



Universidad Pedagógica Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
APROXIMACIÓN A LA IDEA DE CAMPO ELÉCTRICO DESDE LA PERSPECTIVA DE  
FARADAY Y MAXWELL

MONOGRAFÍA

Para optar el grado de:  
Licenciado en Física

Autor:  
José Santiago Chaparro Moya

Asesora:  
Diana Yised Cárdenas Valbuena

Colombia, Bogotá. Agosto 2025

"Prefiero tener preguntas que no pueden ser respondidas, que respuestas que no pueden ser cuestionadas." Richard Feynman (1988)

**Dedicatoria:**

*A mi madre Ovidia Moya*

*Mi hermano David Chaparro, y a mi mascota Sam, quienes son el motor de mis sueños.*

**Agradecimientos:**

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia por el apoyo emocional y profesional porque me dieron motivos para dejar un grano de arena en este país.

En segundo lugar, agradezco a mi asesora **Diana Yised Cárdenas** por el apoyo y la orientación profesional de este trabajo de investigación. A profesores como **Sandra Ávila, Juan Carlos Castillo, Francisco Javier Orozco y Juan Carlos Orozco**, por sus consejos y observaciones gratificantes que aportaron a esta investigación.

En tercer lugar, a mis compañeros de la universidad, **David Zabala y Andrés Lopez**, por el acompañamiento tan gratificante de esta carrera y el aporte que me dieron para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Y por último mis agradecimientos a la **Universidad Pedagógica Nacional de Colombia** y al departamento de física de la UPN, por poner a disposición a la comunidad de profesionales y maestros, por la oportunidad de brindar apoyo a los procesos de investigación de los estudiantes.

# Tabla de índices

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introducción .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>1. Capítulo 1: Análisis problemático de la concepción de Campo Eléctrico y su enseñanza en el aula .....</b> | <b>12</b> |
| 1.1. Problemática .....   | 12        |
| Planteamiento de la pregunta y objetivos de la investigación .....  | 15        |
| 1.1.1. Pregunta de la investigación .....   | 15        |
| 1.1.2. Objetivos de la investigación.....   | 15        |
| 1.2. Justificación.....   | 16        |
| 1.3. Antecedentes .....   | 18        |
| 1.4. Metodología .....  | 21        |
| <b>2. Capítulo 2: El Campo Eléctrico. Un recorrido hacia Faraday .....</b>                                      | <b>24</b> |
| 2.1. Los inicios del fenómeno de atracción .....  | 24        |
| 2.2. Primeras consideraciones de la interacción eléctrica: .....  | 26        |
| 2.3. El pensamiento de Descartes y Leibniz .....  | 30        |
| 2.4. De Leibniz a Kant.....   | 32        |
| 2.5. La Cosmovisión de Faraday.....   | 34        |
| 2.6. Algunas nociones y reflexiones acerca del campo eléctrico:.....  | 38        |
| 2.7. La experimentación en el aula.....   | 40        |
| <b>Capítulo 3. Experiencia y fenomenología .....</b>  | <b>42</b> |
| 3.1. Fenomenología y experiencia.....   | 42        |
| 3.2. Consideraciones acerca de la experiencia obtenida.....   | 44        |
| 3.2.1. Reflexiones alrededor de la lámina eléctrica.....  | 44        |
| 3.2.2. Reflexiones alrededor de la campana electrostática: .....  | 48        |
| 3.2.3. Reflexiones alrededor entre cantidades físicas y el hilo electrostático .....                            | 51        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.4. Reflexiones alrededor de la visualización del campo eléctrico ..... | 54        |
| <b>Capítulo 4. Secuencia didáctica. ....</b>                               | <b>59</b> |
| 4.1. Diseño y estructuración de los montajes .....                         | 59        |
| 4.2. Estructuración secuencia didáctica. ....                              | 63        |
| <b>Capítulo 5. Reflexiones finales. ....</b>                               | <b>67</b> |
| <b>Referencias .....</b>   | <b>69</b> |
| <b>Anexo. ....</b>   | <b>71</b> |
| Anexo secuencia didáctica. ....  | 71        |

# Introducción

A lo largo de la historia de las ciencias, se han propuesto diversos modelos sobre el mundo que invitan a reflexionar sobre la naturaleza misma y los efectos que en ella ocurren. Estos fenómenos han sido objeto de manipulación y recreación por parte del ser humano en laboratorios y montajes experimentales. Muchos científicos coinciden en que uno de los principales objetivos de la ciencia es descubrir los secretos de la naturaleza. Para algunos, el atractivo de la ciencia radica precisamente en la posibilidad de explorar lo desconocido (Berkson, 1981)<sup>1</sup>.

Esta intuición, junto con otros aspectos relacionados con la ciencia y su historia, suele ser promovida en las aulas tanto por los docentes en formación como por ya profesionales en el campo de la educación, quienes buscan recrear fenómenos particulares con el propósito de despertar el interés por el descubrimiento y la investigación científica. Estas visiones motivan el presente trabajo de investigación, que tiene como objetivo expandir la experiencia educativa mediante la recreación de fenómenos que acerquen al estudiante al conocimiento científico y a la reflexión sobre la naturaleza de lo que se observa en el laboratorio y se estudia en las clases o en los libros de texto.

En campos específicos como la electrostática, los fenómenos físicos desempeñan un papel fundamental en la comprensión de las relaciones entre las distintas magnitudes y en la física que describe gran parte de los efectos observables. Ejemplo de ello son los estudios de James Clerk Maxwell, presentados en su *Tratado elemental de electricidad y magnetismo* de 1873. Recuperar planteamientos como los de este autor y estructurarlos de manera que puedan ser llevados al aula es uno de los propósitos de este trabajo. Se busca así promover una perspectiva en la que los montajes experimentales y los fenómenos naturales observados sirvan como puente entre el conocimiento en física y la comprensión profunda de la naturaleza.

Para estas aproximaciones alrededor de los conceptos físicos como el campo eléctrico, se debe dar cuenta de la vinculación de esta cantidad como la relación entre fenómenos y la base de conceptos físicos como la acción e interacción eléctrica. Durante el siglo XVII comenzaron a cuestionarse las nociones iniciales sobre las interacciones entre los cuerpos, especialmente en

---

<sup>1</sup> Leer *La teoría de los campos de fuerza* de William Berkson. Pag. 20-21. *La ciencia y el misterio del universo*.

campos de estudio como la electricidad y el magnetismo. Se evidenció que la teoría de la acción a distancia, sostenida por la cosmovisión newtoniana, resultaba insuficiente para abordar ciertos problemas fundamentales, como la cohesión entre los cuerpos o la instantaneidad de la acción entre estos.

Estas limitaciones dieron lugar a profundas reflexiones de carácter metafísico, que filósofos como René Descartes abordaron proponiendo una interpretación alternativa de la interacción, centrada en la configuración del espacio. Con el tiempo, estas ideas fueron ampliadas y reformuladas por pensadores como Leibniz, Boscovich y Kant, cuyas concepciones influyeron significativamente en Michael Faraday, quien consolidó una teoría revolucionaria: la teoría de campos de fuerza. Esta teoría propone una visión unificadora en la que el espacio, el cuerpo y la fuerza se entienden como manifestaciones de una misma entidad física continua.

A pesar de los avances significativos que ha tenido la teoría de campos desde Faraday, pasando por Maxwell, Hertz y otros, en la actualidad persisten dificultades como: ¿cómo interpretar la idea de campo eléctrico? no como una variable matemática, sino, como una cantidad física que da cuenta de fenómenos eléctricos, y también en ¿cómo poder evidenciar o dar una representación de lo que el campo eléctrico permite observar alrededor de los objetos electrificados? En el aula, este concepto suele reducirse a una herramienta matemática para resolver problemas de cálculo, sin un abordaje que articule su dimensión física, histórica y fenomenológica. Esta reducción favorece una comprensión limitada basada en la acción a distancia, sin integrar la noción de campo eléctrico como mediador de las interacciones eléctricas.

Ante esta situación, se plantea una investigación orientada a recuperar las primeras conceptualizaciones sobre las interacciones eléctricas y los modelos que les dieron forma. A través de un análisis de corte histórico, físico y fenomenológico, se buscará una aproximación a la caracterización más profunda del campo eléctrico, destacando su relevancia como concepto central para comprender los fenómenos electrostáticos, es importante señalar que esta comprensión trasciende la intuición inmediata: el foco se desplaza del cuerpo al espacio, dándole un significado físico-fenomenológico a lo que ocurre entre los objetos. En este trabajo se comprende que otorgar significado físico a un fenómeno implica establecer una relación lógica y coherente con el mundo real, fundamentada en las teorías físicas y en su interpretación

fenomenológica. Esto incluye reconocer el papel que dichos fenómenos desempeñan en la realidad y la reflexión lógica que puede derivarse de su análisis.

Con base a lo anterior, el presente trabajo se estructura en los siguientes capítulos:

1. **Capítulo 1, problemática:** Se analiza la dificultad en la enseñanza del concepto de campo eléctrico, enfatizando la necesidad de integrar la experimentación como herramienta de reflexión y como puente entre la teoría y el fenómeno. Este capítulo también contextualiza la experiencia del autor como docente en formación, e incluye una crítica a la manera en que se presentan los fenómenos electrostáticos. Estos fenómenos, fundamentales para la construcción del concepto de campo eléctrico, suelen aparecer en los libros de texto desconectados de la teoría, lo que afecta negativamente el proceso de aprendizaje. Como consecuencia, el campo eléctrico es frecuentemente abordado solo desde una perspectiva matemática, relegando el fenómeno físico a un segundo plano. Además, se presenta un análisis del trabajo en el aula, en concordancia con los Estándares Básicos de Competencias del Ministerio de Educación. A partir de este análisis, se formulan los objetivos del trabajo y se plantea la pregunta problema que orienta la investigación.
2. **Capítulo 2, marco teórico:** Se profundiza en las principales ideas que permitieron la construcción del concepto de campo eléctrico. Para ello, se analizan autores clave cuyas propuestas metafísicas contribuyeron a la comprensión de nociones fundamentales como la electrificación, la interacción y el campo. En particular, se destacan los aportes presentados en textos como *La teoría de los campos de fuerza* de William Berkson, donde se examinan las ideas de pensadores como Descartes, Leibniz, Boscovich, Kant y Michael Faraday. De este último se rescata su trabajo original *Experimental Researches in Chemistry and Physics*, con especial atención a una carta incluida en dicha obra. A partir de este documento, se realiza una crítica a las concepciones del éter y a la interpretación de las líneas de fuerza como perturbaciones en un medio. Esta revisión permite explorar las ilustraciones propuestas por Faraday y otros autores, así como las características que, desde sus respectivos marcos teóricos, contribuyen a la formulación del concepto de campo eléctrico.

3. **Capítulo 3, experiencia y fenomenología:** Se analiza la relación entre fenómeno y teoría, tomando como base las reflexiones surgidas a partir de los montajes experimentales propuestos y su vinculación con las concepciones metafísicas abordadas en el capítulo 2. Esta sección permite profundizar en dichos montajes, considerados a partir de referencias clásicas como el *Tratado elemental de electricidad y magnetismo* de James Clerk Maxwell, rescatando ideas fundamentales para la construcción de conceptos clave: electrificación: frotación, conducción e inducción eléctrica; estados de electrificación, configuración superficial de estados de electrificación, interacciones eléctricas, acción eléctrica entre cuerpos (atracción y repulsión), y la propagación de dicha acción a través del espacio.

Bajo esta perspectiva, se examina cómo la configuración espacial de los cuerpos permite identificarlos como fuentes de líneas de fuerza, siguiendo la noción de campo propuesta por Michael Faraday y desarrollada posteriormente por Maxwell, particularmente mediante el concepto de superficies equipotenciales. Cada montaje experimental ha sido diseñado para articularse con las ideas teóricas a profundizar, de modo que los fenómenos observados se constituyen en objetos de estudio que permiten articular teoría y experiencia, generando reflexiones significativas a partir de la observación y la práctica experimental.
4. **Capítulo 4, secuencia didáctica:** Se presenta la estructuración de una secuencia didáctica que incorpora una serie de montajes experimentales y recursos audiovisuales, diseñados para acercar a los estudiantes a los fenómenos electrostáticos, promoviendo una comprensión conceptual a partir de la experiencia directa. Esta propuesta busca generar espacios de reflexión en torno a los montajes planteados, guiados por preguntas orientadoras y propuestas de rediseño de las experiencias experimentales llevadas al aula. La secuencia didáctica se construye en torno a los conceptos de interacción eléctrica y a fenómenos como la atracción y la repulsión entre cuerpos, así como a los distintos mecanismos de electrificación. Se abordan la electrificación por frotamiento —bajo condiciones específicas de fricción—, la conducción —por contacto y a través de ciertos materiales conductores—, y la electrificación por inducción.
5. **Capítulo 5, reflexiones finales:** Se presentan las principales conclusiones derivadas de la investigación, retomando la problemática inicial y los objetivos planteados. Se reflexiona

sobre los aportes realizados en torno a la construcción del concepto de campo eléctrico desde una perspectiva de corte histórico, con el propósito de destacar las ideas fundamentales que permiten caracterizar el concepto de campo y su relación con las interacciones eléctricas.

Asimismo, se concluye que el papel del experimento y del fenómeno como objeto de estudio que abre la posibilidad de interpretar estos conceptos con mayor profundidad, acercándolos a las teorías y principios que sustentan la física moderna. Esta aproximación favorece una comprensión más significativa del campo eléctrico, no solo como una construcción teórica, sino como una entidad con manifestaciones observables.

Finalmente, se destaca la importancia de los montajes experimentales en la enseñanza de la física, tanto para ampliar la experiencia directa de los estudiantes en el aula como para fomentar espacios de indagación y desarrollo sensorial. Estos elementos se consolidan como recursos valiosos en la enseñanza de la electrostática, al permitir una conexión más profunda entre la teoría, experiencia y reflexión pedagógica.

# 1. Capítulo 1: Análisis problemático de la concepción de Campo Eléctrico y su enseñanza en el aula

## 1.1. Problemática

Desde la experiencia como docente en formación, se ha observado que la enseñanza de la física plantea inquietudes al maestro en cuanto a las estrategias que facilitan la conexión entre los conceptos y los fenómenos físicos. En ocasiones, resulta evidente que la presentación puramente matemática de la teoría puede generar confusión en el estudiante respecto a cómo aplicar lo aprendido en el aula con relación a su interpretación física. Por lo que permite cuestionar el papel que juega el proceso de aprendizaje de los estudiantes junto a los experimentos, que por lo general se realizan con la intención de apoyar una teoría señalada en clase con la realidad.

Como afirma Malagón (Malagón, Barrios, Ayala, & Vargas, 2018), “durante el proceso de formación de los estudiantes, la experimentación en el aula desempeña un papel muy importante. Permite construir un campo de efectos, relaciones y lenguajes en los cuales se puede ubicar una discusión”

Así pues, fenómenos y eventos como las tormentas eléctricas, los rayos, los cortocircuitos y la atracción de papeles por el roce de una bomba, entre otros; generan espacios de reflexión en torno a conceptos como el campo eléctrico y su relación con el mundo, ya que, al hablar, pensar, y cuestionar las ideas de los estudiantes se construye conocimiento alrededor de este concepto. Desde la experiencia sensible con respecto a los fenómenos eléctricos, en algunos casos reducida únicamente a chispas y corrientazos, la información que esta brinda no es suficiente para poder caracterizarlos, es por esto que, para plantear un buen trabajo de análisis y conceptualización, por eso se tiene que recurrir a las herramientas que nos proporciona la mecánica y optar por una interpretación y aproximación a tales magnitudes de la física (Cataño & Burgos, 2014). A pesar de que la teoría brinda una idea sobre las cantidades a estudiar, por lo que en muchas ocasiones no se encuentra una relación entre los eventos y fenómenos comunes como atracción de objetos ligeros

con un material frotado en el cabello o en la lana, y se puede concebir a la teoría como una desconexión entre esta y la misma realidad.

Situación que implica en el aula reflexionar sobre el hecho de recurrir a la actividad experimental como comprobante de teorías, reduciendo la forma de abordar las explicaciones con base a un fenómeno, considerándolo como algo estático y que su experiencia se limite solo a lo que se ha dicho (Campos Macías & Méndez Sánchez, 2017)

Con base en lo anterior, se afirma lo siguiente:

“Cuando se comienza a organizar el fenómeno y se empieza a identificar cualidades que le permiten hablar de ese fenómeno, esas cualidades y su organización o relación llevan a una formalización –que incluye entre otras cosas clasificaciones, relaciones de orden, mediciones de diversos tipos y la configuración de la representación del fenómeno analizado a partir de dichas actividades–. Planteada así, esta actividad difumina la oposición que se acostumbra a resaltar entre lo cualitativo y lo cuantitativo, pues resulta difícil en algún momento decidir en dónde termina lo cualitativo y en dónde empieza lo cuantitativo.” (Sánchez, Osorio, & Manrique, 2013)

En la enseñanza de la física, la mayoría de veces se hace difícil llevar y abordar en el aula una relación entre la idea cuantitativa y la cualitativa, lo que en ocasiones por cumplimiento de contenidos o por cuestiones de tiempo, no se logra construir una experiencia en donde la medición, la investigación y la organización de los fenómenos se abarquen en el aula de clase, y sin una orientación del mismo docente, puede llegar a volver abstracto un concepto una vez se empiezan a realizar medidas en un laboratorio, o se inicie un cálculo usando una ecuación física en la que el estudiante se concentre únicamente en reemplazar datos.

Los maestros en general se orientan por el cumplimiento de contenidos según la estructura curricular o la ruta en la que el docente generalmente prioriza la repetición de información, ya sea, por la guía de los libros de física o ciencias naturales recomendados por ellos mismos o por los lineamientos nacionales. La enseñanza de la física usualmente en las aulas escolares se ve atada a las rutas o las estructuras curriculares en ciencias, las cuales, en diferentes instituciones educativas se centran en los contenidos, y no en la relación fenomenología-conceptos.

A raíz de esto, la percepción que se espera obtener al abordar un enfoque fenomenológico en el aula es que los fenómenos sean analizados como eventos de reflexión y discusión, tanto desde

una perspectiva física como filosófica. Esto implica examinar sus cualidades, características y aquellos aspectos relevantes que surgen al observar aquellos efectos -como por ejemplo la atracción eléctrica entre objetos electrificados- en la práctica experimental.

Como señalan algunos autores: “las descripciones e interpretaciones que demanda la comprensión de una fenomenología exigen la organización de una serie de experiencias y observaciones intencionadas, esto es una descripción detallada del fenómeno, la cual esta imbricada en la actividad experimental que exige una comprensión conceptual que acompañe a la intervención y disposición experimental.” (Sánchez, Osorio, & Manrique, 2013). Esta metodología, aplicada a la actividad experimental, permite una mejor caracterización de los fenómenos electrostáticos y una aproximación más profunda al concepto de campo eléctrico.

En este orden de ideas, al revisar los estándares básicos de competencias en ciencias naturales propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), no es específica la caracterización del concepto de campo eléctrico, (Ministerio de Educación Nacional, 2004, pág. 23) lo que permite cuestionar al docente, la manera de acercar al estudiante a la interpretación de la teoría electrostática de campos, construyendo su relación frente a los fenómenos eléctricos. Como bien se señala de acuerdo al plan curricular para estudiantes de grado decimo y undécimo sugerido en (Ministerio de Educación Nacional, 2004, pág. 24) ciencias físicas se propone “Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético” según lo presentado, la enseñanza del concepto de campo es indispensable en el currículo en el maestro de física, pero no allegada al uso de una ecuación o la resolución de ejercicios sino a establecer relaciones entre fenómenos de diferente naturaleza que se pueden explicar a partir del campo.

Aunque estas ideas sobre el campo tienen un carácter metafísico -como muestran las interpretaciones de científicos como Michael Faraday y James Clerk Maxwell-, en los libros de texto suelen presentarse como un enfoque físico y conceptual para explicar ecuaciones, como las de campo eléctrico. Sin embargo, en la práctica educativa, estas ideas suelen perder su esencia crítica, alrededor de los fenómenos que construyen tales cantidades y especialmente cuando en el aula se prioriza su introducción matemática como herramienta para resolver problemas, sin un trasfondo a modo introductorio metafísico que fundamente la incorporación de cantidades físicas y relaciones de cálculo para analizar los fenómenos. Por ello, se propone que una perspectiva metafísica en torno a conceptos como el campo eléctrico puede enriquecer la comprensión de estas

ideas dentro de la teoría electrostática, brindando una base más sólida para su estudio y que permita darle sentido a la intención de la vinculación de espacios experimentales en el aula, como la realización de montajes o actividades de laboratorio, que den cuenta de la relación fenómeno-teoría.

## **Planteamiento de la pregunta y objetivos de la investigación**

### **1.1.1. Pregunta de la investigación**

Considerando lo expuesto anteriormente, y ante la problemática inherente a la enseñanza y la relación entre fenomenología y teoría alrededor del desarrollo del concepto de campo eléctrico y su vinculación con las ideas de autores como Michael Faraday, la pregunta problema que orienta este trabajo es:

¿Qué consideraciones teóricas, actividades experimentales, y situaciones de estudio permiten abordar las ideas de campo eléctrico con estudiantes de grado décimo y undécimo?

### **1.1.2. Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

Analizar mediante un corte histórico y teórico alrededor de las ideas de campo, para diseñar situaciones experimentales de estudio que permitan aproximar al concepto de campo eléctrico a estudiantes de grado decimo y undécimo.

#### **Objetivos específicos**

- Desarrollar una caracterización del campo eléctrico, a partir de una revisión histórica de algunas fuentes primarias y secundarias alrededor de la teoría de campos.
- Realizar un análisis reflexivo, con base a las ideas revisadas sobre las ideas de campo y su vinculación con los montajes experimentales electrostáticos propuestos para el aula.
- Diseñar unos montajes experimentales de aula que permita establecer situaciones de estudio alrededor de los fenómenos electrostáticos.

## 1.2. Justificación

Cuando es presentado un fenómeno electrostático en el aula, en muchos de los casos, el estudiante frecuentemente procede a orientarse con base en textos académicos sugeridos por el docente como referentes de investigación. A pesar de que, muchos datos teóricos puedan servir como un sustento con el objetivo del experimento propuesto, esto promueve que la información siempre pueda inducir a la idea de que el conocimiento ya está dado y acabado. Tal pensamiento limita a una nueva perspectiva sobre los fenómenos presentados o incluso en nuevas consideraciones teóricas para poder abordarlos.

Particularmente, se ha logrado evidenciar en la práctica formativa que los docentes de física, a la hora de enseñar el concepto de campo eléctrico en el aula de clase con los estudiantes de grado undécimo, se omite el enfoque desde su trascendencia matemática, fenomenológica y física que han propuesto autores como Faraday y Maxwell. Aunque los libros de texto de ciencias naturales y físicas como: Física para Ciencias e Ingeniería de Serway, Física de Giancoli y Física de Tipler, entre otros; para grados undécimo permiten un apoyo académico de estas ideas, pero en la mayoría de los casos muestran una visión abstracta matemática de los problemas planteados de la teoría electrostática de campos, y no permiten profundizar en un análisis fenomenológico, histórico y/o epistemológico del concepto mismo con base en las ideas iniciales de la teoría.

Por lo que también en estos espacios de estudio se requiere el uso de la vinculación de las ideas conceptuales o metafísicas alrededor del concepto de campo eléctrico, que dan cuenta a fenómenos electrostáticos habitualmente trabajados en el aula de clase, como la atracción y repulsión eléctrica. Por lo que, la investigación sobre el concepto de campo de Faraday no puede desligarse de sus fundamentos metafísicos, pues, como señala (Bunge, 1973), toda teoría científica presupone una antología subyacente. Las líneas de fuerza, más allá de su formulación matemática posterior, emergen de una visión metafísica que concibe la realidad como un espacio de interacciones dinámicas, no reducible a cuerpos netamente mecánicos. Esta perspectiva anticipó la noción moderna de campo como entidad física, no meramente instrumental. Lejos de ser un obstáculo, la metafísica de Faraday fue un marco heurístico que permitió trascender el mecanicismo newtoniano y sentar las bases para las teorías de campo posteriores.

Bunge (1973) enfatiza que las hipótesis metafísicas -cuando son coherentes y ajustadas a la evidencia- cumplen un rol constructivo en la ciencia. En el caso de Faraday, su rechazo a la

acción a distancia y su intuición de un espacio físicamente activo reflejan una ontología procesual, arraigada en la tradición romántica naturalista. Así, el enfoque de este trabajo no solo rescata la dimensión histórica de su pensamiento, sino que también revela cómo las categorías metafísicas pueden operar como condiciones de posibilidad para innovaciones científicas. Lejos de ser especulación ociosa, esta aproximación enriquece la comprensión fenomenológica y epistemológica del concepto de campo.

A través de estas ideas y de la perspectiva fenomenológica, vista como un espacio de estudio alrededor de los fenómenos electrostáticos permite cuestionar que la concepción de la experimentación en el aula que se ha adoptado no facilita la reflexión del estudiante sobre el origen de los conceptos físicos fundamentales, como el campo eléctrico. En su lugar, esta metodología tiende a promover clases predominantemente teóricas, que luego se corroboran mediante trabajos prácticos (Campos Macías & Méndez Sánchez, 2017). Es crucial reconocer el papel del experimento en la enseñanza de la física y el valor que aporta, porque puede permitir una forma diferente de reconocer al fenómeno no como un efecto evidenciado con una única explicación postulada, sino, como un evento de reflexión sobre cómo poder caracterizarlo bajo un razonamiento científico.

Establecer una conexión sólida entre el fenómeno y el concepto es fundamental para lograr que la ciencia sea percibida como una actividad en la que el individuo investiga, estudia y amplía sus conocimientos a través de la experiencia compartida con otros, centrándose en lo que considera relevante y necesario. Permitir que el estudiante encuentre una justificación para explicar fenómenos como el rayo o la electrificación mediante la idea de campo abre la puerta a una comprensión más profunda. La experiencia sensorial, la experimentación activa, el uso de instrumentos y la conceptualización concreta promueven un enfoque renovado para caracterizar el campo y los fenómenos asociados a este.

Las instituciones educativas en Colombia se orientan bajo los lineamientos pedagógicos establecidos en los estándares de enseñanza, particularmente para las ciencias naturales se señala de acuerdo al plan curricular para estudiantes de grado decimo y undécimo sugerido en (Ministerio de Educación Nacional, 2004, pág. 24) ciencias físicas se propone “Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético” según lo presentado, la enseñanza del concepto de campo permite al estudiante establecer una distinción entre los

conceptos de campo y encontrar una relación entre estos que como bien se presenta, permita reconocer que difiere entre ellos, y en que contextos se evidencian.

Desde esta perspectiva, se pretende investigar en torno a las explicaciones fenomenológicas y la concepción del campo eléctrico, aprovechando la experiencia sensorial que los estudiantes poseen y fomentando condiciones propicias para el trabajo colaborativo en la construcción de este concepto. Se busca llevar actividades experimentales que permitan una ampliación de la experiencia, y el uso de instrumentos en el aula, todo ello alineado con el objetivo general de este proyecto.

