

**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.**

**William Alejandro Prada Coronado**

**Asesor: José Francisco Malagón**

**Programa de Licenciatura en Física**  
**La enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural**  
**Bogotá**  
**2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los reconocimientos más que un acto protocolario, son la síntesis de las causalidades de implican un echo: el aporte de un sujeto en el mundo, como reflejo de una construcción social. A mi familia, ese grupo de personas que siempre a promovido un diálogo con el mundo de una manera crítica, académica y que siempre me apoyó en el proceso.

A las personas que como académicos y formadores contribuyeron en la elaboración de las ideas presentes en este documento: mi asesor Francisco Malagón, quien con su amplio conocimiento, paciencia y rigor en el análisis, orientó de manera impecable la elaboración de este documento. A mis docentes Maria Mercedes Ayala, Juan Carlos Castillo, y demás, quienes en sus cursos, seminarios y pláticas, proponían ideas claves en el desarrollo de la problemática aquí desarrollada.

Por último a los docentes, compañeros y en general, a la Universidad Pedagógica Nacional, por haberme ofrecido un mundo lleno de múltiples posibilidades y espacios académicos, influyedo significativamente en mi formación como docente.

## RESUMEN ANALÍTICO DE INFORMACIÓN - RAE

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca central
<b>Título del documento</b>	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.
<b>Autor(es)</b>	William Alejandro Prada Coronado
<b>Director</b>	José Francisco Malagón
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2015. No. De páginas: 44.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	Campo, acción a distancia, objeto puntual, medio.

<b>2. Descripción</b>
<p>En la enseñanza de las ciencias, el presente trabajo considera que el análisis del concepto de campo desde la perspectiva de la acción a distancia como descripción primaria, muestra una visión más enriquecedora sobre los fenómenos electromagnéticos.</p> <p>De esta manera se plantea abordar detalladamente el concepto de acción a distancia para plantear una discusión sobre los puntos donde ésta teoría falla, haciendo necesario el desarrollo de la teoría de campos. Con este fin se plantean una serie de actividades y problemáticas que se analizan para obtener los resultados expuestos en el presente texto.</p>

### 3. Fuentes

- Berkson, William. *La teoría de los campos de fuerza: desde Faraday hasta Einstein*. Ed. Alianza. 1988.
- Carles Furió-Mas, Jenaro Guisasola Aranzabal. *Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad*. Revista enseñanza de las ciencias. España. 1998.
- Clara Elvira Camargo. *Dificultades en la enseñanza del concepto de campo eléctrico*. Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional. 1987.
- Escritos científicos. *James Clerk Maxwell*. Ed. José Manuel Sánchez Ron – Consejo Superior de Investigaciones Científicas- Madrid, 1998.
- Furió, C. Y Guisasola, J. *Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico*. Revista enseñanza de las ciencias. España. 1997.
- Furió C. Y Guisasola J. *Dificultades de aprendizaje del concepto de Carga y Campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad*. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 1998, 16(1), págs.. 133.
- Jerrold E. Marsden, Anthony J. Tromba. *Cálculo Vectorial*. Ed. Addison Wesley. Tercera edición.
- María Cecilia Gramajo. *El concepto de carga eléctrica desde una concepción clásica de campos. Las propuestas de Michael Faraday, James Clerk Maxwell y Heinrich Hertz*. Tesis de grado para aspirar al título de magister en enseñanza de la física, Universidad Pedagógica Nacional. Dir. Maria Mercedes Ayala. 1993.
- Martín, José y Solbes, Jordi. *Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física*. Revista enseñanza de las ciencias. 2001.
- Ricardo Olarte Pinilla y Fernando E. Zarate. *El surgimiento del concepto de campo en Faraday*. Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional. Dir. Germán Guerrero Pino. 1991.
- Sandra Velazco y Julia Salinas. *Comprensión de los conceptos de campo, energía y potencial eléctricos y magnéticos en estudiantes universitarios*. Revista brasilera de enseñanza de la física. Brasil. 2000.
- Shahen Hacyan. *Física y metafísica del espacio y el tiempo: la filosofía del laboratorio*. Ed. Fondo de Cultura Económica. 2004.
- Sandoval Osorio, Ayala Manrique, Malagón Sánchez, Tarazona Vargas. *El experimento en enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia*. Grupo de Física y Cultura, Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional. Ponencia al II Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. 2006.

#### **4. Contenido**

El trabajo está constituido por tres capítulos que se describen brevemente a continuación:

La explicación de los fenómenos electromagnéticos. Donde se analiza históricamente la construcción de las teorías que explican los fenómenos electromagnéticos desde Coulomb, Oesterd y Ampere, hasta Faraday y concluyendo con la formulación de Maxwell.

Enseñanza del electromagnetismo. En esta parte del texto se estudian las dificultades en la enseñanza de electromagnetismo y una propuesta para superarlas a partir de el estudio realizado. Se realiza un análisis de las dificultades observadas por autores de diferentes artículos.

La acción a distancias y el concepto de campo en el aula. Teniendo en cuenta los aspectos presentados en el capítulo 2, se propone una actividad para introducir el concepto de campo en estudiantes de educación media. Luego se lleva acabo el análisis de los resultados y las posteriores conclusiones del trabajo.

#### **5. Metodología**

El análisis histórico – crítico propone más que recorrido histórico, una reflexión a la luz de los conceptos que han surgido en la historia y su pertinencia en cada etapa del pensamiento. Poder reconstruir estos conceptos facilita la comprensión de los cambio en la descripción de los fenómenos que se ha tenido a lo largo de la historia.

#### **6. Conclusiones**

El presente trabajo logra construir un contexto problemático alrededor de dos visiones opuestas, la acción a distancia y la descripción de campos y medios continuos ofreciendo elementos a favor de la descripción a través de medios continuos.

Plantear discusiones sobre la acción a distancia y la teoría de campos es una

herramienta importante para los docentes ya que evidencia la problemática de plantear experiencias y describirlas desde diferentes perspectivas. Esto Promueve la capacidad de argumentación y análisis por parte de los estudiantes y el docente.

El concepto de campo electromagnético como se mostró en el análisis realizado en el capítulo 2, no es sencillo de comprender y la ampliación de la base fenomenológica permite un acercamiento más favorable para los estudiantes. Replicar las experiencias realizadas por Ampère o por Faraday, y los ejercicios de fácil construcción como los mostrados en este documento son claves en la propuesta de una mejor manera de abordar la enseñanza del electromagnetismo.

<b>Elaborado por:</b>	William Alejandro Prada Coronado
<b>Revisado por:</b>	José Francisco Malagon

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	10	02	2015
--	----	----	------

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO 1. LA EXPLICACIÓN DE LOS FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS.....</b>	<b>12</b>
1.1 Una primera descripción de la interacción entre cuerpos: la acción a distancia.....	12
1.2 Características del espacio y el tiempo desde la perspectiva newtoniana.....	17
1.3 Faraday y las Lineas de Fuerza.....	18
1.4 Maxwell y el concepto de campo electromagnético .....	21
<b>CAPÍTULO 2. DISCUSIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE CONCEPTOS DEL ELECTROMAGNETISMO.....</b>	<b>23</b>
2.1 El experimento en la enseñanza de la Ciencia. ....	23
2.2 El modelo de acción a distancia como explicación Primaria.....	24
2.3 De la acción a distancia al concepto de campo, un cambio epistemológico.....	26
2.4 Aspectos significativos de las dos perspectivas.....	28

<b>CAPÍTULO 3. LA PROBLEMÁTICA EN EL AULA.....</b>	<b>29</b>
1.1 El experimento en la enseñanza de la ciencia .....	29
1.2 Descripción de la Población. ....	30
1.3 Descripción de la actividad.....	30
1.4 Resultados y análisis. ....	34
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>38</b>



## INTRODUCCIÓN

La ciencia se ha construido históricamente como una estructura compleja y cada vez más dinámica. Desde la física aristotélica no se plantea solamente una respuesta al cómo suceden los fenómenos de la naturaleza, sino una forma de describir el mundo de manera racional. Sin embargo la observación no puede ser el único elemento para describir un hecho y caracterizarlo como fenómeno ya que no siempre lo que se logra captar a través de los sentidos eso que efectivamente está sucediendo.

En el siglo XIX Michael Faraday empezaba a sospechar que la observación no era suficiente, que existía una verdad que se escondía particularmente en los fenómenos eléctricos y magnéticos y que iba más allá de la acción a distancia. Después de décadas de estudios, experimentos y aportes de muchos otros científicos como Ampère, Ohm, Oesterd y el mismo Faraday, Maxwell logró consolidar una teoría que trasformaría la idea que se tenía sobre los fenómenos electromagnéticos: la interacción entre cuerpos es atribuida al estado en que se encuentra el medio en el cual están inmersos. Así el estado del medio y sus variaciones eran los nuevos aspectos centrales de la problemática. Estos aportes los formalizó Maxwell en su teoría, donde el concepto principal por analizar es el de campo electromagnético.

Como se mencionaba, la acción a distancia era la explicación más aceptada sobre la mayoría de fenómenos hasta mediados del siglo XIX, pero luego de observar algunas inconsistencias, se desarrollaría lo que se llamó teoría de campos. Analizar qué sucedía en la interacción entre cuerpos, es decir, qué cambios sufría el espacio que hay entre los mismos permitió construir una nueva teoría. A pesar de que en la actualidad se tiene un gran desarrollo en esta área (teoría de campos) existen dificultades notorias en la enseñanza y el aprendizaje de éste abstracto concepto. No se puede soslayar la importancia que tuvo el modelo de acción a distancia y su significado en la concepción de los fenómenos electromagnéticos, esto implica una discusión sobre el carácter discreto y continuo de la distribución de materia y energía

en el universo. Por tal razón se desarrollará una investigación sobre la superación del modelo de *la acción a distancia* haciendo un análisis detenido de la comprensión y caracterización de la interacción entre dos cuerpos. Este modelo construido desde una percepción Newtoniana del universo tuvo serias dificultades en la explicación de fenómenos eléctricos y magnéticos, por tal razón se hace necesario un nuevo modelo, que inicia con los estudios de Oesterd y Ampere y se formaliza de manera matemática en la ley de Coulomb, esta ley también será revaluada posteriormente por Faraday en sus estudios. Finalmente James C. Maxwell culmina estos estudios y generaliza como ya son conocidas, las ecuaciones que describen los campos electromagnéticos como producto del estado del medio.

