

**INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO DESDE UNA  
PERSPECTIVA HISTÓRICA. UN PAPEL PARA LA HISTORIA EN LA FORMACIÓN  
DE MAESTROS EN FÍSICA**

CANTOR TRIANA DIEGO ANDRÉS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
BOGOTÁ  
2020

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA**

**INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA CAMPO ELECTROMAGNÉTICO DESDE UNA  
PERSPECTIVA HISTÓRICA. UN PAPEL PARA LA HISTORIA EN LA FORMACIÓN DE  
MAESTROS EN FÍSICA**

**PRESENTADO POR:**

**CANTRO TRIANA DIEGO ANDRES**

**ASESORADO POR:**

**JUAN CARLOS OROZCO CRUZ  
Y CLARA CHAPARRO**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
BOGOTÁ  
2020**

## *Agradecimientos*

*A la Universidad Pedagógica Nacional por permitir que mis sueños brillaran con más fuerza y por ser el espacio que me formó no solo como un maestro consciente del saber disciplinar, sino también convencido que es posible soñar con un país mejor. Agradezco a las personas que me acompañaron durante estos años de formación, en especial a mi madre y abuelita que fueron un apoyo incondicional, en mi mente siempre estarán presentes las enseñanzas de los maestros y los momentos vividos con los compañeros de carrera, espero ser un digno representante de la Universidad pública que me acogió y que me enseñó.*

## Tabla de Contenido

<b>1. Capítulo I Presentación del problema de investigación.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1. Contexto problemático .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1. Objetivo general.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Metodología .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. Justificación .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5. Antecedentes.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Capítulo II. Reflexiones sobre ¿Qué es la ciencia? E historia de las ciencias y enseñanza de las ciencias .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Circulo de Viena.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1. ¿Qué es la ciencia? .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. La Importancia de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias .....</b>	<b>18</b>
<b>3. Capítulo III. Conceptos previos para hablar de la teoría de campo electromagnético. ....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Conceptos previos. ....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.1. Espacio.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2. Newton y la acción a distancia .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3. La geometría del espacio .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.4. Paradigmas de espacio.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.5. Espacio y su relación con el concepto de campo.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1. Sobre la acción magnética .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2. Sobre el tiempo de las interacciones magnéticas.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3. El tiempo y su relación con el concepto de campo .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3. Las interacciones a distancia.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.1. Concepción Newtoniana .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.2. Charles Coulomb.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.3. André-Marie Ampere .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.4. Concepción de Campo .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.5. Michael Faraday .....</b>	<b>41</b>

3.3.6.	<b>Heinrich Hertz</b> .....	42
3.4.	<b>¿Qué es la teoría de campo electromagnético?</b> .....	43
3.5.	<b>Problemas de investigación y puntos de inflexión.</b> .....	47
3.6.	<b>Consideraciones sobre el estudio histórico-critico</b> .....	48
4.	<b>Capitulo IV. Propuesta para la enseñanza de la teoría de campo electromagnético.</b> .....	49
4.1.	<b>Algunas consideraciones sobre la propuesta</b> .....	49
4.2.	<b>Criterios</b> .....	50
4.2.1.	<b>Criterio epistemológico</b> .....	50
4.2.2.	<b>Criterio de organización</b> .....	50
4.3.	<b>Análisis de las presentaciones de la TCE en textos universitarios</b> .....	51
4.3.1.	<b>Física para ciencias e ingenieras Raymond Serway, John Jewett</b> .....	51
4.3.2.	<b>Física matemática Alonso Sepúlveda</b> .....	52
4.3.3.	<b>Física conceptual Paul Heweit Décima Edición</b> .....	53
4.4.	<b>Aspectos base para el diseño de la propuesta</b> .....	54
4.4.1.	<b>Preguntas base para el diseño de la propuesta</b> .....	55
4.5.	<b>Síntesis de las actividades que se proponen</b> .....	57
4.5.1.	<b>Momento A. Preguntas iniciales</b> .....	57
4.5.2.	<b>Momento B. Introducción a la teoría de campo electromagnético</b> .....	57
4.5.3.	<b>Momento C. El problema de las interacciones a distancia.</b> .....	58
4.5.4.	<b>Momento D. La consolidación de teoría de campo electromagnético.</b> .....	58
4.6.	<b>Conclusiones</b> .....	59
4.6.1.	<b>Conclusiones de orden pedagógico</b> .....	59
4.6.2.	<b>Conclusiones de orden teórico</b> .....	60
4.6.3.	<b>Conclusiones de orden histórico</b> .....	61
4.7.	<b>Conclusión general del trabajo</b> .....	62
	<b>ANEXO</b> .....	1
	<b>Propuesta de enseñanza</b> .....	1

## Tabla de esquemas

<b>Esquema 1.</b> Perspectiva historia de la ciencia.....	23
<b>Esquema 2.</b> Paradigmas de espacio.....	31
<b>Esquema 3.</b> Fuerza electrostatica.....	40
<b>Esquema 4.</b> Representación de elementos infinitesimales de corriente.....	41
<b>Esquema 5.</b> Representacion de la accion del iman sobre el bismuto.....	43
<b>Esquema 6.</b> Polarización del medio.....	44
<b>Esquema 7.</b> Puntos de inflexión.....	49
<b>Esquema 8.</b> Problemas de investigación.....	49
<b>Esquema 9:</b> Momento A preguntas iniciales.....	55
<b>Esquema 10:</b> Momento B: Introducción a la teoría de campo electromagnético.....	55
<b>Esquema 11:</b> Momento C Interacción a distancia.....	56
<b>Esquema 12:</b> Momento C consolidación de la teoría de campo electromagnético.....	56

## Tabla de Figuras

<b>Figura 1.</b> Representación del imán M actuando sobre el bismuto .....	34
<b>Figura 2.</b> Modelo mecánico.....	47

## 1. Capítulo I Presentación del problema de investigación.

### 1.1. Introducción

La perspectiva de los análisis históricos y filosóficos de la ciencia y su papel en la enseñanza de la física ha sido desarrollada en la línea de investigación: Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural del programa de la Licenciatura en Física en la Universidad Pedagógica Nacional y una muestra de ello son textos ilustrativos como los del profesor Juan Carlos Orozco Cruz o la profesora María Mercedes Ayala<sup>1</sup> donde se empieza a consolidar una metodología innovadora para el ejercicio docente como los estudios histórico-críticos o la re contextualización de saberes. Estos textos hacen énfasis en la importancia de la perspectiva histórica para la formación de maestros:

Entre otros aspectos, los estudios sobre Historia y Filosofía de la Ciencia, en el contexto de las prácticas educativas, tienen como perspectiva que los elementos derivados del análisis epistemológico de la actividad científica, en su basta complejidad, contribuyan a la formación de una imagen crítica de la ciencia. Imagen concordante con las necesidades de una enseñanza que responda a la consolidación de una cultura científica de base en nuestro medio y a la valoración de la actividad científica en contextos particulares. (Orozco, 2005, p.9)

Esta afirmación sobresale en medio de un análisis riguroso que hace el profesor Orozco de cómo algunas reconstrucciones históricas que siguen al detalle el desarrollo de conceptos y teorías como la elaborada por Michael Faraday en *Historikal Electrical of Electromagnetism*(1821) contribuyen no solo para el desarrollo de la misma ciencia sino para la construcción de una imagen

---

<sup>1</sup> Ver Orozco,J.( 2005).Atajos y desviaciones los estudios histori-criticos y la esenñanza de la ciencias. Universidad pedagogica Nacional, M,Ayala.(2006). Los análisis histórico-críticos y la re contextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades.

de ciencia que no descuide aspectos culturales o como lo denomina el historiador Imre Lakatos(2011): la historia externa. En ese sentido se busca no solo que los maestros reconozcan cuáles son los procesos de la actividad científica, si no que adquieran elementos para una crítica frente a los distintos objetivos, prácticas y bases de la actividad científica (Orozco, 2005). La necesidad de recurrir a los trabajos históricos tiene como base un problema que tiene que ver con el hecho de que el aspecto histórico y cultural del desarrollo de una teoría parece se reduce a algo anecdótico<sup>2</sup> y carece de significado para los estudiantes.

En ese sentido vale la pena pensar la formación de maestros desde este tipo de consideraciones epistemológicas que resaltan la necesidad de que los maestros y maestras que se forman para enseñar ciencia se detengan en analizar este tipo de perspectivas.

En esta dirección, la historia de la física remite a un universo de problemas, ideas e interpretaciones que bien podrían llenar cientos de páginas, desde los filósofos de la antigua Grecia que se preguntaban por la caída de los cuerpos, hasta las teorías modernas como la cuántica y la relatividad. Si bien, la historia de la física, y aún más la historia de la ciencia es muy amplia, remitirse a ella permite construir una determinada imagen de ciencia; como lo menciona Thomas Kuhn en el primer capítulo de su libro: La estructura de las revoluciones científicas (1962) menciona que: “Si se considera como algo más que un acervo de anécdotas o como algo más que mera cronología, la historia podría provocar una transformación decisiva en la imagen de ciencia que ahora nos domina” (Kuhn, 1962, p.101).

Así, el desarrollo de lo que se denomina el conocimiento físico o la física, muestra un sin número de derivaciones o bifurcaciones que bien se pueden estudiar durante mucho tiempo y probablemente se llegue a entender tan solo una parte, es por esto que se acotará el estudio histórico sin perder su dimensión compleja. La física como disciplina científica, tiene como referentes una de las mentes más brillantes de la humanidad como lo fue Albert Einstein, este investigador científico publicó en 1931 un artículo para la universidad de Cambridge en ocasión del centenario del nacimiento de Maxwell donde resalta un gran cambio en la concepción de realidad física: Este artículo se publica en español como una recopilación de textos de Einstein, la traducción es elaborada por: José, M. Flores, A. Goldar, A. (1983)

---

<sup>2</sup> Se menciona hechos y datos, pero no se profundiza en estos aspectos a esto se le conoce como historiografía



Aun cuando la idea de realidad Física había dejado de ser puramente atómica, continuaba siendo, de momento, puramente mecánica; en general, todavía se seguía intentando explicar todos los fenómenos con movimientos de masas inertes y, por cierto, ningún otro enfoque de los hechos parecía concebible. Se produce entonces el gran cambio, que para siempre estará asociado a los nombres de Faraday, Maxwell y Hertz. (Goldar, et al, 1931/1983, p. 76)

Esta gran revolución significó un cambio en la física y es a lo que se le conoce hoy en día como teoría de campo electromagnético, en esta teoría el concepto central es el campo, pero se sabe que existen diferentes tipos de campos como el gravitacional, electromagnético y cuántico. El presente trabajo de investigación tiene como intención presentar al lector una serie de criterios, problemas de investigación y puntos de inflexión que se proponen para la enseñanza de la teoría de campo electromagnético, haciendo énfasis en el concepto de campo.

El presente trabajo se divide en cuatro capítulos. En el primer capítulo se presentan dos aspectos problemáticos: a) en la enseñanza del electromagnetismo se mezclan perspectivas de campo y de acción a distancia pero no se hace claro a cual perspectiva recurre el maestro, b) por otra parte, se identifica una enseñanza que olvida las dimensiones históricas, culturales y sociales. Con estos dos elementos se emprende un trabajo con enfoque histórico alrededor de la teoría de campo electromagnético y del concepto de campo. En el segundo capítulo se desarrollan dos aspectos: la pregunta sobre ¿Qué es la ciencia? tomando como referencia autores como: Thomas Kuhn y Paul Feyerabend, junto con un breve análisis de la importancia de la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias, y la relación entre estas dos.

En el tercer capítulo se abordan algunos elementos previos para hablar de la teoría de campo electromagnético como el espacio y el tiempo; contrastando los desarrollos teóricos que permiten entender cómo surge el concepto de campo. También se presenta una de las problemáticas que dio origen a la teoría de campo electromagnético como las distintas explicaciones que existían para explicar los fenómenos de las interacciones a distancia. En el cuarto capítulo se expone una propuesta para cursos introductorios al electromagnetismo, en el contexto de los programas de formación de licenciados en física o ciencias naturales, que se presenta de manera detallada en los anexos. Así como las conclusiones del presente trabajo.

Por último, se propone una propuesta de enseñanza a modo de introducción para la teoría de campo electromagnético que recoge las reflexiones hechas en el trabajo desde lo teórico, hasta lo experimental.

Vale la pena mencionar que el análisis histórico que se presenta tiene como base que los conceptos no son aspectos aislados con significados universales, sino que tienen una relación directa con la teoría de la que hacen parte, y que la poca ambigüedad de estos depende de la coherencia de la teoría (Chalmers, 1999). En ese sentido el trabajo cobra significado desde un análisis del concepto de campo en la teoría de campo electromagnético.

### **1.1.1. Contexto problemático**

En el mundo actual, lleno de avances científicos, de una acelerada evolución tecnológica y de niveles de desigualdad social, económica y política cada vez más alarmantes, en particular en países como Colombia, donde los maestros día a día se enfrentan a una cruda realidad en los actuales momentos de pandemia por el Covid 19, que han puesto en evidencia con más claridad dichas desigualdades, en este contexto se enmarca el presente trabajo. Ahora bien, las problemáticas entorno a la enseñanza de la ciencia son de múltiples dimensiones, muchos investigadores y académicos se han preocupado por dar cuenta de las principales problemas la hora de enseñar ciencia. Una de ellas la menciona (Hoodson, 1994): como se citó en I. Pérez, D. Valdez, y P. Vilches, A. (2005).

Hemos elegido comenzar por una deformación criticada por todos los equipos docentes implicados en este esfuerzo de clarificación y por una abundante literatura: la transmisión de una visión descontextualizada, socialmente neutra, que olvida dimensiones esenciales de la actividad científica y tecnológica, como su impacto en el medio natural y social o los intereses e influencias de la sociedad en su desarrollo. (Fernández, et al, 2005, p.32)

Cabe señalar que esta problemática se centra en la formación de los maestros de ciencia ya que se llega a la escuela con una visión descontextualizada de la ciencia. En ese sentido se asume una postura en la que la ciencia en su dimensión social e histórica no es relevante para la enseñanza. Este desconocimiento de la ciencia en su dimensión social implica en ocasiones dejar a un lado los

aportes de la historia social de la ciencia. La concepción generalizada que se tiene de historia y de historia de la ciencia se basa en la acumulación de hechos y datos sin ningún tipo de relación con los contextos sociales y culturales (Brush, 1991). Esta concepción ignora algunos matices que presenta la historia, por ejemplo, las controversias en el caso de la física; como la disputa entre Hertz y J.J Thomson sobre la naturaleza de los rayos catódicos o los problemas de investigación y las preguntas que se hacían los científicos para llegar a dar cuenta de una teoría. Usualmente en el proceso de enseñanza de la física se desconocen aspectos históricos, culturales y sociales que son de gran importancia para el desarrollo de la teorías y principios que se enseñan, esto hace que la enseñanza se convierta en un asunto de mera transmisión y recepción donde se desconocen factores de todo tipo (Ayala, 2006). Lo anterior pone de presente que ese desconocimiento de los aspectos culturales y desarrollos históricos lleva a la imposición de un modelo de enseñanza de la física que se suele denominar tradicional, el cual ha sido bastante criticado, como lo señala (Garay, 2011) este modelo de enseñanza establecido por Comenio en su “*dídacta magna*” (1657) establece un aprendizaje como una mera transmisión de información entre un emisor y receptor, esta perspectiva sufre una fuerte crisis que da lugar al surgimiento de nuevos enfoques para la enseñanza como la perspectiva histórica y epistemológica que tuvo entre sus representantes a Gastón Bacherlard, Jean Piaget, entre otros.

Cuando se emprende la tarea de elaborar una reconstrucción histórica para los historiadores más rigurosos se presentan algunas objeciones en el sentido de que se puede presentar una visión de la historia que omite detalles y por esto se considera incompleta y subjetiva, como lo menciona Bizzo y Nelio (1993).