### **1.3. Antecedentes**

A continuación, se presentan los antecedentes que se tuvieron en cuenta en esta investigación, los cuales hicieron posibles consideraciones para abordar conceptos como el campo eléctrico y la teoría electrostática de campos vista desde perspectivas fenomenológicas en el aula.

- PRADA CORONADO A. (2015). De la acción a distancia al concepto de campo, una discusión sobre la acción a distancia en términos del desarrollo de la teoría de campos de Faraday hasta Maxwell. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.

Este trabajo examina inicialmente las principales interpretaciones acerca de las interacciones entre los cuerpos, partiendo desde el concepto de Newton denominado en sus principios matemática, hasta mencionar las críticas que Descartes y Leibniz desde el texto de William Berkson señala. También plasma la experiencia experimental que tuvo Coulomb para la relación definida entre cuerpos electrificados como la interacción de acción a distancia que se percibe desde el mecanicismo newtoniano. A partir de este describe las principales características del espacio de acuerdo con Newton, como la isotropía y la homogeneidad. Sin embargo, viendo al espacio como independiente de los eventos. Por lo que prosigue con una reflexión acerca de la perspectiva de Faraday alrededor de las líneas de fuerza y como Maxwell a través de una serie de experimentos y el análisis

<sup>2</sup>matemáticos señalados en su tratado elemental de electricidad y magnetismo dan cuenta de la interpretación de la acción y las líneas de fuerza como lo que llenan el espacio. También prosigue definiendo el concepto de onda electromagnética que Maxwell como describiéndolo como esa parte del espacio que contiene y rodea a los cuerpos y las interacciones eléctricas y magnéticas. Por lo que en esta investigación se opta por una caracterización histórica centrada en Newton, Coulomb, Oersted, Faraday y Maxwell, las perspectivas de Leibniz y Descartes como influenciadores a Kant y Boscovich no se mencionan a profundidad para dar cuenta de principales propiedades del espacio que influenciaron a la teoría de campos de fuerza de Faraday.

- CATAÑO A. BURGOS D. (2014). Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos. Universidad Pedagógica Nacional.

Este trabajo comienza analizando la comprensión de las interacciones eléctricas entre cuerpos a partir de los experimentos presentados en el *Tratado elemental de electricidad y magnetismo* de Maxwell, tales como la electrificación por frotamiento, la conducción eléctrica y la disposición de los estados de electrificación inducida en superficies. A partir de estos experimentos, se avanza hacia una caracterización del medio, destacando que el fenómeno de electrificación revela propiedades del espacio que lo contiene, estableciendo así un vínculo con la concepción de Maxwell sobre ese “algo” que llena el aparente vacío ocupado por otros cuerpos.

En este contexto, los autores señalan que las expresiones derivadas del potencial eléctrico, así como el gradiente que describe su distribución en el espacio, permiten comprender las variaciones del campo eléctrico en dicho vacío, el cual se interpreta aquí como dotado de propiedades eléctricas. Esto conduce a la formulación de la ley de Gauss, junto con las ecuaciones de Poisson y Laplace, como herramientas fundamentales para describir la distribución de carga eléctrica sobre la superficie de un cuerpo.

---

<sup>2</sup> Coronado, W. A. (2015). *De la acción a distancia al concepto de campo. Una discusión sobre la acción a distancia en terminos del desarrollo de la teoría de campos de Farady hasta Maxwell*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional .Pag 18-22.

Siguiendo esta línea de pensamiento, se introducen las propiedades de las líneas de fuerza, en el sentido en que Faraday hablaba del “estrés” en el campo. Esto culmina en la definición del tensor de estrés electrostático, que permite una descripción más completa de las tensiones internas en el campo eléctrico.

- GARRIDO SANCHES N. (2022). Análisis del aprendizaje de conceptos de Electrostática en la formación del profesorado de Física. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.

- En este marco, el campo eléctrico se aborda en dos niveles: como campo generado por cargas puntuales y como resultado de distribuciones continuas de carga. En ambos casos, el campo es concebido como una magnitud vectorial distribuida en el espacio, cuya representación se apoya en el uso de líneas de campo que ilustran su dirección e intensidad. El trabajo también problematiza la interpretación física de estas líneas, cuestionando su realidad ontológica a partir de referentes como el libro de texto de Tipler.

Un aspecto clave señalado en la investigación es la distinción conceptual entre el campo eléctrico como entidad física y la intensidad del campo, entendida esta última como la fuerza ejercida sobre una carga de prueba colocada en el espacio. Asimismo, se menciona el potencial eléctrico como una cantidad escalar asociada al campo, sin profundizar en su interpretación más allá del marco vectorial.

En lo que respecta a la distribución de carga, se destaca el uso de la ley de Gauss como herramienta fundamental para la determinación de la intensidad del campo eléctrico en regiones con simetría adecuada. No obstante, el análisis se centra en el tratamiento matemático y vectorial del fenómeno, dejando en segundo plano los aspectos fenomenológicos y epistemológicos asociados a la naturaleza del campo eléctrico.

En este sentido, se identifica una posible omisión en la discusión sobre el carácter sustancial o relacional del campo, así como en la consideración de elementos intuitivos y cualitativos que podrían enriquecer la comprensión docente y estudiantil de esta magnitud, como la relación entre la fuerza, la naturaleza del cuerpo y la configuración de las interacciones en el espacio.

- VILLAGRAN MEJÍA P. (2011). El marco de la enseñanza para la comprensión aplicado al aprendizaje del concepto de campo eléctrico en estudiantes de ingeniería de sistemas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

- Este trabajo de investigación ofrece un análisis detallado sobre cómo los estudiantes universitarios construyen y comprenden el concepto de campo eléctrico. Utilizando el enfoque de Enseñanza para la Comprensión (EpC), el estudio se centra en la implementación de una unidad didáctica diseñada para fomentar una comprensión profunda y significativa del concepto.

En esta investigación, el campo eléctrico se aborda como una entidad física fundamental que describe la influencia que una carga eléctrica ejerce sobre otras en su entorno. Se enfatiza su representación como un campo vectorial, donde cada punto en el espacio tiene una dirección y magnitud específicas asociadas al campo eléctrico. Este enfoque permite a los estudiantes visualizar y comprender cómo las cargas interactúan a través del espacio, superando la idea de una acción a distancia sin mediación.

La unidad didáctica desarrollada incorpora actividades que promueven la exploración y comprensión de este concepto, incluyendo la representación de líneas de campo eléctrico y la aplicación de la Ley de Gauss para analizar distribuciones de carga. Estas actividades están diseñadas para ayudar a los estudiantes a construir una comprensión más intuitiva y conceptual del campo eléctrico, más allá de las fórmulas matemáticas.

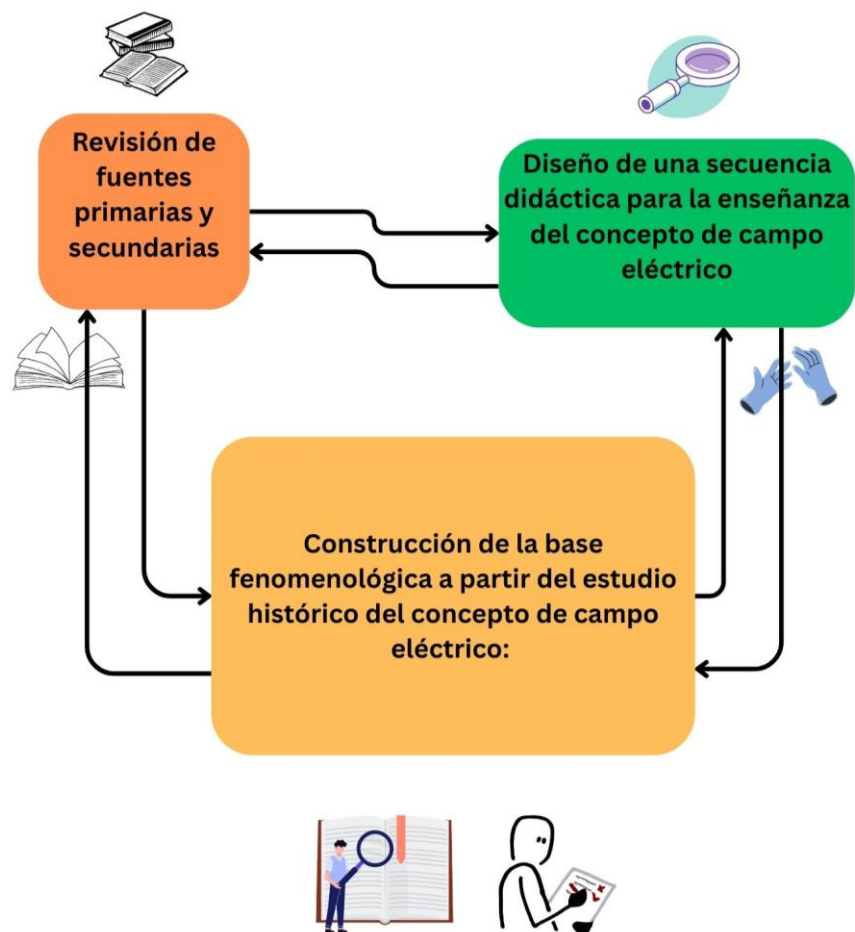
Sin embargo, la idea de las superficies equipotenciales derivadas bajo la interpretación ortogonal del tratado de Maxwell, se ve poco relevante, por lo que el potencial se ve como una cantidad medible escalar para generar ciertas interpretaciones del campo eléctrico, propuesto también en la unidad didáctica planteada.

#### **1.4. Metodología**

Este trabajo de grado se orienta de una revisión de corte histórico alrededor de las ideas sobre el concepto de campo y campo eléctrico y la reflexión de estas ideas ligadas a un ámbito

fenomenológico, que dan cuenta al diseño de una propuesta de aula, y se espera contribuir en la introducción y aproximación al concepto de campo eléctrico y los fenómenos asociados a este, a través de una serie de montajes que permiten construir la experiencia en el aula sobre los fenómenos electrostáticos. Se inicia con la revisión y análisis de referentes primarios, en donde se establecen criterios que contribuyen a la construcción de una base fenomenológica, aspecto fundamental en la caracterización de los fenómenos electrostáticos, particularmente en lo que respecta a la elaboración de explicaciones sobre el campo eléctrico. Por lo anterior, las fases que enmarcan el proceso investigativo son:

1. **Estudio de corte histórico de fuentes primarias y secundarias:** esta fase permite identificar criterios que se establecieron en el estudio de los fenómenos eléctricos, así mismo, brinda un aporte frente al cuestionamiento y el análisis fenomenológico de los efectos del campo eléctrico en diferentes situaciones y su caracterización, bajo fuentes primarias como los *Experimental Researches in Chemistry and Physics* de Michael Faraday, *A treatise on electricity and magnetism* de James Maxwell y trabajos reflexivos y secundarios como *La teoría de los campos de fuerza* de William Berkson, entre otros.
2. **Construcción de la base fenomenológica a partir del estudio histórico del concepto de campo eléctrico:** esta fase pretende resignificar y transformar los conocimientos entorno a los fenómenos electrostáticos y, a su vez, es pensada como parte de la secuencia didáctica que permita estructurar el análisis fenomenológico entorno a la construcción del concepto de campo eléctrico.
3. **Diseño de una secuencia didáctica que permita caracterizar el concepto de campo eléctrico:** esta fase consiste en diseñar una serie de experimentos que permitan la construcción de conocimiento del campo eléctrico alrededor de los fenómenos eléctricos, ampliando la experiencia sensible del estudiante, y teniendo como sustento la fase anterior. Para esta fase se considera el uso del experimento en el aula como eje fundamental del acercamiento al concepto de campo eléctrico.



*Ilustración 1. Fases del proceso de investigación. Fase 1 color naranja oscuro, revisión de fuentes primarias. Fase 2, color naranja claro, construcción de la base fenomenológica a partir del estudio histórico del concepto de campo eléctrico. Fase 3, diseño de una secuencia didáctica para la enseñanza del concepto de campo eléctrico.*

## 2. Capítulo 2: El Campo Eléctrico. Un recorrido hacia Faraday

A continuación, en este capítulo se presentará un análisis de carácter histórico centrado en los distintos modelos desarrollados desde una perspectiva metafísica sobre la interacción entre los cuerpos y la naturaleza de la acción que ejercen entre sí. Este recorrido sirve como base para una caracterización inicial de la idea de campo, entendida como una noción que articula el espacio, la fuerza y el cuerpo, permitiendo derivar las posibles formas de interacción existentes. En particular, se abordará la interacción eléctrica, manifestada en los fenómenos de atracción y repulsión, eje central de esta investigación.

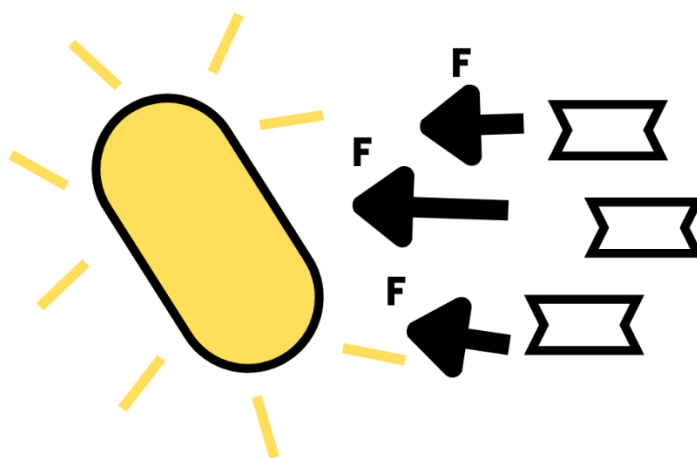
### 2.1. Los inicios del fenómeno de atracción

Desde la historia de la teoría electromagnética, podemos evidenciar que hubo fenómenos particulares que constituyeron unas primeras visiones sobre la electrificación de los cuerpos, se concibe que yacen estas primeras connotaciones a través de lo que se conoció como el efecto ámbar. El ámbar durante la época del siglo IV a.c. fue denominada en su tiempo como Elektron, el nombre también se le atribuía a una aleación autóctona de plata y oro, ya que, el color de estas sustancias recordaba al amarillo pálido de la luz de sol (Roller & Roller, 1954). Algo bastante interesante, es que notaron que el ámbar podía atraer objetos ligeros al encontrarse a una distancia considerable para notar los efectos provocados por la piedra, lo que se le atribuyó como una propiedad no solo a los cuerpos, sino al ámbar.

Desde los tiempos de Platón, podemos encontrar que, en los diálogos de Timeo, destaca un interés tanto de la magnetita como del ámbar por sus efectos de atracción frente a diferentes materiales en particular, la magnetita en su caso metales y el ámbar cuerpos ligeros. Platón encuentra que estos efectos entre ambos se encontraban estrechamente relacionadas, ya que, la acción de atraer era una cualidad en común entre ambos.

El ámbar frotado debía tener cualidades humanas, ya que la atracción de los cuerpos hacía este, podía considerarse como una necesidad o un deseo que adquirirían, como si fueran llamados para servir de alimento o con un objetivo transmitido (Roller & Roller, 1954). En la época de Platón la

gran mayoría de griegos consideraban tener sentido las explicaciones antropomórficas. A través del estudio del fenómeno de atracción producido por el ámbar, llegaban hipótesis como la del filósofo Plutarco, que menciona que el ámbar y el imán, producen exhalaciones que tienen contacto con el aire, y este a su vez permite interactuar con los cuerpos solidos que cada una atrae a ciertas cantidades y magnitudes que el mismo aire produce al retornar al lugar vacío inicial (Assis, 2010). Es decir, podemos inferir la interacción entre los cuerpos y entre el medio, algo que más adelante profundizaremos con la teoría clásica de campos que se fundamentó durante el siglo XIX.



*Ilustración 2. Ámbar atrayendo trozos de papel o masas ligeras. Las líneas representan lo que conocemos como una acción que genera en las masas afectadas una atracción hacia desde una cierta distancia. Imagen propia realizada en Canva..*

Se pensaba desde los tiempos de lo presocráticos que una sustancia que se generaba por el ámbar afectaba a ciertos cuerpos de tal forma particular que solo los atraía sin importar un punto del volumen o forma del ámbar, es decir, se empezó a plantear la idea de que los polos a diferencia de la magnetita, no se notaban en el ámbar, sin importar en cualquier punto de su forma y composición, atraía de igual magnitud a los cuerpos de masas ligeras que se veían atraídos como si una necesidad intrínseca naciera de ellos una vez estuvieran cerca de esta piedra.

Bajo estos primeros fenómenos evidenciados como la atracción de los objetos en la Grecia antigua, por ejemplo, era bastante común encontrar explicaciones antropomórficas sobre el movimiento de los objetos atraídos. La idea básica, era la atribución de ciertas cualidades humanas a los objetos o fenómenos, ya que, para los griegos se comportaban como la misma naturaleza y esencia del ser, como señalaban “Así, el ámbar frotado debía considerarse dotado de una especie

de vida y poseedor de cualidades humanas. Pequeños objetos eran “atraídos” por el ámbar frotado, quizás porque el frotamiento desarrollaba en el ámbar un “anhelo” o “necesidad” por estos objetos, como si sirvieran de “alimento” para el ámbar.” (Roller & Roller, 1954). Pero se nos hace extraño la idea de alma o de una especie dotada de vida que permita dichos fenómenos, la razón, es porque la idea de alma es en la gran mayoría de veces, una atribución espiritual y mitológica o religiosa. Para filósofos como Plutarco, el ámbar tenía un naturaleza flameante y espirituosa, y cuando esta tenía contacto con una superficie, emitía estas cualidades por conductos ocultos para evidenciar la atracción que ejercía (Roller & Roller, 1954).

Estos primeros pensamientos, particularmente de filósofos y pensadores de la Grecia antigua, nos dan un primer panorama de las cuestiones acerca de la interacción entre los objetos, y de la acción que ejercía el Ámbar como un mineral que bajo ciertas condiciones de contacto permitía evidenciar unos efectos que en su momento no eran comunes y permitieron llevar estas primeras consideraciones sobre los fenómenos de atracción de objetos frotados.

## **2.2. Primeras consideraciones de la interacción eléctrica:**

Desde los primeros pensadores presocráticos tenemos la idea de la interacción de los cuerpos que implicaba la naturaleza del mundo, filósofos como Demócrito consideraban la idea de átomo como parte de la acción que los cuerpos podían ejercer para estar en contacto o producir fenómenos en sí. Sin embargo, debemos recordar que en el siglo XVII Descartes, Galileo y otros pensadores diseñaron nuevas miradas de las ideas planteadas por los griegos de la antigüedad, para así llegar a las teorías clásicas y modernas que conocemos de la física.

A principios del siglo XIX la cosmovisión que aún se mantenía vigente desde la publicación de los principios matemática era la de Newton, quien inicialmente nos brinda una primera visión acerca de la interacción entre los objetos, pretendía considerar que los cuerpos formados por corpúsculos actúan instantáneamente entre sí, es decir, sin la consideración de un medio y sin un intervalo de tiempo estimado. La intensidad de dicha acción es regida por el inverso al cuadrado de la distancia entre los cuerpos, lo que llevo a esta ley a ser aplicada a la gravitación y la interacción de los planetas, y como veremos, a la teoría electrostática. Sin embargo, aunque dicha ley predecía de manera acertada las predicciones de Kepler y Galileo del comportamiento de los planetas y sus orbitas, no explicaba fuerzas que aparecían en otros sistemas, como la

fuerza de cohesión que mantiene a los cuerpos unidos después de un choque, ni tampoco la naturaleza de las fuerzas eléctricas y magnéticas (Coronado, 2015, pág. 13). Aunque otros autores expandieron el Paradigma Newtoniano a los diversos sistemas y campos de la física, otros a lo largo de este siglo, como Michael Faraday, empezaron a desarrollar teorías de campos que permitieran explicar y considerar otros factores entre la interacción de los cuerpos.

La cosmovisión de Newton, extendida a principios del siglo XIX, empieza por lo planteado inicialmente por Demócrito, en considerar al mundo y a los cuerpos compuestos por corpúsculos sólidos, extensos y por espacio vacío (Berkson, 1981). Demócrito consideraba a la fuerza como la tercera entidad que actuaba como propiedad de los cuerpos para actuar a una cierta distancia de manera directa e instantánea sobre otros. Aunque desconoce el planteamiento realmente newtoniano inicial, ya que, el uso del éter en la óptica de Newton para explicar los anillos concéntricos, conllevan al cuestionamiento de su paradigma principal. Sin embargo, historiadores como William Berkson y Thomas Kun, señalan que la idea de -corpúsculos extensos que ejercen fuerzas a distancia a través del vacío- era la cosmovisión principal que se le atribuía, de forma justificada o injustificada.

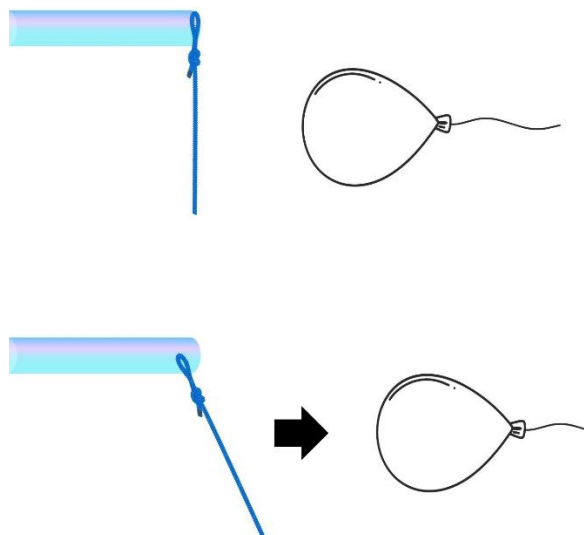
Las ideas básicas de la teoría de los campos son que toda acción de un cuerpo sobre otro a cierta distancia se hace a través de un medio como sustrato de interacción, es decir, como un agente intermediario que permite la acción ejercida por un cuerpo (Berkson, 1981). Sin embargo, debemos considerar que dicha presencia del campo es independiente a la carga, esto es la distinción propuesta por la teoría, ya que, a diferencia de la acción a distancia, el campo eléctrico existe independiente de la interacción o la presencia de una carga de prueba que nos afirma de su existencia. Hertz brindó su descubrimiento a las ondas electromagnéticas, lo que conllevó a entender que los efectos eléctricos y magnéticos conllevan un tiempo de propagación a través de un medio y siendo perpendicular ambos campos entre sí (Berkson, 1981).

Para poder entender la problemática que conllevó a la construcción e idealización de una teoría de campos como la propuesta inicialmente por Michael Faraday, debemos remontarnos a los intereses principales que llevaron a este personaje de la ciencia a tal planteamiento. Faraday estaba interesado en la naturaleza de los fenómenos de electricidad estática, ya que, pensaba que podían aportar algo nuevo en relación con el modelo del mundo (Coronado, 2015). Durante principios del siglo XIX, su gran sueño era dominar la filosofía natural, por lo que empezó su recreación de los experimentos físicos que aprendía por los libros de ciencias. Para esa época debemos considerar

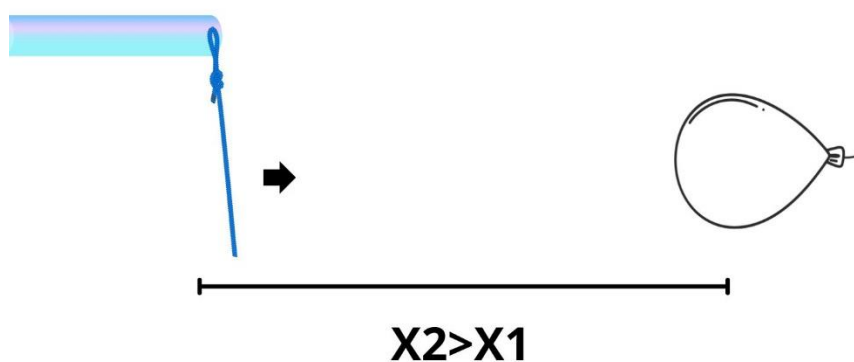
las primeras cosmovisiones que llevaron a Faraday durante su investigación a un gran reto y cuestionamiento de formular su teoría, las cuales fueron las cosmovisiones newtonianas.

Newton formalizo la mecánica y a su vez, expandió su teoría de acción a la gravitación, generando que muchos formalizaran diferentes fenómenos en la física con los logros de esta teoría, ya que predecían de forma precisa ciertos problemas de la época. Aunque la ley del inverso al cuadrado de la distancia funciona muy bien para evidenciar ciertos efectos que conlleven a una acción de atracción o repulsión, o incluso de intensidad de algún otro fenómeno, los planteamientos de Newton requirieron ciertas adaptaciones tanto geométricas y mecánicas para mantener el planteamiento básico. Por ejemplo: consideremos el fenómeno de atracción entre dos cuerpos puntuales como se representa en la imagen 2 uno de ellos electrificado por frotación, y el otro un cuerpo con una masa considerablemente menor al primero. Si el primer objeto almacena una cantidad de electrificación gracias al contacto entre un material que tiene mayor contacto de fricción, entonces podemos decir que se encuentra cargado eléctricamente. A una distancia cercana hacia el segundo cuerpo, se notará que una fuerza de atracción en el espacio intermedio entre estos dos atraerá al cuerpo no electrificado. Sin embargo, si realizamos el mismo experimento, pero a una mayor distancia entre ambos cuerpos, se debe notar que los efectos serán totalmente nulos o de menor intensidad, imagen 3, a comparación del primer desarrollo.

Si mantenemos la metafísica de Newton, aunque el fenómeno se encuentre en otras condiciones, debemos acoplar al sistema de tal forma que permita mantener la ley del inverso al cuadrado a la distancia, lo que inicialmente planteaban los newtonianos independientemente del sistema y las consideraciones físicas, y geométricas.



*Ilustración 3. Globo electrificado e hilo de lana interactuando entre sí a una distancia menor entre ambos. Imagen propia desarrollada en Canva.*



*Ilustración 4. Globo e hilo de lana interactuando entre sí desde una distancia mayor a la inicial. Imagen propia desarrollada en Canva.*

El espacio newtoniano es un caso para poder entender la distinción y relevancia que pensadores como Faraday y Descartes, les atribuían a las interacciones entre los cuerpos. Para la cosmovisión de la acción a distancia, el espacio se concebía como algo estático e independiente de los fenómenos físicos. El espacio en la mecánica de Newton y para algunos de la mecánica clásica, solo es una cantidad que no interviene con otras magnitudes, solo nos permite desarrollar cálculos y generar medidas cuantizables, más no asignarle una propiedad o condición física. Esto es algo que en la gran mayoría de las escuelas de institución superior y de básica media se sigue trabajando como el único paradigma y forma de abordaje de la enseñanza de la física. Algo cuestionable en el sentido de limitar la posibilidad de abrir la oportunidad en el aula para reflexionar al respecto de otras cosmovisiones que intervengan en tales magnitudes como la fuerza ejercida por un objeto, la

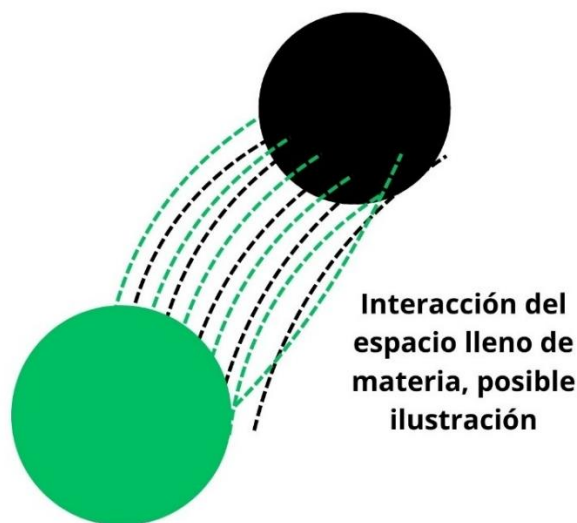
distancia de separación entre los objetos, etc. O incluso en los mismos fenómenos mecánicos, eléctricos, térmicos, etc.