Es por esto que la presente investigación se propone identificar las dificultades que se presentan en la enseñanza y el aprendizaje del concepto de campo electromagnético. Como alternativa se desea abordar ésta discusión a la luz de la acción a distancia como punto de partida. Algo similar en señalado por la profesora María Mercedes Ayala:

*“En el electromagnetismo, por su parte, es posible distinguir dos perspectivas de análisis de los fenómenos que no solo son diferentes sino opuestas. En una, la acción entre los cuerpos es interpretada como una acción directa y a distancia; todo cambio se atribuye a los cuerpos y cualquier referencia al espacio sólo se hace para definir su disposición espacial. En la otra perspectiva, la acción entre cuerpos que es percibida por los sentidos es atribuida al estado en que se encuentra el medio en el cual están inmersos (o mejor aún, del cual hacen parte); el estado del medio (o si se quiere, del espacio) y sus cambios es, ahora, el objeto de análisis. Usualmente la distinción entre estas dos perspectivas es omitida, y se pasa de una perspectiva la otra sin hacerlo explícito, produciendo imágenes*

*contradictorias y toda una serie de dificultades al tratar de comprender las diversas afirmaciones que se hacen sobre los fenómenos electromagnéticos”.*<sup>1</sup>

Teniendo en cuenta la importancia del concepto de campo en la física y su enseñanza, ésta discusión propone problematizar la acción a distancia como modelo e introducir la necesidad del concepto de campo. Vale la pena resaltar que la comprensión de este concepto va más allá de la intuición puesto que se deja de lado la idea de centrar el fenómeno en los cuerpos para darle un significado físico-matemático a lo que sucede en el espacio entre los mismos.

Por esta razón se plantea abordar de manera preliminar a la teoría de campos, la acción a distancia, como primera descripción de los fenómenos electromagnéticos. De esta manera se propone mostrar como alternativa en la enseñanza del electromagnetismo, una ruta donde se comprenda la acción a distancia en términos históricos y físicos, como primera descripción las ideas que desarrollarían posteriormente Faraday y Maxwell.

---

<sup>1</sup> Ayala, M. Mercedes. *Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Revista Propositiones (Pro-Posições). V. 17, n. 1. Abril, 2006.

# CAPÍTULO 1

## LA EXPLICACIÓN DE LOS FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS.

Desde los griegos siempre estuvo presente la pregunta por la *cosa*, por el sustrato real de los objetos y fenómenos que nos rodean, así Heráclito hace veinticinco siglos ya hacia sus sentencias sobre el tiempo, Demócrito por su parte afirmaba que el universo está constituido por átomos eternos e indivisibles y algunas de esas ideas se mantuvieron por más de dos milenios.

Aristóteles organizó la naturaleza a partir de “elementos”, estos se relacionaban de tal manera que todo lo que se observaba era producto de la interacción entre estos elementos, así la dinámica está determinada por las características naturales de las sustancias de las que está formado el objeto que se desplaza. Pero esta visión fue superada por pensadores como Galileo o el mismo Newton quienes insistían en que la naturaleza se debe comportar de una manera diferente.

### **1.1 Una primera descripción de la interacción entre cuerpos: la acción a distancia**

La modernidad fue un momento histórico fundamental en el desarrollo del conocimiento humano, los pensadores de esta época dentro de los cuales se encuentran Kant, Newton, Descartes, Leibniz, entre muchos otros, propusieron una forma racional de ver el mundo, donde la teología y la descripción metafísica pasaron a un segundo plano en el desarrollo científico.

El modelo Newtoniano tuvo un gran impacto en el conocimiento de la época ya que logra una comprensión del funcionamiento del mundo natural describiéndolo como

un sistema dinámico en el que “*todos los fenómenos pueden depender de ciertas fuerzas por las cuales las partículas de los cuerpos, por causas aun desconocidas, son impelidas unas a otras y se juntan en formas regulares o se repelen entre si y se alejan*”<sup>2</sup> (Newton, 1999, p. 383) Sin embargo no se tiene en cuenta que estas fuerzas atractivas o repulsivas actúan a través del espacio vacío<sup>3</sup>. Este universo compuesto por cuerpos y fuerzas planteado por Newton fue la base de la física que se trabajó durante el siglo XVIII<sup>4</sup>.

Casi un siglo después de fallecido Newton aparece otro inglés, Michel Faraday quien se interesó por la naturaleza de la electricidad y el magnetismo. Faraday construye un conjunto de problemas, experimentos y teorías que ofrecen una nueva perspectiva y abren un nuevo campo en la física, la teoría de campos.

Es importante resaltar que en el siglo XVIII la cosmovisión newtoniana no era la única, existía lo que llama el William Berkson varios sistemas metafísicos, influidos por las teorías de Descartes y Leibniz, pero que en realidad contenían los elementos nombrados ya por Newton: corpúsculos, espacio absoluto y fuerzas que actúan a distancia.

Para cuando Faraday comienza a investigar sobre las características de la electricidad ya se conocían ciertos aspectos primarios: Durante el siglo XVIII se había demostrado que existían dos tipos de carga (positiva y negativa) y que los cuerpos cargados tienen efectos sobre otros. También se sabía que existían sustancias conductoras y otras aislantes.

---

<sup>2</sup> Newton, Isaac. *The principia: Mathetical Principles of Natural Philosophy*. Trad. I. B. Cohen y Anne Whitman, Berkeley, University of California Press, 1999, p. 383.

<sup>3</sup> En la opinión del autor, este es el punto crucial de la discusión. El espacio vacío como lugar donde suceden los fenómenos.

<sup>4</sup> Si el lector desea profundizar en el concepto de acción a distancia en Newton se recomienda revisar el artículo: Henry, John. *Isaac Newton y el problema de la acción a distancia*. Estudios de filosofía No. 35. Págs 189-226. 2007.

Los primeros antecedentes sobre los estudios de la electricidad en la primera mitad del siglo XVIII, establecen la existencia de *fluidos eléctricos* asociados a los cuerpos, donde se explica que todo cuerpo no electrificado posee iguales cantidades de fluido vítreo y resinoso.<sup>5</sup> Estos supuestos están fundamentados en dos características asignadas a la materia, como son los átomos ponderables y el éter, por lo tanto se asumen las siguientes acciones: “1. Los átomos ponderables se atraen entre sí, en proporción directa al producto de sus masa e inversa al cuadrado de la distancia que los separa. 2. Los átomos ponderables y los átomos de éter se atraen según la misma ley. 3. Los átomos (o atmósfera) de éter se rechazan mutuamente siguiendo la misma ley de inverso cuadrado.”<sup>6</sup> La ley que rige estas acciones eléctricas fue establecida experimentalmente por Charles A. Coulomb utilizando la balanza de torsión.

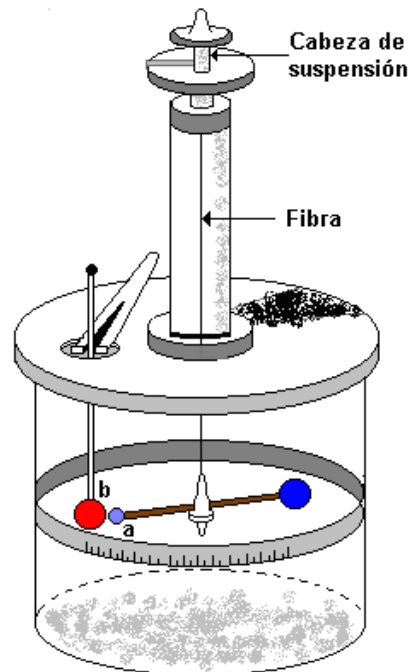
La Ley de Coulomb fue determinada haciendo uso de una balanza de torsión (véase imagen 1.1.1) que constaba de una varilla delgada colocada horizontalmente y suspendida de una fibra perpendicular. En ambos extremos se ubicaron esferas conductoras, una tercera esfera B es colocada fija cerca a una de las esferas. Cuando las dos esferas son cargadas eléctricamente la repulsión hace que la varilla gira hasta que la fuerza elástica de la fibra logra equilibrar la fuerza de repulsión eléctrica. Así con algunos cálculos y teniendo en cuenta el ángulo que giraba la varilla, logró calcular la magnitud de la fuerza eléctrica. Como resultado del experimento surge la ley de Coulomb expresada como:

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \quad \text{Ecuación 1.1.1}$$

---

<sup>5</sup> Sepúlveda Soto, Alonso. *Los conceptos de la física. Evolución histórica*. Editorial Universidad de Antioquia. 3ª edición. 2012.

<sup>6</sup> *Ibíd*em, Págs. 236-237.



**Imagen 1.1.1 Balanza Coulomb.<sup>7</sup>**

Posteriormente Han Christian Oesterd (1777-1851) quien era profesor de física en la universidad de Copenhague y propuso una explicación sobre la orientación de una aguja magnetizada en un texto que denominó “*Experimentos acerca del efecto del conflicto eléctrico en la aguja magnética.*”<sup>8</sup>

La tesis del autor que analiza el texto de Oesterd, es que experimentaba con la idea de la existencia de unidad de las fuerzas naturales, es decir que todas las fuerzas conocidas hasta la época estaban relacionadas y con este principio dirigió sus trabajos. En el texto mencionado, Oesterd organiza su experiencia sobre el conflicto eléctrico a partir de lo que denominó un aparato galvánico unido en los extremos por un hilo metálico conductor. Todas las observaciones y variaciones en su experimento

---

<sup>7</sup> Imagen tomada de: <http://docencia.udea.edu.co/regionalizacion/irs-404/contenido/capitulo3.html>.