Un problema siempre presente estriba en que cabe la posibilidad de hacer reconstrucciones históricas demasiados simplistas. Es posible que el científico- historiador perciba como historia tan solo las etapas anteriores del desarrollo científico que culminan en construcción de conocimiento que él considera válido. (Bizzo y Nelio, 1993, p. 5)

A esas reconstrucciones históricas también se remite el maestro; entonces se presenta el problema de si estas reconstrucciones contribuyen en algún sentido a la historia de la ciencia, y aún más importante, si estas reconstrucciones contribuyen a la enseñanza de la ciencia.

Por otra parte, La historia de la ciencia presenta principalmente dos categorías, una externa *que* aborda una perspectiva más social y cultural, y otra *interna* que examina los desarrollos teóricos y experimentales (Sánchez, 1988). Estas categorías son muy importantes y en el presente trabajo se tendrán en cuenta las dos.

La historia de la ciencia se ha convertido en una herramienta importante y valiosa de trabajar para los investigadores en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, se pueden encontrar trabajos que abordan esta perspectiva como: Nelio M. V. Bizzo (1993), I. O. Lombardi (1997), Gil Pérez (1992). Cada uno de estos investigadores situados en países como Estados Unidos, España y Portugal analizan la relación entre historia de la ciencia y enseñanza. En consecuencia, es válido preguntarse: ¿Cómo se origina la relación entre historia de la ciencia y la enseñanza? ¿cuál es el aporte de los trabajos en historia de la ciencia para la enseñanza?

Ahora bien, el presente trabajo surge además debido a que en libros de texto y en clases habituales de electromagnetismo se presenta el concepto de campo de una manera confusa y meramente matemática. En los libros de texto no se hace mucho énfasis en este concepto y se presenta de una forma matemática en relación con una forma de medir la fuerza en un punto del espacio. En la enseñanza del electromagnetismo se encuentran distintas perspectivas para explicar los fenómenos, como la concepción tradicional de corte Newtoniano que admite fuerzas a distancia, la perspectiva de campos y la teoría de potenciales (Albornoz, 2019). Esto conlleva a que muchas veces no se tenga claro bajo que teoría se sitúa el maestro. En ese sentido la intencionalidad del presente trabajo abarca dos aspectos importantes, en principio una aproximación a la relación de la historia de la ciencia con la enseñanza de las ciencias, y por otra parte, conocer cómo se desarrolla históricamente el concepto de campo y la teoría de campo electromagnético ¿cuál es su significado en la física?. Dicho lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles fueron los problemas de investigación fundamentales en los inicios de la teoría de campo electromagnético, y cómo contribuyen en la enseñanza de esta teoría en los programas de formación de docentes en física?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Identificar problemas de investigación, en el surgimiento de la teoría de campo electromagnético, a partir de un estudio histórico-crítico para la enseñanza de esta teoría en cursos de electromagnetismo.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Indagar en libros, artículos y textos originales, cómo surge históricamente la idea de campo en física
- Reconocer experimentos importantes en el desarrollo histórico de la teoría de campo electromagnético a partir de un análisis de corte histórico.
- Identificar a partir del estudio histórico-crítico las preguntas-problemas relevantes de por lo menos 3 de los principales científicos que aportaron al surgimiento de la teoría de campo electromagnético.
- Diseñar una propuesta para la enseñanza de la teoría del campo electromagnético a partir del estudio histórico crítico. Dirigida a profesores en ejercicio y en formación que llevan a cabo cursos de electromagnetismo

## **1.3. Metodología**

Cuando se realiza un estudio de corte histórico crítico, se encuentran temas relacionados con el papel de los experimentos en la construcción de las explicaciones, la relación entre conocimiento común y científico, y la imagen de ciencia que transmiten los maestros, entre otros. El estudio histórico crítico se puede definir como: el ejercicio de revisar de manera juiciosa y rigurosa los textos originales de los científicos que dieron origen a las teorías que se estudian en la actualidad. Este tipo de estudios busca establecer un diálogo con los autores y revisar en detalle los problemas a los que se dedicaron los investigadores de la ciencia y que dieron origen a sus

propias respuestas; con la intención de re contextualizarlos y ofrecer nuevas interpretaciones. (Ayala, 2006).

Los estudios histórico-críticos tienen su proceder, es decir su propia metodología, no se hacen de cualquier forma, sino que demandan una organización a la hora de realizarlos, estos estudios históricos-críticos implican como lo plantea la profesora María Mercedes Ayala:

Este tipo de análisis involucra un proceso tridimensional, en cuanto permite paralelamente: Configurar una mirada sobre el fenómeno abordado en el texto original; valorar y caracterizar los aportes del autor y elaborar criterios para orientar los procesos de conocimiento en el aula. (Ayala, 2006, p. 30)

Por otra parte, Jean Piaget clasifica los estudios histórico-críticos como parte de los métodos de la epistemología, ya que cuando se emprende este tipo de estudios se busca entender las formas de proceder, los sistemas deductivos o experimentales que estuvieron detrás de la construcción del conocimiento.

El problema histórico-crítico se ve encarado cuando llegamos a utilizar la reconstrucción con miras a un análisis “crítico” (en un sentido análogo al de la crítica kantiana); por ejemplo, para disociar las respectivas partes de deducción y la experiencia con motivo de la constitución, como el principio físico de conservación. (Piaget, 1970, p. 102)

Así se configura la metodología del presente trabajo (como una forma particular de organizar las actividades llevadas a cabo a lo largo del esta investigación) que tiene como base un método relacionado con la epistemología; Piaget (1970) ve la necesidad de un método en la epistemología porque al analizar las variedades de esta rama del conocimiento concluye que los diferentes tipos de epistemología surgen de una reflexión sobre la ciencia, ya sea desde un trabajo interno de la comunidad científica de revisar sus principios o desde un trabajo externo por parte de ramas afines:

La epistemología, al igual que la lógica, descansa en un análisis de carácter científico, porque la naturaleza misma de los problemas que presenta conlleva una estrecha coordinación de las investigaciones lógicas, psicológicas y metodológicas, que son, hoy por hoy, independientes de la filosofía general. (Piaget, 1970, p. 22)

El método de la epistemología surge de esta conexión con la ciencia, ya que para la ciencia se habla de un método científico, de una manera de proceder, como la epistemología según Piaget tiene mucha relación con las reflexiones de la ciencia, deberá tener sus propios métodos, de estos métodos hacen parte los estudios histórico-críticos

#### **1.4. Justificación**

Para el maestro en formación, es de vital importancia buscar alternativas que posibiliten un mejor proceso de enseñanza-aprendizaje. La enseñanza de la física vista desde una perspectiva cultural revitaliza el papel de la historia en los procesos de aprendizaje en particular porque esta mirada tiene en cuenta elementos como el contexto, la cultura, la sociología, que en el ámbito de corte histórico crítico son de gran importancia.

Teniendo en cuenta que desde esta perspectiva se vuelve prioritario que en el proceso de enseñanza se genere condiciones que posibiliten la actividad de explicar y el desarrollo de nuevas formas de entender, la historia de las ciencias puede entrar a jugar un papel importante en la concreción de este propósito. (Ayala, et al, 2014, p.8)

Cabe señalar que este tipo de perspectivas, generan en la enseñanza de las ciencias aproximaciones significativas para entenderla la disciplina de una manera más flexible y como una actividad que no responde a un único método. Si bien como lo expone (Garay, 2011) en los libros de texto o los artículos de los investigadores dan cuenta de los resultados exitosos en las investigaciones con este tipo de perspectivas.

En los procesos de aprendizaje de las teorías científicas, en lo que se refiere a la educación en ciencias, con un enfoque histórico, no se deben dejar de lado los resultados no exitosos y los diferentes ensayos, muchos de los cuales fueron catalogados por ellos mismos como errores y fueron dejados de lado, pues estos ilustran de manera explícita los diversos caminos en la construcción de las teorías, elemento clave para la comprensión hoy en día de las teorías científicas que se estudian en la formación de los licenciados en física, así como en la forma como se debe orientar el aprendizaje de las ciencias, pues se puede constatar en estos estudios, que se construye

conocimiento en ciencias por ensayo y error, por imitación y no exclusivamente por repetición y memorización.

La imagen de la ciencia que “transmiten” los profesores con formación en ciencias naturales ha permeado en el ámbito social un cierto desagrado hacia a la ciencia en general, y de ahí el desinterés por desarrollar este tipo de áreas del conocimiento (Fernández, et al, 2005). Por lo cual las investigaciones en el campo de la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural se configuran como una mirada valiosa e innovadora para los maestros en formación.

En esta perspectiva se inscribe este trabajo, que busca fortalecer nuevas miradas sobre el proceso de enseñanza de la teoría de campo electromagnético. Otra razón a la que podría sumarse la justificación de la propuesta de investigación es que la enseñanza del concepto de campo y la relación de la historia y filosofía de las ciencias, son temáticas de investigaciones vigentes y de interés actual para los maestros de ciencias naturales en formación e investigadores en el campo de la enseñanza de las ciencias.

## **1.5. Antecedentes**

La problemática y el enfoque en la que se inscribe este trabajo de grado constituyen un asunto de indagación para los investigadores en enseñanza de la ciencia. Como se ha indagado en los siguientes antecedentes producto de un ejercicio de revisión de las investigaciones que se relacionan con el tema del presente trabajo. Estos reportes de investigación fueron de gran utilidad, porque se encontraron antecedentes de tipo: a) epistemológico, donde se exponen dificultades en la enseñanza del concepto de campo b) disciplinar en los que se evidencia una serie de trabajos en años recientes sobre el concepto de campo, y c) antecedentes de orden pedagógico donde se evidencia la construcción de propuestas didácticas con un enfoque histórico.



<i>De orden epistemológico</i>	<i>De orden Disciplinar</i>	<i>De orden pedagógico</i>
<p>“Uso de la historia de la ciencia para la enseñanza de la didáctica de la física a través de un proceso metacognitivo”. (Mosquera, 2015). Trabajo de grado de la licenciatura en física, Universidad Distrital, contribuye a la preocupación por la falta de fundamentos de los licenciandos en física en lo que tiene que ver con la historia de las ciencias y las reflexiones filosóficas en torno a ciertos conceptos.</p>	<p>El trabajo de la UPN “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”. (Padra, 2015). Contribuye de manera significativa a desglosar lo que es el concepto de campo en un periodo histórico determinado, además menciona algunas dificultades epistemológicas que pueden ser útiles para la investigación.</p>	<p>"La enseñanza y el aprendizaje del concepto de Flujo del campo eléctrico en nivel superior". (Castro, 2013). Tesis Doctoral realizada en el Instituto Tecnológico de Monterrey. De manera organizada se presentan algunas dificultades en el aprendizaje del concepto de Campo, que se dividen en epistemológicas, preconcepciones, representaciones mentales y algunas más. También menciona explicaciones para los problemas de aprendizaje, e investigaciones orientadas a solucionar este problema.</p>
<p>"Una propuesta para la enseñanza de la radiactividad en docentes en formación inicial desde un análisis histórico crítico". (Mosquera, 2017). Este trabajo de la Universidad del Valle contribuye a mi investigación en el sentido de cómo articular el análisis histórico-crítico con la enseñanza. En este trabajo se proponen una serie de pautas para orientar actividades para la enseñanza de la radiación</p>	<p>"Reflexiones sobre el concepto de campo en Física una re contextualización". (Ramos, 2016). Este trabajo realizado en la UPN hace un análisis muy juicioso, y detallado del concepto de campos desde el punto de partida del éter. Particularmente se detiene en los trabajos de Faraday y Maxwell aunque mencione otros. "Análisis conceptual del tratado de JC. Maxwell desde la perspectiva de campos para la enseñanza de la electrostática". (Paola Villalobos 2019). Este trabajo representa un gran aporte ya que retoma algunos elementos importantes de la teoría de campos enmarcados en un análisis conceptual de los fenómenos electrostáticos teniendo en cuenta los trabajos experimentales de Maxwell. Además se reflexiona sobre la enseñanza de la electrostática</p>	

## 2. Capítulo II. Reflexiones sobre ¿Qué es la ciencia? E historia de las ciencias y enseñanza de las ciencias

### 2.1. Círculo de Viena

El círculo de Viena fue un grupo de estudio en torno a las ciencias empiristas que fue de gran influencia en el desarrollo del neopositivismo y la filosofía de la ciencia<sup>3</sup>. Ernst Mach y Henri Poincaré a finales del siglo XIX trabajaron sobre algunos problemas epistemológicos en la física, entre ellos se encuentra la crítica de Mach al concepto de espacio y tiempo absoluto que posteriormente sería muy útil para que Albert Einstein desarrollara su teoría especial de la relatividad 1905<sup>4</sup>. No se puede perder de vista que estos dos científicos influyeron en los orígenes del círculo como se puede encontrar en unos de sus pocos textos publicados (La concepción científica del mundo: el círculo de Viena: “Originalmente el interés más fuerte del Círculo de Viena fue de los problemas del método de la ciencia de la realidad. Inspirado por ideas de Mach, Poincaré y Duhem” (Asociación Ernst Mach, 1929, p.136).

En Viena capital de Austria se venía consolidando principalmente en las universidades, círculos de estudios filosóficos donde se debatía sobre las ciencias empiristas y su método. En 1921 Moritz Shick físico alemán empieza a rodearse de intelectuales de distintas ramas de la ciencia, que en principio tenían como foco de interés la física, pero que poco tiempo después se extendió a las matemáticas, la biología e incluso a las ciencias sociales.

Solo hasta 1929 cuando se realiza el *Congreso sobre la epistemología de las ciencias exactas* en la ciudad de Berlín el círculo logra dar a conocer al mundo sus reflexiones sobre la ciencia que por años había elaborado, y que decide publicar mediante un escrito titulado “*La concepción científica del mundo: el círculo de Viena*” (1929).

---

<sup>3</sup> La Filosofía de la ciencia tiene que ver con una reflexión y teorización de los fundamentos de la ciencia

<sup>4</sup> Información tomada de Goldar, A José, M. Flores, A. (1983). Sobre la teoría de la relatividad. Grandepensadores, Editorial sarpe. España.

Una de las ideas centrales que eran discutidas en el círculo tenía que ver con la metafísica; esta rama de la filosofía busca un entendimiento más allá de la naturaleza, o por lo menos ese es su significado etimológico.

Para los integrantes del círculo de Viena la metafísica que fue planteada en principio por Aristóteles no era suficiente, y sobre todo en ciencia, el pensar en las relaciones fundamentales y en las causas fundamentales no parecía un proceso completo para los hombres y mujeres de ciencia. Es por esto, que de los escritos del círculo se desprenden dos premisas fundamentales: la primera es que la ciencia debe acogerse a la teoría empirista<sup>5</sup> y positivista; es decir que la forma más adecuada para adquirir conocimiento es mediante la experiencia y la ciencia en su búsqueda de la verdad y de un entendimiento de la naturaleza, no puede conformarse con la especulación y debe acudir a la experiencia. La segunda es el complemento de la primera, el análisis lógico y matemático (el método) y la organización de la experiencia (claro está que para el círculo este método es como una receta de pasos a seguir) que en conjunto configurarían el conocido empirismo-lógico o neopositivismo<sup>6</sup>. Esta corriente del pensamiento filosófico de la ciencia se direcciona como lo menciona Popper citado por Guerrero (2015) bajo el problema de cómo establecer la verdad de los enunciados científicos que tienen como base la experiencia; es decir que para la postura neopositivista las proposiciones de la ciencia son verdaderas si son comprobables mediante la contrastación por la experiencia sensible, además los enunciados deben poseer una estructura lógica coherente a la luz del método inductivo donde se pasa de hechos particulares a proposiciones generales; para los neopositivistas este debe ser el método que siga la ciencia.

