cubierto la pila con algún material aislante como el plástico (que cubre las baterías que utilizamos en la actualidad), la capacidad de generar electricidad de mi dispositivo hubiese sido mayor y, por lo tanto, sus efectos más duraderos. Existe entonces, una relación proporcional entre la capacidad y la corriente.

## CONCLUSIONES

En el transcurso de este texto procuré evidenciar que las distintas teorías eléctricas no son construidas por un solo esfuerzo individual, sino que parten de la apuesta colectiva de numerosos intelectuales, que pueden no coincidir temporal o geográficamente, pero cuyo intercambio constante es fundamental para la formalización de las ideas científicas, haciendo de este un proceso complejo y multifacético. Esto nos permite comprender, que el aparato de columna no es sólo un instrumento que contribuyó al desarrollo industrial, sino un medio por el que estudiar diferentes fenómenos como los eléctricos y los químicos. Es de esta misma forma que se deben abordar desde las apuestas pedagógicas.

Por esta razón, es importante profundizar en los aportes de científicos como Volta con su configuración de la pila; Faraday y sus importantes leyes que relacionan la descomposición de sustancias con el paso de la electricidad; Ritter (como fundador del estudio de la electroquímica) con sus novedosos análisis en torno a la relación entre la tensión y el oxígeno; y Davy por posibilitar el camino hacia la creación de nuevas celdas voltaicas con distintos materiales, identificando nuevas composiciones químicas por medio de la electrolisis. De sus importantes análisis, surgen definiciones como la tensión, la diferencia de potencial y la FEM (que como mencioné se relacionan entre sí describiendo una misma acción), o la carga y su movimiento, construyendo el concepto de corriente eléctrica, vinculado a la transformación de sustancias. Esto otorgó a mi investigación coordenadas de acción, enmarcadas en la consolidación de una mirada histórico-crítica de los fenómenos, en este caso, electroquímicos.

El estudio de estas magnitudes es fundamental por permitir describir y representar estadios específicos de los fenómenos. Para el caso de la pila de Volta, me resultó trascendental una perspectiva analítica, crítica y experimental, aun cuando desligarme parcialmente de concepciones meramente teóricas, para dar explicaciones propias de lo que observaba, fue un reto considerable en la investigación. De este proceso aprendí, que existen herramientas como las analogías, que posibilitan la comprensión de fenómenos en una visión más amplia de la física, con un sentido comparativo entre leyes y teorías.

En este sentido, reitero que los estudios sobre la electricidad comienzan con la electrostática, de allí surgen magnitudes como la cantidad de electrificación, que posteriormente aportan a la descripción del fenómeno electroquímico. Por tanto, puedo afirmar que, para la comprensión de la corriente o flujo de carga eléctrica, es necesario pensar primero en la carga estática y en el significado de flujo.

Finalmente, debo mencionar que, actividades experimentales como, por ejemplo, el ejercicio de inflar un globo y observar los diferentes estados por los que pasa al desinflarse; permiten formalizar perspectivas subjetivas, estableciendo magnitudes como el potencial, que finalmente se relacionen con otros campos fenomenológicos. En relación con la electrostática, ahondé en el ejemplo de la vara de acrílico frotada y su posterior acercamiento a otros objetos, con el fin de observar comportamientos como la atracción y repulsión; y en la electroquímica, me referí al hecho de que las pilas tienen acciones eléctricas cuando ocurren transformaciones químicas en su interior.

Estos análisis me permitieron construir los conocimientos necesarios para configurar pilas de distintas maneras (como en el experimento de limones), logrando identificar otros comportamientos que caracterizan al potencial eléctrico. Así mismo, resultó importante en este trabajo, pensar en formas de describir el movimiento de cargas eléctricas, observando desde otras perspectivas el comportamiento del flujo. Haciendo uso de conocimientos desde la termodinámica, analicé lo que ocurre cuando se hierve agua en una estufa, y de allí encaminé mi investigación hacia la comprensión de la corriente eléctrica en la pila de Volta.