Bajo estas cosmovisiones Leibniz, Descartes y Faraday nos abren la oportunidad de profundizar en la idea del espacio, del medio y la acción como una forma distinta de entender la interacción de los cuerpos electrificados, lo cual es la intención de este trabajo de investigación.

### **2.3. El pensamiento de Descartes y Leibniz**

Ejemplos de objetos interactuando entre sí, como el mencionado entre una bomba y un hilo, abren un panorama a la interpretación acerca de la metafísica newtoniana, en la consideración del espacio absoluto como independiente de los eventos y fenómenos físicos, de los objetos o cuerpos como corpúsculos impenetrables y puntuales, y una acción o una fuerza ejercida instantáneamente en el vacío. A lo largo del siglo XVII estas primeras consideraciones metafísicas llevaron a influir en filósofos como Rene Descartes (1596-1650) quien ofreció en su momento una teoría acerca de la interacción entre los objetos que recogían algunas dificultades en el planteamiento Newtoniano, como el problema de la cohesión entre los objetos y las propiedades de los corpúsculos. Inicialmente Descartes, propone que el concepto de fuerza no existe, si es considerado que la materia se identifica con el espacio (Berkson, 1981). Para Descartes la extensión del espacio y cómo ocurren las interacciones por medio de esto, es lo característico dentro de un mar compuesto de materia. Se considera el movimiento gracias a que la materia es fluida, y los espacios vacíos no existen dentro de los sistemas. Lo interesante, es que Descartes nos plantea cuestionarnos las propiedades que debemos atribuirle a la materia si la consideramos como algo fluido.

Para el paradigma de Descartes, la materia y la extensión son uno solo. La materia solo puede variar si la extensión de esta se perturba, pero bajo otras consideraciones como la forma, color, etc no alteran el sistema en el espacio. También se puede inferir, que el vacío es un concepto que no cabe bajo la extensión de la materia, por lo que la idea de fuerza es innecesaria, como se representa en la ilustración 1. Pero, analicemos el choque entre 2 cuerpos en un punto en el espacio, si estos cuerpos inelásticamente permanecen juntos, ¿qué pasa con la fuerza de cohesión? Para Descartes no es más que el estado de reposo de la materia. Según Berkson: “Las partículas contiguas en reposo relativo constituyen un cuerpo, mientras que las partículas fluidas (aire) en torno al cuerpo están en rápido movimiento.” (Berkson, 1981)



*Ilustración 5. Posible representación de la metafísica de Descartes sobre la interacción entre los cuerpos. Creación propia en Canva*

Aunque hoy en día encontremos que la mecánica newtoniana nos aproxima de una forma más óptima a los fenómenos evidenciados, no podemos descartar la idea de las propiedades del espacio y de los cuerpos que hacen parte de él, como inicialmente nos plantea Descartes. Algo que es fundamental en los trabajos de este autor, es la ley fundamental de conservación del movimiento, que traduciremos con Faraday a la conservación de la carga. Bajo este planteamiento, el movimiento es el *momentum* habitualmente conocido, en donde la interacción de los cuerpos bajo una cierta acción que genera choque u otra alteración no puede ser creado ni destruido (Coronado, 2015). Para Descartes, la cuestión clave de la física, regía desde el análisis mecánico de los choques entre los cuerpos que él mismo formuló. Sin embargo, ¿cómo interpretar este problema de cohesión con los cuerpos electrificados? Se intuye que la interpretación en el aula acerca de un objeto electrificado considerada como un corpúsculo, debe cumplir esta conservación cuando interactúa con otro objeto sea que se encuentre electrificado de igual forma o no.

Aunque gran parte de las teorías de este pensador constituyen algunas bases de la física hoy en día, la gran mayoría de correcciones fueron retomadas más adelante por pensadores como Huygens, Wren, Wallis, Leibniz, etc. Nos centraremos en esta parte particularmente en el pensamiento de Leibniz que complementa gran parte de los primeros análisis de Descartes, y cuyos esfuerzos también fueron continuados por los hermanos Bernolli en el siglo XVIII. El concepto de fuerza para este nuevo pensador es una propiedad esencial de la materia, basado en el principio que él introduce, como el principio de continuidad, que establece que no puede haber cambios

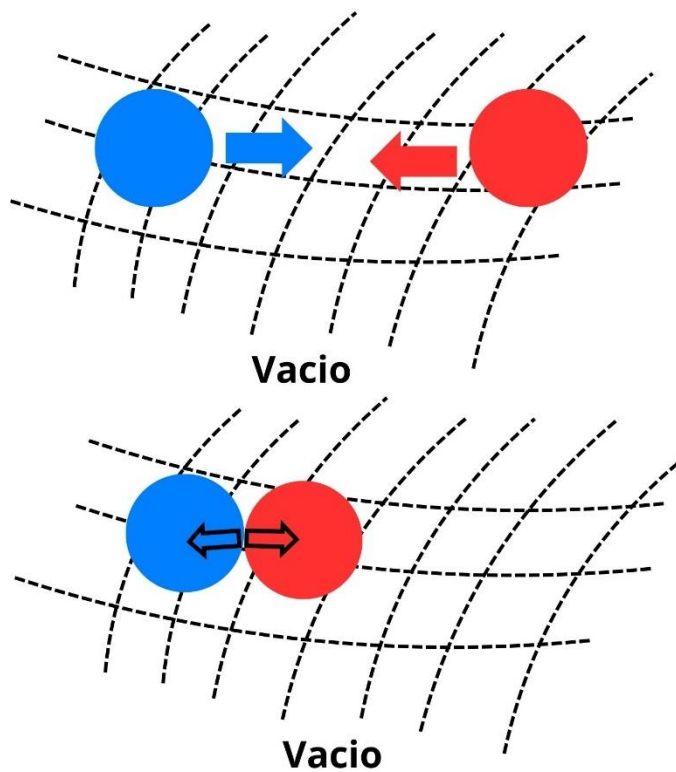
bruscos en la naturaleza (Carrero, 2023). Para este pensamiento, la interacción entre los cuerpos y la discontinuidad cuando existe choques o acciones debe alterar magnitudes como la velocidad y en la estructura superficial de los cuerpos, para seguir el principio de Leibniz, los cuerpos deben tener propiedad de impenetrabilidad y elasticidad de tal forma que regresan a su estado original. La continuidad de acuerdo con Kant es un principio que también sigue el planteamiento newtoniano sobre los cuerpos sólidos, y el cambio de dirección después de una interacción entre estos debe ser instantáneo, lo que conlleva a la idea de fuerzas infinitas y esto contradice el planteamiento de conservación de Descartes (Berkson, 1981). Para Leibniz el mundo físico que él suponía estaba compuesto por lo que llamaba un mar continuo de puntos de fuerza, ya veremos que esta idea es reconfigurada por Faraday, y sintetizadas por Boscovich y Kant.

#### **2.4. De Leibniz a Kant**

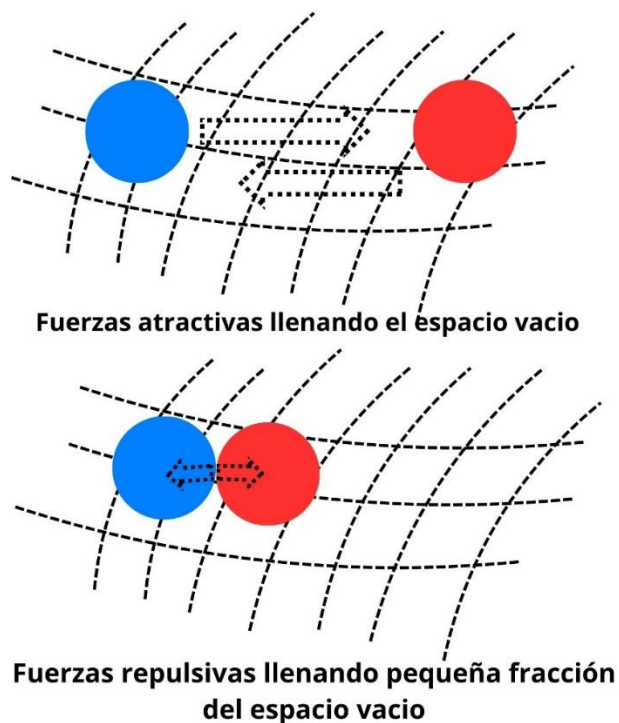
Continuemos con dos pensadores que permitieron configurar mejor el pensamiento metafísico de Faraday. Ya sabemos que para Leibniz (siglo XVIII) el concepto de fuerza se debe atribuir para la estabilidad de los cuerpos debido a sus interacciones con otros, pero no hemos hablado del espacio como lo fue para Descartes, como un espacio repleto de materia, debido a su extensión. Para un pensador quien aclara en la mecánica planteada de Newton y la metafísica de Leibniz, Boscovich nos propone que el mundo no está lleno de materia, sino que dado una fuerza repulsiva suponiendo un caso en donde un átomo a una cierta distancia puede mantener a otro átomo, entonces no hay necesidad de considerar la extensión de un cuerpo, sino la magnitud de la fuerza que le permite mantener un punto en el espacio de estudio, y estas fuerzas pueden ser o repulsivas o atractivas, pero ambas se complementan (Carrero, 2023), como se ilustra en la ilustración 2. También él nos propone que esta impenetrabilidad sólida de los cuerpos es debido a que en cierta distancia tendiendo la cercanía de un cuerpo, la fuerza actuante es repulsiva y que a su vez actúa constantemente también a distancia, lo que llevo a explicaciones de los enlaces químicos en la actualidad (Berkson, 1981).

Aproximadamente del pensamiento de Kant se puede recoger un sistema similar al de Boscovich. Sin embargo, nos propone que el mundo lo llena las fuerzas de atracción por lo que lo que concebimos como fuerzas repulsivas solo son un caso en donde los dos cuerpos se encuentran lo suficientemente cerca para notar dicha interacción, como se muestra en la ilustración 3. Estás

metafísicas influyeron gran parte del trabajo de Faraday para su concepción de los fenómenos eléctricos y magnéticos y que aportaron en más campos de la física abordando la naturaleza de la interacción entre los cuerpos.



*Ilustración 6. Representación del pensamiento de Boscovich acerca de las interacciones entre los cuerpos. Imagen propia desarrollada en Canva.*

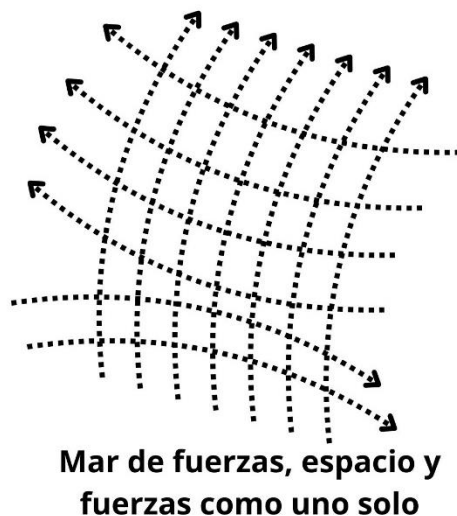


*Ilustración 7. Representación del pensamiento de Kant acerca de las interacciones entre los cuerpos.  
Imagen propia desarrollada en Canva.*

## 2.5. La Cosmovisión de Faraday

El contexto de Faraday se centra en una problemática particular que lo llevaría a replantearse la idea de las primeras metafísicas sobre la interpretación de las interacciones de los cuerpos electrificados y en una discusión con el descubrimiento de Oersted y Ampere que lo lleva al problema sobre las rotaciones electromagnéticas. Sin embargo, esta discusión no nos conviene en esta investigación, pero si podemos discutir sobre las implicaciones que tuvo en la influencia de una formulación metafísica para Faraday sobre las interacciones y los fenómenos magnéticos que lo llevarían al abordaje de los fenómenos electromagnéticos. Así pues, considerando el primer aporte de esta metafísica sobre un espacio lleno, en donde debe tener cualidades particulares para que la interacción sea propagada a lo largo de un tiempo. También la consideración de las fuerzas como una cantidad sustancial que llena este espacio, como se representa en la ilustración 4, formando lo que Faraday llamaba mar de fuerzas (Berkson, 1981). Bajo esta consideración se introduce el primer concepto de campo, en donde es un espacio que contiene al campo de fuerzas, no existe

distinción entre espacio ni campo, es decir, Faraday nos propone una primera unificación entre estos dos conceptos de la física.



*Ilustración 8. Representación del mar de fuerzas, primera unificación de Faraday entre espacio y fuerza.  
Imagen propia desarrollada en Canva*

Esta primera consecuencia de la metafísica de Faraday generó un interés que en la teoría de acción a distancia planteada desde Newton no se abordaba. En donde espacio, y fuerza son 2 cantidades independientes en los eventos. Otra consecuencia que se evidencia es que el concepto de partícula debe su existencia a la convergencia del campo de fuerzas en un punto particular del espacio, en donde esa convergencia puede comportarse como 2 formas de acuerdo con la interpretación que le podemos dar: 1) convergencia como fuentes de campos de fuerzas, 2) convergencia como sumideros de campos de fuerzas. Para entender estos 2 análisis propuestos, hay que aclarar que, aunque la consideración sustancial de la fuerza como un medio de propagación de la interacción, y del reconocimiento del espacio como el mar de fuerzas que permea todo, también tiene una característica asociada como la dirección a la que estas fuerzas viajan por el espacio, por lo que estas direcciones dependerán de la configuración y convergencia de las fuerzas. Para Faraday, las partículas, o los cuerpos, solo son puntos en donde estas fuerzas se concentran, ya que tienen una dirección atribuida en el espacio, se pueden considerar y representar como millones de líneas de fuerzas en un punto.

Por lo que acabamos de definir el concepto de cuerpo como consecuencia misma de los campos de fuerzas, es decir, Faraday unifica también el concepto de cuerpo como consecuencia de esta metafísica. Por lo que espacio, cuerpo y fuerza son un mismo concepto que solo surge de una

consecuencia de la configuración del espacio debido al campo de fuerzas (Berkson, 1981). Sin embargo, considerado parte de la metafísica de Faraday nos interesa una parte fundamental sobre la consideración no de las interacciones como algo general, sino, las interacciones bajo otros fenómenos de la física, como las interacciones eléctricas.

A partir del trabajo de Faraday, especialmente en *Experimental Researches un Chemistry and Physics*, los fenómenos asociados al campo de fuerzas exhiben distintos comportamientos según el tipo de líneas de fuerza involucradas, las cuales permiten describir la acción específica que se desea estudiar. Como él mismo señala:

"En filosofía experimental, podemos, por los fenómenos presentados, reconocer varios tipos de líneas de fuerza. Así, están las líneas de fuerza gravitatoria, las de inducción electrostática, las de acción magnética y otras que, participando de un carácter dinámico, podrían quizás incluirse." (Faraday, 2010)

Faraday también critica la interpretación de la acción eléctrica como una acción a distancia a través del espacio. En su perspectiva, cuando se considera la existencia de partículas como centros de fuerza, estas intervienen en la transmisión de dicha fuerza a lo largo de las líneas. Sin embargo, en ausencia de tales interacciones, las líneas de fuerza actúan a través del espacio circundante. Independientemente del punto de vista -ya sea que se conciban como líneas que ejercen acción en el espacio o como líneas en el espacio a través de las cuales se transmite la acción- Faraday sostiene que, una vez que estas líneas se ven afectadas por una interacción, participan de un comportamiento similar al de una sacudida o vibración lateral (Faraday, 2010).

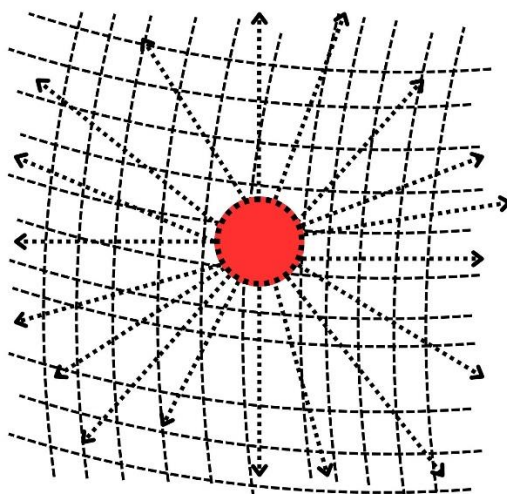
Aunque este argumento se expone particularmente en la carta "*Thoughts on Ray-Vibrations to Richard Phillips, Esq.*", donde Faraday menciona explícitamente las vibraciones, estas aparecen como manifestaciones relacionadas con el comportamiento de las líneas de fuerza en el espacio. No obstante, cabe señalar que este enfoque es, en gran medida, una crítica a la concepción del éter que se discute en dicho capítulo.<sup>3</sup>

Bajo estas consideraciones, lo que concebimos como el campo eléctrico, como una cantidad física que llena el espacio y el vacío con unas propiedades eléctricas particulares, no es más que una variación del campo de fuerzas universal. Lo que más nos interesa es que esta variación como bien se puede interpretar o como esa perturbación de ese espacio, tiene una configuración

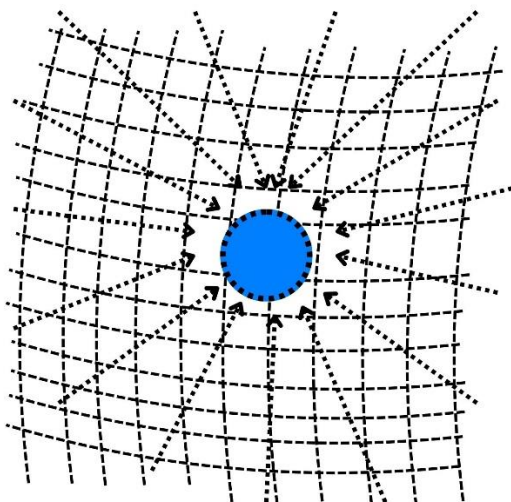
---

<sup>3</sup> Ver *Experimental Researches in Chemistry and Physics*. Michael Faraday. Pág. 260-262. Donde se especifica la crítica hacia el éter como sustancia circundante en el espacio, y la acción en las líneas de fuerza como vibraciones.

particular con características similares al campo universal, como una direccionalidad y la concentración de fuerzas en puntos del espacio concibiendo a los cuerpos cargados eléctricamente, como se puede representar en la ilustración 5 y 6, de 2 tipos de cargas eléctricas o cuerpos electrificados en el espacio.



*Ilustración 9. Convergencia de las líneas del campo de fuerzas en campo eléctrico por una carga fuente. Imagen propia desarrollada en Canva*



*Ilustración 10. Convergencia de las líneas del campo de fuerzas en campo eléctrico por una carga como sumidero. Imagen propia desarrollada en Canva.*

## 2.6. Algunas nociones y reflexiones acerca del campo eléctrico:

A partir de estas primeras nociones metafísicas sobre las interacciones eléctricas y de las interpretaciones mencionadas en el capítulo 2, basadas en diversos pensadores que nos aproximan a las ideas iniciales del concepto de campo, se identifican tres características claves que, de manera transversal, están presentes en el pensamiento de Descartes hasta Faraday:

- 2.6.1. **La configuración del campo en el espacio:** Esta característica indica que la interacción no se sitúa de manera puntual, sino que se manifiesta en el espacio mismo. Su esencia radica en la distribución de los cuerpos y en la acción que estos ejercen para interactuar entre sí. En este sentido, el campo, concebido como un ente que permea todo el espacio, propaga sus efectos de acuerdo con su propia configuración, determinada por las fuentes que lo generan y no de forma aleatoria. Esta visión se encuentra en los planteamientos de Descartes, quien propone una configuración espacial vinculada a la materia, y también a las ideas de Boscovich y Kant, quienes entienden la acción como algo que se extiende por el espacio en función de la disposición de los cuerpos que interactúan.
- 2.6.2. **Las propiedades del espacio:** Con Faraday, el campo adquiere una dimensión sustancialista: el “mar de fuerzas” se convierte en un medio portador de acción. Desde esta perspectiva metafísica, las interacciones eléctricas, al igual que otras, deben manifestarse a través de propiedades físicas específicas del espacio, es decir, mediante cantidades eléctricas que posibiliten la evidencia empírica de los fenómenos. En consecuencia, estas propiedades, derivadas del campo universal, pueden compartir elementos comunes con otros campos naturales. Un ejemplo ilustrativo (aunque fuera del alcance inmediato de esta investigación) es la inducción electromagnética, donde los campos eléctricos y magnéticos interactúan como manifestaciones de una estructura subyacente del espacio, y con propiedades particulares que permiten la propagación de la acción.
- 2.6.3. **Aproximación a la naturaleza del cuerpo:** La concepción de cuerpo físico desempeña un papel fundamental en la formulación de los conceptos de acción e interacción. Leibniz, por ejemplo, atribuye al espacio-materia la propiedad de la fuerza, la cual subyace como condición esencial. En esta línea, se considera

necesario dotar a los cuerpos de cualidades como resistividad, la capacidad de deformación y restauración, especialmente en el caso de los sólidos. Faraday, por su parte, propone que los cuerpos actúan como puntos de convergencia de líneas de fuerza, lo que implica una visión en la que los cuerpos forman parte de una única estructura espacio-fuerza.

Cabe aclarar que, si bien esta investigación se centra en tres aspectos que permiten generalizar ciertos elementos de estos marcos filosóficos, ello no implica que se abarque la totalidad de la metafísica de los autores mencionados. No obstante, estas ideas ofrecen un marco útil para comprender el campo eléctrico como una cantidad física que, de acuerdo con las propiedades descritas, debe relacionarse con conceptos que lo caractericen. En particular, siguiendo el pensamiento de Michael Faraday, el campo eléctrico debe presentar el mismo comportamiento que el campo de fuerzas, del cual se considera una derivación.

Las interacciones analizadas desde el fenómeno del efecto ámbar permiten evidenciar otra característica distintiva del campo eléctrico: la naturaleza misma de los fenómenos eléctricos y electrostáticos. La electrificación de los cuerpos ya sea por fricción o por contacto con otros materiales, producen efectos como la atracción entre objetos, lo cual, si bien inicialmente no se relacionaba exclusivamente con la electricidad de acuerdo con la historia de las ciencias, en el pensamiento de Faraday plantea un desafío fundamental: la caracterización de la interacción misma. Esto sugiere que la acción no es simplemente una manifestación entre cuerpos, sino una propiedad inherente del campo, que construye y organiza las interacciones a través de su estructura, tal como lo demuestra la evidencia experimental de fenómenos como las atracciones eléctricas.

Sin embargo, la formalización de fenómenos eléctricos como la atracción y la repulsión también es resultado de los análisis críticos que James Clerk Maxwell realiza sobre los trabajos experimentales y fenomenológicos de Michael Faraday. En su *Tratado elemental de electricidad y magnetismo*, Maxwell identifica tres tipos fundamentales de fenómenos eléctricos que constituyen la base de la teoría electrostática: los fenómenos de atracción y repulsión entre cuerpos electrificados vítreo o resinosamente, y la inducción eléctrica, la cual se manifiesta en configuraciones específicas, como vasijas, donde la electrificación, según señala el propio Maxwell, depende del tipo de cuerpo cargado eléctricamente que se somete a prueba (Maxwell, 1954)

La organización de los efectos de los fenómenos en el marco de la teoría electrostática proporciona un fundamento sólido para la reconstrucción metafísica que se desarrolla en este trabajo. Esta reconstrucción sirve como base para reflexionar sobre cómo la experimentación recoge dichos planteamientos, y cómo el estudio fenomenológico permite aproximar a una concepción más profunda del campo eléctrico y de las propiedades que lo constituyen, desde una perspectiva metafísica.

## **2.7. La experimentación en el aula**

Para nuestro desarrollo de investigación sobre la aproximación a conceptos de la física, particularmente al de campo eléctrico se genera una propuesta a través de un análisis fenomenológico generando un papel importante a la experiencia del estudiante como parte de su proceso de aprendizaje, junto a espacios de profundización como la experimentación en el aula. Sin embargo, se ha visto la necesidad de señalar qué puntos son relevantes acordes a la relación entre las prácticas experimentales y los procesos de formalización de los conceptos físicos. Algunos autores enuncian que: 1) los esquemas conceptuales, que puede venir de la experiencia previa o la actividad teórica, orientan la actividad experimental ya sea para ampliar y fortalecer la experiencia o dinamizar la teorización de la experiencia misma. 2) No existen esquemas conceptuales que no estén articulados a la experiencia sensorial, ya que, nos permite generar una configuración acerca del mundo físico que percibimos (Sánchez, Osorio, & Manrique, 2013).

En esta ocasión, el papel que le damos al experimento es un espacio de investigación, de discusión y reflexión sobre efectos y fenómenos en particular. En el caso del campo eléctrico, de los fenómenos eléctricos que permiten introducir ciertas ideas claves acerca de la atracción y repulsión eléctrica, y la perturbación de objetos como semillas de té en presencia de un electrodo electrificado o de un vaso de icopor rotando u oscilando debido a dos electrodos electrificados. Ejemplos como estos que se señalarán más adelante a profundidad con la secuencia didáctica planteada, generan una perspectiva de la experimentación que se comparte junto a autores que nos señalan que “En otras circunstancias la intención de la actividad experimental está centrada en la construcción de una base fenomenológica o de hechos de observación con los que se destacan los rasgos relevantes del fenómeno.” (Sánchez, Osorio, & Manrique, 2013).

Algo interesante sobre la ampliación de experiencia y la generación de espacios reflexivos sobre estos, es que en la propuesta de una serie de montajes que comúnmente se hace en el campo de la electrostática, es que se prioriza la agregación de conceptos y fenómenos, pero se limita la exploración del fenómeno y el montaje desarrollado. Es decir, algunos proponen que la caracterización de materiales como conductores, dieléctricos, y aislantes, permiten dar papel al mismo montaje y a las posibles variaciones de lo que se puede observar y medir (Malagón, Barrios, Ayala, & Vargas, 2018). Podemos considerar de otra forma que permitir las preguntas acerca de las posibles variaciones de un montaje, y proponer que se desarrollen los mismos efectos o fenómenos pero con otras consideraciones en el montaje, permiten también ampliar y caracterizar los fenómenos como los eléctricos y determinar las magnitudes que se asocian y permiten generar relaciones explicativas, en donde más que partir de modelos de partículas se requiere más bien examinar qué tipo de magnitudes son pertinentes, cómo se pueden medir y cómo se relacionan (Sánchez, Osorio, & Manrique, 2013). Es por eso por lo que también se propone en esta investigación que la evaluación como parte del proceso y desarrollo de aprendizaje del estudiantado, se vea como un espacio de profundización y ampliación en términos fenomenológicos.