Es interesante como desde la postura neopositivista se fortalecen las reflexiones derivadas del círculo de Viena, en especial con las características lógicas que deberían estar presentes en estos enunciados. Las inferencias generales como proposiciones deben cumplir con un criterio de falsacionismo; es decir que si se niega la proposición no se entra en ningún tipo de contradicción (Guerrero, 2015).

---

<sup>5</sup> El empirismo es la doctrina que se remite solo a la experiencia como una fuente confiable para conocer

<sup>6</sup> Estas premisas se toman de: Guerrero, G. (2015). Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo

Esta postura consolidó una mirada crítica de la ciencia en la que los enunciados científicos deben cumplir con una estructura lógica rigurosa, en ese sentido los enunciados son cuestionados bajo la validez de los mismos con un proceso de negación de las proposiciones.

El neopositivismo tiene en cuenta las discusiones del círculo de Viena y además propone elementos importantes en cuanto a la estructura lógica de los enunciados como la contrastación deductiva de las teorías para lo cual se requiere de cuatro procesos como lo menciona Popper citado por Guerrero (2015) el primer proceso es hacer un ejercicio de comparación lógica de las conclusiones que se enuncian logrando visualizar la coherencia lógica de la teoría, como segundo proceso es importante revisar la consistencia lógica de la teoría en cuanto a su carácter empírico, el tercer paso, es contrastar con otras teorías y verificar si la teoría constituye un avance relevante para el campo de investigación científica, y por último un proceso que es notable para la ciencia y es comprobar que las conclusiones que se derivan de la teoría se ajustan a lo empírico, es decir a la experiencia.

En 1936 se disuelve definitivamente el círculo debido a la muerte de Schick ya que el partido nazi que surgía en Alemania consideraba que este tipo de doctrinas podrían poner en riesgo su régimen y deciden asesinarlo. La suerte del resto de integrantes no fue la mejor y así lo señala Heggemann citado por Guerrero (2015) al hacer un balance: “Los representantes y seguidores del empirismo lógico- al contrario de lo que podía deducir de la tesis de Horkheimer no ocupaban ningún puesto de dirección ideológica. La mayoría había tenido que emigrar o estaba preparando su huida” (Guerrero, 2015, p. 2). Esto implicó que muchas de las ideas discutidas allí se expandieran en diferentes partes del mundo.

### **2.1.1. ¿Qué es la ciencia?**

El círculo de Viena que existió entre los años 1921 a 1936 se preguntó sobre: ¿Qué es la ciencia? y ¿cuál es su método? entre otros problemas. Uno de los filósofos que más influyó en esta discusión fue Karl Popper quien tendría posteriormente un debate sobre el progreso científico con Thomas Kuhn y además sería maestro de Feyerabend; tanto Kuhn como Feyerabend se tomaran como referentes teóricos para el desarrollo de la pregunta central en este capítulo del

presente trabajo de grado y que es relevante para el desarrollo posterior de la investigación, ya que estos autores hacen un trabajo riguroso que da cuenta de una aproximación a la concepción de ciencia y de historia de la ciencia vinculándola con lo pedagógico.

Thomas Kuhn físico norteamericano publica en 1962 su más famoso libro “*La estructura de las revoluciones científicas*”. Su interés por la historia de la ciencia tomo vuelo cuando orientó un curso de física para no científicos en la Universidad de Harvard<sup>7</sup>, estos cursos con enfoques históricos surgieron gracias a la importancia que se le dio a la ciencia y la historia de la ciencia en Norteamérica, después de la segunda guerra mundial, donde la física teórica empezó a ser fuertemente trabajada, o por lo menos así lo reconoce Kip Thorne<sup>8</sup> en un fragmento de su libro “*Agujeros negros y tiempo curvo*”. “Nosotros los norteamericanos hemos dominado en gran medida la Física teórica desde la segunda guerra mundial, y hemos contagiado a la comunidad Física mundial de nuestros niveles matemáticos escandalosamente bajos” (Thorne, 1970, p.433).

El termino paradigma puede llegar a ser un poco complicado, no obstante, una interpretación inicial de Kuhn en su obra “la estructura de las revoluciones científica” (1962); es que la comunidad científica en su mayoría debe aceptar que este paradigma explique muy bien los fenómenos físicos y sea útil para resolver viejos y nuevos problemas; es decir que el paradigma se entiende en principio como una teoría. El paradigma que se utiliza para interpretar el movimiento de los planetas es el paradigma newtoniano, aunque esto no signifique que este paradigma no pueda ser sustituido por otro que explique el fenómeno de manera satisfactoria para la comunidad científica. La segunda es que el paradigma debe estar sujeto al debate y en el momento que sea necesario deberá ser sustituido por otro, asimismo en el paradigma se recogen las leyes, por ejemplo en el paradigma newtoniano están presente las leyes del movimiento de Newton<sup>9</sup>. Otro factor es que el paradigma no solo se considera como una teoría, sino que va más allá porque se convierte en una manera de ver y situarse frente al mundo que asumen los científicos para realizar su trabajo.

El paradigma establece las normas necesarias para legitimar el trabajo dentro de la ciencia que rige. Coordina y dirige la actividad de “resolver problemas” que efectúan los científicos

---

<sup>7</sup> Información toma de Kuhn (1962)

<sup>8</sup> Kip Thorne físico norteamericano y ganador del premio nobel de Física en 2017 por la detección de ondas gravitacionales

<sup>9</sup> Ejemplo tomado de: A, Charles (1999). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo veintiuno editores. España

normales que trabajan dentro de él. La característica que distingue la ciencia de la no ciencia es, según Kuhn, la existencia de un paradigma capaz de apoyar una tradición de ciencia normal. La mecánica newtoniana, la óptica ondulatoria y el electromagnetismo constituyeron, y quizás constituyen aun, paradigmas y se califican de ciencias. (Chalmers, 1999, p. 114)

Cabe señalar que Alan Chalmers (1999).en su libro *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* se refiere al paradigma como un modo de interpretar, y esto es importante porque en la segunda edición de su libro Kuhn aclara dudas respecto al tema. Ian Hacking (1985) en su ensayo preliminar del libro *la estructura de las revoluciones científicas* (segunda edición) y de acuerdo con interpretaciones del texto posteriores señala que Kuhn en su apéndice “Algo más sobre paradigmas” deja ver el paradigma como un *estilo de pensamiento*. Esto implica que el paradigma pasa a tomar un significado que va más allá de la teoría y se convierte en una forma de pensar los fenómenos físicos.

El concepto de paradigma juega un papel fundamental en lo que Kuhn llama ciencia normal que hace parte significativa de su obra. Para llegar a esa ciencia normal se requiere de consensos y este proceso es bastante extenso si se analiza desde la perspectiva histórica. Por ejemplo, en fenómenos como la electricidad o la luz existían distintas posturas sobre su naturaleza, pero no se había construido una teoría notable, en el caso de la electricidad solo hasta el periodo comprendido entre 1740 y 1780 los teóricos lograron conformar las bases de su campo (Kuhn, 1962). Esto hace parte de un proceso de debate previo a la ciencia normal que después se configura en un paradigma. Se requiere de un tiempo en el que la comunidad científica incorpore el paradigma en las diferentes investigaciones, estas características hacen parte importante de la ciencia normal, de esta manera, se convierte en una actividad orientada a resolver problemas que los anteriores paradigmas no lograban resolver.<sup>10</sup>

En términos generales la ciencia normal es un proceso constante de actividad e investigación que busca la actualización de los paradigmas en relación a una articulación entre teoría y fenómeno. Como lo expresa (Chalmers, 1999):

---

<sup>10</sup> Tomado de ensayo preliminar de Hacking a la segunda edición “la estructura de las revoluciones científicas” (1962)

Una concepción más adecuada de la ciencia debe originarse en la comprensión del entramado teórico en el que tiene lugar la actividad científica” en este sentido se comprenderá la ciencia desde la perspectiva de Kuhn como una actividad de grupos de científicos que en su devenir histórico presenta periodos de ciencia normal y periodos de ciencia crítica, llamados revoluciones científicas, que dan origen a nuevos paradigmas. (p.110)

Paul Feyerabend físico vienes y un destacado alumno de Karl Popper hace parte del grupo de filósofos de la ciencia que produjo el círculo de Viena; uno de los textos que recoge sus objeciones de la comunidad científica y la ciencia es: “*El Tratado contra el método*” (1970). Este libro nace de la sugerencia que Imre Lakatos le hace a Feyerabend, de estructurar en un texto todas sus diferencias frente a la ciencia y sus métodos; así lo reconoce en una entrevista que dio en sus últimos años de vida para la televisión italiana en 1993<sup>11</sup>. En su libro desarrolla dos ejes de trabajo: el más importante es un examen histórico muy centrado en la física donde logra dar cuenta con hechos y argumentos de tipo histórico que efectivamente Galileo y científicos posteriores rompieron reglas establecidas por Aristóteles<sup>12</sup> (El método científico) y formalizadas mucho más adelante por Popper entre otros. El segundo eje es el contraste entre idea y acción, para esto propone lo que llama *Contra inducción* que consiste en refutar hipótesis que los científicos ya han acogido y que explican de una manera adecuada los fenómenos; un ejemplo de este concepto podría ser pensar en una teoría diferente a la Newtoniana que explicara el movimiento planetario, o una teoría distinta a la propuesta por Einstein o Newton para explicar la gravedad, esto busca oponerse al método científico tradicional y en este proceso es donde se configura el verdadero progreso en la ciencia para Feyerabend.

Lo anterior permite entender un poco mejor porqué Feyerabend dice lo siguiente sobre la ciencia: “La ciencia es una empresa esencialmente anarquista; el anarquismo teórico es más humanista y adecuado para estimular el progreso que sus alternativas basadas en la ley y el orden” (Feyerabend, 1970, p.3), En resumen, la ciencia no sigue recetas ni un orden establecido, como lo expone Toledo (1998) para Feyerabend la ciencia como una actividad social presenta distintas formas de proceder o estilos de pensamiento; es decir, desde el análisis de carácter sociológico e

---

<sup>11</sup> Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=QqlbmfvS4oU>

<sup>12</sup> Las reglas propuestas por Aristóteles contenían al empirismo y herramientas lógicas como la deducción la inducción y abducción Tomado de : Tratado contra el método (1970) Paul Feyerabend

histórico hecho por este filósofo hablar de un método científico único para producir conocimiento científico es erróneo.

Por último, se pueden encontrar elementos comunes de la visión de ciencia que tienen Feyerabend y Kuhn, por ejemplo: la ciencia es una actividad o investigación que debe reconocerse ha contribuido a mejorar la forma en que vivimos, claro está, no todo ha sido bueno y hay que reconocerlo en el caso de la bomba atómica. Otro elemento en común que se puede encontrar es que en la ciencia las verdades son transitorias y todo está sujeto a debate, no hay una verdad absoluta. Por otro lado, existen también diferencias: Feyerabend (1970) afirma que la ciencia no tiene una estructura ni un orden establecido que permita definir una única manera de hacer ciencia, mientras que Kuhn (1963) ve en las revoluciones científicas que hacen parte de la ciencia una estructura bien definida y que en la mayoría de las veces se presenta de la misma manera.

## 2.2. La Importancia de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias

Vale la pena mencionar que las perspectivas más interesantes sobre la ciencia se encuentran en reflexiones hechas por los mismos científicos. Por ejemplo, retomando lo enunciado por James Clerk Maxwell en 1860 en su conferencia inaugural para el Kings College London<sup>13</sup>. Este físico señala que cuando se acepta determinada verdad en la ciencia se asume una coherencia bajo un sistema de principios o propiedades que se establece previamente (Morales y Zambrano, 1860/1998).

Una forma de verlo es así: uno de los principios más importantes en la física *es el principio de conservación de la cantidad de movimiento*, este principio se puede demostrar matemáticamente a partir de la tercera ley de Newton.

A continuación se presenta la demostración paso a paso de la conservación de la cantidad de movimiento, donde se parte de la tercera ley de Newton. Cabe agregar que desde la tercera ley de Newton de acción y reacción, todo cuerpo ejerce una reacción de la misma magnitud de la acción a la que es sometido pero en sentido contrario.

---

<sup>13</sup> Se toma como referencia la traducción hecha por los compañeros Sandra Morales y Tukif Zambrano para el programa de maestría en docencia de la física en el año 1998. Universidad Pedagógica Nacional



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (1)$$

Se iguala la ecuación a cero.

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0 \quad (2)$$

Se representa la fuerza desde la segunda ley de Newton.

$$m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 = 0 \quad (3)$$

Se expresa esta ley en su forma diferencial.

$$m_1 \frac{d\vec{v}_1}{dt} + m_2 \frac{d\vec{v}_2}{dt} = 0 \quad (4)$$

Como la masa es una constante se puede incluir en la derivada.

$$\frac{d(m_1 \vec{v}_1)}{dt} + \frac{d(m_2 \vec{v}_2)}{dt} = 0 \quad (5)$$

La derivada es distributiva respecto a la suma por esto se puede expresar la ecuación de esta manera:

$$\frac{d(m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2)}{dt} = 0 \quad (6)$$

Cabe resaltar que la demostración es válida siempre y cuando la masa sea una constante, y la derivada se pueda distribuir con respecto a la suma<sup>14</sup>, y tiene como base el desarrollo del cálculo diferencial. Consecuentemente, se indica que la suma de la cantidad de momento lineal respecto al tiempo debe ser una constante, ya que la derivada de una constante es cero, entonces la cantidad de momento lineal se conserva. Maxwell plantea un elemento importante en la construcción de conocimiento científico como lo es la coherencia y la estructura lógica, es *verdad* que el momento se conserva, porque es coherente con un sistema matemático que se establece previamente. Bajo esta mirada la idea de *Principio* es muy importante; según Maxwell si se comprenden los principios en su totalidad es fácil comprender lo que se desprende de estos.

Si un hombre entiende lo que la Fuerza significa, solo tengo que captar su atención, y le puedo probar tantas proposiciones como yo quiera, pero si él no tiene la idea fundamental, no habrá demostraciones que valgan; él debe pensar y llegar a ello por sí mismo. (Morales y Zambrano, 1860/1998, p. 6)

Consecuentemente una de las intenciones de la conferencia es mostrar a los futuros científicos la importancia de comprender los principios que fundamentan la disciplina más allá de la matemática, ya que, si se entienden los principios, el formalismo matemático es mucho más fácil de comprender. Incluso llega a afirmar que si se comprende los principios se puede dejar a un lado la memoria y deducir de los principios lo que con frecuencia se memoriza. En ese sentido el trabajo de Maxwell aporta mucho para el presente trabajo ya que muestra una perspectiva de la ciencia y de la enseñanza de la ciencia donde entender los principios se convierte en un elemento importante.

Hoy en día la enseñanza de la ciencia y su relación con la historia de la ciencia es un campo de investigación muy enriquecido, ya desde tiempo atrás se ha mencionado su importancia, por los mismos científicos e historiadores de la ciencia, así como por los propios investigadores del campo de la enseñanza de las ciencias, donde se ha planteado su significativa importancia. Por ejemplo, como lo expresa E. Mach citado por Sánchez Ron (1988).