<sup>8</sup> Garcia, M. *Historia de la física en el siglo XIX, EL campo electromagnético, I. De Oesterd a Faraday.* Real Academia de las Ciencias, Madrid 1987. Pgs 59-82

lo lleva a proponer unas consideraciones importantes, de las cuales se sobresale la siguiente:

*“A partir de observaciones propuestas, es bien evidente que el conflicto eléctrico no queda encerrado en el conductor, sino que, como ya dijimos, se esparce por el espacio circundante, y lo hace con gran amplitud.”*<sup>9</sup>

A partir de esta observación que relata el mismo Oesterd es evidente que el fenómeno allí observado no se centra únicamente en las características de la composición de los cuerpos y la interacción entre éstos, además afirma que el espacio circundante se ve afectado y que a la vez viaja por éste.

Por esta época (segunda y tercera década de siglo XIX) otro experimentador e interesado por la electricidad y el magnetismo, el francés André Marie Ampère (1775-1836) a quién los historiadores llamaría el padre de la Electrodinámica<sup>10</sup>, era profesor de matemáticas en l’Ecole Polytechnique de París y dictaba diferentes cursos de filosofía y astronomía en la Sorbona. La atención de Ampère se enfocó en esta área cuando leyó los Experimenta de Oesterd, sin embargo, describió el “conflicto eléctrico” de Oesterd desde una perspectiva diferente afirmando que las corrientes eléctricas se atraen entre si y que los imanes no eran más que corrientes eléctricas circulares. En efecto describía desde una nueva perspectiva el *conflicto eléctrico* que Oesterd había trabajado en años anteriores.

Su formulación se sintetiza en dos principios: el primero era que las corrientes eléctricas se atraen o repelen entre si, y el segundo, que los efectos de los imanes son corrientes eléctricas circulares. Sin embargo en estos efectos electrodinámicos aun persiste la descripción de acción a distancia: “En su introducción Ampère comienza por hacer profesión de newtoniano, y proponer su plan de hallar una ley de acción a distancia entre los elementos de corriente, despreciando todo modelo de

---

<sup>9</sup> Ibídem, p. 62.

<sup>10</sup> Ibídem, p. 63.



torbellinos cartesianos. Interpreta la tercera ley de Newton en el sentido de que la fuerza que actúa entre esos elementos de corriente ha de estar dirigida según la recta que los une.

## **1.2 Características del espacio y el tiempo desde la perspectiva newtoniana**

Como se puede observar en los trabajos mencionados anteriormente, existe una visión atomista que describe las manifestaciones eléctricas y magnéticas como producto de cuerpos puntuales con características asociadas a su materia, el tiempo y el espacio especialmente, no son motivo de discusión de primer orden. Se atribuye esto a las raíces teológicas y a las creencias de Isaac Newton, aunque es un tema de debate.<sup>11</sup> Sobre esta concepción del espacio vale la pena resaltar un punto fundamental, *“El atributo más notable del espacio newtoniano es la homogeneidad: todos sus puntos son cualitativamente equivalentes, independientes en su equivalencia de los cuerpos materiales presentes; la materia en nada altera la estructura del espacio.”*<sup>12</sup>

Esta visión en términos absolutos del espacio posiblemente fue heredada por los científicos mencionados anteriormente y de ser así, sin duda limitó la comprensión de fenómenos eléctricos a la acción a distancia de objetos con carga, independientemente su naturaleza.

Es en este punto donde toma fuerza el análisis propuesto, destacando que la teoría de campos no solo es un modelo adecuado en términos de la enseñanza de la física y del desarrollo del electromagnetismo, sino que comprender la ruptura con el modelo de acción a distancia permite evidenciar el impacto en diferentes campos, como la filosofía, la epistemología, la historia y por supuesto la física, ofreciendo una mayor riqueza conceptual a quien lo estudia.

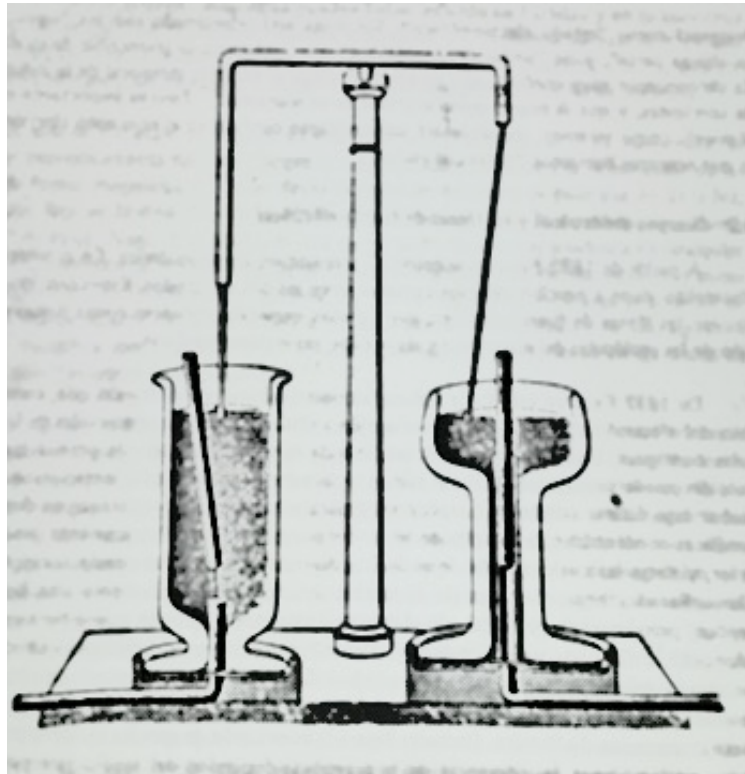
---

<sup>11</sup> Véase: Henry, John. *Isaac Newton y el problema de la acción a distancia*. Estudios de filosofía No. 35. Págs 189-226. 2007.

<sup>12</sup> Sepúlveda Soto, Alonso. *Los conceptos de la física. Evolución histórica*. Editorial Universidad de Antioquia. 3ª edición. 2012. Pág. 150.

### 1.3 Faraday y las Líneas de Fuerza

Entre 1791 y 1867 vivió Michael Faraday quien es conocido como el padre de la teoría de campos. Su vida científica se puede resumir en tres etapas: “Sus descubrimientos de la rotación electromagnética y de la corriente inducida que le hacen ver en el espacio ciertas “curvas magnéticas” (1821, 1831), sus experimentos sobre la electrólisis y sobre los dieléctricos que le hacen concebir también “líneas de fuerza eléctrica” (1832, 1838), y finalmente sus descubrimientos de la polarización rotatoria y del diamagnetismo que le hacen elaborar su concepto de “líneas de fuerza magnética” (1845, 1851).”<sup>13</sup>



***Imagen 1.2.1 Instrumento construido por Faraday que ilustra la rotación electromagnética. En el de la derecha, la corriente gira entorno al polo del imán. En el de la izquierda, un polo magnético gira en torno a la corriente, describiendo una curva magnética.***

---

<sup>13</sup> Garcia, M. *Historia de la física en el siglo XIX, EL campo electromagnético, I. De Oesterd a Faraday.* Real Academia de las Ciencias, Madrid 1987. Pag. 63.

Para las curvas magnéticas Faraday, basado en los estudios desarrollados por Ampère, muestra cómo existe una relación entre la naturaleza eléctrica y magnética de los cuerpos, y construye así, un dispositivo que ilustra la rotación electromagnética.

El concepto de *líneas de fuerza* lo aborda Maxwell estudiando los textos de Faraday, y explica que a diferencia de los demás experimentadores (en sus palabras: hombres de ciencia), Faraday analizaba los fenómenos de una manera diferente y eso permitió que este concepto, se convirtiera en la clave para la ciencia de la electricidad.<sup>14</sup>

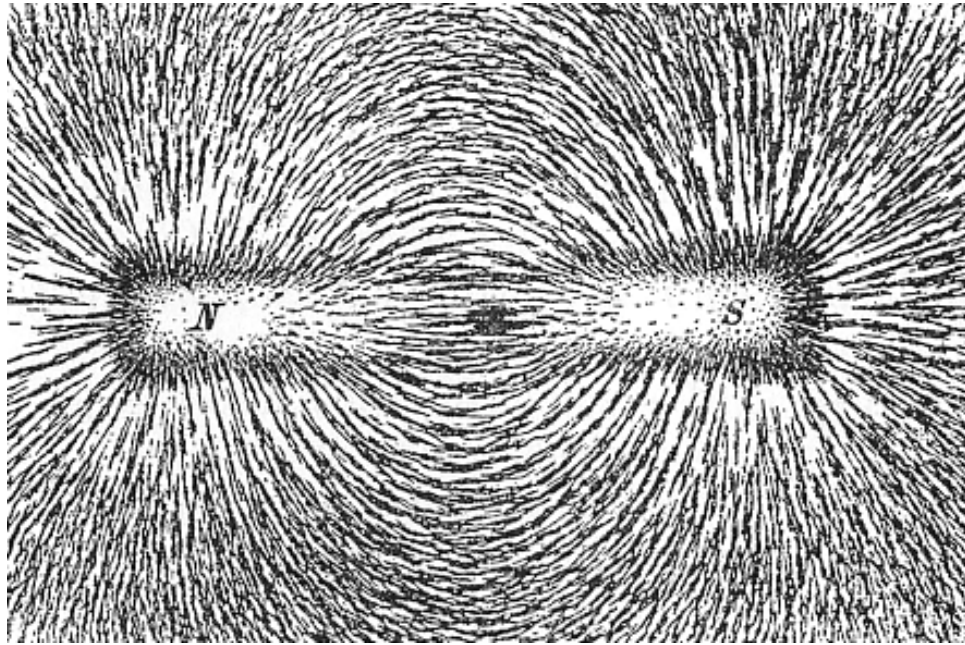
En el experimento sobre las líneas de fuerza, cada limadura se convierte en un pequeño imán, los polos opuestos en cada limadura se atraen entre sí hasta quedar en contacto y sucesivamente más limaduras se unen. De esta manera, las limaduras no forman una configuración caótica, se organizan formando fibras largas que por su dirección indican las líneas de fuerza en cualquier parte del campo.