# Capítulo 3. Experiencia y fenomenología

En este capítulo se presenta un análisis de diversos montajes experimentales diseñados para recoger las principales características de las ideas relacionadas con las interacciones entre cuerpos y la noción de campo, en particular el campo eléctrico. Este se considera una cantidad fundamental para articular espacio, fuerza y cuerpo en las distintas manifestaciones de interacción presentes en la naturaleza. El análisis se fundamenta en las afirmaciones y reflexiones de James Clerk Maxwell en su *Tratado elemental de electricidad y magnetismo* (1873), especialmente en lo relacionado a los tipos de electrificación, las superficies equipotenciales y las líneas de fuerza. También se consideran las ideas de Michael Faraday sobre la propagación de la acción a través de las líneas de fuerza, tal como las expuso en su obra *Experimental Researches in Chemistry and Physics*.

## 3.1. Fenomenología y experiencia

Esta investigación busca acercar a los estudiantes de grado décimo y undécimo al estudio de fenómenos eléctricos, partiendo de sus experiencias directas con estos, ya sea por fenómenos naturales en relación con tormentas eléctricas o situaciones sometidos a electrostática como en rodaderos de parques y el contacto de objetos como peinetas en un tiempo prolongado en el cabello. La intención es que tales experiencias sirvan como base para generar espacios de reflexión y análisis, como la elaboración de montajes experimentales, en los que conceptos físicos como las chispas eléctricas, la electrificación y la atracción entre objetos frotados con distintos materiales puedan ser abordados de manera crítica. Así, se pretende mostrar que la experimentación no se limita a la mera comprobación u observación de fenómenos particulares, sino que constituye un medio para explorar y construir concepciones iniciales sobre los efectos físicos y su naturaleza.

En concordancia con el tercer objetivo específico de esta investigación, se proponen los siguientes montajes experimentales:

1. La lamina eléctrica
2. La campana electrostática

3. El hilo electrostático y la relación entre cantidades medibles
4. Visualizando el campo eléctrico

La finalidad de estos montajes es que, a lo largo de su desarrollo y mediante una serie de preguntas orientadoras y actividades, las cuales se detallarán en el capítulo 4 de la secuencia didáctica, se conviertan en objetos de estudio significativos y de reflexión sobre el comportamiento, la interacción y la naturaleza de los fenómenos involucrados.

Para comprender los espacios de estudio propuestos, es fundamental entender la postura adoptada en este trabajo respecto a la fenomenología. Esta se concibe como “...una corriente filosófica desde la cual el conocimiento se construye a partir de la percepción, en la relación del sujeto con el mundo” (Barrios, 2023). Bajo este enfoque, la elaboración de montajes experimentales y la creación de experiencias en el aula se entienden como espacios de investigación, reflexión y aprendizaje. En estos, tanto los fenómenos como el sujeto no son entidades estáticas; por el contrario, se requiere una intervención activa, un reconocimiento del evento mismo frente a sus cualidades y una caracterización de lo que puede extraerse de la observación y la interacción.

No obstante, este planteamiento también nos conduce a una discusión más profunda sobre el papel de la percepción del sujeto y su experiencia observacional. En consonancia con el carácter reflexivo que guía esta investigación, algunos autores han señalado que:

“En consecuencia, la percepción y la experiencia de lo percibido son una misma acción para la conciencia y son resultado de la reflexión, no hay suposiciones, no hay nada por fuera de ellas, la experiencia no existe sin la conciencia de la percepción y la ausencia de conciencia sobre lo percibido no puede generar experiencias. En otras palabras, el fenómeno procede de la experiencia reflexiva, sin la conciencia intencional es imposible la percepción porque ésta es en cuanto se convierte en experiencia para el sujeto.” (Barrios, 2023)

Las experiencias reflexivas no forman parte de la mera observación de fenómenos producidos mediante montajes experimentales, ni de la simple guía para su elaboración. Más bien, corresponden a la orientación investigativa que define qué se desea observar, medir y analizar. Un ejemplo ilustrativo se encuentra en la historia de la ciencia, particularmente en los *Experimental Researches in Chemistry and Physics* de Michael Faraday. Aunque su propósito era eminentemente científico e investigativo, la forma en que recoge conceptos, relaciones e

interpretaciones de los fenómenos a través de la experimentación ofrece un fundamento valioso para la enseñanza. En el aula, esta perspectiva permite abrir espacios donde las mediciones, los objetivos experimentales y la reflexión sobre los fenómenos contribuyen activamente a la construcción del conocimiento.

### **3.2. Consideraciones acerca de la experiencia obtenida**

A lo largo de las reflexiones desarrolladas sobre los pensamientos de autores como Descartes, Leibniz, Boscovich, Kant y Faraday, se ha propuesto la elaboración de una serie de montajes experimentales, mencionados anteriormente, con el propósito de generar un estudio fenomenológico en torno a los fenómenos eléctricos señalados por Maxwell y la construcción del concepto de campo eléctrico. Estos montajes tienen como objetivo evidenciar cualidades metafísicas asociadas a la interacción entre cuerpos y a la configuración de la acción en el espacio.

En esta sección se presentan las principales relaciones y reflexiones surgidas durante la construcción inicial de los prototipos experimentales, los cuales servirán como base para el estudio y la formulación de las actividades propuestas en el capítulo 4, dedicado a la estructuración de la secuencia didáctica.

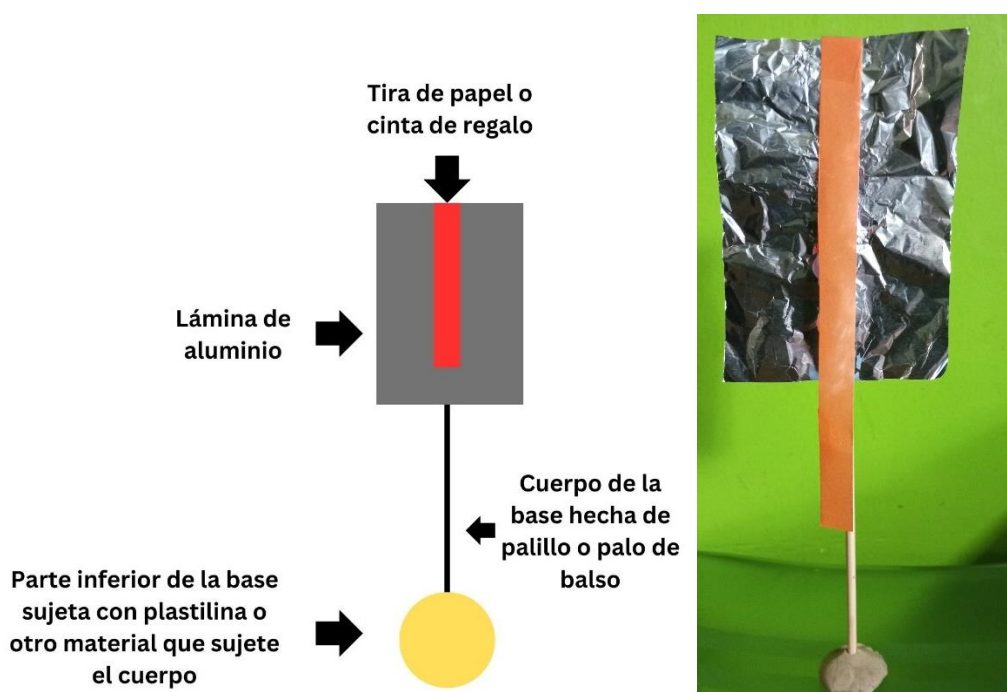
#### **3.2.1. Reflexiones alrededor de la lámina eléctrica**

Este montaje se inspira en los análisis presentados por James Clerk Maxwell en los artículos 27 y 28 de su *Tratado elemental de electricidad y magnetismo*, donde se examinan fenómenos específicos asociados a la electrificación por frotación e inducción. En dichos análisis, Maxwell muestra cómo estos procesos afectan el estado de electrificación en la superficie de los cuerpos, generando efectos de atracción y repulsión que pueden observarse experimentalmente.

A partir de estas ideas, se propone un montaje que permita evidenciar cómo las interacciones eléctricas observadas pueden vincularse con los planteamientos teóricos de Maxwell. En particular, se busca mostrar cómo su concepción de los estados de electrificación

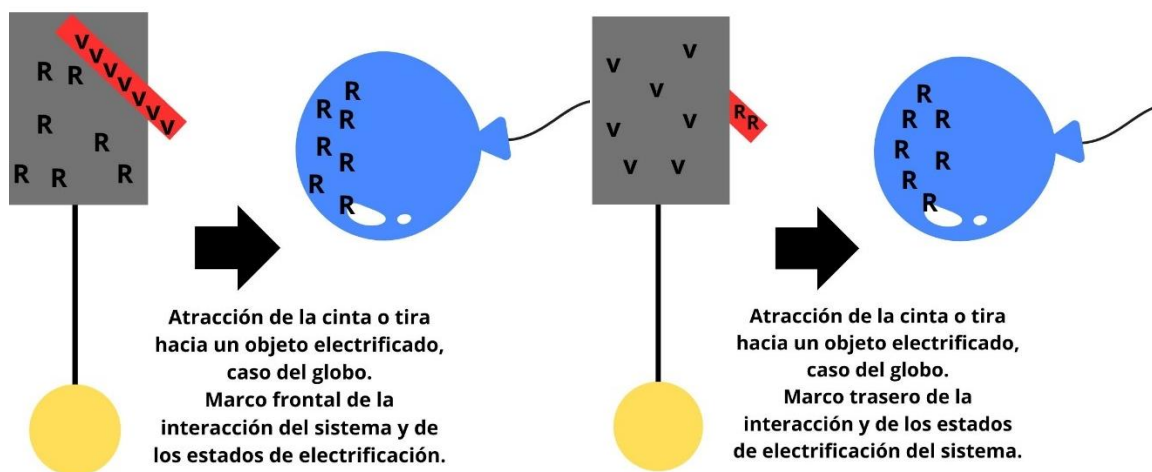
puede extenderse a la interpretación de los comportamientos observados en las configuraciones experimentales propuestas, permitiendo una recreación significativa de los fenómenos descritos.

Este primer montaje, denominado “la lámina eléctrica”, ilustración 11, tiene como finalidad generar un prototipo que permita evidenciar observar los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica. Aunque este último presenta una intensidad considerablemente menor, el diseño del montaje debe permitir la identificación de ambos efectos. Para ello, se utiliza un objeto de prueba no electrificado, suspendido por una base que no interfiera con la interacción, junto a una lámina de papel aluminio (u otro material adecuado) capaz de experimentar redistribución de carga eléctrica en sus superficies.



*Ilustración 11. Prototipo de lámina. El lado izquierdo de la imagen se señalan las partes que componen al montaje experimental y el lado derecho el modelo realizado con materiales como palo de madera, lámina de aluminio 7x10 cm, cinta de papel de 1,2 x 12 cm, y plastilina. Imagen propia del lado izquierdo realiza en canva y fotografía propia del lado derecho del prototipo inicial de este primer montaje de estudio.*

Durante la experimentación se observó que, si el objeto de prueba consiste en una cinta de regalo o una tira de papel rectangular adherida a la lámina y esta a su vez fijada a una base, dicha tira se atraía por un objeto previamente electrificado, como un globo de látex frotado con tela o cabello y puesto a una determinada distancia. En esta situación, tanto la tira como la lámina experimentan atracción, aunque la fijación de la lámina a la base acentúa visualmente el efecto en la tira, ilustración 12.



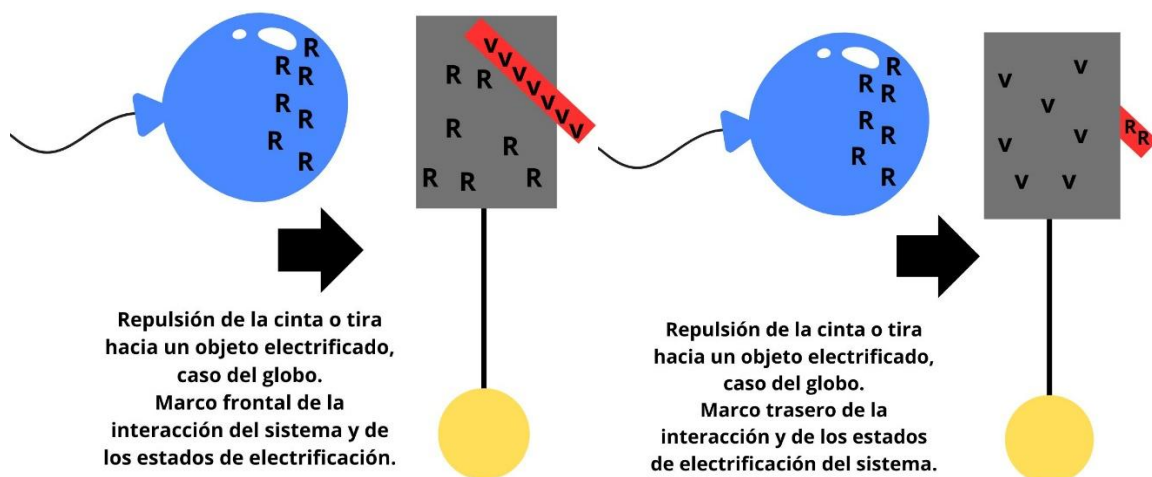
*Ilustración 12. Ilustración propia realizada en Canva. Ilustración 12.A. Imagen izquierda, representación frontalmente de la interacción y de la posible redistribución de estado de electrificación del sistema lámina-cinta. Ilustración 12.B. Imagen derecha, representación trasera de la interacción y de la posible redistribución de estado de electrificación del sistema lámina-cinta. En ambas se ilustra que solo el nuevo estado de electrificación del globo ocurre en una parte puntual de su superficie. R significa resinosamente electrificado y V vítreamente electrificado.*

En este caso, se observa que el estado de electrificación inicial de la lámina y la cinta está dispuesta de tal manera, como se muestra en la ilustración 11, que, al acercarse un objeto previamente electrificado por contacto, como un globo látex, se produce un fenómeno de atracción. Esta atracción puede interpretarse como una interacción entre cuerpos con estados eléctricos distintos, por ejemplo, según la antigua terminología de Maxwell, uno en estado vítreo y otro en estado resinoso. Así, dicha interacción puede explicarse también como una reconfiguración en la distribución superficial de cargas y en el estado de electrificación de la cinta de papel y la lámina de aluminio al estar sujeta y también interactuando debido a este efecto con la cinta, lo cual sugiere que la polaridad de los estados eléctricos surge como consecuencia directa de estas interacciones. También debe tenerse en cuenta que estos efectos son de carácter temporal; es decir, el estado de electrificación no es permanente, sino que depende del tiempo durante el cual ocurre la interacción. Con el transcurso del tiempo y en presencia de fenómenos prolongados, los sistemas tienden a retornar a su estado eléctrico inicial.

Aunque la ilustración 12 intenta representar los efectos de polaridad asociados al estado de electrificación es importante señalar que, en el caso del globo, este fenómeno ocurre de manera localizada en la región afectada por otros mecanismos de electrificación. Por tanto, la capacidad del globo para retener un exceso de estos estados eléctricos no es uniforme en toda su superficie. Sin embargo, esta aproximación resulta útil para describir interacciones puntuales y

analizar la relación entre el comportamiento eléctrico y el fenómeno de reconfiguración de la polaridad mencionado anteriormente.

Posteriormente, al acercar el mismo globo electrificado a la cara opuesta del montaje (es decir, a la parte trasera de la cinta y la lámina, como se muestra en la ilustración 13), se observó un fenómeno de reconfiguración de la polaridad en la lámina. Esta redistribución permitió evidenciar una leve repulsión entre la cinta y la lámina, al asumir que ambas superficies una frente a la otra poseen ahora el mismo estado de electrificación inducido. En este escenario, la interacción ya no necesariamente es directamente entre la cinta y el globo, sino también entre la cinta y la lámina, configurando así un sistema en el que ambos cuerpos electrificados por inducción eléctrica manifiestan una interacción electrostática basada en la repulsión. Sin embargo, los efectos del globo en la parte trasera del sistema lámina-cinta influyen de tal forma que hace evidentemente este efecto de repulsión entre objetos, ya que como mencionamos, estos estados sin el globo puesto en interacción son temporalmente dados.



*Ilustración 13. Ilustración propia realizada en Canva. Ilustración 13.A. Imagen izquierda, se representa manteniendo la condición de estados de electrificación y polaridad de superficies mencionados anteriormente, dando cuenta que dependiendo que, bajo estados distintos entre la superficie trasera de la lámina y el globo, si este no estuviera ligado, se evidenciaría una atracción de la lámina al globo, pero bajo el sistema puesto, tal condición permite evidenciar que el otro extremo tiene que tender a una distribución de carga distinta. Imagen 13.B. Imagen derecha, se representa desde la parte trasera como el caso de la cinta de papel mantiene su condición resinosa, por lo que se repelería bajo la interacción trasera del globo, también repeliéndose con el estado resinoso de la superficie frontal de la lámina de aluminio.*

De esta forma, se constata que cuerpos inicialmente neutros, al ser sometidos a electrificación por inducción, pueden alcanzar configuraciones de carga que reproducen los efectos fundamentales de la interacción electrostática, como la atracción y repulsión, permitiendo

con ello un análisis más profundo de las propiedades de la interacción eléctrica desde una perspectiva tanto fenomenológica como metafísica.

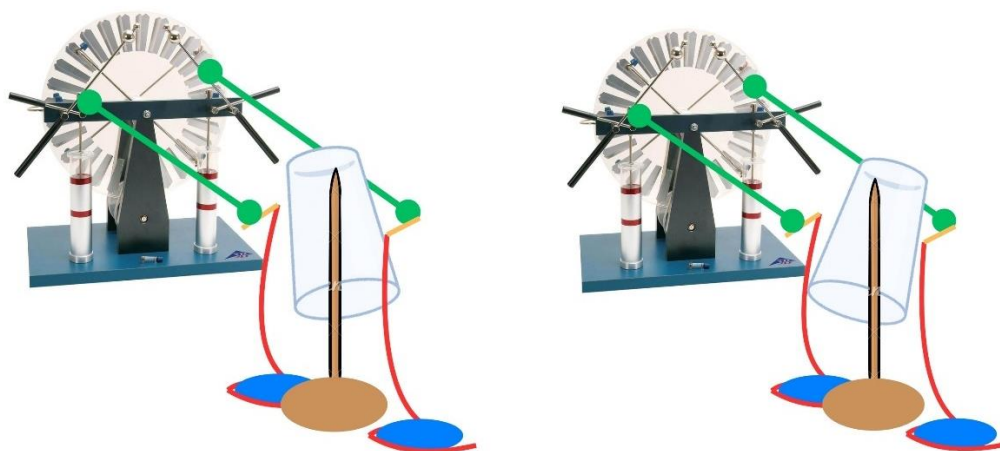
### **3.2.2. Reflexiones alrededor de la campana electrostática:**

El segundo montaje, denominado “la campana electrostática”, tiene como propósito explorar las relaciones entre los conceptos de electrificación e interacción eléctrica entre cuerpos. A diferencia del montaje anterior, donde la inducción eléctrica desempeña un papel central al producir interacciones mediante la reconfiguración de los estados de electrificación en las superficies, en este caso se utilizan máquinas electrostáticas, como la máquina de Wimshurst o el generador de Van de Graaff, las cuales poseen la capacidad de acumular y transferir electricidad a los cuerpos, ya sea por contacto o por la configuración de estado eléctrico por inducción, generando así fenómenos tanto de atracción como de repulsión eléctrica.

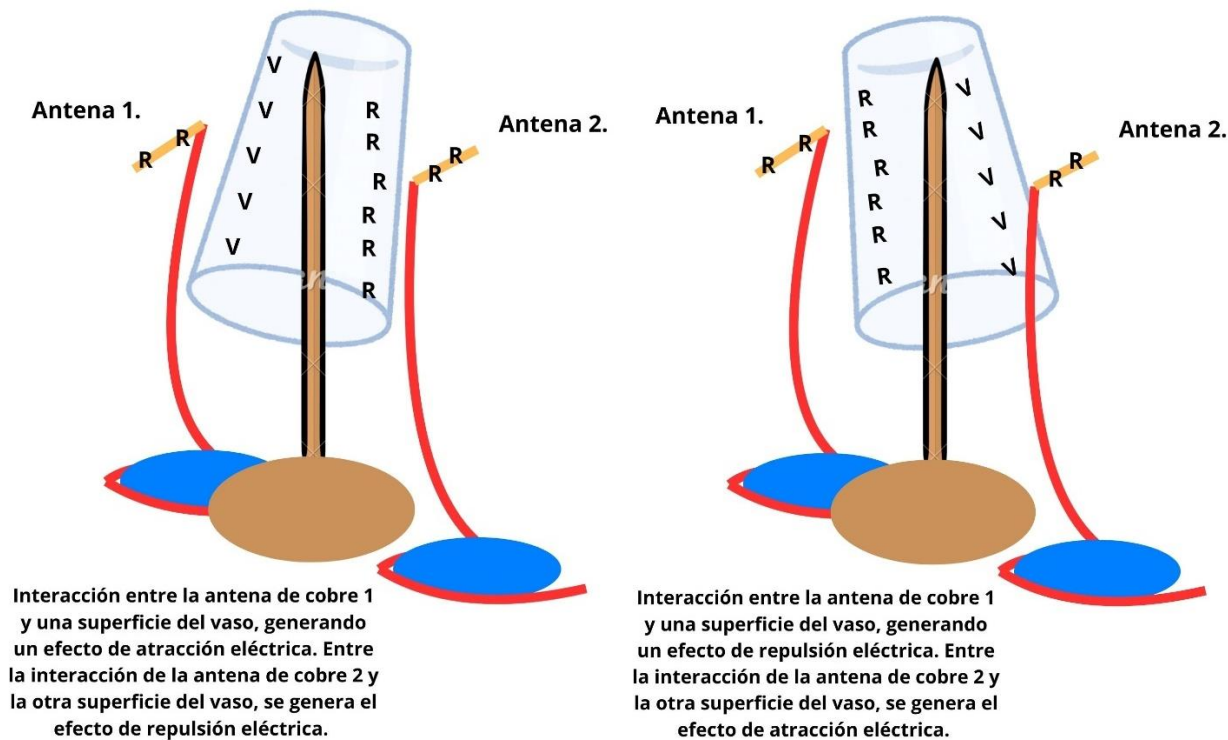
Este montaje se inspira en lo expuesto por James Clerk Maxwell en su *Tratado elemental de electricidad y magnetismo*, específicamente en los artículos 28 y 29, donde se abordan los procesos de electrificación por conducción e inducción eléctrica. La intención es ofrecer una caracterización inicial de estos procesos dentro del contexto experimental, permitiendo su análisis como parte fundamental del estudio.

Asimismo, se busca identificar y caracterizar los materiales conductores utilizados, los cuales, al conectarse con fuentes electrostáticas, no solo permiten observar los efectos eléctricos directos de la electrificación, sino también efectos mecánicos asociados, como el movimiento repetitivo de ciertos cuerpos. Esto abre la posibilidad de analizar la interacción entre fenómenos eléctricos y mecánicos, enriqueciendo la comprensión de los procesos involucrados.

Este montaje permite observar cómo, al modificar el estado eléctrico de un objeto inicialmente en reposo -como un vaso o una esfera de icopor cubierto de papel aluminio o de papel carton- se producen efectos mecánicos como el movimiento repetitivo del cuerpo. Estos movimientos responden a la reorganización de la polaridad del estado de electrificación y a las fuerzas de atracción y repulsión que emergen como resultado, tal como se muestra en las ilustraciones 14 y 15. De este modo, se visualiza claramente cómo las interacciones eléctricas pueden producir otros tipos de efectos observables, como el desplazamiento del objeto, lo que establece una relación entre fenómenos eléctricos y mecánicos.



*Ilustración 14. Montaje de campana electrostática. Ilustraciones superiores del boceto del prototipo inicial realizas propiamente en Canva, y fotografía del prototipo inicial realizado para la practica y ejecución de este segundo montaje de estudio.*



*Ilustración 15. Ilustración propia realiza en Canva. Ilustración 15.A. Imagen izquierda, representación de la atracción del vaso debido a la reconfiguración de electrificación en una de las superficies hacia una de las antenas, como la antena 1. Ilustración 15.B. Imagen derecha, representación de la atracción del vaso debido a la nueva reconfiguración al haber transferido el estado de electrificación por contacto con la antena 1, se genera el efecto contrario, de tal forma que la otra superficie del vaso tiende al estado de electrificación que permite la atracción hacia la antena 2. Generando un movimiento periódico.*

<sup>4</sup>Cuando se hace referencia a la electrificación por contacto en este montaje, es importante distinguir entre la capacidad de los cuerpos para electrificarse y la conductividad eléctrica de los materiales. Aunque están relacionadas, no son equivalentes. Tal como señala Maxwell en su tratado, todos los cuerpos pueden electrificarse por tres métodos: frotamiento, conducción e inducción. En particular, la electrificación por conducción implica que un cuerpo adquiera un estado eléctrico mediante el contacto con otro cuerpo previamente electrificado, lo cual depende de su capacidad de permitir el flujo de electricidad. Este tipo de cuerpos, que pueden ser electrificados por conducción, son los que Maxwell denomina conductores, como él mismo ilustra con el siguiente ejemplo:

“sí se usa una varilla de vidrio, una barra de resina o un hilo de seda blanca, en lugar de un alambre metálico (hace referencia al experimento III de electrificación por conducción), no se habría producido transferencia de electricidad. Por lo tanto, estas últimas sustancias se denominan no conductores de electricidad. Los no conductores se utilizan en experimentos eléctricos para soportar cuerpos electrificados sin transportar su electricidad. Entonces se denominan aislantes.

Los metales son buenos conductores; el aire, el vidrio, las resinas, la gutapercha, la vulcanita, la parafina, etc., son buenos aislantes; pero, como veremos más adelante, todas las sustancias se resisten al paso de la electricidad y todas las permiten, aunque en grados muy diferentes.” (Maxwell, 1954)

Podemos inferir que, en el contexto de este montaje, es fundamental utilizar objetos y materiales con propiedades conductoras. Por ello, se empleó un cable de cobre, material que, al igual que el alambre mencionado por Maxwell en sus experimentos, posee características que permiten su electrificación eficiente usando maquinas electrostáticas como las dos principales mencionadas.

Este cable debe disponerse de tal forma que, al situarse frente a la esfera o al vaso (por ejemplo, de icopor cubierto de papel aluminio o de papel cartón, ya que está cubierta permite generar tales efectos), sea posible observar efectos mecánicos como rotación u oscilación, dependiendo del tipo de objeto. En los casos en que un solo cable genere atracción hacia alguno de estos cuerpos, se requiere la incorporación de un segundo cable o alambre, ubicado en el

---

<sup>4</sup> Montaje y su Desarrollo en el siguiente enlace: <https://youtu.be/IrDNn5JCOEE?si=5M-rXfuPCJRymGzC>

extremo opuesto, es decir, frente a la otra cara del objeto. Esta disposición crea una configuración en la que ambos extremos del cuerpo se ven afectados por las fuerzas generadas por cada uno de los cables. Suponiendo bajo este sistema que ambos cables que interactúan con el vaso están electrificados bajo el mismo estado, debido a su conexión con la misma fuente electrostática.