---

<sup>14</sup> Es importante tener en cuenta que en la electrodinámica la tercera ley de Newton no es válida, por lo tanto la demostración cobra sentido desde la mecánica newtoniana

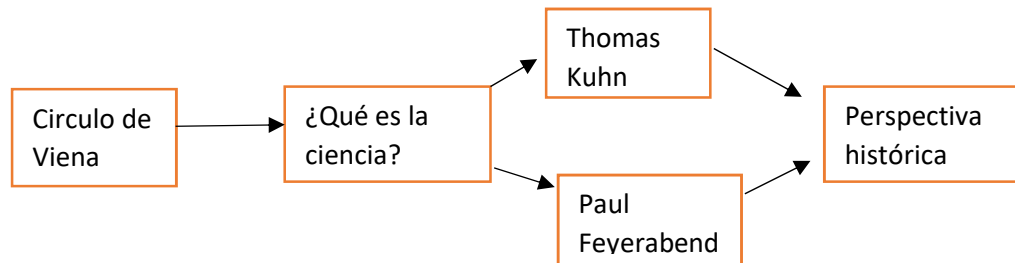
Mach un físico que dedicó un tiempo considerable a estudios históricos, escribió en su famoso libro. Desarrollo histórico-crítico de la mecánica que: “Aquellos que conocen el curso completo del desarrollo de la ciencia podrán, como una consecuencia inmediata, juzgar más libremente y más correctamente el significado de cualquier movimiento actual que aquellos que, limitados en sus puntos de vista a la época en que transcurren sus propias vidas, contemplan meramente la tendencia momentánea que el curso de los sucesos intelectuales toma en el instante presente. (p.187)

Así mismo en el prefacio de La *estructura de las revoluciones científicas* Thomas Kuhn (1962) menciona que: la historia de la ciencia tiene un aspecto de utilidad en el ámbito pedagógico, igualmente a lo largo de este libro se menciona cómo los libros de texto entraron a remplazar el estudio de los textos originales. El aporte pedagógico de Kuhn es reconocido por autores como el profesor German Guerrero Pino de la Universidad del Valle:

En particular, encuentro que los trabajos de Kuhn en historia de la ciencia, dedicados principalmente al análisis conceptual e histórico de un buen número de teorías físicas, así como las implicaciones epistemológicas y sobre filosofía de la ciencia derivadas de este trabajo histórico son significativas tanto en las reflexiones teóricas sobre la enseñanza como a la hora de implementar estrategias pedagógicas en la enseñanza de los mismos temas estudiados por Kuhn y, por extrapolación, de otros temas no directamente analizados por él, que bien podrían cubrir la enseñanza de las ciencias en general en los niveles de la media vocacional y de pregrado. (Guerrero, 1999, p. 17)

Esta afirmación se entiende bajo la conexión entre dos elementos; la imagen de ciencia y los libros de texto, Kuhn en su obra revoluciona la imagen de ciencia y enfatizó en como los libros de texto presentan una imagen de la ciencia que desconoce aspectos históricos. En ese sentido según el profesor Guerrero el aporte de los trabajos históricos de Kuhn a la enseñanza se orienta a brindar a quienes se forman para enseñar ciencia una imagen de la disciplina más coherente con lo ocurrido históricamente y que aborda conceptos tan enriquecedores como el paradigma. Cabe añadir que no se muestra una única teoría o paradigma para interpretar los fenómenos, y esto es también uno de los aspectos relevantes para la enseñanza ya que no se asumen la ciencia como una verdad absoluta y un conocimiento acabado sino que se muestran los problemas centrales de las teorías. Por otra parte, no solo Kuhn y Feyerabend influyeron en la perspectiva histórica sino

también las reflexiones del círculo de Viena fueron muy importantes, de esta manera se muestra un esquema (Esquema 1) que se propone a modo de interpretación del origen de esta perspectiva en la enseñanza:



Esquema 1: Perspectiva historia de la ciencia. Fuente propia

Las reflexiones de la filosofía de la ciencia sobre la ciencia permiten construir una determinada imagen de ciencia, claro está que desde el presente trabajo no es la intención mostrar alguna de ellas como verdadera o más cercana a la “realidad”, sino por el contrario se muestra la diferencia que existe entre las posturas de Kuhn quien tiene una mirada de la ciencia más cercana a un sistema de estructuras (teorías) en continuo cambio, al contrario de la expresada por Feyerabend que postula un anarquismo epistemológico, derivado del examen histórico que emprende en el que encuentra que algunos científico entre ellos Galileo con la construcción del telescopio no siguieron con exactitud las reglas establecidos por el método científico y por lo tanto no existe una única manera de hacer ciencia ni un orden establecido para hacer.

La perspectiva de la historia de la ciencia que se toma como referencia para el desarrollo en el presente trabajo se aleja de la visión historiografía, y tiene más en cuenta la contextualización y re contextualización de los saberes, indagando sobre los *problemas de investigación* que dieron origen a los conceptos y teorías de la ciencia, en palabras de Feyerabend: “La historia de la ciencia, después de todo, no consta de hechos y de conclusiones derivadas de los hechos. Contiene también ideas, interpretaciones de hechos, problemas creados por interpretaciones conflictivas, errores... etc. “(Feyerabend, 1970, p. 3). De esta manera se recurre a la historia de la ciencia como una aproximación distinta de la teoría habitual que permite reconocer principalmente los problemas que dieron origen a los conceptos y teorías de la ciencia que se estudian y se enseñan en el ámbito educativo. Consecuentemente, está perspectiva de la historia se toma como referencia para el desarrollo del trabajo indagando sobre, problemas de investigación que dieron origen a la teoría

de campo electromagnético y puntos de inflexión como hechos históricos que se relación con un gran cambio y fueron importantes para la teoría.

Con estas reflexiones se va consolidando una mirada importante de la historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza que tiene como base el cuestionamiento por la manera en que funciona la ciencia y que tendría una influencia grande en las investigaciones con enfoques históricos en el ámbito pedagógico durante los años 90 como: Sánchez, J (1988), Garay (2011), G, Brush (1991). Matthews, M. (1994) entre otros. En términos generales tal como lo exponen Gagliardi y Giordano (1986).

La historia de las ciencias puede permitir definir cuáles fueron los conceptos estructurantes presentes en los momentos de profunda transformación de una ciencia. Conocerlos puede ser una forma de determinar los conceptos estructurantes en la enseñanza. Al mismo tiempo la historia de las ciencias puede ser ella misma un tema de enseñanza, no como una parte de la historia, sino como una parte importante de una discusión sobre el conocimiento, para mostrar que los conocimientos científicos actuales no son verdades eternas sino construcciones realizadas en un contexto social definido. (p .254)

Por último, la importancia de la historia de la ciencia es un asunto que ha sido trabajado como se muestra en artículos de investigación y libros, de esta manera, esta perspectiva de la enseñanza se hace importante para el desarrollo del trabajado ya que da claridad sobre los aspectos pedagógicos que se pueden desprender de los estudios históricos.

### **3. Capítulo III. Conceptos previos para hablar de la teoría de campo electromagnético.**

#### **3.1. Conceptos previos.**

##### **3.1.1. Espacio.**

Immanuel Kant (1724-1804) filósofo alemán en su obra más relevante “*Critica de la razón pura*” (1781) postula una teoría intrigante sobre el conocimiento. En principio lo que habría que preguntarse para entender un poco mejor esta teoría es lo siguiente: ¿Cuál era el contexto histórico de Kant?

Durante el periodo de tiempo en el que se publica la obra existía un fuerte debate entre empirismo y racionalismo. David Hume apoyó la tesis de la construcción de conocimiento a partir de experiencia empírica. Kant va a proceder de una manera distinta: muestra que existen conocimientos a priori, es decir independientes de toda experiencia que están presentes en todo ser humano o en palabras de Kant de todo espíritu que piensa (Hirschberger, 1998).

La noción de a priori juega un papel determinante para entender lo que plantea Kant sobre el espacio. El filósofo argentino Darío Sztajnszrajber en una de sus conferencias para la Facultad Libre<sup>15</sup> explica lo que significa a priori con un ejemplo sencillo en el que recurre a un concepto de la Geometría Euclidiana:

El triángulo, se sabe es una figura plana de tres lados y cuando se observa en el papel es claro que es un triángulo porque existe una definición que así lo establece; por lo tanto, esta de alguna manera preestablecido y es independiente de la experiencia<sup>16</sup>. Esta es la principal característica cuando se habla de a priori. Teniendo en cuenta lo anterior como expresa Kant citado por Bautista (1781/ s.f.).

El espacio es una representación necesaria, a priori, que está a la base de todas las intuiciones externas. No podemos nunca representarnos que no haya espacio, aunque podemos pensar muy bien que no se encuentren en él objetos algunos. Es considerado, pues, el espacio como la condición de la posibilidad de los fenómenos y no como una determinación dependiente de estos. (p.3-4)

Desmenuzando la cita, el espacio se convierte en una representación necesaria ya que sin esta categoría no es posible que se dé el proceso de percepción; es decir sin espacio, no es clara la relación entre el sujeto y el objeto que es conocido. El argumento que se presenta es bastante bueno porque cuando se hace el ejercicio de imaginar que no haya espacio surgen dificultades que generan la imposibilidad de pensar en esta situación. Ahora bien, cuando se dice que el espacio está a la base de todas las intuiciones externas esta implícitamente la idea del espacio como una intuición pura, pues la intuición es una imagen mental inmediata que se puede construir para cada

---

<sup>15</sup> Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=9UGcF72tHAg>

<sup>16</sup> Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=9UGcF72tHAg>

objeto teniendo en cuenta sus particularidades, pero que en el caso de que sea externa depende de una intuición pura e innata como el espacio, es por esto que: la intuición pura escapa de la sensibilidad “ Llamo puras (en sentido transcendental) todas las representaciones en las que no encuentre nada que pertenezca a la sensación ” (Bautista, 1781/s.f., p. 2).

Así las cosas, el espacio y recordando el ejemplo del triángulo es un esquema preestablecido en nuestras mentes que estructura la noción de ubicación espacial de las cosas que se observan. Se podría decir que el espacio es un criterio que logra una organización de lo que se conoce por los sentidos. Cabe señalar que las dos principales características que se le atribuye al espacio son: intuición pura y representación a priori., una forma de interpretarlo es en términos de conjuntos donde se tienen elementos agrupados; entonces las intuiciones puras (elementos) pertenecen al conjunto de los a priori como una categoría grande del conocimiento.

El espacio es subjetivo e ideal como una interpretación de las ideas Kantianas, es decir, que no se puede entender como algo que tiene existencia propia sin depender de algún factor externo. En cuanto a la subjetividad Kant señala como se citó en (Bautista, 1781/ s.f.). “No podemos, por consiguiente, hablar del espacio de, de seres extensos, etc., más que desde el punto de vista de un hombre” (Bautista, 1781/ s.f., p. 5).

Llegar a entender los argumentos que presenta *La estética trascendental* de Kant en su totalidad es una tarea bastante difícil, sin embargo, plantea una cuestión interesante en cuanto al espacio y es la imposibilidad de pensarlo como algo externo sin relación a nada.

La obra de Kant muestra algunos aspectos frente a la matemática. La afirmación de que una línea recta es la distancia más corta que une dos puntos tiene como base un a priori de espacio, que implica pensar en qué tipo de espacio es correcta esta afirmación (Hirschberger, 1998).

Para concluir y volviendo a Darío Sztajnszrajber quien expone muy bien en una pequeña frase el trasfondo de la crítica de la razón pura: “El sentido de las cosas no está en las cosas, sino en el modo en que el ser humano construye ese sentido en las cosas ” (Darío Sztajnszrajber, 2019)

### 3.1.2. Newton y la acción a distancia

En 1687 Isaac Newton<sup>17</sup> publica una de las más grandes obras en la historia de la ciencia *“Los principios matemáticos de la filosofía natural”* en la que expone sus famosas tres leyes del movimiento y logra dar cuenta de la trayectoria que siguen los planetas, entre otros aportes. Newton expone su concepción de espacio y tiempo en el escolio I como un preámbulo o reglas de juego para sus leyes de movimiento, en principio hace una crítica a la concepción que tiene el vulgo<sup>18</sup> (los no ilustrados) del espacio, tiempo, lugar y movimiento, para él es necesario entender esto de una forma más rigurosa. Por lo cual considera que ese conocimiento debería tener determinadas características o criterios en los que se encuentran: verdadero, absoluto y matemático. A estos conceptos se le deben atribuir estas características y no como lo estaba interpretando a lo que llama vulgo. Consecuentemente Newton citado por Bautista (1687/ s.f.) menciona: “El espacio absoluto tomado en su naturaleza sin relación a nada externo, permanece siempre similar e inmóvil” (p. 1)

De aquí se sigue la independencia del espacio con relación a elementos externos; por lo tanto, disiente de la postura Kantiana en este aspecto ya que en ésta visión el espacio es una condición del ser humano. Posteriormente se define espacio relativo como: “El espacio relativo es alguna dimensión o medida móvil del anterior que nuestros sentidos determinan por su posición respecto a los cuerpos y que el vulgo confunde con el espacio inmóvil” (Bautista, 1687/ s.f., p. 1). Para entender un poco más esta afirmación se puede pensar en el siguiente ejemplo: Un cuerpo se desplaza desde un punto A a B en línea recta con una velocidad constante, se sabe que con el tiempo que empleo y la velocidad se puede calcular el espacio recorrido, esto sería una medida en relación al espacio absoluto a partir de lo sensible, pero no sería el espacio absoluto o inmóvil al que se refiere Newton inicialmente. Entonces es indispensable comprender la importancia del sentido que se le da al espacio cuando se habla del movimiento; en esta lógica los cuerpos se mueven en un espacio inmóvil. Bajo esta idea de espacio, se empieza a estructurar una teoría como la acción a distancia y se configura toda una mirada de la realidad física.

---

<sup>17</sup> Isaac Newton contribuyo de manera significativa a campos como la óptica y la mecánica celeste

<sup>18</sup> Vulgo se refiere a los no ilustrados



El papel preciso de Newton en el surgimiento de las acciones a distancia como explicación válida en la teoría física es, sin embargo, un tema debatido. Todos los especialistas más preeminentes de Newton han negado vigorosamente la creencia de Newton en las acciones a distancia, y han afirmado que los newtonianos del siglo XVIII que creían que estaban siguiendo su ejemplo, de hecho, estaban completamente equivocados sobre las verdaderas creencias de Newton. (Henry, 2006, p. 192)

Más allá de si Newton creía firmemente en la acción a distancia o no, la importancia de este problema en la física radica en pensar lo siguiente: si la materia tiene la propiedad de actuar a distancia, sin que algún medio actúe, o por el contrario existe un medio que posibilita la interacción, entonces la acción a distancia es posible en términos de un poder o propiedad de los cuerpos de actuar a distancia e instantáneamente. Esta acción se da casi que en términos de la misma existencia o presencia de los cuerpos. Los profesores Mario Guerra, Juan Correa, Ismael Núñez, Juan Miguel Scaron (1985), presentan un ejemplo muy oportuno.

Imaginemos una carga  $Q_2$  ubicada en reposo en un referencial R en cierto lugar A. Esta carga, para mantener su estado de reposo, debe experimentar la acción de fuerzas cuya composición origina el vector nulo (Principio de inercia). Si ahora ubicamos en otro lugar B otra carga  $Q_1$  también en reposo, es un hecho experimental que, en A, donde se halla  $Q_2$ , aparece sobre esta un efecto medible. Razonando causalmente. Decimos que este efecto sobre  $Q_2$  es consecuencia de lo que ha ocurrido en  $Q_1$ . Esta es la idea de acción a distancia. (Correa et al, 1985, p. 48- 49)

Hay que recordar que las teorías físicas en un principio se explicaban en términos de causalidad, en este caso los profesores se refieren a un razonamiento causal porque se presenta un efecto medible, pero este efecto se explica por la presencia de la carga  $Q_1$  que sería la causa. De manera sucinta esta es una de las ideas importantes que nace en el contexto de la física Newtoniana.