Sobre este experimento Maxwell desarrolla lo siguiente: “*Los matemáticos vieron en este experimento nada más que un método para mostrar de un vistazo la dirección en distintos lugares de la resultante de dos fuerzas, dirigida cada una hacia un polo del imán; un resultado de alguna manera complicado, de una sencilla ley de fuerza... Pero Faraday, mediante una serie de pasos tan notables por su precisión geométrica, como por su ingenuidad especulativa, dotó a su concepción de estas líneas de fuerza de una claridad y precisión mucho más avanzada de la que los matemáticos podían haberla dotado entonces con sus propias fórmulas.*”<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Maxwell, James C. *Sobre la acción a distancia. Escritos científicos*. Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1998.

<sup>15</sup> *Ibíd.* *Sobre Líneas de Fuerza*. Pág. 76



**Imagen 1.2.2. Líneas de fuerza producidas por el campo magnético de un imán.**

Las Líneas de Fuerza, cabe aclarar, no se deben concebir individualmente como pequeños hilos, sino formando un sistema que se observa en el espacio. Así este sistema está configurado como el número de líneas que atraviesan un área, esto indica la intensidad de la fuerza que actúa en esta área.

Otro aspecto importante que vale la pena resaltar es que cada línea mostrada tiene una continuidad en el espacio. Para este caso (Ver imagen 1.2.2) cuando un trozo de hierro se convierte en un imán o cuando fluye corriente eléctrica, las líneas de fuerza existen en punto fijo determinado sino que al aumentar la intensidad se generan nuevas líneas en el imán o en la corriente.

Finalmente Faraday realiza importantes investigaciones sobre la rotación magnéticas de la polarización de la luz a la que se denominó efecto Faraday y el movimiento u orientación de cristales diamagnéticos en un campo magnético, lo que reafirma su concepción de líneas de fuerza magnéticas. Para mediados del siglo XIX Faraday disminuye su actividad intelectual, pero Maxwell, quien había leído con detenimiento

los trabajos de Faraday, se encontraba matematizando la teoría de Faraday en sus famosas ecuaciones.

Para los descubrimientos de Coulomb, Ampère y Oesterd la acción a distancia fue aceptada con comodidad para los fenómenos eléctricos y magnéticos, aunque tiempo después será rechazada rotundamente por Faraday. *“El éter, medio hipotético propuesto por Huygens como soporte de las acciones lumínicas y más tarde de las acciones eléctricas y magnéticas surgió con el ímpetu de una idea absolutamente necesaria hasta llegar a convertirse en el concepto más incómodo de la física del siglo XIX.”*<sup>16</sup>

#### **1.4 Maxwell y el concepto de campo electromagnético**

En el texto sobre la acción a distancia Maxwell rechaza enfáticamente esta noción,<sup>17</sup> como se puede observar en la cita propuesta, de manera enérgica señala la necesidad de superar esta teoría, y para él, Faraday ya había tenido un avance gigantesco en esta empresa. En el prefacio a la primera edición del Tratado de electricidad y magnetismo, Maxwell asegura que al abordar los estudios realizados por Faraday,

---

<sup>16</sup> Sepúlveda Soto, Alonso. *Los conceptos de la física. Evolución histórica*. Editorial Universidad de Antioquia. 3ª edición. 2012. Pág. 246.

<sup>17</sup> Afirma: *“¿Por qué, dicen los partidarios de la acción directa, debemos entonces continuar manteniendo la doctrina, basada únicamente en las burdas experiencias de una era precientífica, de que la materia no puede actuar allí donde no está, en lugar de admitir que todos los hechos a partir de los cuales nuestros antepasados concluyeron que el contacto es esencial para la acción, eran en realidad casos de acción a distancia, siendo la distancia demasiado pequeña como para ser medida por sus imperfectos medios de observación?... Si alguna vez descubrimos las leyes de la naturaleza, debemos lograrlo obteniendo el conocimiento más preciso de los hechos de la naturaleza, y no revistiendo de lenguaje filosófico las vagas opiniones de hombres que no tuvieron conocimiento de los hechos que arrojan más luz sobre estas leyes. Y por lo que respecta a los que introdujeron el éter, u otros medios, para explicar estas acciones, sin evidencia directa de la existencia de tales medios, para explicar las acciones, sin evidencia directa de la existencia de tales medios, o comprensión clara de cómo estos realizan sus trabajos, hombres que llenan tres y cuatro veces el espacio con éteres de diferentes tipos, cuanto menos hables sobre sus escrúpulos filosóficos acerca de admitir la acción a distancia, mejor.”* Cita de: Maxwell, James C. *Sobre la acción a distancia. Escritos científicos*. Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1998.

percibía un método matemático al concebir los fenómenos aunque esto no fuera expresado con los símbolos matemáticos convencionales. Agrega: “*Faraday vio un medio donde ellos no vieron más que distancia; Faraday buscó la sede de los fenómenos en acciones reales ocurridas en el medio, ellos estaban satisfechos con haber encontrado la sede en una fuerza de acción a una distancia impresa sobre los fluidos eléctricos.*”<sup>18</sup>

Estas interpretaciones de Faraday marcaron fuertemente la teoría desarrollada por Maxwell que en su texto *Teoría Dinámica del Campo electromagnético*, describe el campo electromagnético como “*esa parte del espacio que contiene y rodea a cuerpos en condiciones eléctricas o magnéticas*”<sup>19</sup>. Estas características asociadas al espacio permiten comprender de qué manera las ideas sobre el estrés y la tensión del medio se materializan en sus ecuaciones.

La obra de Maxwell es gigantesca, y antes de su tratado, escribe una serie de artículos que darían inicio al formalismo matemático y conceptual que desarrollo de manera prodigiosa. En síntesis Maxwell matematiza mediante operadores diferenciales la intensidad de campos, la relación entre campos eléctricos y magnéticos y el estrés del medio.

---

<sup>18</sup> Prefacio a la primera edición. Tomado de MAXWELL, James Clerk., "A treatise on electricity and magnetism" vol. I, Dover Publications Inc., New York, 1954.

<sup>19</sup> Maxwell, James C. *Una teoría dinámica del campo electromagnético (1865). Escritos científicos.* Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1998. Pág 153

## CAPÍTULO 2

### DISCUSIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE CONCEPTOS DEL ELECTROMAGNETISMO

*“[Cuando seamos capaces de emplear en la educación científica no sólo la atención entrenada del estudiante, y su familiaridad con los símbolos, sino también la agudeza de su ojo, la rapidez de su oído, la delicadeza de su tacto, y la destreza de sus dedos, extenderemos nuestra influencia no únicamente a una clase de hombres que no son aficionados a frías abstracciones, y podremos abrir de una vez todas las puertas del conocimiento, asegurándonos así la asociación de las doctrinas de la ciencia con esas sensaciones elementales que forman el trasfondo oscuro de nuestros pensamientos...]”<sup>20</sup>*

#### **2.1 El experimento en la enseñanza de la Ciencia.**

Abordar la problemática de la enseñanza de cualquier concepto en ciencias, puede remitir a un sin fin de posturas y teorías. Para el caso del electromagnetismo, es fundamental acercar a los estudiantes a los fenómenos que muestran estos atributos de la materia con un fin más ambicioso que el de simplemente, corroborar una teoría. El papel de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias debe permitir al estudiante la posibilidad de plantear problemas conceptuales, relacionar magnitudes y organizar su experiencia.

Sobre este tema se puede proponer que la experimentación tiene tres roles en la enseñanza de la ciencia: *“La organización de la experiencia y procesos de*

---

<sup>20</sup> Maxwell, James Clerk. *Conferencia Introductoria sobre física experimental (1871)*. *Escritos Científicos*. Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1998. Pág 32.

*formalización como la construcción de magnitudes y formas de medida. El experimento permite plantear problemas conceptuales importantes para la enseñanza de las ciencias. La actividad experimental propicia la construcción o ampliación de una base fenomenológica o de hechos de observación que sería estructurador a partir de una cierta teoría.”*<sup>21</sup> Es en el segundo en el cual se desea hacer hincapié puesto en los cursos de electromagnetismo el cambio de la explicación de fenómenos desde una perspectiva de acción a distancia a una de campos, se realiza prácticamente sin que el estudiante comprenda la diferencia.

## **2.2 El modelo de acción a distancia como explicación Primaria**

Como se puede observar en el capítulo 1, Ampère intentaba explicar las relaciones entre fuerzas eléctricas y magnéticas con hipótesis basadas en un modelo newtoniano, sin embargo Faraday fue el primero en afirmar que la acción a distancia resultaba inadecuada para dar cuenta de estas relaciones. De echo Faraday propone que la fuerza es una propiedad universal que se extiende a lo largo del espacio; a cada punto del campo de fuerza se le asocia una intensidad y una dirección.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Sandoval Osorio, Ayala Manrique, Malagón Sánchez, Tarazona Vargas. *El experimento en enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia*. Grupo de Física y Cultura, Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional. Ponencia al II Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. 2006.

<sup>22</sup> Furió C. y Guisasola J. *Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de Campo y Potencial Eléctrico*. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 1997, 15(2), págs. 259-271.