La interacción entre ambos conductores genera un estado de electrificación alternante entre las superficies del objeto, facilitado por los efectos de inducción producidos por los materiales conductores, como el cobre. De este modo, los cables pueden ser interpretados como antenas electrificadas que interactúan entre sí a determinada distancia, tal como se muestra en la ilustración 15.

### **3.2.3. Reflexiones alrededor entre cantidades físicas y el hilo electrostático**

El tercer montaje, titulado “El hilo electrostático”, tiene como objetivo explorar, a partir de los efectos de polarización eléctrica en las superficies y de los fenómenos específicos asociados a la electrificación de los objetos -como ocurre con el globo de látex o con conductores, por ejemplo, un cable de cobre-, qué relaciones físicas pueden deducirse de estos procesos. Asimismo, busca identificar qué interpretaciones surgen de dichos fenómenos en el marco de las ideas desarrolladas por los autores mencionados previamente en el capítulo 2.

Diseñar un montaje que integre las principales ideas de los dos experimentos anteriores no solo permite una síntesis conceptual, sino que también abre la posibilidad de ir más allá de simples suposiciones sobre el comportamiento del sistema y sus posibles explicaciones. A partir de ciertos efectos observables y de ideas introducidas en los modelos previos, este nuevo montaje experimental busca identificar qué aspectos pueden medirse, con el fin de establecer relaciones físicas que describan el fenómeno de estudio. De este modo, se puede comprender mejor lo que denominamos interacciones y estados de electrificación, los cuales se fundamentan en la relación con otras cantidades físicas asociadas al mismo fenómeno.

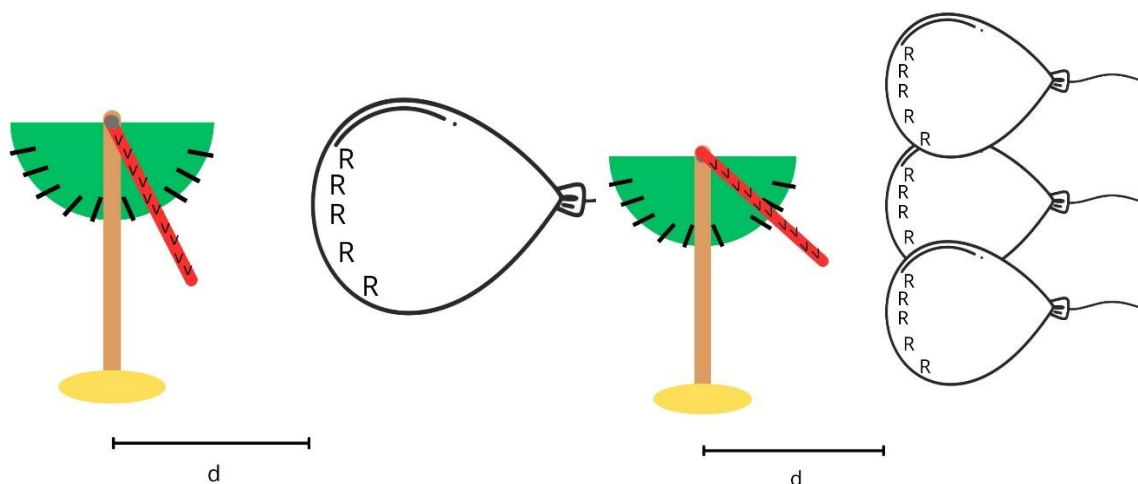
Este montaje está inspirado en las ideas planteadas por James Clerk Maxwell en su *Tratado de electricidad y magnetismo*, específicamente en los montajes presentados en el capítulo 1, titulado “Descripción del fenómeno”, artículo 27. En dicho apartado, mediante la

electrificación por frotación, Maxwell describe los efectos de atracción y repulsión entre cuerpos, interpretándolos según la convención de los estados de electrificación.

En esta propuesta experimental, se busca que dicha relación sea cuantificable, utilizando magnitudes físicas como la distancia de separación entre los objetos y la intensidad de los efectos observados. De este modo, el montaje permite una aproximación cuantitativa a los fenómenos electrostáticos, posibilitando el establecimiento de medidas y relaciones que contribuyan a una comprensión más rigurosa de los principios involucrados.

Por tanto, el modelo debe estar compuesto por un cuerpo que pueda experimentar perturbaciones bajo efectos de atracción o repulsión generados por un objeto electrificado, y que esté ligado sobre una base que no interfiera en dichos efectos. Además, se debe analizar la capacidad del cuerpo para inclinarse como resultado de estas interacciones, por ejemplo, cuando es atraído por otro objeto cargado. El estudio debe considerar qué tan pronunciada es esta inclinación en función de la distancia de separación entre ambos -de mayor a menor distancia-, así como del número de objetos electrificados que actúan sobre el cuerpo a estudiar, ya que una mayor cantidad de fuentes de influencia eléctrica puede intensificar el efecto observado.

Aunque estas interacciones suelen analizarse entre dos cuerpos, es posible introducir un tercero. En ese caso, el sistema no solo varía por el número de cuerpos implicados, sino también por la magnitud de la acción que cada uno ejerce o recibe dentro del marco de referencia del cuerpo estudiado. A medida que se incrementa el número de cuerpos electrificados en interacción, o bien la cantidad de carga en alguno de ellos, la influencia sobre el cuerpo en estudio también aumentará. Bajo los principios de la electrostática, esto refuerza la premisa de que la interacción eléctrica depende tanto de la magnitud de la cantidad de electrificación de algún cuerpo electrificado como del número de estos involucrados, como se representa en la ilustración 16.



*Ilustración 16. Prototipo inicial para medir relaciones entre cantidades de intensidad y de distancia de separación entre objetos (distancia “d”). Ilustración propia realizada en Canva. Imagen 16A. Lado izquierdo, ilustra el comportamiento de un objeto electrificado como un globo de latex interactuando con un hilo como cuerpo de prueba el cual será perturbado bajo efectos de atracción eléctrica. Imagen 16B. Lado derecho, ilustra la cantidad de objetos electrificados puestos para dar en evidencia variaciones entre la intensidad de la interacción entre ambos objetos, también esta dependerá no solo de la cantidad de electrificación puesta, sino, a la distancia que tanto se encuentren varios objetos afectando al de prueba o a la que se encuentre uno de ellos que este interactuando con este.*

Es importante aclarar que, en estas primeras consideraciones experimentales, la distancia de separación se mide desde el cuerpo a perturbar (el hilo) hasta el cuerpo electrificado (el globo de látex) que genera el efecto eléctrico. Según la configuración de polaridad en las superficies, si el cuerpo electrificado ha sido cargado mediante fricción (por ejemplo, con telas), la carga tiende a concentrarse en una región específica del objeto y esta distribución es temporal. Por tanto, la distancia relevante para el análisis se considera desde el centro del cuerpo en interacción hasta la zona electrificada del otro cuerpo, ya que es desde allí donde se evidencia la acción electrostática.

Dependiendo de la configuración de cada sistema experimental, estos prototipos permiten establecer relaciones medibles entre diversas cantidades físicas. No solo es posible analizar la distancia de separación entre objetos, sino también trayectorias asociadas a la inclinación, como los ángulos recorridos, y la cantidad de cuerpos electrificados a una determinada distancia. La relación entre la intensidad de la electrificación y la separación entre los objetos permite construir otras relaciones que deben mantener el principio físico fundamental de la interacción eléctrica, ya sea por atracción o repulsión.

### 3.2.4. Reflexiones alrededor de la visualización del campo eléctrico

El cuarto montaje denominado “Visualizando el campo eléctrico”, tiene como objetivo generar una aproximación al comportamiento de cuerpos de prueba en presencia de un campo eléctrico. Este campo es producido, en particular, por la electrificación de un cuerpo con geometría esférica y también mediante la configuración de dos cuerpos que simulan un sistema de láminas paralelas, evidenciando un tipo específico de perturbación.

Este montaje surge inspirado en las ideas de Michael Faraday sobre las líneas de fuerza, concebidas como líneas de acción que llenan el espacio y se configuran alrededor de los cuerpos, de modo que cuerpo, espacio y fuerza conforman una entidad unificada. Bajo esta concepción, se propone un experimento que, en el contexto de los fenómenos eléctricos, permita electrificar un cuerpo con simetría esférica. Adicionalmente, se plantean configuraciones alternativas, como un sistema de placas paralelas, que posibiliten aproximarse e ilustrar la concentración y perturbación de las líneas de fuerza en el espacio.

Aunque dichas líneas no son directamente observables, la interacción con objetos de prueba sensibles a campos eléctricos permite inferir su presencia y comportamiento. Esta aproximación experimental facilita la generación de reflexiones que vinculan la experiencia empírica con las ideas teóricas de Faraday, brindando un marco para comprender el campo eléctrico como una entidad espacialmente extendida y físicamente activa.

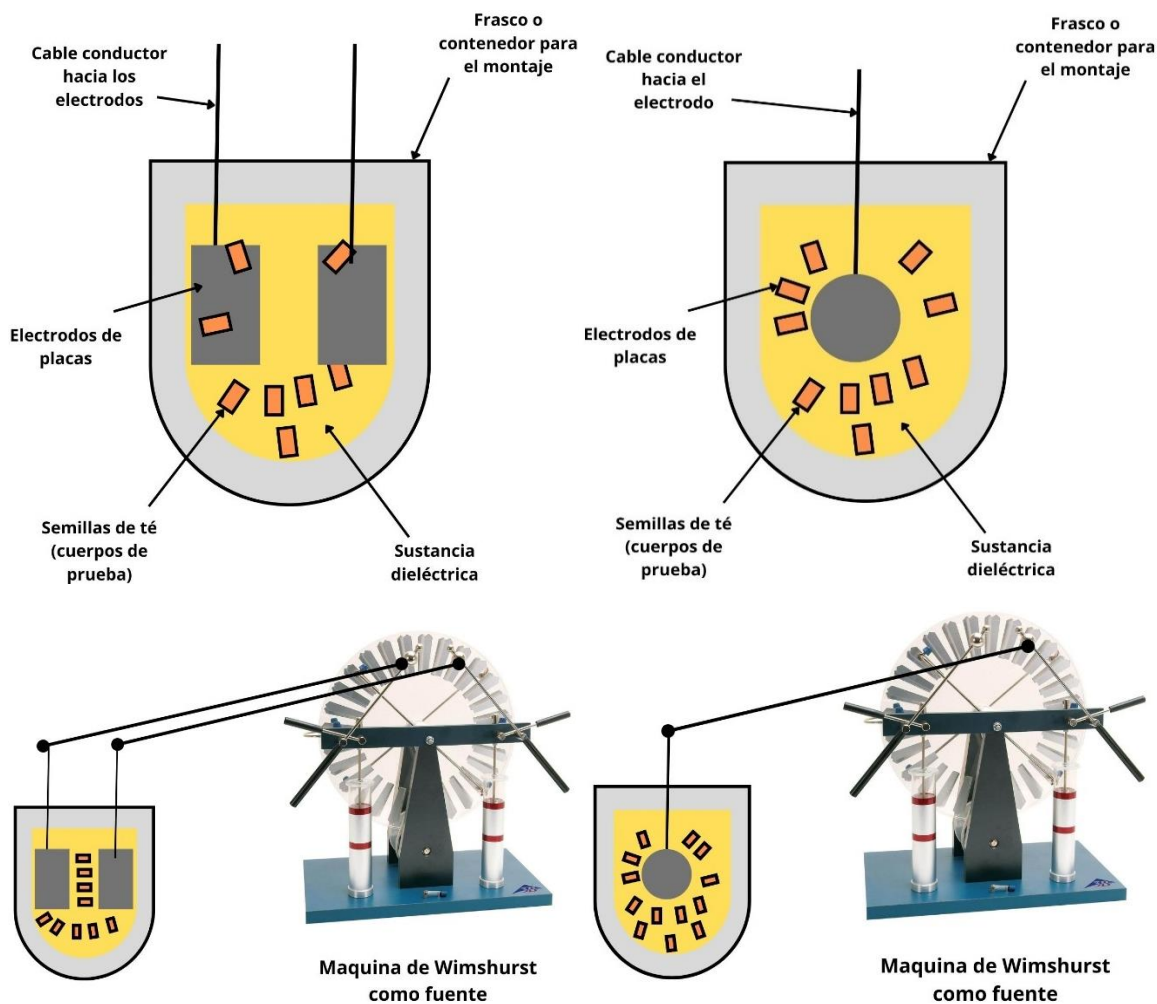
La propuesta busca retomar la noción de líneas de fuerza, tal como lo plantea William Berkson al analizar las ideas de Faraday sobre los campos de fuerza. Faraday concebía estas líneas como transmisoras de la acción, en un sentido similar al de las vibraciones propagadas a lo largo de ellas (Faraday, 2010)<sup>5</sup>. En este montaje, se pretende observar cómo se configura un sistema de cuerpos dieléctricos suspendidos en un medio también dieléctrico, como el aceite. Esta sustancia fue seleccionada por su capacidad para mantener en suspensión, durante más tiempo, cuerpos de masas ligeras -por ejemplo, semillas-, facilitando así la visualización de los efectos eléctricos.

Para la electrificación, se considera una fuente de alta tensión, como una máquina de Wimshurst o un generador de Van de Graaff, que permite cargar eléctricamente los cuerpos

---

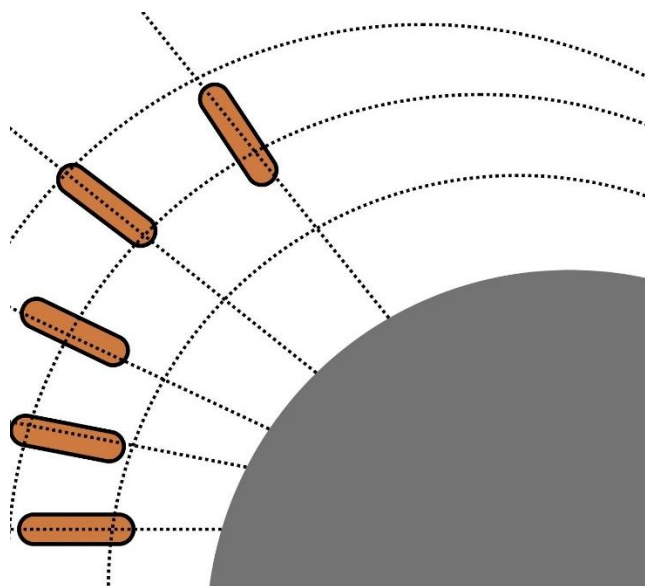
<sup>5</sup> Leer *Experimental Researches in Chemistry and Physics* de Michael Faraday. Pag. 260-263. Donde hace crítica hacia el éter y profundiza en la idea de la acción sobre las líneas de fuerza.

conductores utilizados. Estos objetos deben poseer buenas propiedades conductoras; por ello, se emplean cuerpos de aluminio con las geometrías estipuladas anteriormente, como se observa en la ilustración 17.



*Ilustración 17. Ilustración propia realizada en Canva. Prototipo de frasco con sustancia dieléctrica para evidenciar el comportamiento de objetos de prueba en presencia de un campo eléctrico por electrodos geoméricamente distintos, bajo un sistema de placas paralelas y de un electrodo esférico utilizando una fuente electrostática como la máquina de Wimshurst.*

Una vez electrificado el primer cuerpo esférico, se observa una configuración particular en la distribución de las semillas (en este caso, semillas de té), las cuales tienden a orientarse radialmente hacia la esfera. Esto puede interpretarse como una visualización empírica de las líneas de fuerza, con la esfera actuando como un centro desde el cual emanan. Si se traza una línea que conecte la posición de las semillas con la superficie de la esfera, se evidencia que estas líneas son perpendiculares a dicha superficie. Es decir, su dirección es normal respecto a las superficies equipotenciales del cuerpo esférico, como se ilustra en la figura 18.



*Ilustración 18. Ilustración propia realizada en Canva. Se representa algunas líneas de fuerza y de las superficies equipotenciales (no reales) que pueden ser deducidas alrededor de la configuración de los objetos de prueba (semillas de té) en presencia del campo eléctrico generado por un cuerpo electrificado como un conductor de geometría esférica.*

A partir de estas observaciones, puede afirmarse que las líneas de fuerza en un sistema electrostático representan las alteraciones del campo sobre el espacio y el medio. Retomando una definición de Maxwell: “La línea descrita por un punto que se mueve siempre en la dirección de la fuerza resultante se llama línea de fuerza. Esta línea corta a las superficies equipotenciales en ángulo recto.” (Maxwell, 1954)<sup>6</sup>. Aunque Maxwell se refiere explícitamente a superficies equipotenciales, estas pueden entenderse como superficies (reales o ideales) donde el potencial eléctrico es constante en todos sus puntos.

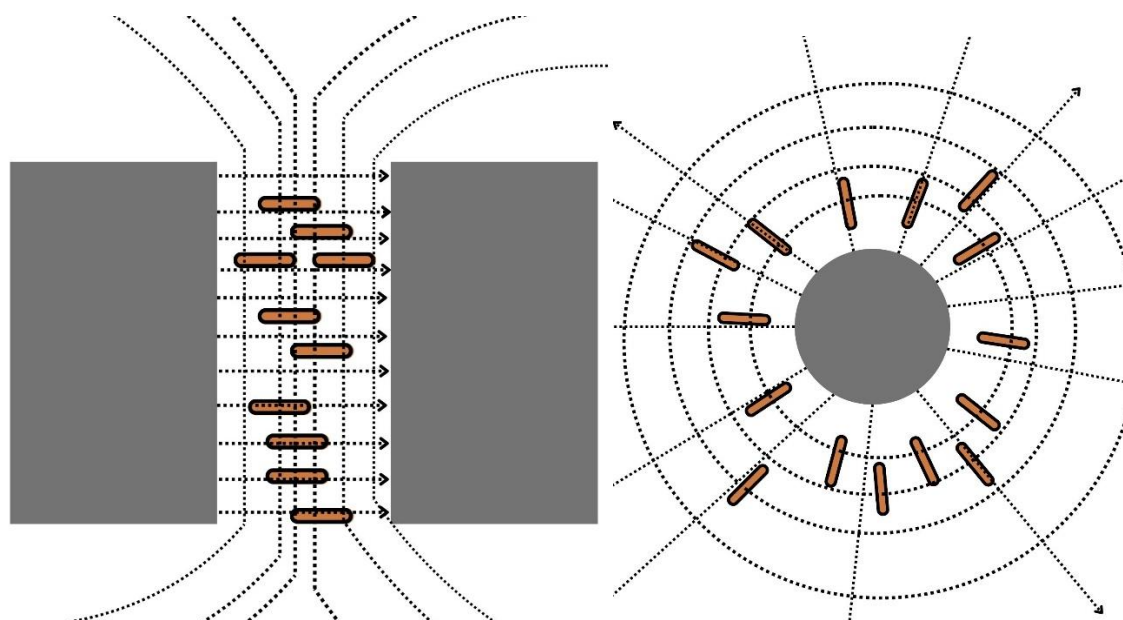
Si bien el presente montaje no se centra exclusivamente en el concepto de potencial, sí permite una aproximación inicial a esta magnitud, la cual es fundamental para comprender el comportamiento del campo eléctrico. El potencial eléctrico, como magnitud escalar, proporciona información clave sobre la intensidad y orientación del campo. En el contexto del montaje, si imaginamos una superficie ficticia que envuelve al cuerpo esférico —como una vasija—, podemos afirmar, siguiendo a Maxwell, que dicha superficie presentará un mismo valor de potencial en todos sus puntos. No obstante, a medida que se consideran superficies sucesivas a diferentes distancias del cuerpo electrificado, el valor del potencial cambia, aunque permanece constante sobre cada una de esas superficies individuales. Estas superficies, a su vez, son

<sup>6</sup> Leer *A treatise on electricity and magnetism* de James Maxwell. Artículo 46. Superficies equipotenciales.

perpendiculares a las líneas de campo, formando así lo que se denomina un campo de potenciales (Maxwell, 1954).

De manera análoga al análisis del campo de potenciales generado por un cuerpo con geometría esférica, en el caso de un sistema conformado por dos láminas de aluminio dispuestas paralelamente entre sí, es posible observar una configuración particular en la distribución de las semillas. Estas tienden a alinearse horizontalmente, apuntando hacia cada una de las láminas. La orientación específica de esta configuración depende de la polaridad superficial de cada una de las placas.

En este contexto, las superficies equipotenciales se disponen de forma tal que rodean a los cuerpos electrificados, manteniendo un valor constante del potencial eléctrico a una distancia fija. A medida que estas superficies se alejan del sistema, el valor del potencial varía progresivamente. Tal como se muestra en la ilustración 19, el campo eléctrico representado debe ser perpendicular a estas superficies equipotenciales, y esta perpendicularidad también se refleja en la orientación de las semillas, que funcionan como trazadores visibles de las líneas de campo.



*Ilustración 19. Ilustración propia realizada en Canva. Representación de las superficies equipotenciales y de las líneas de fuerza de campo eléctrico considerando la configuración particular de las semillas como objetos de prueba perturbados en presencia de un campo eléctrico de los dos distintos sistemas propuestos, siguiendo el principio de ortogonalidad que Maxwell plantea en su tratado de electricidad y magnetismo acerca de las superficies equipotenciales y de las líneas de fuerza.*

Estas observaciones permiten comprender que el campo eléctrico, concebido como una magnitud física que llena el espacio, puede visualizarse mediante líneas de fuerza que

representan la dirección y sentido de la acción eléctrica. Este enfoque conlleva implicaciones e interpretaciones físicas profundas, muchas de las cuales tienen su origen en planteamientos de carácter metafísico y fenomenológico, como los propuestos en los trabajos de Faraday, y posteriormente formalizados por Maxwell en su *Tratado elemental de electricidad y magnetismo*.

En consecuencia, estas ideas ofrecen un sustento teórico y conceptual sólido para el análisis del comportamiento de sistemas eléctricos y de los fenómenos asociados, enriqueciendo la comprensión del campo eléctrico tanto desde una perspectiva fenomenológica como desde una base teórica rigurosa alrededor de algunas ideas de ciertos autores mencionados.

## Capítulo 4. Secuencia didáctica.


A continuación, se presenta el diseño de una secuencia didáctica cuyo propósito es acercar a los estudiantes al estudio de los fenómenos electrostáticos abordados a lo largo de los capítulos anteriores, como el fenómeno de atracción y repulsión eléctrica, la reconfiguración del estado de electrificación, etc. Para ello, se propone una serie de actividades experimentales organizadas en forma de estaciones, como se detallará en la tabla 2. Cada estación se basa en una situación de estudio específica, es decir, en un fenómeno particular a analizar. A través de preguntas orientadoras, se busca que los estudiantes recolecten información sobre los efectos observados y caractericen su comportamiento. De este modo, podrán identificar conceptos claves, cantidades físicas involucradas y relaciones significativas que emerjan a partir de la experiencia directa con los montajes experimentales propuestos.

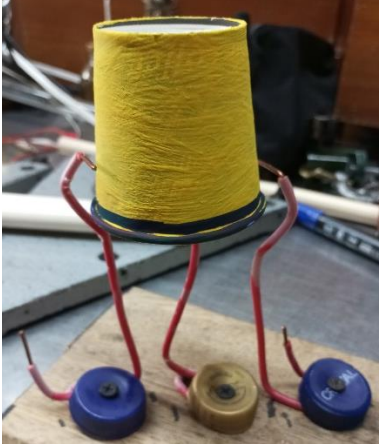

### **4.1. Diseño y estructuración de los montajes.**


Para estructurar los componentes de la secuencia didáctica, se propone, en primer lugar, identificar las características y objetivos de los montajes experimentales, tomando como referencia los conceptos y relaciones previamente establecidos a partir de los prototipos y modelos considerados en el capítulo 3. En este sentido, cada montaje busca propiciar experiencias significativas a través de situaciones de estudio, entendidas como oportunidades para acercarse a la reflexión científica ante los fenómenos eléctricos y a la práctica de la investigación experimental en ciencias.