Una de las figuras más representativa para la física que se inclinó por una teoría distinta a la de Newton fue Michael Faraday<sup>19</sup>. Para este físico británico la acción a distancia generaba

---

<sup>19</sup>Tomado de algunos puntos de filosofía magnética (1855). "Newton dice, "que la gravedad debe ser innata, inherente y esencial a la materia, de tal manera que un cuerpo puede actuar sobre otro a distancia a través de un **vacío** sin la

ciertas dudas, vale la pena resaltar que su manera de entender el espacio era bien distinta a la de Newton porque le asignaba cualidades como la conducción. En una carta dirigida a su amigo Richard Taylor, Faraday reflexiona principalmente sobre la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia, pero su mensaje más importante está en la distinción que hace entre hechos e interpretaciones. En la parte de inicial de esta carta Faraday citado por Gramajo y Orozco (2016) deja ver su inclinación hacia una teoría atómica de la materia, aunque para ese momento esta teoría no era del todo aceptada por la comunidad de físicos, aceptar la teoría atómica implicaba lo siguiente:

Si el punto de vista de la constitución de la materia recién referida se debe asumir como correcto, y se me puede permitir hablar de las partículas de materia y del espacio entre ellas (en agua, o en vapor de agua, por ejemplo) como dos cosas diferentes, entonces el espacio se debe tomar como la única parte continua porque las partículas se deben considerar como separadas por el espacio unas de otras. El espacio permeará todas las masas de materia en cada dirección como una red, excepto que en lugar de mallas formará celdas aislando cada átomo de sus vecinos y siendo sólo él mismo continua. (Gramajo y Orozco, 1844/2016, p.2)

El espacio desde este punto de vista empieza a tomar características distintas a las que se aprecia en la teoría de Newton. Ya no es un espacio inmóvil, sino que se convierte en un ente que es capaz de permear la materia y de tener ciertas cualidades como la *conducción*. Finalmente, no se puede olvidar que para la época en la que Newton escribe sus Principia una de las ramas más respetadas de las matemáticas era la Geometría Euclidiana y que el espacio en el que se ubican los puntos materiales de los que habla Newton responden a dicha geometría.

### **3.1.3. La geometría del espacio**

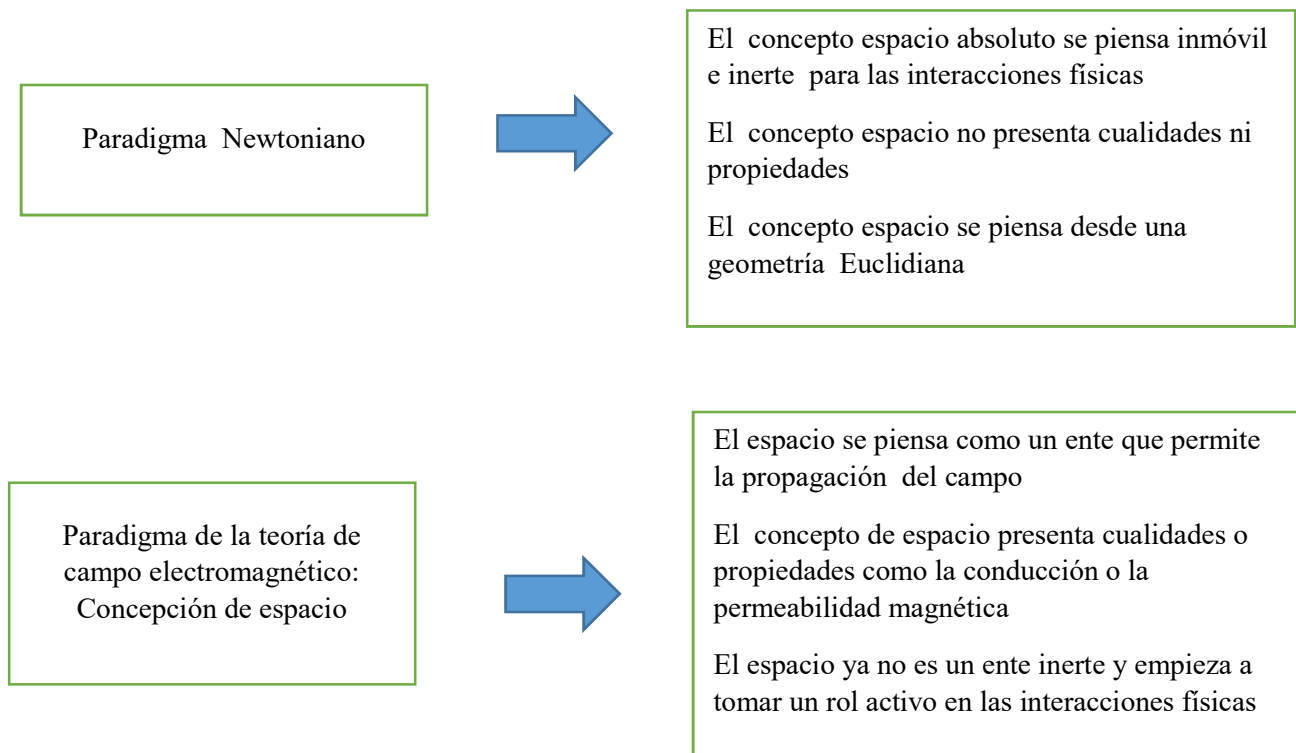
La geometría del espacio en el siglo XVII tenía su máximo trabajo teórico en los elementos de Euclides, trece tomos que recogen axiomas, postulados y teoremas que serán la base de toda la geometría: Este tipo de geometría tiene como fundamento cinco axiomas, el cuarto axioma dice

---

mediación de nada más, por y a través del cual su acción y fuerza puede ser comunicada de uno al otro, es para mí un absurdo tan grande que yo creo que ningún hombre que tenga en asuntos filosóficos una facultad de pensamiento competente pueda alguna vez caer en él”

que: “Todos los ángulos rectos son iguales entre sí” (Collete, 2006, p. 107). De este conjunto de axiomas el número cuatro va a ser crucial para darle fuerza a la teoría de acción a distancia. Hay que recordar que bajo la teoría de acción a distancia la interacción entre los cuerpos se da desde una línea que une el centro geométrico de los cuerpos. Se forman dos ángulos de 90 grados que corresponden a cada cuerpo y un segmento de recta que une los cuerpos. Para los geómetras se habla de una congruencia geométrica del espacio plano. Si estos ángulos no fueran congruentes el espacio no sería homogéneo y esto implicaría dificultades en la teoría de acción a distancia. Así que se encuentra un respaldo matemático para la teoría desde el punto de vista geométrico de la geometría de Euclides (Penrose, 2016). Por último, se presenta un cuadro comparativo donde se resaltan las diferencias del espacio entre el paradigma newtoniano y el de la teoría electromagnética del concepto de espacio mostrando una fuerte transición

### 3.1.4. Paradigmas de espacio



Esquema 2: Paradigmas de espacio. Fuente propia

### 3.1.5. Espacio y su relación con el concepto de campo

1. La concepción inicial de espacio en el terreno de la física tiene como referente a Isaac Newton quien lo representa como algo exterior en el que están los objetos durante el movimiento e interactúan, pero las propiedades o condiciones del mismo espacio no tienen efecto en las interacciones, en especial cuando son a distancia. El espacio desde los albores de la física no se consideró algo relevante en el análisis de los fenómenos físicos: “En las mentes de los físicos el espacio ha seguido siendo, hasta tiempos muy recientes, el receptáculo pasivo de todos los fenómenos y que por sí mismo no participaba en los hechos físicos” (Goldar, et a.1983, p. 88). Es por esto que el campo gravitatorio no tiene asociadas dichas propiedades, en contraste con el campo electromagnético al que Maxwell si le atribuye propiedades como la permeabilidad magnética.

### 3.2. Tiempo

Cuando se habla de las interacciones físicas a distancia el tiempo no parece ser una variable importante ya que desde el punto de vista de la acción a distancia instantánea estas interacciones son inmediatas. Albert Einstein en ocasión del bicentenario de la muerte de Newton publica un texto en 1927 para la revista alemana “Die Naturwissenschaften” donde cuestiona este punto de vista:

Considerada como un programa de todo el conjunto de la física teórica, la teoría del movimiento de Newton recibió su primer golpe de la teoría de la electricidad de Maxwell. Se había llegado a comprender con claridad que las interacciones eléctricas y magnéticas entre los cuerpos no eran debidas a fuerzas que operan de un modo instantáneo y a distancia, sino procesos que se propagan a través del espacio a una velocidad finita. Junto con el punto de masa y su movimiento, aquí surgió, de acuerdo con el concepto de Faraday, una nueva especie de realidad, es decir, << el campo >>”. (Goldar. et al, 1983, p. 66-67)

Einstein deja ver su confianza en este punto de vista debido a que la teoría electromagnética de Maxwell y posteriores experimentos de Hertz habían confirmado que las acciones electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz y esto implicaba que efectivamente la acción requería un tiempo para propagarse por el espacio o éter.

Maxwell al igual que Faraday, tenía argumentos metafísicos que la impulsaban a aceptar que la inducción electromagnética requiere tiempo para propagarse por el campo. Según el concepto de éter mantenido por Maxwell, cada parte del éter no actúa sobre los demás a distancia, si no solo sobre las contiguas. (Berkson, 1985, p. 185)

Sobre el tiempo de las interacciones uno de los físicos que más consolida sus argumentos para establecer que las acciones a distancia requieren un tiempo es Faraday. En 1855 publica para la Royal Society: Real Sociedad de Londres para el Avance de la Ciencia Natural su artículo: “Sobre las líneas físicas de fuerza magnética” allí realiza un apartado que versa sobre el tiempo de las acciones magnéticas en específico cuando se magnetiza un material como el bismuto por la presencia de un campo magnético<sup>20</sup>, pero antes de esto es importante aclarar los siguientes aspectos.

### **3.2.1. Sobre la acción magnética**

Michael Faraday en su texto de 1855 presenta su explicación sobre la acción magnética considerando la existencia de líneas físicas de fuerza (a las que a lo largo del texto hace énfasis sobre su existencia física) que están presentes en el imán y fuera de él jugando un rol fundamental en el *transporte* de la acción a distancia. Además, menciona que para la época existían algunas teorías para explicar las interacciones magnéticas que según Faraday tenían incoherencias y dificultades, sobre todo a la hora de explicar fenómenos como el diamagnetismo. (Gramajo y Orozco, 1855/ s.f.).

---

<sup>20</sup> Se toma como referencia la traducción hecha por Orozco y Gramajo (1855, s.f.).

Una de estas teorías consistía en dos fluidos magnéticos que estaban presentes en los cuerpos y que cuando interactuaban tenían la capacidad de actuar a distancia produciendo así fuerzas de atracción y repulsión, además estos fluidos se concentraban en los polos del imán<sup>21</sup>, esta hipótesis había sido trabajada por Charles Coulomb. André Marie-Ampere en 1826 en su libro titulado “La teoría matemática de los fenómenos electrodinámicos deducida únicamente de la experiencia” recurrió a las corrientes eléctricas para explicar, por ejemplo, porque se desviaba una aguja en presencia de una corriente eléctrica, su argumentación tiene como base un hecho experimental y es que cuando se tiene dos cables paralelos por los que viaja corriente se puede observar una deflexión que indica la acción de una fuerza eléctrica; por lo tanto, la interacción se da entre corrientes y debe ocurrir lo mismo entre el cable y la aguja si se considera que en la aguja hay presencia de corrientes eléctricas<sup>22</sup>; Se tiene la figura 1

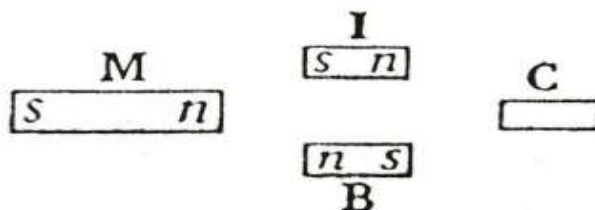


Figura 1. Representación del imán M actuando sobre el bismuto (B). Fuente: ((Orozco y Gramajo, 1855/ s., p.7)

Consecuentemente se muestra con un ejemplo sencillo de donde es que nacen las dificultades en específico en la teoría de Coulomb. **M** representa un imán, **I** es un material paramagnético, **B** es bismuto (diamagnético), por la experiencia se sabe que la acción de un imán sobre un material paramagnético es de atracción, al contrario de lo que pasa con un material diamagnético en el que se presenta repulsión, la figura 1 representa esta situación, sin embargo subyacen dificultades cuando se trata de explicar este fenómeno con la teoría de Coulomb.

<sup>21</sup> Tomado de Orozco y Gramajo (1855, s.f.).

<sup>22</sup> Tomado de Berkson 1985

Bajo la visión de Coulomb los fluidos se acumulan en los polos del imán y tienen la capacidad de actuar a distancia y producir atracción o repulsión; por lo tanto **M** está en la capacidad de perturbar la polaridad de **B** y **I** (Gramajo y Orozco, 1855/ s.f.). Pero ¿cómo se configuran los polos en **B** y **I**? Faraday en principio creía que el polo norte del imán inducía polaridad similar al bismuto, sin embargo cambia su opinión. Esta transacción se explica por lo siguiente: En principio si se analiza en términos de los fluidos, estos presentarían una dualidad debido a que se les atribuye la cualidad de repeler y atraer dependiendo de la naturaleza del fluido con el que interactúan. Para Coulomb existían dos tipos de fluidos **S** y **N** es decir que se tiene tres posibles interacciones **S-S**, **N-N**, **S-N**. Así las cosas, se pueden dar dos tipos de interacciones: interactúan fluidos de la misma clase o bien la interacción se da entre fluidos de clase diferente. Cuando interactúan dos imanes por la experiencia se sabe que se presenta una fuerza de atracción cuando se intenta unir polos de distinta naturaleza y una fuerza de repulsión cuando se acercan polos de la misma naturaleza; por lo anterior cuando se da la interacción **S-S** la fuerza será de repulsión y en **S-N** la fuerza será de atracción. Volviendo a la figura 1 se observa que la polaridad de **B** es contraria a **M** lo cual no tendría sentido si se tiene en cuenta la teoría de fluidos magnéticos de Coulomb. Cuando se acerca el imán a **B** el extremo más cercano es **n (polo norte del imán)**; en este polo se tendría este tipo de fluido que atrae a **S** y repele a **N**. Entonces el fluido **n** atraería al fluido **S** presente en el bismuto y repelería al fluido **N**, pero la figura 1 muestra una polaridad contraria. Es aquí cuando surge la contradicción porque tal y como se muestra en la figura el fluido **n** tendría la propiedad de atraer al mismo tiempo un fluido de su misma naturaleza y otro de diferente naturaleza, lo cual haría pensar que **N = S** y no sería necesaria alguna distinción tal y como señala Faraday citado por (Gramajo y Orozco, 1855/ s.f.)

Esto sería asumir dos clases de magnetismo, es decir dos fluidos norte (o corrientes eléctricas) y dos sur y el norte del bismuto diferiría del norte del hierro tanto como un polo sur del otro. Más aún, se encontraría que el norte del bismuto y el sur del hierro tienen exactamente cualidades similares en todos los puntos y que no difieren en nada más que el nombre y el sur del bismuto y el norte del hierro también probarían ser absolutamente similares. De hecho, ¿qué es esto sino decir que ellos son lo mismo? y ¿por qué no debiéramos aceptar la confirmación y prueba infalible de que esto es así, lo que nos es dado experimentalmente por el alambre móvil?. (p. 6)

Sin embargo, se podría pensar que como los fluidos tienen la propiedad de actuar a distancia el fluido S presente en M afecta la polarización, pero en esto radica el problema que tiene que ver con una inconsistencia lógica ya que se atribuye a los fluidos N y S las mismas características, por lo cual no habría razón para diferenciarlos o pensar que son de naturaleza distinta, entonces habría una contradicción.