COSMOLOGÍA CARTESIANA	COSMOLOGÍA NEWTONIANA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La materia y el espacio son entidades inseparables entre sí y separables del tiempo.</li> <li>- Las fuerzas se realizan por medio de vórtices o torbellinos que emanan de la materia corpórea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La materia, el espacio y el tiempo son entidades separadas, absolutas e independientes.</li> <li>- Las fuerzas son consideradas como aspectos particulares de las interacciones materiales (sin explicación procedimental).</li> </ul>
<p>Implicaciones derivadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Esta interacción se ejerce paso a paso a través del medio. Ello es coherente con la interpretación de que el espacio es prolongación de la materia y, así, interviene en la interacción.</li> <li>- Por tanto, esta interacción no puede ser instantánea, ya que depende del medio intercalado entre los cuerpos materiales que interaccionan.</li> </ul>	<p>Implicaciones derivadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Esta interacción se ejerce a distancia. Ello es coherente con la observación empírica y su carácter provativo (la atracción o repulsión sería una manera de «verse» la materia corpórea).</li> <li>- Por tanto, esta acción a distancia ha de ser instantánea, ya que es independiente del medio intercalado.</li> </ul>

**Imagen 2.1** Tomada del artículo *Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de Campo y Potencial Eléctrico*. *Revista Enseñanza de las Ciencias.. Furió C. y Guisasaola J.*<sup>23</sup>

Se puede afirmar que las explicaciones propuestas hasta Faraday corresponden a una concepción newtoniana de los fenómenos eléctricos y magnéticos.

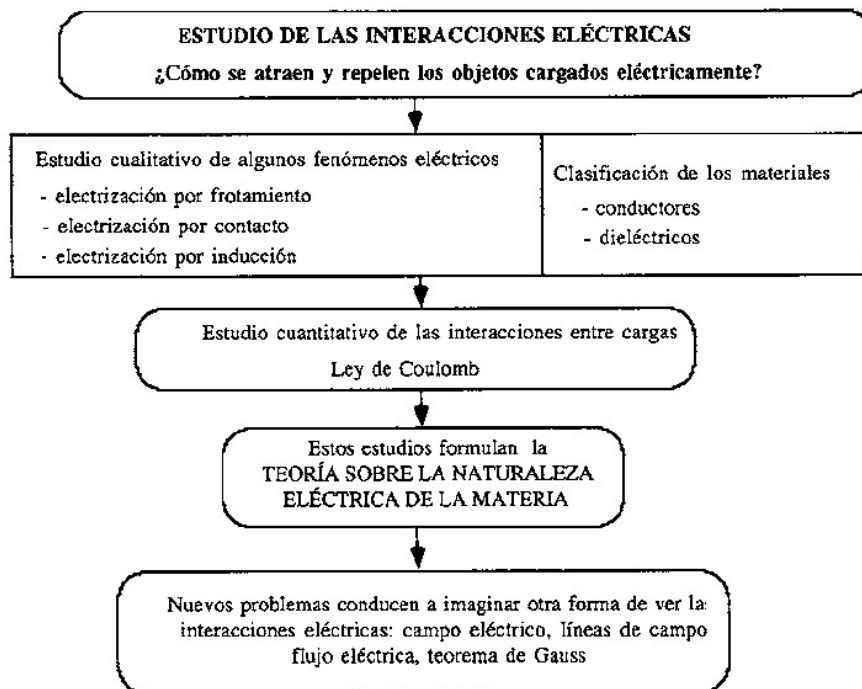
Los autores continúan debatiendo el tema y formulan una serie de hipótesis bastante pertinentes en la discusión: “Una presentación acumulativa acrítica de los contenidos está caracterizada por una exposición lineal de conceptos que componen el modelo teórico actual de electricidad, de forma que no se tienen en cuenta los saltos cualitativos ni problemas que dieron lugar a nuevos conceptos de mayor poder explicativo.

De esta manera se puede inferir que se identifica la misma problemática planteada en el presente trabajo: En los cursos y textos de electromagnetismo se presenta una visión acumulativa y poco crítica de los cambios significativos en las concepciones de los fenómenos. Este carácter explicativo se puede abordar desde un análisis experimental de los fenómenos orientados sobre la concepción de campos.

<sup>23</sup> Furió C. y Guisasaola J. *Dificultades de aprendizaje del concepto de Carga y Campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad*. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 1998, 16(1), págs. 133.

### 2.3 De la acción a distancia al concepto de campo, un cambio epistemológico

Sobre esta problemáticas se plantean discusiones como la caracterización de los fenómenos eléctricos en la naturaleza a través de la electrostática, a continuación se muestra un cuadro que representa el marco teórico conceptual sobre la naturaleza eléctrica de la materia para los autores señalados en la referencia.



**Imagen 2.3.1** Tomada del artículo *Dificultades de aprendizaje del concepto de Carga y Campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. Furió C. y Guisasola J.*<sup>24</sup>

Los autores exponen los problemas epistemológicos que existieron en la construcción de la electricidad, dos de estos son relevantes en la discusión, el primero señala la profundización en el estudio cuantitativo de las interacción que ejercen mutuamente

<sup>24</sup> Furió C. y Guisasola J. *Dificultades de aprendizaje del concepto de Carga y Campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. Revista Enseñanza de las Ciencias. 1998, 16(1), págs. 133.*

las cargas eléctricas y su fundamentación analógica en la mecánica newtoniana permitió consolidar y definir operativamente el concepto de carga eléctrica. El segundo señala que el problema de la trasmisión de la interacción eléctrica a través de un medio, junto a la unificación de diferentes electricidades y del magnetismo mostraron las insuficiencias del modelo hidrostático de la carga y permitieron un salto cualitativo importante que condujo a la introducción de la teoría del campo eléctrico de fuerzas electromagnéticas (Faraday, 1846) y posteriormente a la síntesis representada por las ecuaciones de Maxwell (1864).<sup>25</sup>

Este profundo cambio de visión (ontológico según el autor) es el que no se hace evidente en los cursos de electromagnetismo, y si bien, no se propone un curso de epistemología para comprenderlo, contextualizar a los estudiantes en términos del cambio de teoría si facilitaría una mejor comprensión de estos conceptos.

El texto concluye luego de una indagación en el aula, que en efecto los problemas epistemológicos que tuvo que superar la ciencia para llegar a construir una teoría del campo eléctrico que fuera más allá del nivel de descripción formulado por Coulomb en su ley, implican una síntesis de conocimiento y un alto grado de abstracción que permite explicar las grandes dificultades que tiene los estudiantes en estas teorías.

Como se puede observar el planteamiento de la teoría de campos se puede comprender de una mejor manera abordando las concepciones primarias que se tiene sobre la misma, coincidiendo con caracterizaciones como la acción a distancia que se formulan mediante la Ley de Coulomb, y experimentalmente desarrollar actividades de lleven a comprender la relación de por si compleja, entre el estado del medio y las manifestaciones electromagnéticas.

---

<sup>25</sup> Furió C. y Guisasola J. *Dificultades de aprendizaje del concepto de Carga y Campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. Revista Enseñanza de las Ciencias. 1998, 16(1), págs. 131-146.*

## **2.4 Aspectos significativos de las dos perspectivas**

Si bien el modelo de acción a distancia reduce en términos explicativos la concepción de campo eléctrico y el medio como elemento fundamental en la explicación de los fenómenos, la construcción histórica basada en esta concepción permite un primer acercamiento a la comprensión de manifestaciones eléctricas y magnéticas de la materia. Tal como se observó históricamente desde Oesterd hasta Ampère.

La crítica se realiza cuando no se contextualiza el cambio cualitativo tan importante dado entre la acción a distancia y el concepto de campo. Es aquí donde los estudiantes requieren un análisis profundo orientado por el docente, ya que los textos también omiten esta parte. Las experiencias y la reflexión sobre los fenómenos observados son piezas claves en la comprensión adecuada del electromagnetismo.

## CAPITULO 3

### LA PROBLEMÁTICA EN EL AULA

#### 3.1 El experimento en la enseñanza de la ciencia

En páginas anteriores se ha desarrollado un análisis sobre la concepción de los fenómenos eléctricos y magnéticos, además un breve recorrido por las posturas que se fueron desarrollando hasta alcanzar una teoría formalizada. Cada una de las descripciones ofrecidas por diferentes experimentadores se confrontan pero a la vez permiten comprender las dificultades de pensar en el medio como aspecto fundamental de los fenómenos a trabajar.

Poner en discusión la concepción de que los fenómenos electromagnéticos se producen únicamente como interacción de cuerpos u objetos puntuales, es el objetivo a la hora de ampliar la base fenomenológica y de argumentación de los estudiantes. Así las cosas, se podría preguntar ¿De qué manera aporta la visión donde el medio está como actor fundamental en la comprensión de los fenómenos electromagnéticos? Esto es una inquietud válida en términos de las dificultades ya mencionadas en la enseñanza de la física y específicamente de los cursos de electromagnetismo.

Con el ánimo de responder la pregunta planteada, se proponen unas actividades experimentales sobre la observación, descripción y análisis de los fenómenos. Así se busca caracterizar las explicaciones asociadas por los estudiantes teniendo en cuenta que no fue realizada ninguna introducción ni formalización de los fenómenos a observar ya que se buscaba que los estudiantes construyeran completamente la descripción.

### **3.2 Descripción de la Población**

La actividad se realizó en el Gimnasio Vermont de Bogotá, ubicado en la zona norte de la ciudad. Es una institución privada donde se encuentran estudiantes de estratos 4 y 5, además se caracteriza por su proyecto pedagógico de co-educación, donde se separan las poblaciones en niños y niñas.

Los estudiantes con los que se realizó la actividad fue dos grupos, uno de 18 hombre y otro de 25 mujeres entre los 16 y 17 años de edad que cursan grado once. El espacio lo facilitó el docente de física como instrucción a la temática que se iba a trabajar en el periodo, electricidad y magnetismo.