Con base a las ideas establecidas sobre los modelos y sistemas en el capítulo 3, la intención es que los montajes funcionen también como espacios para realizar mediciones y establecer relaciones entre cantidades físicas. De este modo, se busca aproximar a los estudiantes a la comprensión de que las teorías físicas no se construyen únicamente desde planteamientos metafísicos o formulaciones matemáticas, sino que también poseen un fundamento observacional. En este enfoque, los fenómenos no se conciben como eventos estáticos ajenos al observador, sino que, desde el rol de investigadores o experimentadores, los estudiantes son invitados a intervenir activamente. Así, podrán establecer conexiones entre conceptos, hipótesis e

interpretaciones en torno al fenómeno de estudio. A continuación, se presenta la tabla 1, en donde se estructura los montajes experimentales propuestos como parte del diseño de la secuencia didáctica:

| Montaje   | Descripción del montaje   | Objetivos del montaje   | Conceptos claves a introducir y usar  |
|---|---|---|---|
| <p data-bbox="269 806 516 835">La lámina eléctrica</p>  | <p data-bbox="605 485 966 1724">Este montaje, diseñado con materiales caseros y accesibles para su uso en el aula, emplea un palo de pincho, papel aluminio, tijeras, plastilina o silicona, cinta de regalo o papel iris, cinta transparente, un globo de látex y un tubo de PVC de media pulgada. La base se construye con plastilina y el palo de pincho, sobre el cual se fija una lámina de aluminio de <math>10 \times 6</math> cm. A esta lámina se adhiere una tira de cinta o papel en su parte superior, que puede moverse al ser perturbada por la atracción de un globo o tubo de PVC cargado eléctricamente. Para más detalles, consulte el anexo de la secuencia didáctica.</p> | <p data-bbox="992 835 1255 1367">Demostrar los principales fenómenos electrostáticos, tales como procesos de electrificación por inducción y por frotamiento (cuadrar lo de los efectos).</p> | <ul data-bbox="1328 806 1568 1394" style="list-style-type: none"> <li>• Electrificación</li> <li>• Inducción eléctrica</li> <li>• Atracción eléctrica</li> <li>• Repulsión eléctrica</li> <li>• Interacción eléctrica</li> <li>• Polaridad eléctrica</li> </ul> |
| <p data-bbox="224 1776 560 1806">La campana electrostática</p>  | <p data-bbox="605 1751 966 1835">Para este montaje se utilizaron vasos de cartón,</p>   | <p data-bbox="992 1751 1255 1835">Evidenciar los principales efectos</p>  | <ul data-bbox="1328 1776 1568 1806" style="list-style-type: none"> <li>• Electrificación</li> </ul>   |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|                                  | <p>capaces de electrificarse y generar efectos de atracción y repulsión al interactuar con un globo o tubo de PVC cargado. Se emplearon también cables de cobre como conductores conectados a una fuente electrostática (máquina de Wimshurst o generador de Van de Graaff). Los cables, dispuestos como antenas, fueron fijados con silicona caliente o plastilina sobre una base de cartón paja, según se detalla en el anexo.</p> | <p>de atracción y repulsión eléctrica generados por electrificación por conducción entre materiales conductores, como el cobre, así como los efectos secundarios asociados, tales como el movimiento repetitivo de otros objetos inducidos por estas interacciones.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conducción eléctrica</li> <li>• Conductores eléctricos</li> <li>• Polaridad eléctrica</li> <li>• Atracción eléctrica</li> <li>• Repulsión eléctrica</li> </ul>  |
| <p>El hilo electrostático</p>  | <p>En este montaje se utiliza un hilo de lana como objeto de prueba, el cual se ve perturbado por la proximidad de un globo o tubo de PVC electrificados. La inclinación del hilo permite medir ángulos en función de la distancia y del número de cuerpos cargados, estableciendo así relaciones entre las variables físicas involucradas. El hilo se</p>   | <p>Corroborar la relación entre la electrificación de los cuerpos y los efectos de atracción y repulsión, con el fin de establecer mediciones en variables como la distancia de separación entre los objetos en interacción y la cantidad de cuerpos</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrificación</li> <li>• Atracción eléctrica</li> <li>• Interacción eléctrica</li> <li>• Distancia de separación</li> <li>• Cantidad de electrificación</li> <li>• Angulo de inclinación</li> </ul> |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
|   | <p>sujeta a una base de palo de balsa mediante una puntilla, y puede reforzarse con nudos, silicona o plastilina. Para más detalles, consulte el anexo del documento.</p>  | <p>cargados presentes a una determinada distancia.</p>   |  |
| <p>Visualizando el campo eléctrico</p>  | <p>En este montaje se utilizó un frasco de compota, cuya forma permite alojar electrodos esféricos o configurar un sistema de placas paralelas, ambos hechos de aluminio. Se añadió aceite dieléctrico para suspender semillas de té, las cuales permiten visualizar la configuración del campo eléctrico, facilitando una interpretación intuitiva de las líneas de fuerza. Para más detalles, consulte el anexo de la secuencia didáctica.</p> | <p>Aproximarse al concepto de campo eléctrico mediante la interpretación de las líneas de fuerza, utilizando configuraciones experimentales con objetos de prueba como semillas de té suspendidas en aceite, en presencia del campo generado por distintos electrodos dentro del montaje con frasco.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Campo eléctrico</li> <li>• Configuración del sistema</li> <li>• Placas paralelas</li> <li>• Electrodos</li> <li>• Dieléctricos</li> <li>• líneas de fuerza</li> </ul> |

*Tabla 1. Estructuración montajes experimentales propuestos en el anexo de la secuencia didáctica.*

#### 4.2. Estructuración secuencia didáctica.

Como se ha expuesto anteriormente, la finalidad de los montajes es de carácter investigativo y experimental, por lo que las actividades se centran en la interpretación de los fenómenos que cada montaje permite evidenciar. En este sentido, la secuencia didáctica se estructura como una propuesta de aula basada en cinco ejes fundamentales:

1. Estaciones experimentales para cada actividad.
2. Objetivos de enseñanza y aprendizaje.
3. Contexto científico.
4. Montajes experimentales.
5. Evidencias de aprendizaje.

A continuación, se presenta la tabla 2, la cual describe y organiza estos ejes en función de su implementación en el proceso educativo:

| Estaciones  | Objetivos de enseñanza y aprendizaje   | Descripción de la estación   | Evidencias de aprendizaje   |
|---|--|--|---|
| <p><b>Estación 1:</b><br/><b>electrificando a los cuerpos</b></p> <p><b>Momento 1:</b><br/>montaje “la lámina eléctrica”</p> <p><b>Momento 2:</b><br/>montaje “la campana electrostática”</p> | <p>En esta estación se abordan dos objetivos —uno de aprendizaje y otro de enseñanza— orientados a introducir y explorar las interacciones eléctricas entre cuerpos electrificados y no electrificados. Se busca que el estudiante reconozca y experimente efectos</p> | <p>Esta estación se organiza en dos momentos, cada uno con un montaje experimental distinto. A partir de la introducción sobre la electrificación de los cuerpos y su evolución histórica —incluida en la secuencia didáctica—, se abordan fenómenos electrostáticos</p> | <p>En este caso, se propone el desarrollo de actividades de estudio fuera del aula, en coherencia con los objetivos centrales de enseñanza y aprendizaje. El objetivo es ofrecer a los estudiantes un espacio para formular y consolidar ideas relacionadas con</p> |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | <p>como la atracción, la repulsión y movimientos repetitivos, como en el caso de la campana electrostática, propiciando así un espacio de estudio inicial sobre estos fenómenos.</p>   | <p>específicos, analizados bajo marcos teóricos como los de Maxwell, Descartes y Leibniz. Se proponen preguntas orientadoras que guían la comprensión de las ideas clave sobre la interacción eléctrica y los procesos de electrificación.</p>   | <p>posibles variaciones de los montajes experimentales o su adaptación a distintos sistemas. Para más detalles y evidencias, consulte el documento anexo a este trabajo.</p>  |
| <p><b>Estación 2:</b></p> <p><b>Tipos de electrificación</b></p> <p><b>Momento 1:</b></p> <p>Montaje el hilo electrostático</p> <p><b>Momento 2:</b></p> <p>Proyección de video “Tipos de electrificación” y “El efecto ámbar”</p> | <p>En esta estación se plantean dos objetivos - uno de enseñanza y otro de aprendizaje- enfocados en la relación entre la cantidad de electrificación y la distancia de interacción entre los objetos. Se busca que el estudiante establezca relaciones cuantitativas entre variables como ángulos, distancias y número de cuerpos electrificados, apoyándose en recursos complementarios como videos sobre el efecto ámbar y los tipos de</p> | <p>Esta estación se divide en dos momentos: primero, la elaboración de un montaje experimental para explorar la relación entre la distancia de separación y la cantidad de cuerpos electrificados que interactúan con un objeto de prueba, como un hilo; y segundo, una actividad de análisis de videos elaborados en el marco de este trabajo, con preguntas orientadoras que refuerzan los conceptos</p> | <p>Se propone la realización de actividades fuera del aula, entre ellas una que ilustre el comportamiento de la electrificación en las superficies de los cuerpos, basada en la discusión sobre la polaridad e inducción electrostática. Las dos actividades finales invitan al estudiante a investigar, relacionar y distinguir la relación entre la teoría atómica con la electricidad y a formular explicaciones</p> |

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|   | <p>electrificación. Para más detalles, consulte en anexo correspondiente.</p>   | <p>asociados a los fenómenos electrostáticos y eléctricos estudiados.</p>   | <p>que se aproximen a los fenómenos observados. Para más detalles, consultar el anexo correspondiente a la estación 2.</p>   |
| <p><b>Estación 3:</b></p> <p><b>Campo eléctrico.</b></p> <p><b>Momento 1:</b></p> <p>Montaje visualizando el campo eléctrico.</p> <p><b>Momento 2:</b></p> <p>Proyección de video sobre el campo eléctrico.</p> | <p>Esta estación plantea dos objetivos -uno de enseñanza y otro de aprendizaje- centrados en la observación y representación del comportamiento de objetos de prueba, como las semillas de té, para aproximarse a la noción de líneas de fuerza del campo eléctrico generado por un cuerpo electrificado con geometría esférica o por un sistema de placas paralelas.</p> | <p>Esta estación se divide en dos momentos. El primero consiste en el montaje experimental para observar el comportamiento de cuerpos de prueba (como semillas) en presencia de un campo eléctrico, dependiendo de la geometría del sistema utilizado. El objetivo es analizar cómo varía la configuración del campo según el sistema. El segundo momento incluye un video de retroalimentación y profundización sobre el concepto de campo, enfocado en el campo eléctrico. Para más</p> | <p>En esta estación se proponen tres actividades fuera del aula. La primera consiste en modificar el montaje experimental, variando la sustancia que permite la suspensión de los objetos de prueba. La segunda refuerza los conceptos de electrificación mediante la descripción del proceso. La tercera invita a diseñar una historia ficticia de superhéroes vinculada al campo eléctrico y a los fenómenos observados en estaciones anteriores. Para más detalles, consultar al anexo:</p> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | detalles, consultar la estación 3 del anexo. | Estación 3 -Evidencias de aprendizaje. |
|--|--|--|--|

*Tabla 2. Estructuración de las estaciones del anexo de la secuencia didáctica como propuesta de aula.*

## Capítulo 5. Reflexiones finales.

A lo largo de esta investigación se exploraron diversas vías para abordar la problemática inicial relacionada con la enseñanza del campo eléctrico desde el análisis de los fenómenos propuestos como objetos de estudio, se evidenció que los conceptos fundamentales de la electrostática, como el campo eléctrico, presentan en los textos tradicionales una estructura lineal que, aunque didácticamente útil, omite en muchos casos la complejidad histórica y conceptual de su desarrollo.

El análisis histórico crítico permitió reconocer la importancia de las ideas simplificadas sobre las cantidades físicas que configuran el concepto de campo eléctrico, tal como aparecen en los libros de texto como los de Serway y Tipler. Sin embargo, también se puso en evidencia que en los enfoques históricos los fenómenos de atracción y repulsión no siempre se limitaban a interacciones entre cuerpos cargados, sino que incluían observaciones más generales sobre cuerpos que ocupan espacio y ejercen influencias mutuas.

A partir de este análisis surgieron cuestionamientos clave como: ¿Qué tipo de interacción describían los primeros pensadores? ¿Cómo interpretar físicamente la interacción entre cuerpos en el espacio? Estas preguntas condujeron a la idea de que, desde el Elektron, las interacciones se entienden como alteraciones dentro de un sistema, el cual debe incluir al menos dos cuerpos para que dicha interacción sea observable. Sin un cuerpo de prueba, no puede evidenciarse ninguna afectación. La noción de espacio abre un debate sobre su papel: ¿es solo un medio o un componente esencial de la acción entre cuerpos? Pensadores como Descartes y Faraday invitan a reflexionar sobre cómo se configura esa acción dentro del propio espacio.

La revisión de antecedentes y referentes permitió estructurar una investigación centrada en las ideas fundamentales sobre la configuración del espacio, los cuerpos y sus interacciones. A partir de ello, se diseñó una secuencia didáctica orientada a recuperar estos conceptos, utilizando montajes experimentales como espacios de estudio. La observación y recreación de fenómenos como la atracción y repulsión por electrificación brindan oportunidades para identificar conceptos clave y establecer relaciones que favorezcan la explicación y comprensión de los fenómenos analizados.

En relación con la pregunta problema de esta investigación: ¿Qué consideraciones teóricas, actividades experimentales, y situaciones de estudio permiten abordar las ideas de campo eléctrico con estudiantes de grado décimo y undécimo? el análisis de las principales características del campo eléctrico -rescatadas a partir de la metafísica y concepción de autores como Faraday, Descartes, Leibniz, Kant, etc.- Condujo al diseño de una secuencia didáctica. En esta, los montajes experimentales desempeñan un papel central como medios para generar espacios de indagación, exploración y reflexión. La propuesta de esta experiencia para los estudiantes tiene la intención de que cada montaje se convierta en un punto de partida para establecer relaciones físicas significativas entre los conceptos de electrificación, interacción y campo eléctricos, así como para la interpretación de los fenómenos observados.

Finalmente, se reafirma que la construcción del conocimiento físico debe basarse en la experiencia experimental y la reflexión fenomenológica. El estudio del campo eléctrico no debe limitarse a su formalización matemática, sino que debe incluir su dimensión histórica y conceptual, reconociendo el fenómeno como el principal motor de la investigación científica, en donde este abre espacios de reflexiones y de construcción de conocimiento alrededor de las descripciones iniciales que se pueden asumir de la observación y de las que se pueden ir construyendo a lo largo de la experiencia e investigación misma en el aula. Se busca, así, promover una percepción del conocimiento físico como una construcción dinámica y en constante evolución, alejándose de la visión errónea de la física como un corpus cerrado y definido.

## Referencias

- Assis, A. K. (2010). *The Experimental and Historical Foundations of Electricity*. Montreal, Canada: C. Roys Keys Inc.
- Barrios, M. G. (2023). *La historia, la fenomenología y la epistemología de la física. Orientaciones conceptuales, pedagógicas y didácticas para la enseñanza de la termodinámica en el contexto de formación de profesores*. Barcelona.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid, España: Alianza editorial.
- Bunge, M. (1973). *Philosophy of Physics*. Dordrecht: Reidel.
- C., F., & J., G. (n.d.). *La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada*. Universidad de Vañencia ; Universidad del país vasco.
- Campos Macías, J. A., & Méndez Sánchez, J. E. (2017). *Caracterización de la carga eléctrica en la comprensión de los fenómenos electrostáticos, una mirada a partir de la construcción de fenomenologías*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Carrero, P. N. (2023). *Contextualización del concepto de campo como fundamento pedagógico introductorio a la teoría de campos en mecánica cuántica*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.
- Cataño, A. E., & Burgos, D. A. (2014). *Caracterización de los fenómenos electrostáticos desde una perspectiva de campos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Coronado, W. A. (2015). *De la acción a distancia al concepto de campo. Una discusión sobre la acción a distancia en terminos del desarrollo de la teoría de campos de Farady hasta Maxwell*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional .
- Faraday, M. (2010). *Experimental Researches in Chemistry and Physics. English Version*. Forgotten Books.
- Malagón, J. F., Barrios, M. G., Ayala, M. M., & Vargas, L. T. (2018). *Una Perspectiva Fenomenológica para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Grupo de investigación: Física y Cultura.
- Maxwell, J. (1954). *A treatise on electricity and magnetism*. New York: Dover Publications Inc.

Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Bogotá: Revolución Educativa Colombia aprende.

Roller, D., & Roller, D. H. (1954). *The development of the concept of electric charge, electricity from the Greeks to Coulomb*. Harvard University Press.

Sánchez, F. M., Osorio, S. S., & Manrique, M. M. (2013). *La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización*. Cali: Praxis Filosófica.

Turga, A. V. (2019). *Construcción del concepto de campo a través del vínculo de la fuerza, carga, flujo y superficies equipotenciales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

## **Anexo.**

### **Anexo secuencia didáctica.**

A continuación, se presenta el anexo que contiene la secuencia didáctica estructurada para este trabajo de investigación, concebida como recurso pedagógico para el desarrollo de contenidos introductorios en teoría electromagnética de campos, o como apoyo en procesos de enseñanza en cursos de ciencia y física en los niveles escolares de educación media (grados décimo y undécimo).

La secuencia está diseñada con base a criterios de progresión conceptual y articulación experimental, incorporando:

- Guías detalladas de montaje experimental, que permiten reproducir fenómenos electrostáticos mediante materiales de bajo costo y con la posibilidad de una mejora a la modificación de estos montajes, facilitando la apropiación de conceptos señalados particularmente en el capítulo 4.
- Cuestionario de diagnóstico (presaberes) y preguntas de acompañamiento conceptual, orientadas al desarrollo del pensamiento científico y a la problematización progresiva del fenómeno en estudio.
- Material audiovisual complementario, acompañado de guías de observación y discusión que refuerzan la comprensión de los principios físicos involucrados.
- Propuestas de actividades extracurriculares, orientadas a la profundización conceptual y al desarrollo de competencias científicas mediante estrategias como la formulación de modelos, la transferencia a contextos nuevos y el diseño creativo aplicado.

Este anexo busca brindar a los docentes y a los estudiantes una herramienta versátil y estructurada que promueva la construcción significativa de conocimientos, el desarrollo de habilidades experimentales y la apropiación de nociones fundamentales del electromagnetismo desde una perspectiva histórica, conceptual y fenomenológica.

# **SECUENCIA DIDÁCTICA**

## **ELECTRIFICANDO CON EL**

### **CAMPO**

¿Se han preguntado cómo es posible que los rayos puedan generar con tanta catástrofe incendios e incluso dejar suelos, casas y árboles destrozados? ¿Cómo es que pueden interactuar desde las nubes hasta la superficie terrestre? Las respuestas a todo esto y más viene a causa de grandes ideas, de grandes pensadores que nos dieron las bases de la ciencia y la tecnología que nos rodea hoy en día. ¡Indaguemos juntos!

La observación e investigación sobre la electricidad y su naturaleza nos ha llevado a relacionar manifestaciones de cuerpos atraídos a causa de la frotación de objetos con una tela, chispazos en los cables, los rayos que caen en una tormenta eléctrica, entre otros. Todos estos ejemplos en su mayoría vividos día a día, tanto en el aula de clase, como fuera del aula, son vivencias que dejan que lo común se transforme en conocimiento.

Se han generado campos de investigación alrededor de la electricidad, lo que ha llevado a grandes avances en el mundo industrial y al desarrollo de aparatos tecnológicos, llevando a conocer el universo mismo a través de los campos eléctricos y magnéticos, la carga eléctrica, las ondas, etc. En este recorrido investigaremos fenómenos alrededor de la electrostática, lo que les permitirá elaborar montajes tan llamativos que los hará grandes experimentadores y los llevara indagar en las teorías alrededor del campo electrostático. ¡Únete a este gran recorrido!

# FICHA TECNICA

## CONTENIDOS Y METODOLOGÍA



### Objetivo general

- Aproximar a los estudiantes de grados décimo y undécimo, al concepto de campo eléctrico a partir del análisis de una serie de experiencias en el aula basados en fenómenos electrostáticos.

### Componentes de las estaciones

| Experimentos  | Dotación de instrumentación  | Recursos audiovisuales  |
|---|--|---|
| Esta secuencia de enseñanza está subdividida en 3 estaciones de aprendizaje, cada una de estas contiene una serie de actividades experimentales con propósitos que pueden ser abordados en la enseñanza de la electrostática. Para esta secuencia didáctica el experimento en el aula permite la construcción de conocimiento a partir del aprender haciendo. | Esta secuencia de enseñanza propone el uso de una serie de herramientas caseras como: globos, tubos PVC, hilo de lana, etc. Y de herramientas de laboratorio como: Tubos de vidrio para experimentos en electrostática, maquina de Van der Graaf o de Wimshurst, etc. Para el optimo desarrollo de las experiencias. | Como parte de la experiencia de aprendizaje se usan recursos audiovisuales como material de apoyo para la aclaración y profundización de conceptos claves en la teoría electrostática, llevando al estudiante a reflexionar en los fenómenos estudiados y los montajes experimentales contruidos. |

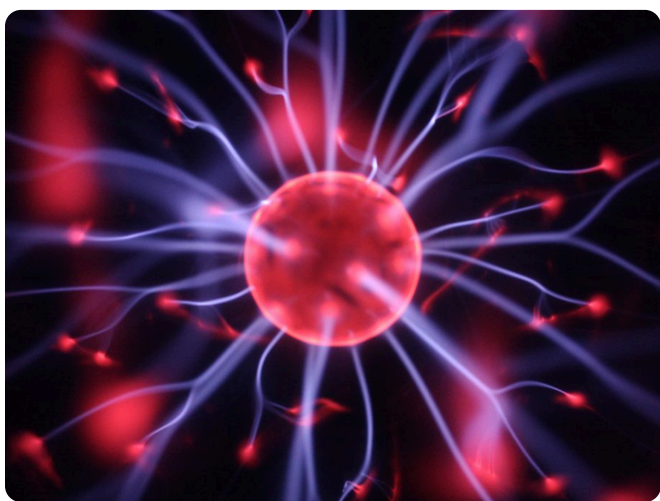
### Estructura de las estaciones de aprendizaje

Para organizar el contenido de la propuesta educativa, esta se dividirá en 3 estaciones: 1) Electrificando a los cuerpos. 2) Tipos de electrificación. 3) Campo eléctrico. Cada estación tiene la intención de aproximar a los estudiantes a conceptos claves como la interacción, carga eléctrica, atracción y repulsión eléctrica, y campo eléctrico. Promoviendo una perspectiva de la experiencia como espacios de observación y de enfoque en preguntas orientadoras particulares que invitan a reflexionar y socializar en clase. También, generando una idea de la experimentación y de la evaluación como procesos formativos.

---

## Ruta de las estaciones:

Todas las estaciones de aprendizaje parten de una situación de interés, que tiene la intención pedagógica de incentivar la curiosidad de los estudiantes para indagar y aprender alrededor de los fenómenos electrostáticos.



Cada estación de aprendizaje propone el despliegue e integración de un conjunto de acciones de pensamiento y producción que hacen parte de los tres ejes articuladores que las estructuran: (1) Aproximación al conocimiento como científicos, (2) Manejo de conocimientos propios de las ciencias. (3) Desarrollo de habilidades para la creación de experimentos científicos.

Imagen 1.1. Ilustración de canva lampara de tesla.

Así, en las primeras páginas de las estaciones, tanto los maestros como los y las estudiantes pueden identificar fácilmente lo que se espera que aprendan durante el desarrollo de las actividades.

Además, las acciones de pensamiento y producción se encuentran acompañando permanentemente las preguntas, explicaciones y prácticas que se proponen al interior de cada estación. Ello no solo permite integrar la evaluación como parte activa del proceso de formación, sino que ofrece a los y las estudiantes la posibilidad de identificar y autoevaluar su aprendizaje en cada momento.

Es importante tener en cuenta que cada estación de la secuencia didáctica está conformado por: **una actividad de ideas previas, experiencias y experimentos científicos**, explicaciones de **ciencia cotidiana**, una propuesta de evaluación a partir de su experiencia en el aula y recursos **multimedia** recomendados, que en conjunto movilizan la activación y desarrollo de diferentes acciones de pensamiento y producción por parte del estudiante.



### **Actividad de ideas previas:**

- Permiten movilizar y reconocer saberes previos para usarlos en el desarrollo de la construcción de explicaciones alrededor de los conceptos estudiados.
- Tienen el propósito de promover la indagación y curiosidad científica.
- Constituyen el eje sobre el que se despliegan los contenidos de cada momento.



### **Experiencias científicas**

- Están diseñadas para que las y los estudiantes tengan un rol activo, protagónico y propositivo.
- Promueven la vivencia del trabajo colaborativo y su valoración.
- Proponen prácticas experimentales situadas que trascienden los manuales e instructivos de laboratorio, haciendo que los y las estudiantes tengan experiencias científicas de una manera similar a como lo hacen los científicos.



### **Ciencia cotidiana**

- Presentan conocimientos propios de las ciencias de manera contextualizada, gradual y sencilla. La construcción de contenidos permite a los estudiantes generar espacios de reflexión sobre los fenómenos estudiados.
- Integra conocimientos relacionados con vivencias del día a día.



### **Multimedia:**

Sugieren contenidos (videos) con la intención de establecer nuevas conexiones entre lo que han aprendido y experimentado en el aula. El recurso seleccionado posibilita:

- Profundizar en los fenómenos de electrostática abordados.
- Estimular el estudio de los fenómenos naturales desde diferentes campos del saber.
- Motivar el planteamiento de nuevas preguntas y estimular la indagación.

# ESTACIÓN 1:

## ELECTRIFICANDO A LOS CUERPOS



Imagen 1.2. Resina ámbar. [https://cdn.shopify.com/s/files/1/1115/2278/files/1\\_769f99f9-5225-4e3d-9c2c-107e49feb684\\_480x480.jpg?v=1688403067](https://cdn.shopify.com/s/files/1/1115/2278/files/1_769f99f9-5225-4e3d-9c2c-107e49feb684_480x480.jpg?v=1688403067)

¿Sabías que existía una piedra muy peculiar capaz de atraer objetos al ser frotados? se trataba del ámbar, una resina fosilizada que, según los antiguos griegos –los primeros en documentar este fenómeno–, provenía de un árbol legendario ubicado mas allá de los bosques conocidos. Para ellos, era fascinante que una simple piedra pudiera atraer materiales como la paja, algo que en su época parecía inexplicable.

Hoy, comprendemos que este efecto se debe a la electricidad estática, el mismo principio que hace que tu cabello se levante al frotar un globo o que un rayo caiga sobre la superficie terrestre. ¿Quieres explorar más sobre este fenómeno y compartir tus ideas? ¡acompañanos en esta experiencia alrededor de la electrificación!

---



Imagen 1.3. Papeles atraídos.

[https://s1.elespanol.com/2017/06/30/social/la\\_jungla\\_-\\_social\\_227739234\\_38042171\\_1706x960.jpg](https://s1.elespanol.com/2017/06/30/social/la_jungla_-_social_227739234_38042171_1706x960.jpg)

## OBJETIVO DE ENSEÑANZA DE LA ESTACIÓN:

Caracterizar las diferentes formas de interacción de los cuerpos que se electrifican por medio de la frotación e inducción electrostática.

## OBJETIVO DE APRENDIZAJE DE LA ESTACIÓN:

Reconocer los diferentes tipos de interacción entre objetos que se electrifican por medio de la frotación e inducción electrostática.

## Componentes de la estación

| Cuestionario de pre saberes   | Montajes experimentales  | Evaluación  |
|---|--|---|
| <p>Este cuestionario de ideas previas está compuesto por una serie de preguntas, las cuales tienen un objetivo investigativo para reconocer los saberes previos y percepciones que tienen los estudiantes con base en conceptos de electrificación, electricidad, carga eléctrica, etc. Lo que permitirá la contextualización por parte del docente con los estudiantes alrededor de los conceptos que se abordaran en esta estación.</p> | <p>En esta estación tendremos dos montajes experimentales: 1) La lamina eléctrica. 2) La campana electrostática. Los cuales permiten distinguir los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica a partir de la electrificación de los objetos por medio de la frotación e inducción electrostática. Estos experimentos tienen la intención de introducir a los estudiantes a los diferentes tipos de electrificación y a los efectos básicos de estos como la interacción entre objetos electrificados y no electrificados.</p> | <p>La evaluación en esta estación tiene la intención de promover la construcción de conocimiento científico a partir de la toma de decisiones en variaciones de los montajes experimentales y/o en explicaciones de fenómeno del mundo natural, llevando al estudiante a usar los conceptos alcanzados.</p> |

A continuación los invitamos a responder las siguientes preguntas que hacen parte del cuestionario de pre saberes para esta estación.