### **3.2.2. Sobre el tiempo de las interacciones magnéticas**

Lo que hace tan importante al tiempo en las interacciones físicas es que como insistiría Faraday en sus textos y posteriores interpretaciones, estas interacciones se dan de manera local y no a distancia (Berkson, 1985). Por lo tanto, requieren un tiempo que debe ser considerado en cualquier análisis que se haga. Jhon Tyndall físico irlandés durante su vida fue muy cercano a Faraday; de hecho, publicó un libro sobre sus descubrimientos más importantes. Tyndall también trabajó sobre el comportamiento del bismuto bajo acción de un imán. (Gramajo y Orozco, 1855/s.f.). Señala que:

Tyndall ha mostrado que la condición magnética del bismuto es exaltada por tal vecindad de las partículas y por tanto tenemos una razón más para concluir que ellas actúan o se influyen una sobre la otra para la exaltación del estado de la masa. (p. 6)

Aquí Faraday agrega a su línea argumentativa ideas de su colega Tyndall que trabajó experimentalmente en las acciones magnéticas sobre el bismuto, pero además añade un argumento interesante en relación a la acción mutua y es el siguiente: Si la acción no fuera mutua iría en contra de la misma naturaleza de la acción magnética (Orozco y Gramajo, 1855/ s.f.). Esto tiene mucho más sentido si se retoma la figura 1, para que la interacción entre **M** y **I** sea de la forma que se ve en la figura las partículas que se acumulan en el extremo ejercen un poder de influencia mayor atrayendo a **S** y repeliendo a **N** que se refiere a la polaridad del imán. Si se mira desde el otro extremo la configuración en el bismuto sería la contraria. *Es decir que la acción se da entre las partículas magnéticas más cercanas, esta manera de comprender y explicar el fenómeno, desde*



*el presente trabajo, se considera como un punto de inflexión crítico ya que, empieza a ser cuestionada críticamente la teoría de acción a distancia instantánea.*

Por otra parte, cabe señalar otro factor importante en esta reflexión: Faraday analiza la condición en que los cuerpos diamagnéticos pasan de forma no instantánea a un estado de inducción magnética debido a la acción magnética. Como lo expone Gramajo y Orozco (1855/ s.f.) en la vida las acciones normalmente se realizan con un carácter progresivo, teniendo en cuenta un estado futuro y no presente, en ese sentido se tiene en cuenta que las acciones que los seres humanos emprenden normalmente son encaminadas hacia un estado futuro y en términos de un progreso de estar mejor que en un estado inicial en el que se encontraban. Allí existe un tiempo que transcurre entre un estado presente y un estado futuro. Ahora bien, estas afirmaciones están más centradas en un plano social ¿puede existir un paralelo con las acciones físicas?

Un globo o barra de bismuto en el campo magnético puede tener sus estados, antes y después de la inducción, considerados como separados por un momento de tiempo; si la inducción aumenta un estado de polaridad, el contrario a aquél del imán aumenta, luego el bismuto debiera ser más favorable a la determinación de la fuerza magnética sobre él **antes** de la inducción que **después**; mientras que si, de acuerdo con mi punto de vista, la polaridad no es contraria sino que es la misma como aquella del imán, el metal [entonces] debiera ser más favorable a la determinación de la fuerza magnética sobre o a través de él **después** de la inducción que **antes**. (Gramajo y Orozco, 1855/ s.f., p. 6)

Para entender esta afirmación es indispensable pensar en un estado inicial de la acción magnética donde ya se está llevando a cabo la acción de inducción y esto ha modificado un poco el material diamagnético, ya que si suponemos el estado inicial sin acción de la inducción no habría diferencia entre las dos situaciones.

Esta reflexión es coherente siguiendo la línea argumentativa desde la primera parte: es decir teniendo en cuenta la postura de Tyndall y las contradicciones de las teorías que existen cobra sentido el factor tiempo. Faraday relaciona las acciones físicas con las acciones de la vida propia. Las acciones de los seres humanos buscan un futuro más favorable, ahora bien, según la concepción de Faraday el bismuto adquiere una polaridad contraria a la del imán y pasa a un estado más

favorable en la determinación de la fuerza magnética que se ejerce sobre él en un estado que adquiere después de la inducción, cosa que no ocurre cuando la polaridad es similar; entonces, la acción da como resultado un estado más favorable al igual que las acciones humanas.

### **3.2.3. El tiempo y su relación con el concepto de campo**

1. Es difícil entender las acciones electromagnéticas en un contexto de inmediatez. La inducción de la polarización magnética en un material como el bismuto tarda al menos un minuto en terminar por completo. La experiencia nos dicta que las interacciones físicas requieren un tiempo, así sea muy corto, y que este tiempo indica que algo debe ocurrir en el *medio*: eso que separa a los que cuerpos que interactúan (Gramajo y Orozco, 1855/ s.f.).
2. Sobre el tiempo de las acciones magnéticas Max Planck señala<sup>23</sup> en su escrito conmemorativo de la muerte de Heinrich Hertz en 1894 como se citó en (Mulligan, 1994): “Ahora, la electrodinámica desarrollada por Webber y Neumann con base en la acción a distancia reconoce solo las interacciones pondero motrices entre imanes como dependientes de su magnetismo, pero no de las variaciones de ese magnetismo en el tiempo”<sup>24</sup>(p.393). En las teorías a las que se refiere Planck de Webber y Neumann no se considera el tiempo como una variable importante en las acciones magnéticas, en contraste con el trabajo de Faraday que reflexiona sobre el tiempo en conexión con las acciones magnéticas. En ese sentido el tiempo empieza a jugar un rol distinto al que jugaba en la teoría de acción a distancia y por esto se convierte en un elemento determinante en la teoría de campo.

### **3.3. Las interacciones a distancia**

Durante los siglos XVII y XVIII se presentaban marcos de explicación distintitos para las interacciones a distancia, físicos como Ampere, Coulomb, y Webber se inclinaban más por una

---

<sup>23</sup> Tomado de Mulligan, J. (1994). A collection of Articles and Addresses

<sup>24</sup> Traducción hecha por el autor del trabajo.

teoría de acción a distancia que recogía algunos principios de Newton como que los cuerpos tienen la propiedad de actuar a distancia por el espacio vacío, en contraste con teorías que se relacionaban más con una acción contigua que se alejaba de la teoría de Newton, algunos intelectuales de la época inclinaban sus explicaciones más a acciones de tipo local. Estas interacciones son de gran importancia para el presente trabajo ya que constituyen un problema central en la teoría de campo electromagnético

### 3.3.1. Concepción Newtoniana

Esta visión tiene como figura principal al físico inglés Isaac Newton que representó una mirada del mundo y lo que ocurría en él, esta concepción se consolidaría como un pilar fundamental de la física. El concepto de fuerza en esta concepción va a tomar un significado sustancial ya que para que exista fuerza en cualquier tipo de interacción, eléctrica, magnética, mecánica o de cualquier otro tipo se necesitan al menos de dos cuerpos que interactúen. (Morales y Zambrano, 1860/1998). A esto cabe añadir que para Heinrich Hertz en la traducción hecha por Mulligan, J. (1994). De la introducción de los “*Electric Waves*” (1893/1994) si se supone que uno de los cuerpos que interactúan a distancia desaparece no sería posible la interacción, por lo tanto, se explica el fenómeno en términos causales.

En la explicación de la concepción newtoniana se utiliza la palabra *afinidad espiritual* no podemos olvidar la formación teológica de Newton y como esto permeaba de alguna manera sus explicaciones sobre lo que ocurre en la naturaleza, incluso llegando a afirmar que el espacio es el sensorio de Dios<sup>25</sup>; es por esto por lo que la existencia misma de los cuerpos es lo que va a permitir la interacción y una especie de conexión espiritual entre ellos. Lo que separa a los cuerpos que interactúan será espacio vacío<sup>26</sup>; es decir ninguno de los dos cuerpos afecta más al otro según la tercera ley de Newton. A continuación, se presentan los puntos de vista de dos representantes para la teoría de acción a distancia en los fenómenos eléctricos.

---

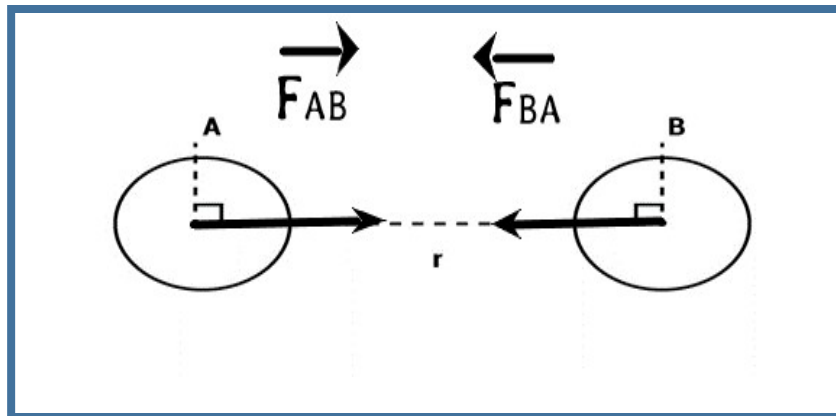
<sup>25</sup> Tomado de Isaac Newton y el problema de la acción a distancia (2006). Universidad Edimburgo

<sup>26</sup> Espacio vacío entendido desde una perspectiva Newtoniana donde no existe cuerpos o materia circundante

### 3.3.2. Charles Coulomb

Coulomb fue uno de los primeros en llegar a una expresión matemática que diera cuenta de la fuerza electrostática existente entre cuerpos que se atraen o se repelen. La expresión a la que llegó coincide con la ley de gravitación ya que ambas dependen del cuadrado de la distancia que separa los cuerpos y no se tiene en cuenta el factor tiempo (ecuación 7). **Coulomb trabajó sobre el problema de las interacciones electrostáticas, es decir la atracción de cuerpos cargados en reposo, el diagrama que se presenta es una interpretación de la fuerza electrostática bajo la teoría de acción a distancia.** Para Coulomb los fenómenos magnéticos deben explicarse de la misma forma que se explica la mecánica celeste; es decir con fuerzas atractivas y repulsivas. (Taton, 1958)

$$\vec{F}_e = k \frac{Q_a Q_b}{r^2} \hat{r} \quad (7)$$

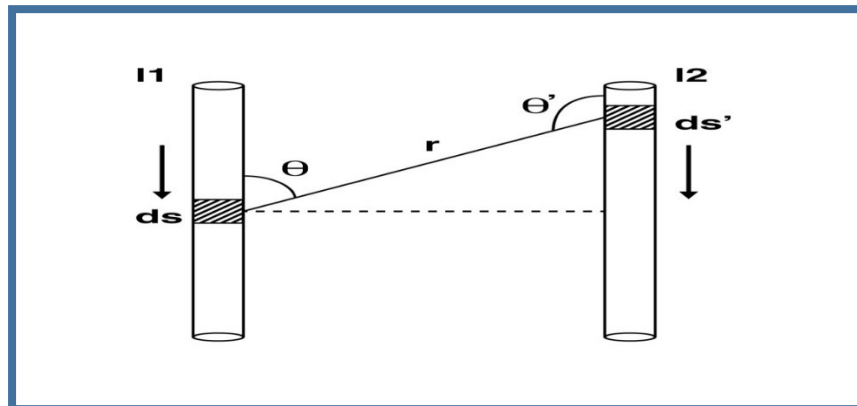


Esquema 3: Fuerza electrostatica.Fuente propia

### 3.3.3. André-Marie Ampere

Ampere físico francés observó que si se juntan dos cables por los que circula corriente sin hacer contacto se producen efectos de repulsión y atracción.

Para explicar este hecho Ampere tomo elementos de corriente infinitesimal  $ds$  que actúan como puntos materiales similares a la teoría de Newton, se unen los elementos mediante una línea que da cuenta de una fuerza central, también ampere tuvo en cuenta los ángulos entre la línea que une los elementos infinitesimales y el cable (Berkson, 1985). **El diagrama que se presenta es una interpretación de la afirmación anterior. La pregunta clave consistía en encontrar si la fuerza que se ejercía entre los cables paralelos dependía de la distancia que separa los cuerpos que interactúan al igual que la fuerza electrostática descrita por Coulomb.**



Esquema 4: Representación de elementos infinitesimales de corriente. Fuente propia

### 3.3.4. Concepción de Campo

En la traducción al español hecha por (Gracia y Roque, 1990) de la introducción de los “Electric Waves” (1893) de Heinrich Hertz se define muy bien algunos aspectos de la concepción de polarización para las interacciones a distancia, esta concepción hace parte importante de lo que aquí se llama concepción de campo. “La presión que ejerce este medio, como consecuencia de la atracción de sus electricidades internas, tira de las placas una hacia la otra” (García y Roque, 1990, p.57. Cabe añadir que Hertz en un ejercicio de interpretación de los trabajos de Maxwell estructura un punto de vista donde desaparecen las fuerzas a distancia y lo propone en la introducción del libro que se mencionó anteriormente. En este punto de vista se niega la existencia misma de las fuerzas a distancia y se concibe una afectación del espacio, además en este punto de vista se afirma que lo que causa la polarización del medio no son las fuerzas a distancia sino la electricidad de los cuerpos que interactúan; es decir si están cargados positivamente o negativamente, en ese sentido en la interacción lo que verdaderamente existe es la polarización del medio (García y Roque, 1990).

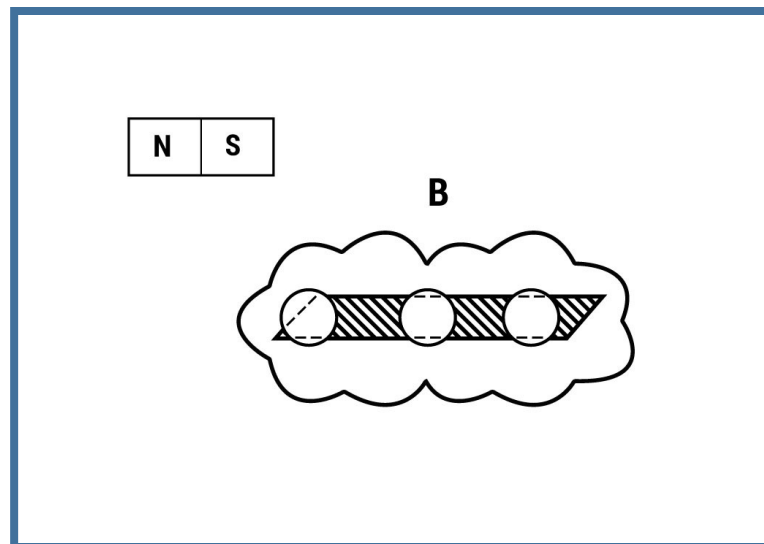
En este punto de vista la idea de polarización va a jugar un papel fundamental en la interacción; a tal punto de convertirse en algo causal, cosa que no pasa en el punto de vista de la acción a distancia donde todavía se tiene fuerzas a distancia y no existe un medio que se vea afectado por la presencia de los cuerpos cargados

Se admite que efectivamente existe una afectación del espacio. Esta mirada va a ser fundamental debido a que recoge elementos importantes en el surgimiento histórico de la teoría de campo electromagnético y en el mismo concepto de campo.

A continuación, se presenta las concepciones de Michael Faraday y Heinrich Hertz en relación a las interacciones a distancia desde el fenómeno eléctrico en el caso de Hertz y desde el fenómeno magnético en el caso de Faraday.