Son estas exploraciones las que permiten la representación de magnitudes y fenómenos, que orientan el proceso de construcción de ideas y teorías científicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beléndez, A. (2008). La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 30(2), 2601.1-2601.20. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172008000200012>
- Brown, T. (1658). Capitulo IV: De Cuerpos Eléctricos. En *Pseudodoxia Epidemica o Investigaciones sobre muchos principios recibidos y verdades comúnmente supuestas* (3.a ed., pp. 61–64). R. W. for Nath. Ekins, at the Gun in Pauls Church- Yard.
- Du Fay, F. R. S. (1733). V. A letter from Mons. Du Fay, F. R. S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to his Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning electricity. Translated from the French by T. S. M D. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 38(431), 258-266. <https://doi.org/10.1098/rstl.1733.0040>
- Electroscopio (s. f.). Departamento de Física UPN. Recuperado 16 de diciembre de 2022, de <http://dfi.upn.edu.co/producto/electroscopio/>
- Helmholtz, H. (1881). On the Modern Development of Faraday’s Conception of Electricity. *Journal of The Franklin Institute*, 111(6), pp. 452-463. Recuperado 3 de julio de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-the-franklin-institute/vol/111/issue/6>.
- Medina, J., & Tarazona, M. (2011). El caso de la medición del potencial eléctrico: un ejemplo de recontextualización de saberes. En *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes* (1.ª ed., pp. 69-93). Universidad Pedagógica Nacional.
- Ostwald, W. (1912). *L’évolution de l’électrochimie*. Gallica. Recuperado 22 de julio de 2023, de <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5727728w/f25.item#>
- Pancaldi, G. (2003). Volta: Science and Culture in the Age of Enlightenment [Electrónico]. [https://books.google.com.co/books/about/Volta.html?id=hGoYB1Twx4sC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Volta.html?id=hGoYB1Twx4sC&redir_esc=y)
- Portillo, G. (2022). Qué son los manantiales. *Meteorología En Red*. <https://www.meteorologiaenred.com/que-son-los-manantiales.html>



- Pulso. (2020). Cómo enfrentar el alto flujo vehicular en carreteras. *La Tercera*. <https://www.latercera.com/pulso/enfrentar-alto-flujo-vehicular-carreteras/>
- Rockwell, A. D. (1903). Chapter III: Galvanic or Voltaic electricity. En *The Medical and Surgical uses of Electricity* (1.a ed., p. 40). E. B. TREAT & COMPANY. Recuperado 2 de febrero de 2022, de <https://wellcomecollection.org/works/se9txzcb/items?canvas=5>.
- Sandoval, S., Malagón, J., Ayala, M., Garzón, M., & Tarazona, L. (2020). El efecto volta: un caso de estudio sobre la producción de efectos sensibles y los procesos de teorización en ciencias. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 22(14862), pp. 1-22. Recuperado 21 de octubre de 2021, de <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172020210113>.
- Sociedad de estudios vascos. (s. f.). 10.2.2.1.- El electroscopio. | E01.- Fenómenos eléctricos básicos. BIRTLH - CIFP de aprendizajes virtuales y digitalizados. Recuperado 15 de enero de 2023, de [https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/E/E01/es\\_IEA\\_E01\\_Contenidos/website\\_10221\\_el\\_electroscopio.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/E/E01/es_IEA_E01_Contenidos/website_10221_el_electroscopio.html)
- Thomson, T. (1840). *An Outline of the Sciences of Heat and Electricity* (2.a ed.). Foreign bookseller & publisher, 219, Regent Street. Paris: j. b. Baillièrè, 13, Rue de l'École de médecine. Leipzig: t. o. Weigel.
- Volta, A., (2000). Sobre la electricidad excitada por el simple contacto de substancias conductoras de distintas especies. Sallent, E. Lluç: *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas.*, 23 (48), pp. 763-784. Recuperado 20 de noviembre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2961105>.
- Zapata, F. (2020). Transferencia de calor por convección (con ejemplos). Lifeder. <https://www.lifeder.com/transferencia-calor-conveccion/>