## Cuestionario de pre saberes

**¡Haz uso de tu propio conocimiento y tu experiencia!**

|   |   |
|---|---|
| 1 | <p><b>¿Haz experimentado algún pequeño choque eléctrico al tocar algo?<br/>Describe la situación</b></p>  |
| 2 | <p><b>¿Sabes qué sucede cuando frotas un globo contra tu cabello o una prenda de lana y lo acercas a trozos pequeños de papel? Explica tu respuesta.</b></p>  |
| 3 | <p><b>En algunas ocasiones cuando los niños se deslizan por algunos rodaderos, usando prendas especiales y tocan un objeto metálico, sienten una chispa eléctrica ¿Cómo explicarías esta situación?</b></p> |
| 4 | <p><b>¿Puedes dar ejemplos de materiales que creas que permiten o no permiten el paso de la electricidad?</b></p>   |
| 5 | <p><b>¿Conoces algún impacto de la electricidad sobre el mundo y tu vida?</b></p>   |

**La ciencia en contexto:**

# Aproximaciones a la electrificación

Todos los objetos poseen cargas eléctricas, ya que esta es una propiedad de todos los cuerpos. En condiciones de equilibrio los cuerpos se encuentran en un estado neutro, es decir, no presentan un exceso ni un déficit neto de carga. La neutralidad eléctrica de los cuerpos permite que estos coexistan sin interacciones eléctricas perceptibles. Sin embargo, bajo ciertas condiciones -ya sean naturales o inducidas en un experimento- los objetos pueden adquirir carga neta, y es entonces cuando se hacen evidentes fenómenos característicos, como la atracción o repulsión entre ellos. Por ejemplo, los antiguos griegos desde la época de Platón y Aristóteles, por medio de la resina Ámbar notaban que cuando esta era frotada atraía objetos como la paja de los rebaños y las hojas de papel, como se presenta en la siguiente imagen:



Imagen 1.4. Ámbar frotado atrayendo papeles. Link de la imagen:

<https://www.lifeder.com/wp-content/uploads/2018/05/ambar-electricidad-estatica-min-1024x683.jpg>



Imagen 1.5. Ilustración propia realizada en Canva.

O cuando naturalmente las tormentas eléctricas por ciertos procesos de ionización en las nubes acumulan una cierta cantidad de carga eléctrica que luego se libera en forma de una descarga eléctrica o lo que observamos como un rayo eléctrico que cae desde las nubes hasta la superficie terrestre, como se muestra en la imagen 1.5. A continuación, abordaremos los conceptos claves de electrificación que permiten comprender estas interacciones eléctricas.

## Experiencia I:

### Los cuerpos electrificados

A continuación se señalarán los materiales requeridos para la elaboración de esta primera experiencia, en donde se realizarán 2 montajes experimentales que permitirán evidenciar efectos claves sobre la electrificación en los objetos.

| Imagen de la herramienta a utilizar   | Materiales a utilizar para cada montaje  |
|---|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 Palillos de pincho o de dientes</li> </ul>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Una plastilina de cualquier color</li> </ul>  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 laminas de papel aluminio 10 cm x 6 cm</li> <li>• <math>\frac{1}{8}</math> de papel aluminio</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cinta transparente</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Una cinta de papel regalo</li> <li>• o una hoja iris</li> </ul>   |



- Globo



- Tubo PVC de 1/2 pulgada o 1 pulgada



- Vaso de icopor pequeño (6 onzas)



- 1/2 metro de alambre de cobre o 1/2 metro de cable de cobre.



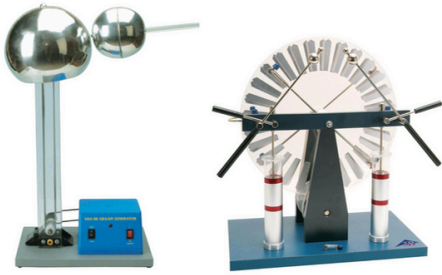
- 1/8 de carton paja



- 2 barras de silicona y pistola de silicona



- Alicates para cortar cable



- Fuente electrostática como maquina de wimshurst o generador de van der graaf.



- 2 cables caimán caimán

A continuación, se presentara el desarrollo del montaje 1, el cual servirá como base para la experiencia 1. En este experimento, analizaremos dos fenómenos eléctricos fundamentales: la atracción y repulsión eléctrica. Estos fenómenos se manifiestan cuando ciertos objetos son electrificados, es decir, cuando adquieren una carga eléctrica a través de algunos procesos como fricción entre objetos o contacto entre ellos. Un ejemplo clásico consiste en frotar un globo contra el cabello o un saco de lana, provocando así la transferencia de carga eléctrica y permitiendo la producción de efectos como la atracción entre un objeto neutro y otro electrificado, o la repulsión a objetos que poseen misma carga. Durante el montaje, se observaran estas interacciones para comprender de una forma experimental los principios de la electrostática. Además es necesario considerar los factores externos como la humedad ambiental y la cantidad de carga acumulada que influyen en la elaboración de estos montajes experimentales. Este primer acercamiento permitirá sentar las bases para el estudio sistemático de la electricidad estática.

# DESARROLLO DE LOS MONTAJES!

## La lamina eléctrica

### Instrucciones del primer montaje

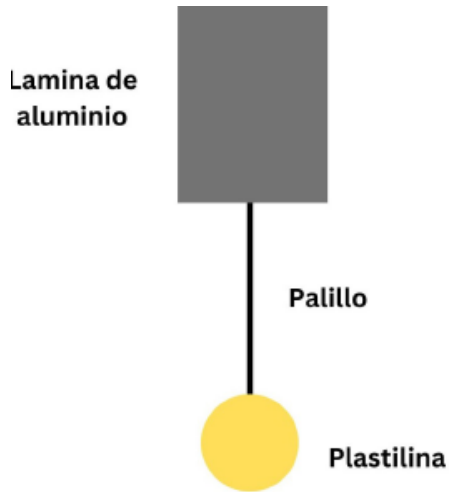


Imagen 1.

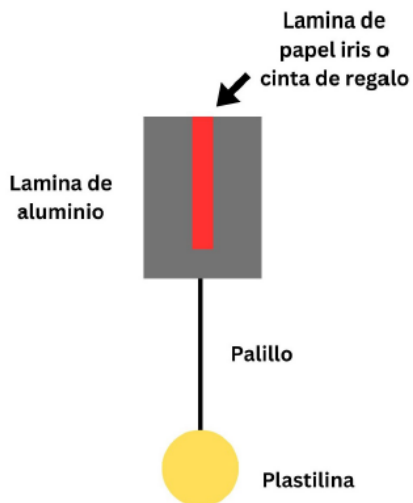


Imagen 2

- Tome la lamina de papel aluminio y péguela con cinta en el palillo de tal forma que quede lo más recto posible, formando una base recta.
- Coloque la plastilina como una base de tal forma que esta ajuste y no permita que se caiga o desestabilice el montaje, como se ve en la imagen 1.

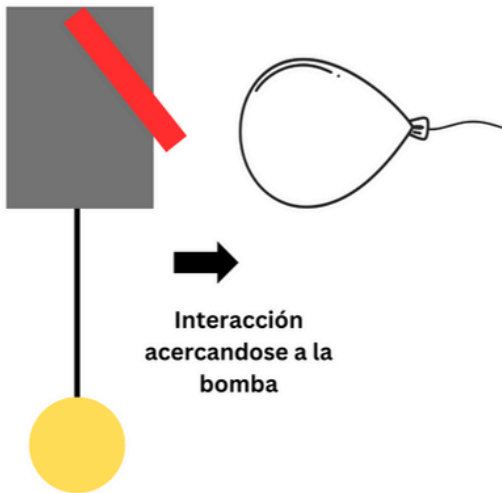


Imagen 3.

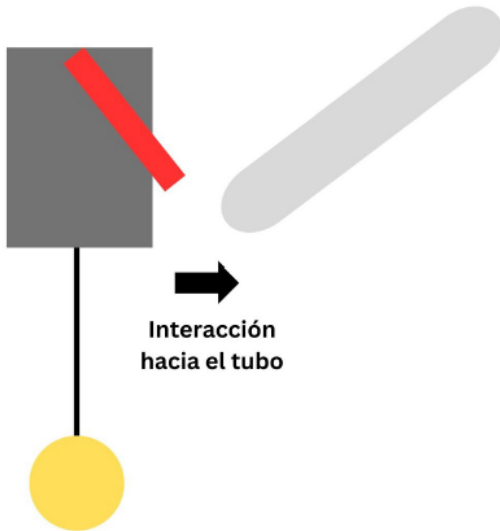


Imagen 4.

- Pegue la lamina de papel iris o la cinta de regalo de tal forma que quede centrado y alineado junto a la lamina de aluminio, como se ve en la imagen 2.
- Frote la bomba con una tela o cabello y acérquela a la lamina de papel iris o cinta de regalo, como se ve en la imagen 3.
- Frote el tubo PVC o de vidrio y repita el paso anterior, como se ve en la imagen 4.

## ¡Respondamos en equipo!



- Conteste la siguiente pregunta:
  - Sí este experimento se realiza en un día lluvioso ¿los efectos observados cambiarían? Justifique la respuesta y socialícela en clase.

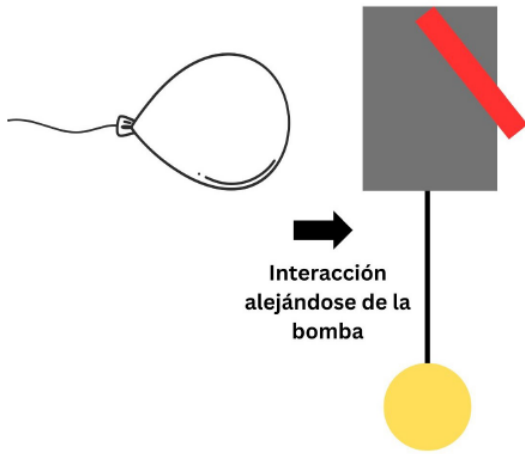


Imagen 5.

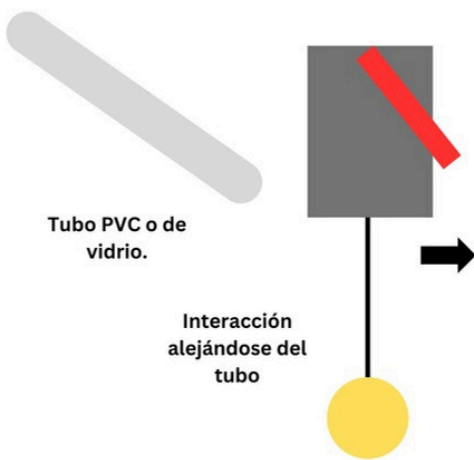
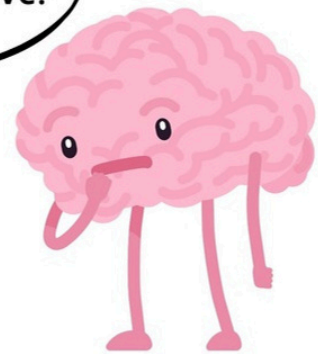


Imagen 6.


- Desde la parte de atrás del montaje ponga la bomba frotada, como se ve en la imagen 5 ¿Qué observa?
- Recree el mismo efecto para el tubo PVC o de vidrio, como se ve en la imagen 6 ¿Qué observa?

**¡Respondamos en equipo!**

¿Qué le ocurre a la cinta ahora una vez que acercamos el globo y el tubo PVC?



# Evidencia de aprendizaje 1

| Preguntas o actividades para socializar en clase y desarrollar en casa  |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Qué pasa si se recrea el mismo efecto del primer montaje de atracción y repulsión acercando un globo o un tubo PVC frotado con lana a un chorro tenue de agua? Recréelo en casa y tome evidencia del fenómeno para presentarlo en clase.</li></ul> |  |

A continuación, se presentará el desarrollo del segundo montaje experimental. En este experimento, partiremos de los conocimientos adquiridos en la experiencia anterior, donde se abordaron los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica a causa de cuerpos electrificados. A partir de estas interacciones, se explorara con el siguiente montaje cómo estos principios permiten generar efectos más complejos, como la oscilación de un vaso de icopor, que se comportara de manera similar a una campana resonante bajo la influencia de la electricidad estática. Este fenómeno se produce debido a las interacciones eléctricas de atracción y repulsión que actúan sobre el objeto, provocando su movimiento repetitivo. Además, este montaje brinda la oportunidad de reconocer el papel crucial de las fuente de alto voltaje, como la maquina de Wimshurst, que permite generar una mayor carga a los objetos. Estas cargas intensifican tanto los efectos atractivos como los repulsivos, lo que mejora la eficiencia de los fenómenos electrostáticos. De igual forma, se destacarán factores como la precisión en la manipulación de las cargas y la influencia del entorno a lo largo de desarrollo del montaje, que juegan un papel clave en la intensidad de los efectos observados.

# La campana electrostática

## Instrucciones del segundo montaje

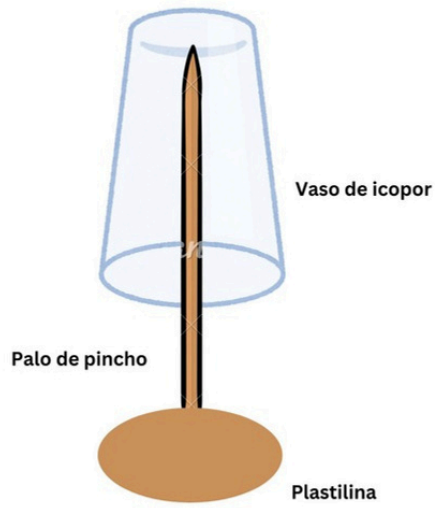


Imagen 1.

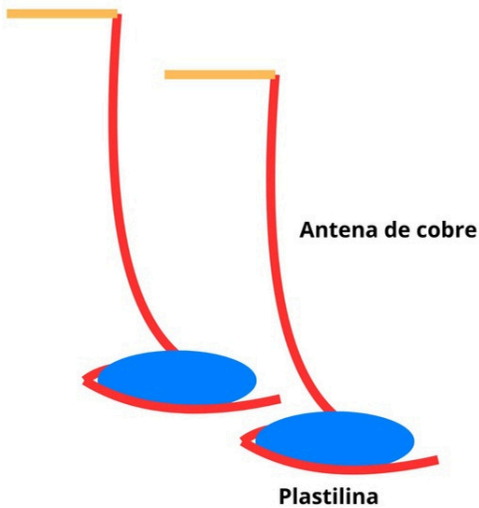
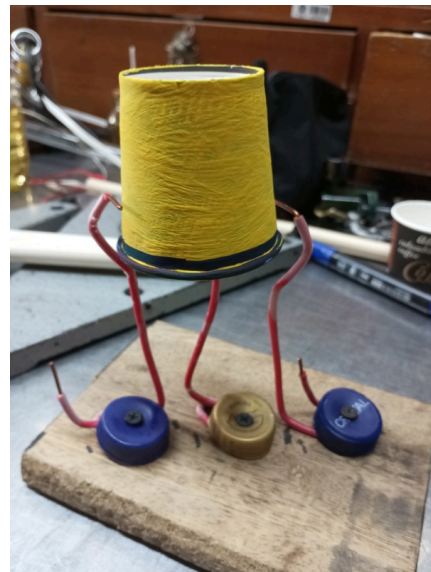


Imagen 2.

- Con el palillo de pincho y la plastilina monte una base que permita mantener al palillo quieto y sujeto a la base en el cartón paja, como se ve en la imagen 1.
- Encuentre el punto de equilibrio del vaso de icopor de tal forma que este se mantenga sujeto al palillo de pincho, para que este se mueva o rote libremente, como se ve en la imagen 1.

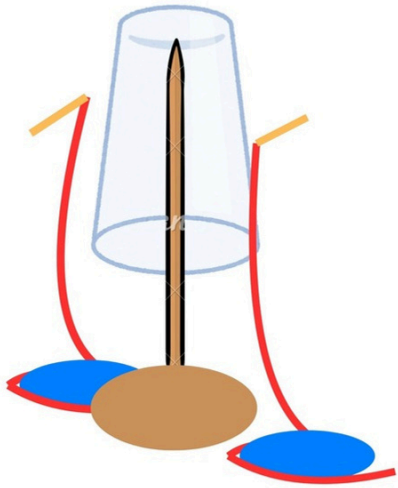


Imagen 3.

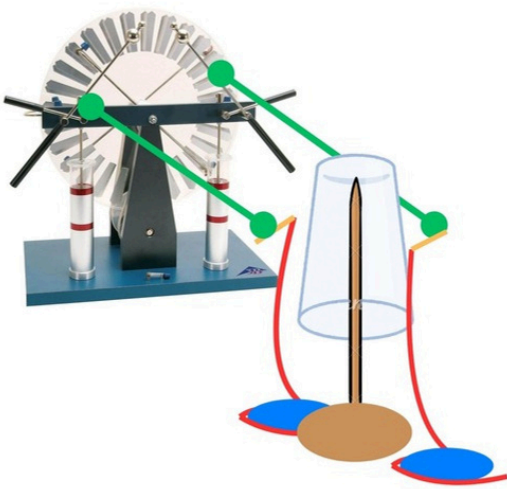
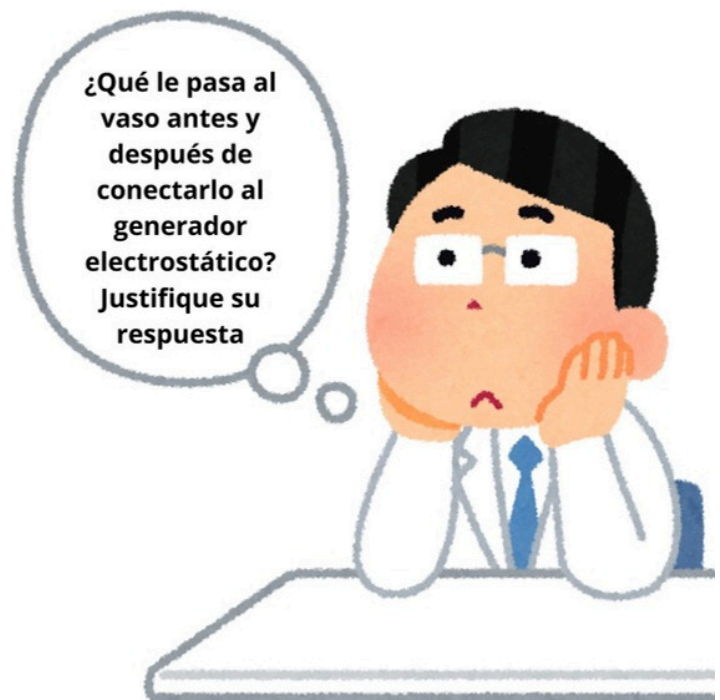


Imagen 4.

- Corte el cable de cobre de tal forma que se formen 2 antenas y asegúrelas con plastilina en la parte inferior de la base, como se ven en la imagen 2. Utilice el alicate para formar las antenas.
- Corte el cable con el alicate de tal forma que los alambres sean igual de altos al palillo de pincho, como se ve en la imagen 3.
- En el cartón paja ubique las antenas cerca del vaso como se presenta en la imagen 3. No olvide ubicar las antenas de tal forma que no toquen el vaso de icopor y que estén lo más cercano posible permitiendo que el vaso tambalee libremente con las antenas cerca de él.
- Con ayuda del docente conecte las antenas al generador electrostático (maquina de wimshurst o generador de van der graaf) usando cables caimán caimán, como se muestra en la imagen 4.
- Encienda el generador electrostático (maquina de wimshurst o generador de van der graaf) con ayuda del docente y evidencie qué pasa entre la interacción de las antenas electrificadas y el vaso de icopor.

## ¡Respondamos en equipo!



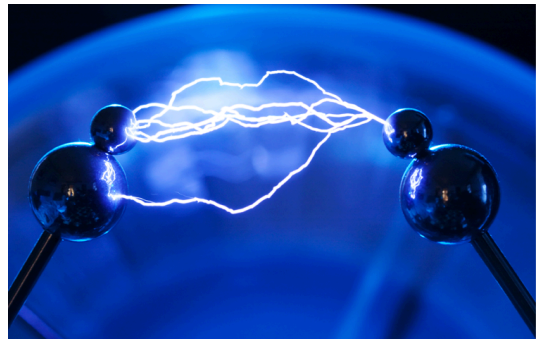
## Evidencia de aprendizaje 2

## Preguntas o actividades para socializar en clase y desarrollar en casa

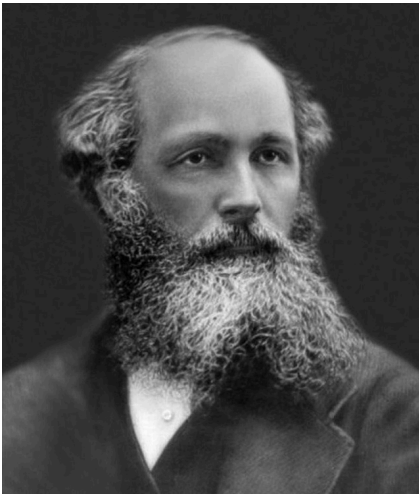
- ¿Cómo explicarías la atracción y repulsión de la tira de papel del primer montaje y el vaivén del vaso de icopor del segundo montaje? Proponga una hipótesis con sus compañeros y socialícelo en clase.



- Si se usa alambre de otro tipo de metal en el segundo montaje para formar las antenas que permiten hacer tambalear el vaso ¿Qué pasaría? ¿Qué criterio deben tener los metales para generar el efecto del segundo montaje? Socialice su respuesta con sus compañeros



# ESTACIÓN 2: TIPOS DE ELECTRIFICACIÓN

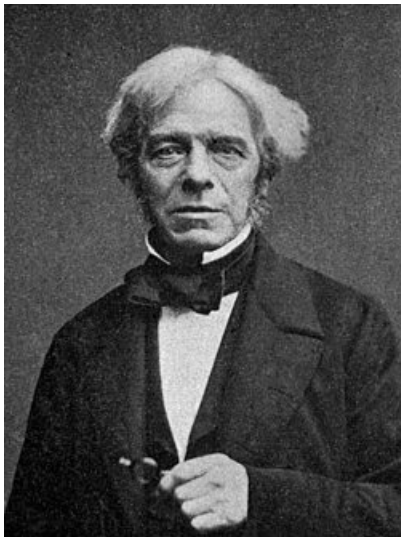


James Clerk Maxwell

(1831 - 1879)

Link imagen:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/James-Clerk-Maxwell-1831-1879.jpg>



Michael Faraday

(1791 - 1867)

Link imagen:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Faraday-Millikan-Gale-1913.jpg/250px-Faraday-Millikan-Gale-1913.jpg>

¿Sabías que la electricidad se puede transmitir de diferentes maneras a través de los cuerpos? Para ser más precisos, los científicos solían hablar de “electrificación” en lugar de “electricidad”. Un ejemplo de esto es James Clerk Maxwell, quien, durante el siglo XIX, se basó en teorías como las de Michael Faraday. Ambos científicos compartían la idea de que la electricidad era una especie de sustancia con distintos comportamientos, dependiendo del fenómeno que se estuviera estudiando, como en el caso de efectos como las descargas eléctricas o la electrificación de los cuerpos, etc. Lo que resulta particularmente interesante de sus investigaciones es su enfoque sobre las diversas formas de cargar eléctricamente a los cuerpos. Según Maxwell, existen tres tipos principales de electrificación: por frotación, por contacto o conducción, y por inducción eléctrica. Este último tipo, que se deriva directamente de los trabajos de Faraday, es fascinante porque plantea la idea de que los objetos no necesitan estar en contacto directo para cargarse eléctricamente. Basta con que estén lo suficientemente cerca unos de otros para que se puedan manifestar fenómenos como la atracción o la repulsión eléctrica entre los cuerpos cargados. ¿Te gustaría ponerlo a prueba? ¡Vamos a divertirnos experimentando!



## OBJETIVO DE ENSEÑANZA DE LA ESTACIÓN:

Caracterizar las distintas formas de electrificar los cuerpos a partir de un experimento de frotación electrostática, en donde se evidencien los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica.

## OBJETIVO DE APRENDIZAJE DE LA ESTACIÓN:

Describir el proceso de electrificación por frotación e inducción, a partir de las relaciones entre magnitudes físicas como la cantidad de carga y la distancia entre los cuerpos electrificados.

## Componentes de la estación

| Cuestionario de pre saberes   | Montaje experimental y videos de apoyo   | Evaluación  |
|---|--|---|
| <p>Este cuestionario de ideas previas está compuesto por una serie de preguntas, las cuales tienen un objetivo investigativo para reconocer los saberes previos y percepciones que tienen los estudiantes con base en conceptos de distancia, grado de electrificación, carga eléctrica, etc. Lo que permitirá la contextualización por parte del docente con los estudiantes alrededor de los conceptos que se abordaran en esta estación.</p> | <p>En esta estación tendremos un montaje experimental que permite profundizar en los tipos de electrificación, los fenómenos de atracción y repulsión electrostática y establecer las relaciones entre carga, distancia entre los cuerpos electrificados y el grado de su electrificación. Este experimento se acompaña de un video de apoyo en contextualización sobre las diferentes formas de electrificar a los objetos.</p> | <p>La evaluación en esta estación tiene la intención de promover cómo la percepción del estudiante ha evolucionado o avanzando después de la realización de una serie de experiencias y actividades en el aula, por lo que se busca que con base a una serie de preguntas y una socialización en clase de los montajes y las preguntas puntuales se evalúe el proceso y la experiencia adquirida.</p> |

A continuación los invitamos a responder las siguientes preguntas que hacen parte del cuestionario de pre saberes para esta estación.

## Cuestionario de pre saberes

**¡Haz uso de tu propio conocimiento y tu experiencia!**

|   |   |
|---|---|
| 1 | ¿Por qué crees que un objeto puede electrificarse o tener electricidad?   |
| 2 | ¿Has notado que un globo después de ser frotado con el cabello o lana, el globo se pega a la pared? ¿Por qué crees que ocurre esto?         |
| 3 | ¿Crees que los objetos están cargados eléctricamente todo el tiempo?  |
| 4 | ¿Crees que todos los materiales pueden interactuar de la misma forma cuando se cargan eléctricamente? ¿Cuáles crees que no y cuales que sí? |
| 5 | ¿Por qué crees que la bomba o tubo puede atraer hilos o papeles cuando estos se frotran con tu cabello o con un saco de lana?               |

### La ciencia en contexto:

## Las relaciones entre cantidades físicas y eléctricas

Cuando un cuerpo es sometido a un exceso de carga eléctrica o se electrifica de manera que deja de estar en su estado neutro, se pueden generar efectos como la atracción y la repulsión eléctrica entre objetos cargados y objetos neutros. Este fenómeno, que es fundamental para entender la electrostática, se ha observado y estudiado durante siglos. Sin embargo, fue a lo

**largo del siglo XVIII cuando se empezaron a establecer las primeras relaciones cuantitativas y mediciones que describen estas interacciones. Por ejemplo, se comenzó a estudiar la influencia de la distancia entre cuerpos electrificados y cómo esta afecta los fenómenos de atracción o repulsión eléctrica entre ellos.**



Charles-Augustin de  
Coulomb

(1736 - 1806)

Link

imagen: <https://acortar.link/NGSrc2>

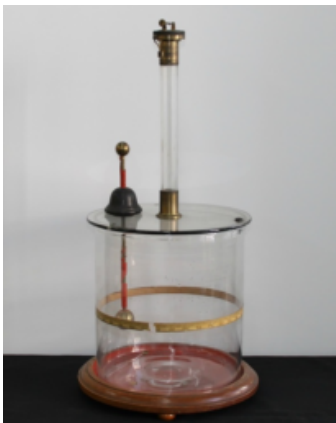


Imagen 1.7. Fotografía de  
experimento balanza de  
torsión de Coulomb. Link de  
la

imagen: <https://acortar.link/tP9ADC>

**Además, se investigó la cantidad de carga eléctrica que un objeto adquiriría debido a una fuente electrostática. Estos estudios, realizados por científicos pioneros como Charles-Augustin de Coulomb, marcaron un hito importante, ya que sentaron las bases para el desarrollo de la teoría electrostática. Coulomb, mediante sus experimentos, como la famosa balanza de torsión (imagen 1.7), formuló unas relaciones importantes, que establecen que la fuerza de interacción entre dos cargas eléctricas es directamente proporcional a la cantidad de carga adquirida entre los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Este avance no solo permitió una mejor comprensión de las interacciones eléctricas, sino que también ayudó a introducir en colaboración, el concepto de la cuantización de la acción eléctrica, un paso crucial en el desarrollo de la física.**

**La capacidad de medir y predecir estas interacciones, no solo permitió el avance en la comprensión de la electricidad, sino que también dio bases para teorías más complejas que llegarían a revolucionar la ciencia posteriormente. Por lo tanto, científicos como Michael Faraday y James Maxwell señalaron que tanto la distancia como la cantidad de electrificación son cantidades fundamentales para comprender los fenómenos eléctricos. Este será el foco principal de estudio en la estación 2.**

## **Experiencia 2:**

### **tipos de electrificación y relaciones entre las interacciones eléctricas**

A continuación se señalarán los materiales requeridos para la elaboración de esta segunda experiencia.

| Imagen de la herramienta a utilizar   | Materiales a utilizar para cada montaje   |
|---|---|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 Globos</li> </ul>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Paño de lana</li> </ul>  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Varilla de vidrio de laboratorio electrostática o tubo PVC de 1/2</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/2 m de Hilo de lana o cinta de regalo</li> </ul>                             |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palo de balsa de 12 o 15</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 metro</li> </ul>   |



- 2 clavos pequeños y delgados



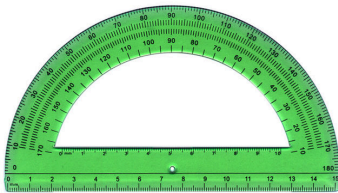
- 1 Carton paja



- 1 barra de silicona y pistola de silicona



- 1 Martillo



- Transportador



- 1 barra de plastilina cualquier color

Esta primera actividad tiene como objetivo experimentar con la relación entre la distancia de separación entre los cuerpos interactuantes y la cantidad de electrificación que poseen dichos objetos. El propósito es generar mediciones específicas derivadas de estas relaciones, como el ángulo de inclinación de una tela o hilo cuando es atraído por un globo u objeto electrificado, así como la distancia a la que se encuentra dicho objeto para generar esta interacción.