### 3.3.5. Michael Faraday

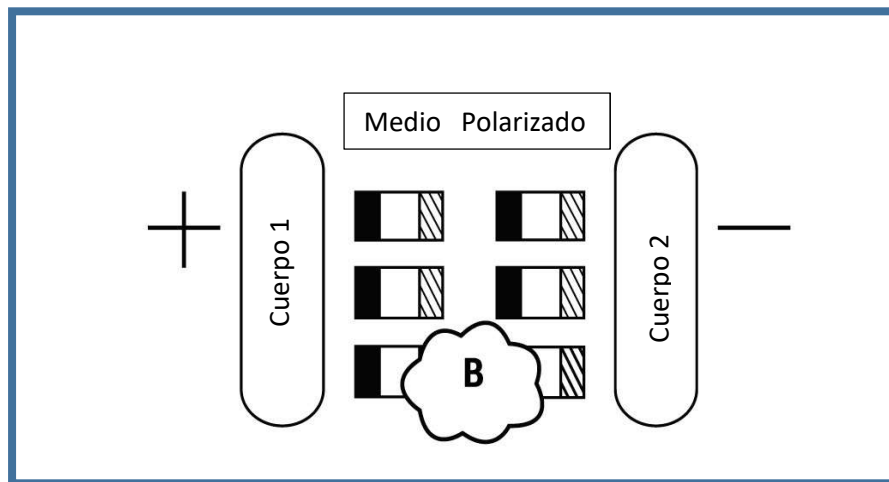
Michael Faraday estudió durante mucho tiempo los fenómenos magnéticos y eléctricos. En su filosofía magnética de 1855 **presta especial atención a la inducción de polaridad que causa un imán cuando se acerca a un material llamado bismuto y que esto es posible gracias a la acción mutua y de vecindad entre partículas, este mismo tipo de acción debe darse en el bismuto. (Ver apartado de tiempo)**. En la figura se muestra cómo desde una posible interpretación de este fenómeno debe existir una especie de tejido continuo que comunique la acción en el bismuto. Esta figura representa una mirada de la materia atomista donde existe una separación entre los átomos y a esta separación se le llama espacio.



Esquema 5. Representación de la acción del imán sobre el bismuto. Fuente Propia

### 3.3.6. Heinrich Hertz

El diagrama que se presenta hace parte de la introducción del libro *Electric Waves* del físico Hertz donde se hace énfasis en que este diagrama representa el punto de vista que constituye una interpretación de los trabajos de Maxwell hecha por Hertz, donde se tiene dos cuerpos cargados y una región B que representa vacío. Como se puede observar no se aprecian fuerzas centrales que tengan origen en los cuerpos sino que se muestra una polarización del medio que depende de la carga de los cuerpos, si se cambian de posición los cuerpos la polarización sería distinta. En ese sentido se constituye una perspectiva diferente a la de Coulomb para explicar este tipo de fenómeno donde por ejemplo el vacío representado por B no se polariza **Uno de los problemas de investigación en los que trabajo Hertz fue demostrar que las acciones electrodinámicas se propagaban por el espacio con una velocidad finita**



Esquema 6: Polarización del medio. Fuente (García y Roque, 1990).



Como bien se muestra en los cuadros y los diagramas existían dos líneas de pensamientos para explicar las interacciones a distancia, una se inclinaba hacia los conceptos de la teoría newtoniana como la acción a distancia, fuerzas centrales, otros tenían perspectivas distintas que consideraban acciones de tipo a local y consideraban lo que ocurría con el medio. Este conflicto es clave para entender cuáles son las principales problemáticas que tienen que ver con la teoría de campo electromagnético

### **3.4. ¿Qué es la teoría de campo electromagnético?**

La Historia de la física tiene como uno de sus más grandes hitos la publicación de los principios de Newton. Fue tanta su influencia que muchos físicos posteriores buscaban explicar los diferentes fenómenos (eléctricos, magnéticos, térmicos) por medio de las leyes de la mecánica (Berkson, 1985). Por esta razón no es de extrañar encontrar afirmaciones que dan cuenta de cierta inclinación hacia la teoría de Newton. Rene Taton historiador de la ciencia y ganador de la medalla Georg Sarton recorre la historia de la electricidad y el magnetismo en sus volúmenes sobre la historia de la ciencia. Allí se rescata un párrafo del físico francés Charles Coulomb<sup>27</sup> en uno de sus tratados acerca de las desviaciones de aguja imantada donde se puede ver la influencia del pensamiento Newtoniano.

La dirección de una aguja imantada no puede depender de un torrente de fluido... Resulta de la experiencia, que no son torbenillos los que producen los diferentes fenómenos de imantación, y que, para explicarlos, hay que recurrir necesariamente a fuerzas atractivas y repulsivas de la naturaleza de aquellas de que hay que servirse para explicar el peso de los cuerpos, la Física celeste. (Taton, 1958, p 600)

Esta visión de las interacciones físicas perduro por bastantes años y fue considerada como un pilar fundamental para las teorías en la física; a esta línea de pensamiento se le conoció como

---

<sup>27</sup> Charles Coulomb físico francés que estudio los fenómenos eléctricos y magnéticos; su aporte más significativo radica en llegar a una expresión matemática que diera cuenta de la fuerza electrostática

el *mecanicismo*. Sin embargo, no todos estaban de acuerdo con las explicaciones de tipo newtoniano.

*En 1820 Christian Oersted configuró una nueva rama de investigación en la física; el electromagnetismo, al observar cómo se desviaba una aguja magnética al acercarse a un conductor por el que circulaba corriente, esto implicaba que de alguna manera los fenómenos eléctricos guardaban relación con los fenómenos magnéticos. Este hecho histórico se considera como un punto de inflexión porque con esta experiencia se pasa de estudiar los fenómenos eléctricos y magnéticos como ramas de estudio separadas a iniciar un nuevo campo fenomenológico como el electromagnetismo.*

Para Charles Coulomb y André Marie Ampere físicos franceses, este nuevo acontecimiento no presentaba un problema, ya que se podía explicar cómo una acción a distancia en donde la interacción se da en una línea recta que une elementos de corriente infinitesimal de los cuerpos que interactúan, si se considera el magnetismo como corrientes eléctricas (Berkson, 1985).

No obstante, para físicos de la época estas explicaciones, aunque tenían sustento matemático<sup>28</sup> no fueron satisfactorias, entre ellos Michael Faraday que replicó la experiencia de Oersted y señalaría lo siguiente: “El conflicto eléctrico no se encuentra confinado en el conductor, sino que está muy extendido por el espacio circundante, ya que en otro caso no actuaría a distancia sobre la aguja” (Berkson, 1985, p.108).

La intención no es afirmar que la teoría de campo electromagnético es una teoría anti-newtoniana, pero si precisar que lo que le pase al medio durante la interacción va a constituir un factor determinante dentro de esta teoría. Posteriormente Faraday desarrollaría múltiples experimentos que introducirían nuevas ideas no solo en el campo de la electricidad y magnetismo sino de la física en general; la correlación de las fuerzas de la materia, las líneas de fuerza, el estado electrónico entre otras.

James Clerk Maxwell retoma algunas de estas ideas y las publica en su artículo de 1855 “*On Faradays lines of force*”<sup>29</sup> posteriormente las estructura en un conjunto de ecuaciones que físicos como Oliver Heaviside trabajarían para llegar finalmente a las ecuaciones de campo del

---

<sup>28</sup> M. Ampere en 1827 publica su trabajo Memoria sobre la teoría matemática de los fenómenos electrodinámicos

<sup>29</sup> información tomada de Berkson 1985

electromagnetismo<sup>30</sup>. Ahora bien, Maxwell construye un esquema que funciona de manera mecánica con el cual logra dar una explicación de la inducción electromagnética, esta explicación muestra la firme convicción de que en la acción a distancia se debe existir algún agente mecánico que posibilite la interacción, además como lo expone Berkson (1970) este modelo hace parte de una línea de pensamiento bajo la que trabajaron intelectuales como Descartes donde se concebían torbenillos que explicaban las interacciones, en ese sentido esta idea se encontraba presente ya en las diferentes visiones del mundo físico.

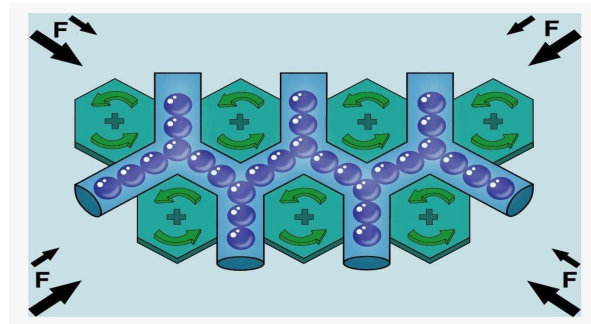


Figura 2. Modelo mecánico. Fuente Berkson, W. (1985).

Este modelo *mecánico* constituye una explicación para la acción inducción de corriente eléctrica, así se tienen hexágonos que representaban remolinos magnéticos y varias bolas con carga eléctrica en las que se desprecia la masa, algunos lados del pentágono entran en contacto con las bolas esto hace que todo el sistema esté conectado, por otro lado cuando estas bolas empiezan a moverse producen remolinos magnéticos con una  $V_i$  (Velocidad inicial) esta velocidad será igual para todos los remolinos siempre y cuando lo que separa los remolinos funcione de manera análoga a cómo funciona un piñón que logra comunicar el movimiento entre las partes contiguas. Si tenemos una disminución<sup>31</sup> en la intensidad de la corriente las bolas se moverán más lento, esto hará que la velocidad de los remolinos magnéticos disminuya  $V_f$  y exista una diferencia de velocidades con la situación inicial (Berkson.1985). Se sigue que:  $V_i > V_f$

<sup>30</sup> Información tomada del trabajo de grado Meza, E. Chaparro, H. (2015). Aportes de Oliver Heaviside a la teoría electromagnética de Maxwell y a su enseñanza (Trabajo de pregrado). Universidad pedagógica nacional

<sup>31</sup> El ejemplo también es válido para un aumento en la intensidad de corriente

Para el modelo de Maxwell esta diferencia de velocidades va a ser posible que la acción se transmita de manera contigua hasta que ocurra un movimiento de bolas que genere una inducción electromagnética (Berkson, 1970). Hay que tener en cuenta algunas consideraciones para entender un poco mejor el modelo<sup>32</sup>:

1. La masa de los remolinos magnéticos depende de la permeabilidad magnética del medio
2. El conjunto de bolas en movimiento representa la corriente eléctrica
3. Los remolinos magnéticos tienen la propiedad de ser elásticos

En resumen, se presenta una analogía mecánica que buscaba una mejor comprensión de los fenómenos electromagnéticos; es por esto que se habla de la velocidad de las bolas, entre otros factores como la elasticidad que hacen referencia a conceptos puramente mecánicos. Aunque existen elementos que diferencian la teoría de Maxwell a la de Faraday en ambos se encuentra una idea en común y es el convencimiento de la acción contigua: para Maxwell el éter es fundamental en este tipo de acciones y para Faraday los campos de fuerzas (Berkson, 1985).

Estos dos grandes pensadores consolidarían las ideas a la base de la teoría de campo electromagnético, pero faltaba una pieza que no se puede ignorar en la ciencia y es la evidencia empírica. El segundo punto constituirá una ruta metodológica para el trabajo experimental y teórico que desarrollaría Heinrich Hertz y que sería el toque final para que la teoría de campo electromagnético se consolidara como una teoría verídica en la física y que contribuiría de una manera significativa a las teorías modernas de la física como la cuántica y la relatividad. *Este hecho histórico se considera como un punto de inflexión epistemológico ya que hace referencia al experimento y los resultados publicados por Heinrich Hertz Sobre las ondas electromagnéticas y su reflexión en el aire (1888)<sup>33</sup> (Ver anexo momento D) donde se configura la confirmación experimental de que las acciones electrodinámicas se propagan por el espacio a una velocidad finita la cual era un espaldarazo muy importante para la teoría de campo electromagnético. De esta manera se constituye como un punto de inflexión epistemológico porque hay un cambio de paradigma y se construyen nuevos estilos y formas de pensar.*

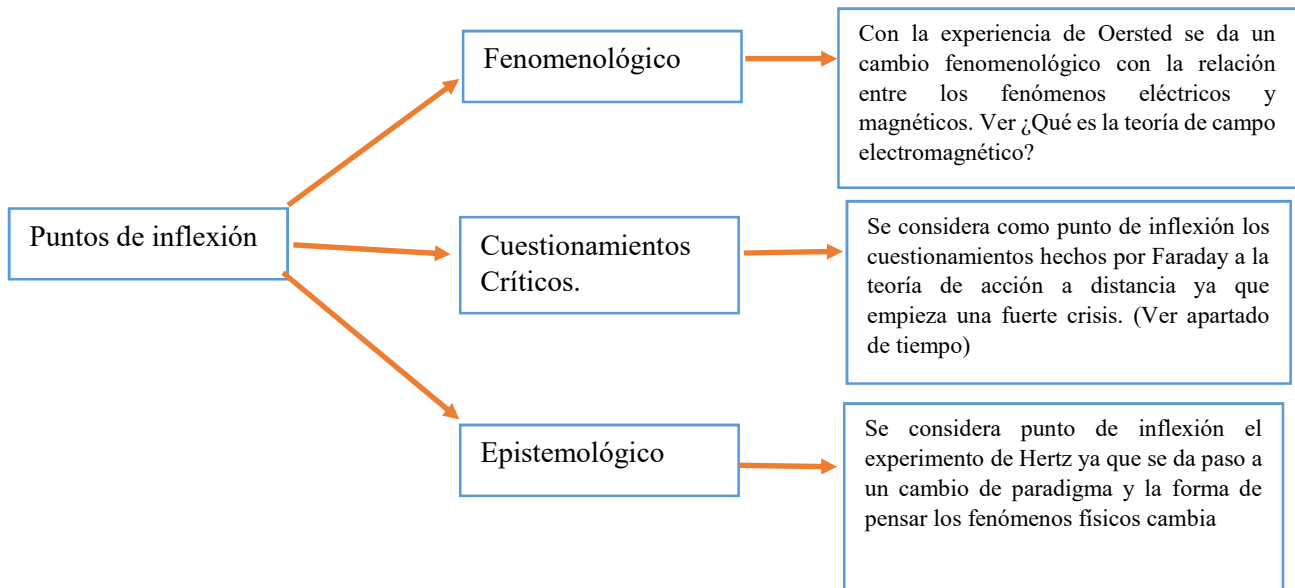
---

<sup>32</sup> Puntos tomados de Berkson 1985

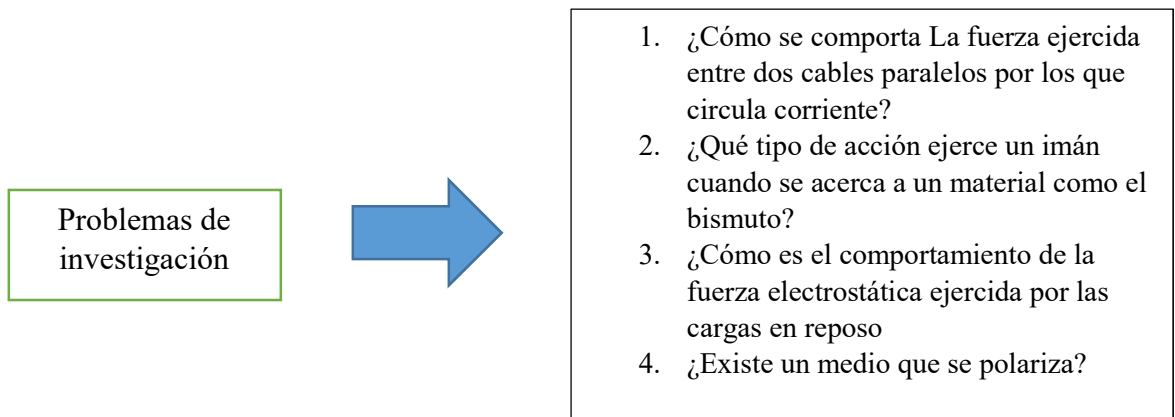
<sup>33</sup> Para mayor claridad sobre el contexto de este experimento revisar anexo A

### 3.5. Problemas de investigación y puntos de inflexión.

A continuación, a manera de síntesis se presenta los puntos inflexión y problemas de investigación derivados del estudio histórico-crítico:



Esquema 7: Puntos de inflexión. Fuente propia



Esquema 8: Problemas de investigación. Fuente propia

### 3.6. Consideraciones sobre el estudio histórico-crítico

Teniendo en cuenta que el objetivo del trabajo presenta como intención principal identificar problemas de investigación fundamentales en los inicios de la teoría de campo electromagnético, el trabajo histórico que se presenta debe entenderse como una antesala al pensamiento y las ecuaciones de Maxwell; por ejemplo la ecuación que formaliza el fenómeno de la inducción electromagnética (8) y que retoma la ley de Faraday-Lenz contiene una perspectiva de la inducción como una acción a distancia que consume tiempo y no como acciones instantáneas como se desarrolló en el apartado de tiempo en el capítulo III, en ese sentido los problemas que se identifican permiten entender el trasfondo conceptual de esta ecuación. Teniendo en cuenta las ideas expuestas por Maxwell en su conferencia de 1860 en Kings College London donde señala que los futuros científicos deben empezar por entender los principios para dar sentido a la formalización matemática (ver capítulo II) se considera que para entender el formalismo matemático que presentan las ecuaciones de Maxwell y su posterior análisis desde la electrodinámica es importante entender el principio de campo como un elemento que posibilita entender la teoría de campo electromagnético.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (8)$$

Se considera que el análisis de las ecuaciones de Maxwell es importante para comprender el campo electromagnético, sin embargo este trabajo se presenta como un análisis de tipo histórico que tiene como intención identificar una serie de problemas de investigación que dan significado a las ecuaciones de Maxwell que representan el campo electromagnético. En ese sentido se abre la posibilidad de hacer futuras investigaciones desde un análisis de las ecuaciones teniendo en cuenta los elementos derivados del estudio histórico-crítico.