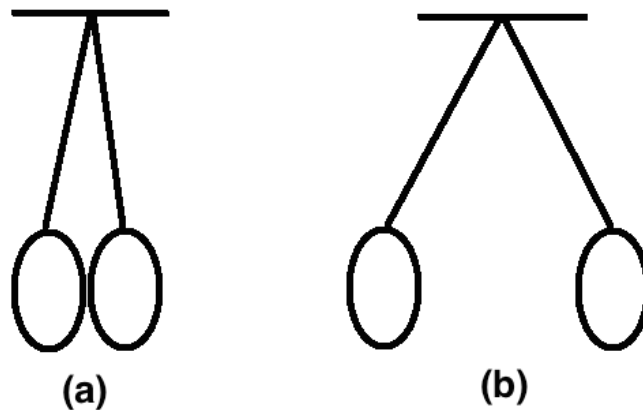
### **3.3 Descripción de la actividad**

Teniendo en cuenta el análisis realizado de las explicaciones y experiencias encontradas en diferentes textos y de los principales experimentadores, se proponen las siguientes actividades cambiando la intencionalidad que usualmente se les asigna. La guía (ver anexo) se basa en la descripción de tres actividades buscando conocer la explicación de los estudiantes ante cada fenómeno. A continuación se muestra una imagen de la guía.

La actividad se desarrollo en dos sesiones de 40 minutos. En la primera sesión se aplicó la guía sin ninguna explicación previa, en la segunda se realizó una presentación, junto con la repetición de las experiencias.

La primera actividad era la observación y descripción del generador del Van De Graaff. Se ubicó una compañera para que hiciera contacto con la esfera del generador de tal manera que se observara cómo su cabello se comenzaba a comportar de manera poco usual, así se preguntaba a los estudiantes sobre la explicación de dicho fenómeno.

La segunda actividad fue la ubicación de dos bombas atadas cada una a una cuerda y fijadas en un mismo punto en el techo. Inicialmente se encontraban unidas como se muestra en la parte (a) de la figura. Luego se propuso a los estudiantes frotarlas con un paño de tal manera que se observara cómo estas se repelían como se muestra en la parte (b).



**Ilustración 3.3.3**

La tercera actividad consistió en depositar limadura de hierro en un recipiente cerrado con aceite de cocina. La mezcla de aceite y limadura se agitaba y se acercaba un imán para observar el comportamiento de la sustancia.

Enseguida el docente introduce el tema y explica cada experiencia. Los estudiantes se muestran interesados, sin embargo consideran que a la luz de la explicación no estaban “tan mal” en sus argumentos.

Finalmente se realizan las tres experiencias para el grupo argumentando los fenómenos como estados en los cuales se encuentra el medio: para el caso del generador de Van De Graaff se muestra que cuando se genera una descarga sobre otro objeto, es por que el aire se ha vuelto conductor. Y que de manera análoga cuando se acerca el imán a la mezcla de aceite y limadura de hierro, el aceite entra en un estado de tensión o estrés, y este espacio se configura de tal manera que se puede observar el campo generado.

### 3.3 Resultados y análisis de las actividades

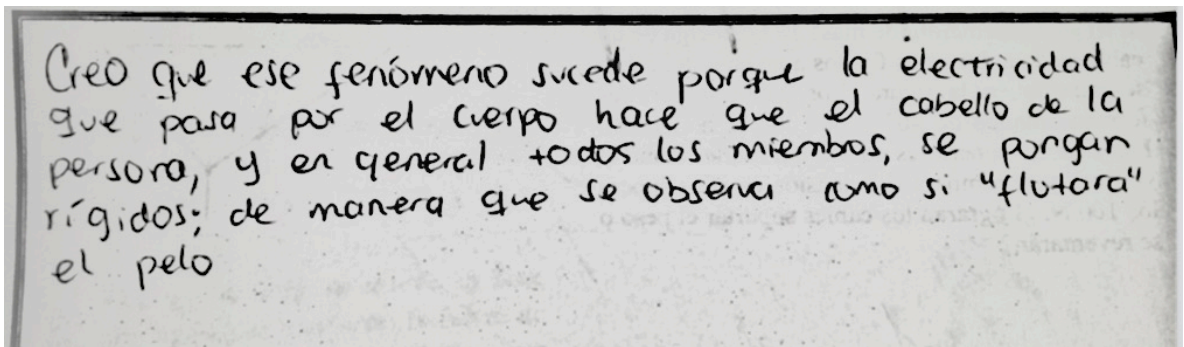


Foto 3.3.1 Respuesta de los estudiantes a la pregunta 1.

En la descripción sobre el contacto con el generador de Van De Graaff fue común encontrar referencias a el cuerpo de la persona que estaba en contacto y la carga que por inducción transmitía el generador. Sin embargo no se encontró referencia alguna al estado del aire circundante al cabello.

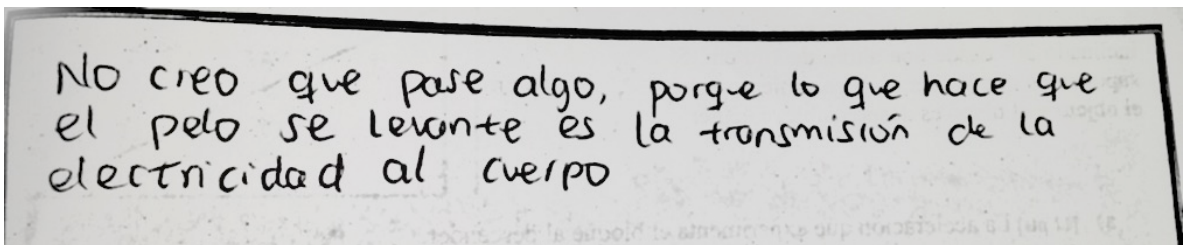


Foto 3.3.2 Respuesta de los estudiantes a la pregunta 1 b.



Específicamente sobre la pregunta del estado del aire circundante no se tiene en cuenta su estado de estrés.

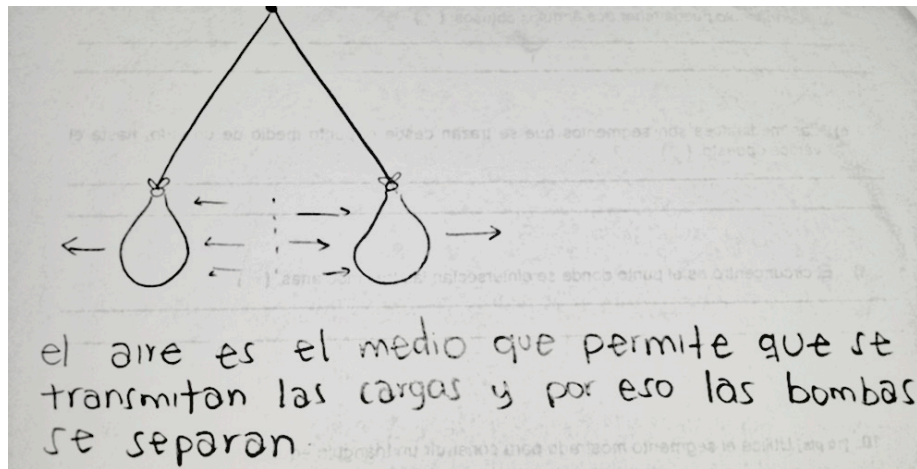


Foto 3.3.3 Respuesta de los estudiantes a la pregunta 2.

En el caso de la separación de las bombas se obtuvieron como resultado explicaciones que no hacía alusión al medio entre los dos cuerpos. Solo se menciona como el escenario en el cual sucede la interacción de los cuerpos.

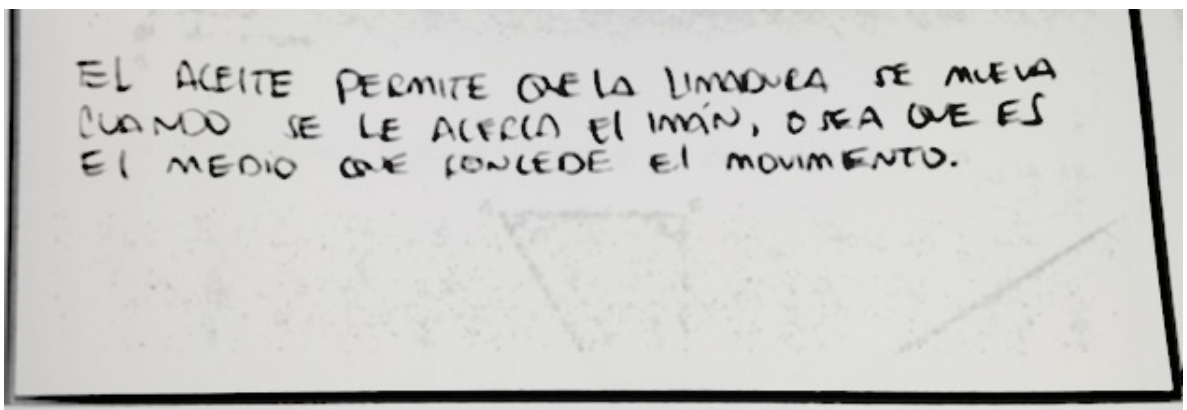


Foto 3.3.4 Respuesta de los estudiantes a la pregunta 2.

La respuesta encontrada en la mayoría de los estudiantes fue que el aceite no era más que el medio a través del cual ocurría el fenómeno, es decir, era el medio a través del cual interactuaban la limadura y el imán, pero no había ninguna descripción del estado del mismo.

### **3.4 Síntesis y análisis de las explicaciones ofrecidas por los estudiantes**

En términos generales las actividades propuestas permitieron observar las siguientes características en la descripción:

- Los estudiantes conciben los fenómenos como la interacción de dos o más cuerpos.
- No se observa una reflexión sobre el papel que juega el medio en dichas experiencias.
- Si se menciona el medio es únicamente como escenario donde ocurre la interacción entre los cuerpos.