**DESARROLLO DEL MONTAJE!**

# Instrucciones del primer montaje



Imagen 1.



Imagen 2.



- En grupos de 3 personas, monten una base que les permita sostener el hilo o cinta de regalo y un transportador, como se puede observar en la imagen 1
- Coloquen una de las puntillas en la punta del palo de balsa con el martillo y luego peguen el palo de balsa en el cartón paja con una plastilina como se ve en la imagen 2.
- Tomen el compas y con plastilina o silicona péguenlo en el palo de balsa debajo de la puntilla como se ve en la imagen 3. De tal forma que el ángulo de 90 grados señalado en el compas quede recto y alineado verticalmente con el palo de balsa.
- Coloquen el hilo o cinta de regalo en la puntilla como se presenta en la imagen 4, de tal forma que quede alineado y recto con el compas y el ángulo de 90 grados.

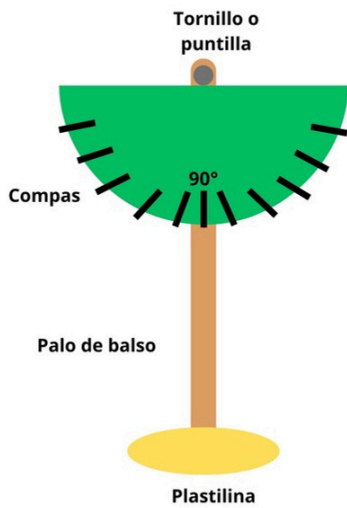


Imagen 3.

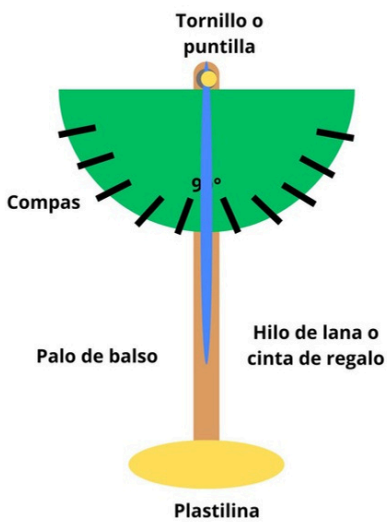


Imagen 4.

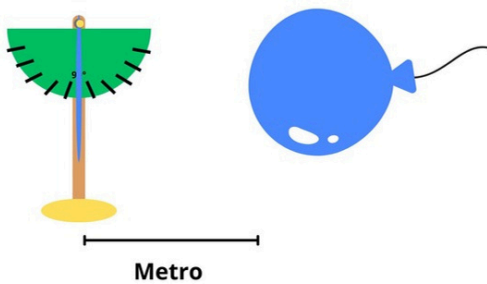
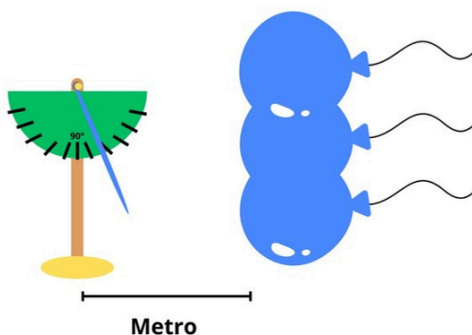


Imagen 5.



- Coloquen el montaje en una mesa o superficie.
- Coloquen un metro en la superficie desde el hilo de lana hasta el globo, como se ve en la imagen 5.
- Inflen un globo y frótenlo con el cabello de algún compañero o tela y acérquenlo al hilo de lana a una distancia de 4 cm de este. Midan el ángulo de inclinación que alcanza el hilo de lana y registren los datos en la tabla 1.
- Repitan el procedimiento anterior 5 veces más disminuyendo la distancia en 0,5 cm cada vez.
- Respondan la siguiente pregunta:
  - ¿Cuál es la relación entre la distancia y el ángulo? Justifiquen su respuesta.
- Ahora, manteniendo una distancia de 4 cm entre el globo frotado y el hilo de lana acerquen el globo y midan el ángulo que recorre el hilo. Registren sus resultados en la tabla 2.
- Repitan el procedimiento anterior utilizando dos y tres globos al tiempo, manteniendo la misma distancia de 4 cm.
- Construyan una tabla similar a la tabla 2, en donde ahora usen una distancia de 2 cm para la misma cantidad de globos puestos.
- Respondan la siguiente pregunta:
  - ¿Cuál es la relación entre la cantidad de globos y el ángulo? Justifiquen su respuesta

## Imagen 6.

Tabla 1. Relación entre distancia del cuerpo electrificado e inclinación del hilo de lana.

| <b>Distancia horizontal del objeto cargado (cm)</b> | <b>Angulo de inclinación del hilo (°)</b> |
|---|---|
|   |   |
|   |   |
|   |   |
|   |   |
|   |   |

Tabla 2. Relación entre la cantidad de cuerpos electrificados a una determinada distancia e inclinación del hilo de lana.

| <b>Cantidad de objetos cargados</b> | <b>Distancia horizontal constante a la que se encuentran los objetos electrificados (cm)</b> | <b>Angulo de inclinación del hilo (°)</b> |
|-------------------------------------|--|---|
|                                     |  |   |
|                                     |  |   |
|                                     |  |   |
|                                     |  |   |
|                                     |  |   |

## Evidencia de aprendizaje 1:

- Dibuje el comportamiento de las cargas del hilo o cinta de regalo al ser afectadas por la bomba electrificada, detallando la representación de las cargas eléctricas en la bomba.



En la siguiente actividad el objetivo es profundizar y formalizar los conceptos que se han abordado y desarrollado a lo largo de los montajes previos. De esta manera, se busca proporcionar una mayor claridad sobre la intención y los fundamentos de los fenómenos electrostáticos observados, y los estudios de las relaciones entre la interacción eléctrica y los tipos de electrificación.

## Segunda actividad proyección de videos



Imagen 7. Video propio tipos de electrificación.

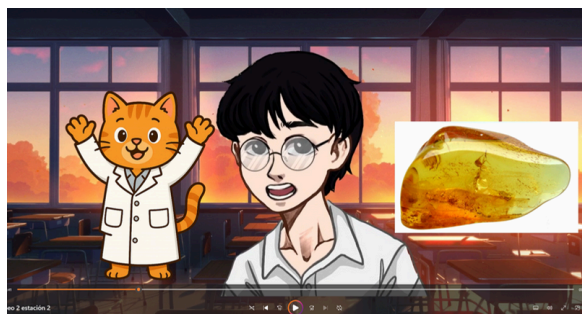


Imagen 8. Video propio el efecto ámbar.

- Observar junto al grupo de 3 personas los siguientes videos los cuales podrán seguir con los siguientes links y códigos QR:

Link #1: <https://youtu.be/cRwZK7cKnrA?si=2TWvLyWer-2NG-oN>

QR #1:



Link #2: <https://youtu.be/ZsqnIX3RyXI>

QR #2:

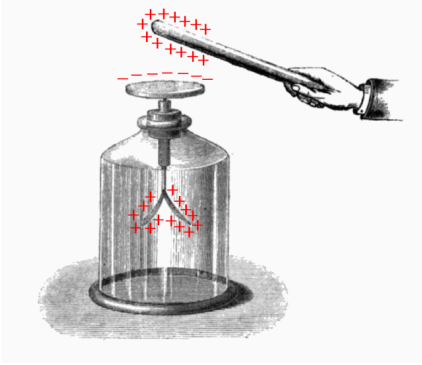
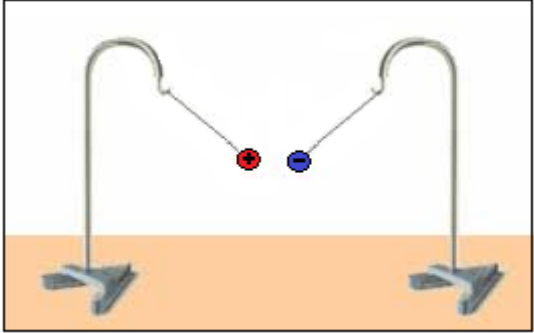


- Una vez finalizado los videos, entre el grupo discutir y responder las siguientes preguntas con base a los experimentos realizados y a los videos vistos:
  - ¿De dónde viene la palabra Elektron?
  - ¿Cuándo hablamos de cuerpo cargado o electrificado nos referimos a lo mismo?

- ¿Cuáles formas de electrificar necesitan contacto y cuál no?

Socializar a los demás compañeros y al docente las respuestas del grupo.

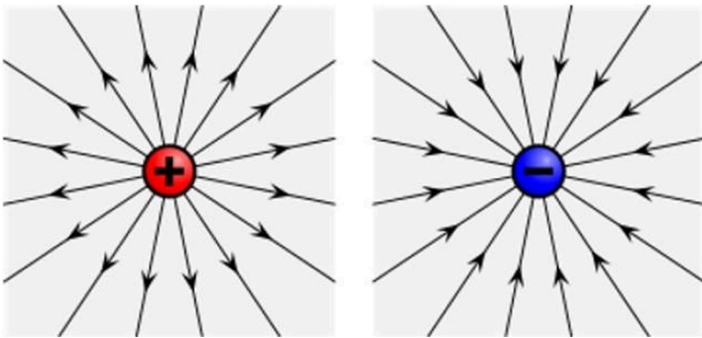
## Evidencias de aprendizaje 2:

| Preguntas o actividades para socializar en clase y desarrollar en casa  |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿La teoría electrostática o de la electricidad y los modelos atómicos llegaron a coincidir en el mismo siglo? Investigue con sus compañeros de grupo y realicen un podcast en donde se comparta esta aclaración.</li> </ul>                |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● Si el hilo se acercaba hacia la bomba una vez la bomba se acercaba más hacia el hilo. ¿Cómo explicaría esta interacción usando los conceptos físicos abordados en los videos? Socialícelo en clase con su docente y compañeros.</li> </ul> |  |

# ESTACIÓN 3: CAMPO ELÉCTRICO



¿Sabías que los grandes físicos que nos han llevado a lo que conocemos hoy en día de la ciencia tuvieron una gran discusión sobre cómo surgían las interacciones entre los objetos? A lo largo de la historia los científicos se han preocupado por explicar la naturaleza de las interacciones o fuerzas entre los cuerpos. En las estaciones anteriores hemos estudiado las fuerzas eléctricas atractivas y repulsivas, y por esto llegó el momento de profundizar en los **CAMPOS DE FUERZAS**. ¡Prepárate junto con tus compañeros para esta nueva experiencia!



### **OBJETIVO DE ENSEÑANZA DE LA ESTACIÓN:**

Caracterizar el campo eléctrico a partir de una configuración experimental en donde se evidencien las líneas de campo generadas por cuerpos electrificados.

### **OBJETIVO DE APRENDIZAJE DE LA ESTACIÓN:**

Representar el campo eléctrico a partir de las líneas generadas por la interacción entre cuerpos electrificados.

## **Componentes de la estación**

| <b>Cuestionario de pre saberes</b>   | <b>Montajes experimental</b>   | <b>Evaluación</b>   |
|--|--|---|
| <p>Este cuestionario de ideas previas está compuesto por una serie de preguntas, las cuales tienen un objetivo investigativo para reconocer los saberes previos y percepciones que tienen los estudiantes con base en conceptos de interacción eléctrica, campo eléctrico, electrificación, etc. Lo que permitirá la contextualización por parte del docente con los estudiantes alrededor de los conceptos que se abordaran en esta estación.</p> | <p>En esta estación se construye un montaje experimental que permita el análisis del comportamiento de semillas de té en presencia de un campo eléctrico generado por diferentes configuraciones de cuerpos electrificados. El experimento busca evidenciar un efecto de alteración en el comportamiento de las semillas, abriendo el espacio para usar la creatividad y lograr ilustrar el campo eléctrico.</p> | <p>La evaluación en esta estación tiene la intención de promover cómo la percepción del estudiante ha evolucionado o avanzando después de la realización de una serie de experiencias y actividades en el aula, por lo que se busca que con base a una serie de preguntas y una socialización en clase de los montajes y las preguntas puntuales se evalué el proceso y la experiencia adquirida.</p> |

# Cuestionario de pre saberes

**¡Haz uso de tu propio conocimiento y tu experiencia!**

|          |  |
|----------|--|
| <b>1</b> | <b>¿Piensan que los objetos cargados eléctricamente podrían afectar el espacio que los rodea?</b>                                      |
| <b>2</b> | <b>Si hay dos objetos cargados eléctricamente interactuando entre si y sin tocarse ¿por qué creen que pueden atraerse o repelerse?</b> |
| <b>3</b> | <b>¿Creen que el espacio entre dos cuerpos electrificados que están interactuando interviene en el efecto que se evidencia?</b>        |
| <b>4</b> | <b>¿Creen que el espacio entre los cuerpos electrificados está vacío?<br/>Justifiquen su respuesta</b>                                 |

## **La ciencia en contexto: Electrificando al campo**



René Descartes

(1596 -1650)

Link de

imagen: <https://acortar.link/VcPdJ1>



Gottfried Wilhelm Leibniz

(1646 - 1716)

Link

imagen: <https://acortar.link/V8lj2g>



Immanuel Kant

(1724 - 1804)

Link imagen:

<https://acortar.link/TcuKti>

Cuando un cuerpo es sometido a un exceso de carga eléctrica, o se electrifica hasta dejar de estar en estado neutro, no solo se manifiestan fenómenos particulares como la atracción y repulsión -ya estudiados en las estaciones anteriores-, sino que también se introduce un concepto aun mas profundo: la configuración del campo eléctrico en el espacio. Esta idea fue objeto de una extensa discusión durante los siglos XVII, XVIII y XIX, y resulto fundamental para comprender de manera distinta las interacciones entre los cuerpos. Pensadores como Descartes y Libniz sostenían que los cuerpos interactuaban debido a una distribución particular en el espacio, proponiendo que las fuerzas ejercidas entre ellos debían ser entendidas como propiedades del propio espacio.

Aunque de sus múltiples aportes rescatamos solo esta noción, su importancia radica en las concepciones posteriores sobre el campo. Paralelamente, filósofos como Kant y Boscovich defendieron que la acción a distancia propuesta por los newtonianos debía ser reinterpretada: el espacio debía estar “lleno” de fuerzas atractivas y repulsivas, manifestándose en condiciones específicas, como en las colisiones o la proximidad entre cuerpos. Estas reflexiones sobre las interacciones bajo condiciones particulares consolidaron aun más la idea inicial del concepto de campo.

Finalmente, estas ideas influyeron directamente en científicos como Michael Faraday, quien propuso una visión revolucionaria al concebir los **campos de fuerza**. En su propuesta, cuerpo, espacio y fuerzas dejan de ser entidades independientes y pasan a integrarse en un “mar de fuerzas” que llena todo el espacio, permitiendo diversas manifestaciones de interacción, como las eléctricas que hemos venido estudiando. Esta concepción fue crucial para la formulación de la teoría clásica de campos, la cual sigue siendo un pilar esencial en múltiples áreas de la física contemporánea.

Por ello, en esta estación se propone retomar las ideas de estos pensadores mediante la elaboración de un montaje experimental que tiene como propósito ilustrar y aproximar a los estudiantes al concepto de campo eléctrico, partiendo de la noción de configuración espacial que este ejerce. Este



Ruđer Josip Bošković

(1711 - 1787)

Link

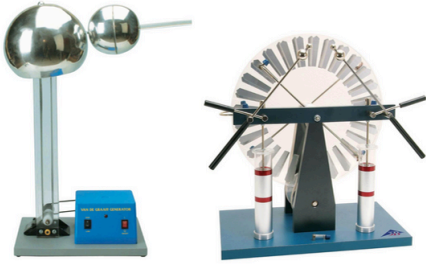
imagen:<https://acortar.link/oFumjf>

montaje experimental, que abordaremos con mayor profundidad más adelante, no solo busca facilitar la comprensión de los fenómenos electrostáticos, sino también establecer un vínculo entre los conceptos teóricos trabajados en el aula y representaciones experimentales concretas, fortaleciendo así la relación entre la teoría y su manifestación observable.

## Experiencia 3: Campo eléctrico

A continuación, se enumeran los materiales necesarios para la construcción de un montaje experimental destinado a ilustrar el comportamiento de semillas de té en presencia de un campo eléctrico generado por un cuerpo electrificado.

| Imagen de la herramienta a utilizar   | Materiales a utilizar para cada montaje  |
|---|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 1 botella de aceite de cocina</li> </ul>                  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 1 frasco de vidrio de compota o Nutella</li> </ul>        |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Papel aluminio</li> </ul>                                 |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Plastilina o pelota pequeña</li> </ul>                    |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Lata de gaseosa</li> </ul>                                |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 1/2 metro de alambre de cobre o cable de cobre</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 2 bolsas de semillas de té o aromática</li> </ul>         |



- Fuente electrostática como maquina de wimshurst o generador de van der graaf.

**Esta primera actividad de la experiencia 3 tiene como propósito retomar las ideas previamente señaladas por pensadores como Michael Faraday, buscando ilustrar la noción de la configuración del campo de fuerzas -en este caso, el campo eléctrico- generado por un cuerpo electrificado. Para evidenciar esta idea, se utilizaran objetos de prueba, especialmente su atracción hacia el electrodo cargado, lo que permitirá aproximarnos de manera experimental a estas primeras concepciones sobre el campo eléctrico.**

# **¡DESARROLLO DEL MONTAJE!**

## **Parte 1 del montaje experimental**

# Instrucciones del primer montaje

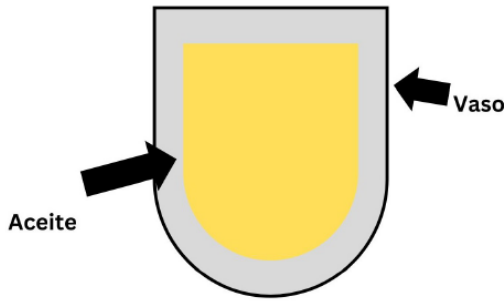


Imagen 1.

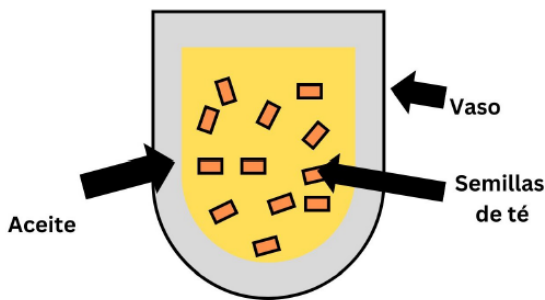


Imagen 2.

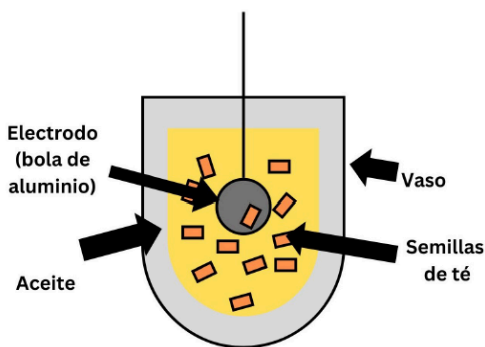


Imagen 3.

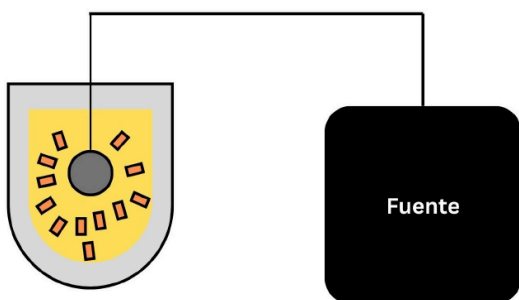


Imagen 4.



- En grupos de 2 personas, llenen el vaso con aceite de cocina, como se ve en la imagen 1.
- Abran una bolsa de aromática o de té e introduzcan dentro del frasco con aceite sus semillas, de tal forma que estas queden libres dentro del recipiente, como se ve en la imagen 2.
- Tomen la plastilina y formen una esfera de un diámetro de 3 cm aproximadamente .
- Forren completamente la esfera de plastilina con papel aluminio.
- Corten 6 cm de cable de cobre aproximadamente y únanlo con la esfera, de tal forma que esta se sujete al cable.
- Introduzcan el cable con la esfera en el vaso lleno de aceite, de tal forma que una parte del cable quede fuera del vaso y la esfera este sumergida completamente en el aceite, como se ve en la imagen 3.
- Con ayuda del docente conecten una fuente electrostática como la Maquina de wimshurst o generador de van der graaf al cable de cobre que está fuera del vaso, usando los cables caimán caimán, como se ve en la imagen 4.
- Encienda la maquina electrostática y observe el comportamiento de las semillas de té dentro del aceite debido a la esfera electrificada.
- Respondan las siguientes preguntas:
  - ¿Qué papel creen que juega el aceite dentro del frasco? Justifiquen su respuesta

- ¿Qué papel creen que juegan las semillas de aromática? Justifiquen su respuesta
- ¿Qué tipo de comportamiento evidencian en las semillas debido a la esfera?

## Parte 2 del montaje experimental

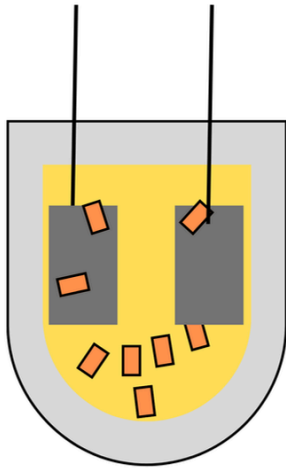


Imagen 5.

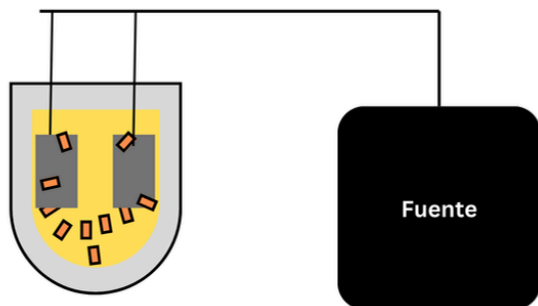


Imagen 6.

- Ahora recorten 2 rectángulos de una lata de gaseosa de aproximadamente 1,5 cm x 3 cm.
- Unan ambas laminas con plastilina a dos cables de cobre de 6 cm aproximadamente.
- Introduzcan las laminas en el vaso con aceite de tal forma que una parte del cable quede fuera del vaso y las laminas estén sumergidas completamente en el aceite, como se ve en la imagen 5.
- Aseguren la parte superior de las laminas usando plastilina a la boquilla del vaso.
- Con ayuda del docente conecten una fuente electrostática como la Maquina de wimshurst o generador de van der graaf al cable de cobre que está fuera del vaso, usando los cables caimán caimán, como se ve en la imagen 6.
- Encienda la maquina electrostática y observe el comportamiento de las semillas de té dentro del aceite debido a las laminas electrificadas.
- Analice con sus compañeros las siguientes preguntas:
  - ¿Qué tipo de comportamiento evidencian en las semillas debido a las laminas?
  - ¿Cómo ilustrarían el comportamiento de las semillas en dirección a la esfera y a las laminas? realice dos dibujos para cada momento.

A continuación, la segunda actividad de la experiencia 3 tiene como objetivo profundizar y formalizar conceptualmente las distintas cosmovisiones en torno a la idea de campo eléctrico, así como el fundamento físico que ha permitido abordar conceptos esenciales como la electrificación de los cuerpos, los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica, y la configuración del campo eléctrico en el espacio.



Imagen 7 . Video propio sobre el campo eléctrico.

## Segunda actividad proyección de videos

- Observar junto al grupo de 2 personas el siguiente video y responder las preguntas propuestas:

Link #1: <https://youtu.be/d8AhCMD1RzI>

QR #1:



- ¿Cómo explican con sus palabras la idea de campo?
- ¿El campo puede existir sin un cuerpo electrificado? ¿Por qué?
- ¿Qué relaciones encuentran entre campo eléctrico y fuerza eléctrica?

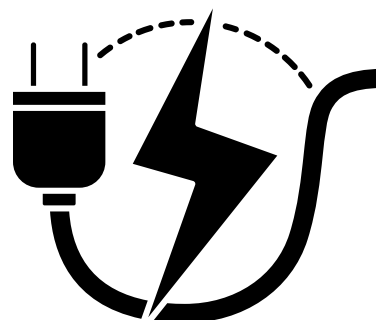
## Evidencias de aprendizaje

**Preguntas o actividades para socializar en clase y desarrollar en casa**

- ¿Qué pasa si cambiamos el aceite por agua? Recree el experimento con esta nueva sustancia y comparta los resultados del efecto en clase con un pequeño video.



- ¿Qué tipos de electrificación evidencia en los montajes? Describa y señale el tipo de electrificación y en qué parte del montaje.



- Diseñe la historia de un super héroe con poderes eléctricos. En los que señale cómo ejerce sus poderes a través del campo eléctrico. Use su creatividad.