En la parte final, cuando se repetían las actividades argumentando lo sucedido desde la descripción del estado del medio, los estudiantes se mostraron extrañados. La nueva perspectiva hace evidente la dificultad de abordar conceptos como atracción o repulsión producto de interacciones electromagnéticas sin la importancia del estado del medio. Como se sabe la descripción de acción a distancia tiene unas limitaciones descriptivas de los fenómenos, así la propuesta de analizar el medio como factor fundamental en estos fenómenos ofrece una explicación mas cercana a lo que sucede realmente, para los estudiantes.

## CONCLUSIONES

Luego de desarrollar las reflexiones, el estudio sobre las diferentes descripciones y posteriormente, la aplicación de experiencias que promueven la explicación de los fenómenos a partir de estados del medio, se puede concluir que:

El presente trabajo logra construir un contexto problemático alrededor de dos visiones opuestas, la acción a distancia y la descripción de campos y medios continuos ofreciendo elementos a favor de la descripción a través de medios continuos.

Plantear discusiones sobre la acción a distancia y la teoría de campos es una herramienta importante para los docentes ya que evidencia la problemática de plantear experiencias y describirlas desde diferentes perspectivas. Esto Promueve la capacidad de argumentación y análisis por parte de los estudiantes y el docente.

El concepto de campo electromagnético como se mostró en el análisis realizado en el capítulo 2, no es sencillo de comprender y la ampliación de la base fenomenológica permite un acercamiento más favorable para los estudiantes. Replicar las experiencias realizadas por Ampère o por Faraday, y los ejercicios de fácil construcción como los mostrados en este documento son claves en la propuesta de una mejor manera de abordar la enseñanza del electromagnetismo.

## BIBLIOGRAFÍA

Berkson, William. *La teoría de los campos de fuerza: desde Faraday hasta Einstein*. Ed. Alianza. 1988.

Carles Furió-Mas, Jenaro Guisasola Aranzabal. *Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad*. Revista enseñanza de las ciencias. España. 1998.

Clara Elvira Camargo. *Dificultades en la enseñanza del concepto de campo eléctrico*. Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional. 1987.

Escritos científicos. *James Clerk Maxwell*. Ed. José Manuel Sánchez Ron - Consejo Superior de Investigaciones Científicas- Madrid, 1998.

Furió, C. y Guisasola, J. *Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico*. Revista enseñanza de las ciencias. España. 1997.

Furió C. y Guisasola J. Dificultades de aprendizaje del concepto de Carga y Campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. Revista Enseñanza de las Ciencias. 1998, 16(1).

Henry, John. *Isaac Newton y el problema de la acción a distancia*. Estudios de filosofía No. 35. Págs 189-226. 2007.

Jerrold E. Marsden, Anthony J. Tromba. *Cálculo Vectorial*. Ed. Addison Wesley. Tercera edición.

María Cecilia Gramajo. *El concepto de carga eléctrica desde una concepción clásica de campos. Las propuestas de Michael Faraday, James Clerk Maxwell y Heinrich Hertz*. Tesis de grado para aspirar al título de magister en enseñanza de la física, Universidad Pedagógica Nacional. Dir. Maria Mercedes Ayala. 1993.

Martín, José y Solbes, Jordi. *Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física*. Revista enseñanza de las ciencias. 2001.

Ricardo Olarte Pinilla y Fernando E. Zarate. *El surgimiento del concepto de campo en Faraday*. Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional. Dir. Germán Guerrero Pino. 1991.

Sandra Velazco y Julia Salinas. *Comprensión de los conceptos de campo, energía y potencial eléctricos y magnéticos en estudiantes universitarios*. Revista brasilera de enseñanza de la física. Brasil. 2000.

Shahen Hacyan. *Física y metafísica del espacio y el tiempo: la filosofía del laboratorio*. Ed. Fondo de Cultura Económica. 2004.

Sandoval Osorio, Ayala Manrique, Malagón Sánchez, Tarazona Vargas. *El experimento en enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia*. Grupo de Física y Cultura, Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional. Ponencia al II Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. 2006.

Sepúlveda Soto, Alonso. *Los conceptos de la física. Evolución histórica*. Editorial Universidad de Antioquia. 3ª edición. 2012

## ANEXOS

### 1. Taller experimentación

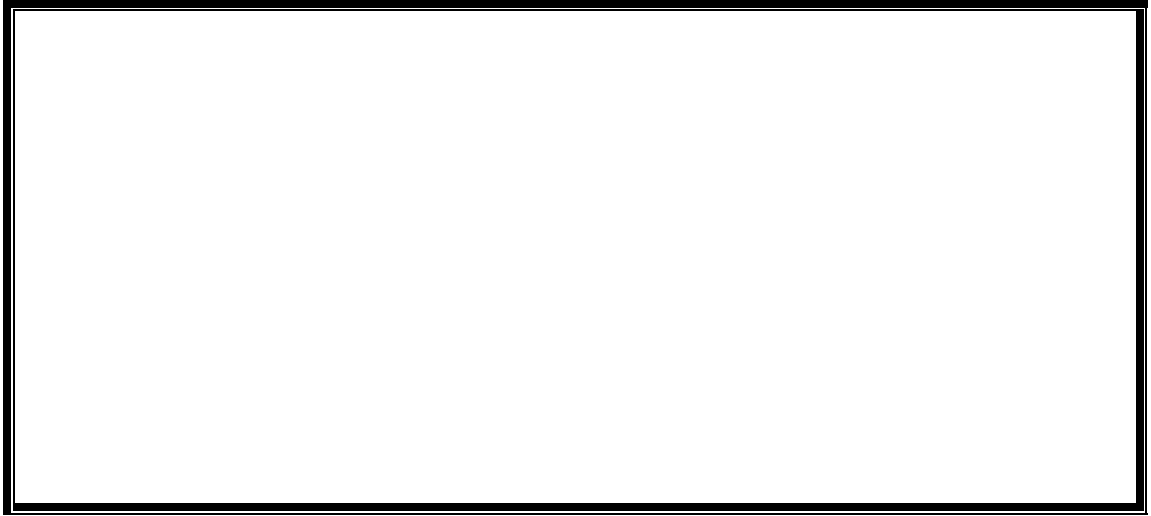
En la siguiente guía de trabajo se pretende conocer la descripción del estudiante frente a unos fenómenos del electromagnetismo.

#### **Materiales:**

- Generador de Van de Graaff (muestra grupal)
- Dos bombas.
- Cuerda.
- Un Paño.
- Recipiente cerrado con aceite.
- Un imán.
- Limadura de hierro.

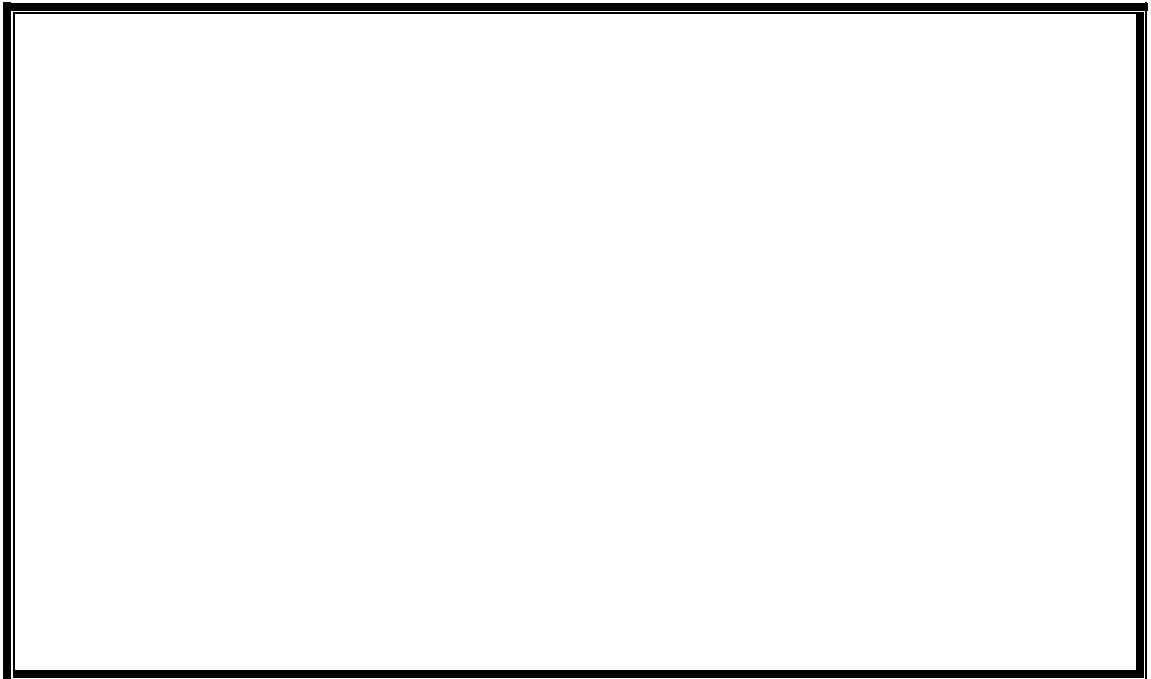
1. El primer fenómeno que se observará será el generador de Van de Graaff en funcionamiento. Cuando la compañera toca el generador su cabello tiene un comportamiento. Describa qué sucede para que el cabello se comporte de esta forma.

--

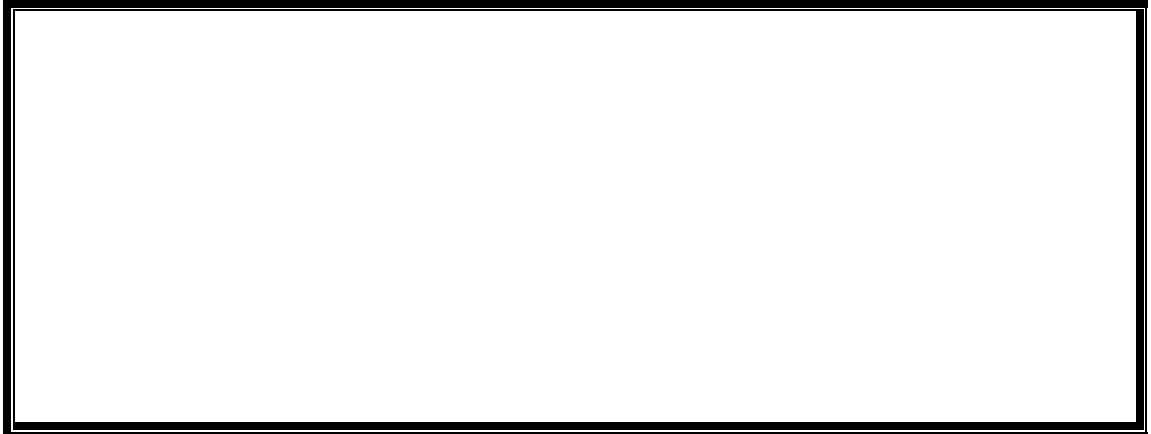


2. Sobre la mesa Observa dos bombas unidas. Cada una esta sujeta a una soga. Con el paño que tiene en su mesa frote las dos bombas. ¿Qué sucede con las bombas?

2.1 Describa qué sucede en el aire que se encuentra entre las dos bombas. Realice un dibujo.



3. En el recipiente con aceite deposite la limadura de hierro. Agite la mezcla y acerque el imán al recipiente. ¿Qué observa?

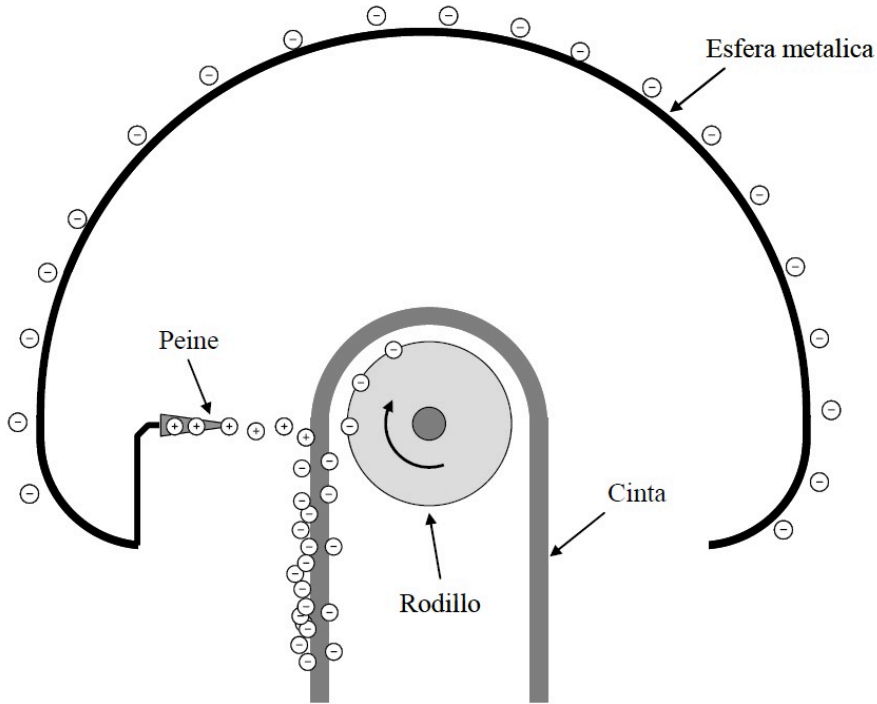
A large, empty rectangular box with a double black border, intended for the student to write their observations.

- 3.1 ¿Qué considera que sucede con el aceite?

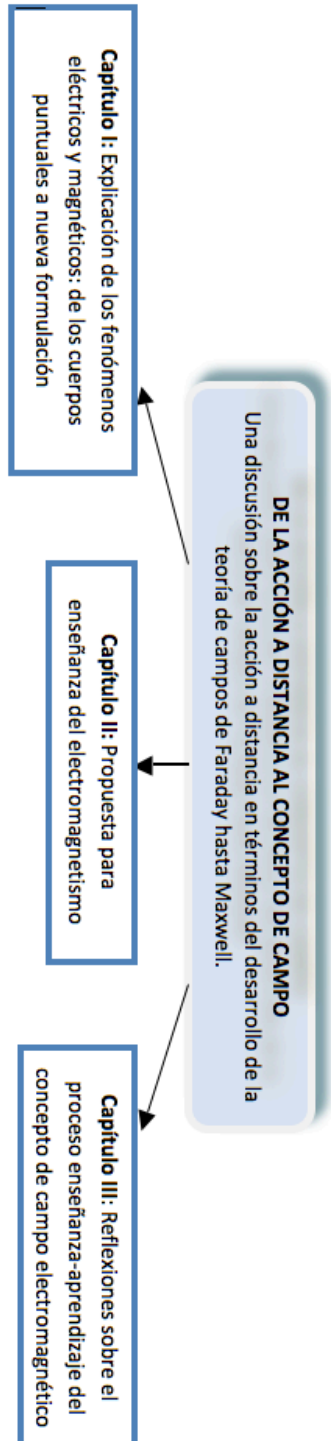
A large, empty rectangular box with a double black border, intended for the student to write their conclusion.



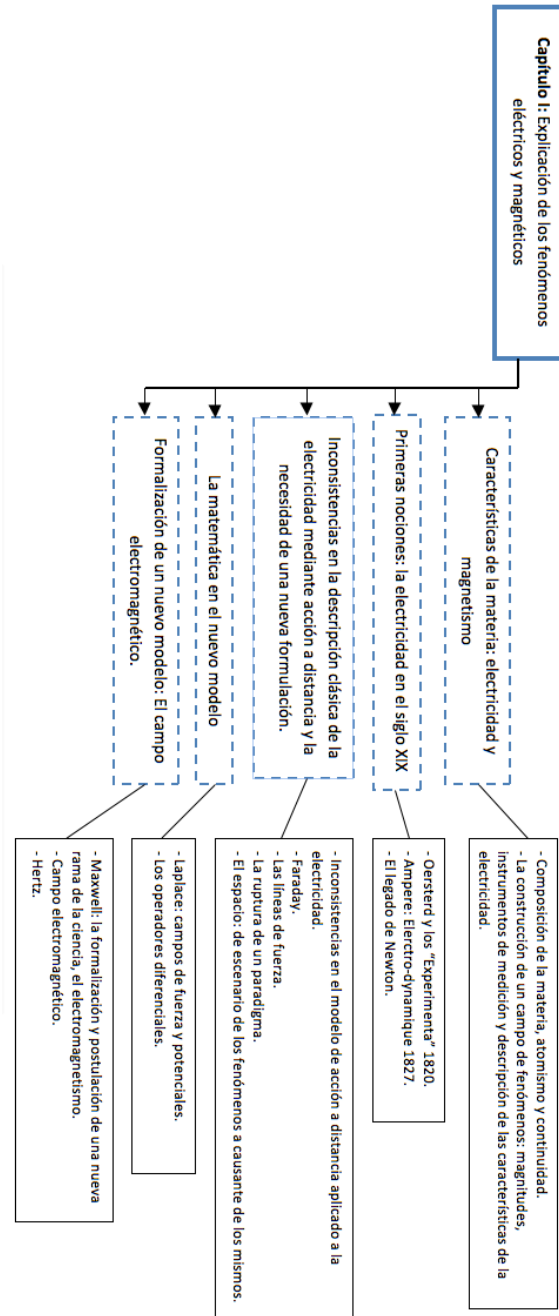
2. Imagen utilizada en las diapositivas para la explicación el funcionamiento del Generador de Van De Graaff.



#### 4. Organización del marco teórico.



4. Esquema elaborado sobre la historia del electromagnetismo.



Relación de objetivos y dificultades de aprendizaje en la interpretación de las interacciones eléctricas de acuerdo con la teoría de campo eléctrico.

Relación de objetivos	Dificultades de aprendizaje
<p>1) Comprender las limitaciones del modelo coulombiano para interpretar las interacciones eléctricas.</p> <p>2) Comprender el papel que juega el campo eléctrico como nueva interpretación de la interacción eléctrica.</p> <p>3) Entender que la magnitud «intensidad de campo» sólo depende de la distancia y de la carga creadora del campo.</p> <p>4) Aplicar el modelo en el cálculo de la «intensidad de campo» para una carga puntual y distribuciones de carga puntuales.</p> <p>5) Comprender la representación gráfica del campo eléctrico a través de las líneas de campo y aplicarlo al estudio cuantitativo del campo eléctrico, definiendo el concepto de flujo eléctrico.</p> <p>6) Explicar con el nuevo modelo:  <i>a)</i> la propagación de la interacción eléctrica;  <i>b)</i> el fenómeno de «la jaula de Faraday».</p> <p>7) Aplicaciones ciencia-técnica-sociedad.</p>	<p>1) La interacción eléctrica es una interacción entre cargas, siendo el campo eléctrico el vehículo de esa interacción.</p> <p>2) Ontológica: Comprensión cualitativa del campo eléctrico. Pensar que la perturbación en un punto del espacio sólo existe cuando está «visible» allí la carga testigo.</p> <p>3) Conceptual: Confusión entre la intensidad de campo y la fuerza eléctrica.</p> <p>4) Procedimental: Caer en el puro operativismo. No tener en cuenta el carácter vectorial de E.</p> <p>5) Caer en un operativismo del concepto de <i>flujo</i> y en dar un sentido «real» a las líneas de campo.</p> <p>6) Fijación funcional del modelo de «acción a distancia».</p> <p>7) Explicaciones simples basadas en evidencias de «sentido común».</p>