## **4. Capítulo IV. Propuesta para la enseñanza de la teoría de campo electromagnético.**

### **4.1. Algunas consideraciones sobre la propuesta**

En este capítulo se presenta un estudio de tres textos universitarios, trabajo que tiene como fin explicitar las diversas representaciones que estos autores elaboran para referirse al concepto de campo. Consecuentemente, se elabora una propuesta para la introducción a la teoría de campo electromagnético para cursos introductorios al electromagnetismo en programas de pregrado. Esta propuesta se deja estructurada y no se pudo llevar a cabo en condiciones de educación presencial, debido a las actuales circunstancias impuestas por la pandemia producto del Covid-19, es decir, por el confinamiento preventivo obligatorio decretado por los gobiernos nacional y distrital, lo que obligo a una educación por medios virtuales.

La teoría de campo y en especial el concepto de campo configuran una mirada del mundo físico y de su comprensión, es tanta su importancia que se encuentra presente en la física clásica y en la física moderna, son muchos los temas que se pueden discutir con respecto a esta gran teoría.

Se considera que vale la pena como antesala a la teoría de campo electromagnético (TCE) discutir más en propiedad sobre al menos cuatro elementos: ¿Cómo se construye el concepto de campo electromagnético, ¿cómo caracterizamos el espacio y el tiempo?, además de la controversia de las interacciones a distancia que se menciona en el capítulo III. En conjunto estas discusiones permiten configurar un panorama de conceptualización de la teoría más amigable y le da un sentido y comprensión más significativa a la formalización matemática de las ecuaciones de Maxwell.

Ahora bien, producto del trabajo de investigación se plantean para la propuesta de enseñanza, considerar una serie de problemas de investigación y puntos de inflexión que se presentan al final en el capítulo III, a esto se suma los siguientes criterios que se proponen en términos organizativos y epistemológicos. Los criterios que se proponen son resultado de la investigación histórica que se emprendió teniendo en cuenta la metodología de trabajo donde de este tipo de estudios se pueden estructurar criterios que orienten los procesos en el aula.

## **4.2. Criterios**

### **4.2.1. Criterio epistemológico**

Siendo coherentes con la necesidad que se plantea en el apartado 2.2. La Importancia de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias, de que los maestros en física comprendan en qué consiste la ciencia entendida desde la actualidad, es decir, se aproximen a comprender la ciencia como una actividad dinámica y compleja de las comunidades científicas, cruzada por diversos paradigmas, se propone como criterio mostrar a los estudiantes que la teoría de campo electromagnético tiene un desarrollo permeado por problemáticas previas. En ese sentido, el concepto de campo como un recurso de los físicos a la hora de interpretar fenómenos muy específicos, permite plantear la pregunta por ¿cómo es que se llega a la teoría de campo electromagnético? o en otras palabras ¿cuál es el proceso llevado a cabo por los físicos y la comunidad científica en la construcción y consolidación de la teoría de campo electromagnético?, dicho interrogante cobra un valor significativo en el marco de la presente propuesta y se considera como un criterio central que debe ser tenido en cuenta.

### **4.2.2. Criterio de organización**

Un criterio que se propone es presentar de manera organizada y coherente elementos previos a la teoría electromagnética que permitan dar al estudiante un significado claro de los conceptos en las teorías:

- En principio es necesario introducir a los estudiantes a las teorías más importantes que surgieron entre el siglo XVII y XIX para explicar las interacciones a distancia como las que se explican en el capítulo III con Ampere, Coulomb, Faraday y Hertz. Situando a los estudiantes en el problema de que no existía una única teoría para explicar este tipo de fenómenos.
- En segundo lugar, se debe presentar la concepción de espacio desde el paradigma newtoniano y desde el paradigma de la teoría de campo electromagnético. Esto se establece con la intención de que se dé un lugar primordial a la concepción de espacio.



- Por último, para permitir una mayor apropiación a la teoría de campo electromagnético es conveniente re contextualizar el experimento de Heinrich Hertz que se trabaja en el anexo

### **4.3. Análisis de las presentaciones de la TCE en textos universitarios.**

La intención es presentar cómo se define el campo en los diferentes libros de texto sin importar que tipo de campo sea (magnético, eléctrico, gravitacional o electromagnético). Esta revisión se hace debido a que estos libros de texto universitario son frecuentemente utilizados por los maestros para presentar los conceptos a los estudiantes de manera analítica y formal, sin embargo las definiciones que en ellos aparecen, como se muestra más adelante, presentan vacíos y contradicciones lógicas. Además de difundir una imagen de ciencia estereotipada, que no corresponde a los procesos históricos que están documentados por los trabajos de investigación de los historiadores de la ciencia y de la física en particular.

#### **4.3.1. Física para ciencias e ingenieras Raymond Serway, John Jewett (2005)**

El Libro de Serway es un texto universitario dirigido a estudiantes de ingeniería y carreras afines a la ciencia, sin embargo también es un texto que utilizan los maestros; es por esto que, en este trabajo es de interés su contenido, específicamente lo relacionado con el concepto de campo. Con respecto al campo eléctrico en principio se dan los respectivos créditos a Michael Faraday como uno de los precursores del concepto de campo, pero se deja a manera de dato. “El concepto de campo fue desarrollado por Michael Faraday (1791-1867) en relación con las fuerzas eléctricas, y es de un valor tan practicado que en los siguientes capítulos le prestaremos gran atención” (Serway, 2005, p.651). A partir de esto se empieza con un desarrollo matemático teniendo en cuenta la carga fuente y la carga prueba, cabe señalar que se hace la claridad que sin importar si está, o no, la carga de prueba ( $Q_0$ ) en la región del espacio circundante de la carga fuente ( $Q$ ) el campo sigue existiendo. “El campo eléctrico provocado por la carga fuente en la carga de prueba se define como la fuerza eléctrica sobre la carga de prueba *por carga unitaria*” (Serway, 2005, p.651).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}e}{qo} \quad (9)$$

Se hace una similitud con la siguiente ecuación:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}g}{m} \quad (10)$$

Llama la atención que no se aclare que el campo eléctrico que se define y que fue desarrollado por Faraday según el libro no necesariamente tiene el mismo significado conceptual que el campo gravitacional, para el lector que se remite a este libro cabe la pregunta: ¿El campo gravitacional de la ecuación 9 y el campo eléctrico de la ecuación 8 representan el pensamiento de Faraday? Faraday desarrolla el concepto de campo a partir de una serie de experiencias experimentales de los fenómenos electromagnéticos que no se limitan simplemente a un tipo de fuerza como lo es la fuerza eléctrica; es decir su visión de campo tiene a la base experiencias de inducción electromagnética donde encontramos fuerzas eléctricas y magnética, no solo eléctricas..

#### **4.3.2. Física matemática Alonso Sepúlveda**

El profesor Alonso Sepúlveda de la Universidad de Antioquia ha publicado algunos libros de física entre ellos uno muy interesante titulado “Conceptos de la física: Evolución histórica” (2012) además, de Física matemática que es el que se analiza. Hay que tener en cuenta que este libro deja ver claramente la relación entre la física y la matemática, y es bajo esta premisa que se dan las diferentes definiciones; en el caso del campo tenemos el siguiente párrafo:

Se asume que los campos en consideración son funciones regulares, continuas y derivables, excepto posiblemente en puntos aislados. Todos los campos pueden ser, además, funciones del tiempo. En general, los campos serán descritos por ecuaciones diferenciales parciales cuyas variables independientes serán la posición y el tiempo. (Sepúlveda, 2004, p. 22)

Esta definición está más cercana a la electrodinámica clásica a diferencia de la que encontramos en el Serway. Hacerse una idea de cómo es el espacio que rodea los cuerpos que interactúan en la teoría de campo va a ser crucial. Es de rescatar que, aunque no se indague mucho al respecto al menos se menciona la consideración de que sean funciones continuas las que describan estos campos.

### **4.3.3. Física conceptual Paul Heweit Décima Edición**

El libro de texto física conceptual, es muy utilizado en el ámbito educativo. En lo relacionado al concepto de campo es interesante ver como en la definición de campo eléctrico se hace una aclaración significativa en lo referente a cuál es el grado de afectación que sufre el espacio y sus propiedades “Recuerda que en el capítulo vimos que las propiedades del espacio que rodea a un cuerpo masivo se alteran de tal manera, que otro cuerpo masivo que se introduzca en esa región sentirá una fuerza” (Heweit, 2007, p.421). Ese cuerpo masivo en el Serway se denomina carga prueba, vale la pena mencionar que este cuerpo para Heweit no necesariamente se asocia como un detector del campo, más bien se verá afectado por una fuerza. En ese sentido es relevante mencionar que se asocia el campo con una fuerza en Heweit al igual que en Serway, pero si se tiene en cuenta el punto de vista de Hertz expuesto en la sección de concepción de campo en el capítulo III las fuerzas a distancia desaparecen, entonces ¿para qué tipo de campo es válida esta relación?

Por otra parte, se considera implícitamente que la acción no es a distancia e inmediata, sino que debe existir algo presente entre los cuerpos que permite transportar esa acción. “El campo desempeña un papel intermedio en la fuerza entre los cuerpos” (Heweit, 2007, p.421). Esto es válido para cargas en reposo, pero que pasa con cargas movimiento, cómo es el comportamiento del campo en este caso. El concepto de campo eléctrico desde la definición que se da para cargas en movimiento en este el libro texto introduce un término como la perturbación. “La perturbación emana del cuerpo cargado que acelera, y se propaga a la velocidad de la luz” (Heweit, 2007, p.422-423). Desde la cita anterior es importante señalar que se admite que hay una perturbación que se propaga por el espacio con velocidad finita cuando tenemos este tipo de interacción.

#### 4.4. Aspectos base para el diseño de la propuesta

La propuesta que se presenta tiene como base el estudio histórico crítico que se realizó donde se identificaron, problemas de investigación, y se construyeron puntos de inflexión y criterios para la enseñanza de la teoría de campo electromagnético, cabe aclarar que la propuesta busca dar un panorama previo (desde los aspectos históricos que se consideraron relevantes) a la teoría formalizada.

Por otra parte la propuesta tiene como intención que se comprenda ¿cómo se construye la teoría de campo electromagnético? a la luz de una perspectiva de historia de la ciencia que como se menciona en el capítulo II no son simples datos acumulados sin ninguna interpretación, sino que contiene situaciones conflictivas que hacen pensar en el conocimiento científico y no se asume como un conocimiento acabado. Es por esto que en la propuesta se expone las interacciones a distancia desde distintos puntos de vista como se analizó en el capítulo III con la intención de mostrar a los estudiantes el valor de lo histórico. Es importante señalar que como la propuesta está dirigida a maestros y maestras que se están formando lo que se busca es que se cuestionen por la postura que asumen frente a la construcción del conocimiento científico y por la imagen de ciencia que van a mostrar a sus futuros estudiantes.

Esta propuesta se presenta como una alternativa a lo que proponen los libros de texto que se analizaron y se convierte en una herramienta a la que pueden recurrir los maestros que se están formando y los licenciados en física como una guía para orientar sus procesos en el aula.

Cuando hablamos de didáctica lo primero que se nos viene a la cabeza es algo que se refiere a una forma más flexible de enseñar algún tema, pero en realidad la didáctica implica ir mucho más allá. Una definición sencilla de didáctica sería: *pensarnos la forma de enseñar algo*, pero ese pensar implica involucrarnos en las reflexiones sobre: sociedades humanas, la cultura, la educación, la pedagogía, las ciencias de la educación para poder entender la definición de didáctica y los diversos enfoques que existen de didáctica. De esta manera es válido la pregunta: ¿Los maestros de física en su proceso de formación utilizan libros de historia de la física o profundizan en la epistemología de la ciencia para el desarrollo de sus cursos y si la incorporan como una herramienta para su vida profesional?

Si el futuro maestro en ciencias hace un ejercicio juicioso de revisar la historia de la ciencia y en particular de la física se dará cuenta de que la construcción del conocimiento científico ha sido una labor de un grupo de individuos y no de genios aislados.

Ahora bien, en el proceso de la construcción de una unidad didáctica existen unas preguntas que pueden orientar lograr claridad sobre qué es realmente lo que buscamos cuando se interviene en el aula. Producto del seminario de línea: factores del currículo se proponen una serie de preguntas que son antesala y constituyen la base pedagógica para el diseño de la propuesta: ¿Quién? ¿Con quién o quiénes? ¿Dónde? ¿Qué contenidos? ¿Cómo? ¿Con que? ¿Para qué? ¿En qué marco antropológico? ¿Cuál es la finalidad de las actividades que propongo?<sup>34</sup>

#### **4.4.1. Preguntas base para el diseño de la propuesta**

##### **¿Con quién?**

La idea es trabajar con estudiantes de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional que estén cursando electromagnetismo 1 y 2

##### **¿Dónde?**

Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Física

##### **¿Qué contenido?**

Las interacciones eléctricas y magnéticas, el concepto de espacio y tiempo y como se relaciona con el campo.

##### **¿Cómo se haría?**

Lo primero que se hace es realizar una actividad que logre recoger ideas intuitivas acerca del concepto de campo mediante preguntas, lo siguiente es hacer una lectura conjunta del texto que se construye a partir del trabajo, deteniéndose en la parte de pensar el espacio y del problema de la interacción a distancia que es tan importante para la teoría. Finalmente se analiza un fragmento de una carta que dirige Hertz a sus padres explicando el problema sobre el que estaba

---

<sup>34</sup> Estas preguntas se trabajaron durante el seminario de línea teniendo en cuenta el trabajo del Andre Klaus de la Universidad de Antioquia

trabajando a finales del siglo XIX, la idea es que los estudiantes piensen en este problema desde una perspectiva teórica y experimental.

### **¿Con que?**

Lecturas, experimentos, preguntas problema

### **¿En qué marco antropológico?**

La propuesta de aula se sitúa en una perspectiva de los seres humanos y sus relaciones sociales, en el marco de la cultura y como está influye en nuestro conocimiento y nuestra manera de ver el mundo. Entendiendo la cultura como algo que está muy al interior de cada individuo y se ve reflejado en las sociedades humanas.

### **¿Cuál es la finalidad de las actividades que propongo?**

- Una intención general que busco con las actividades es dar cuenta de la importancia y el valor del carácter histórico de la física, y si se puede generar interés en los chicos por la historia de la física
- Que los estudiantes logren dar significado al concepto de campo en el marco de los fenómenos físicos no solo electromagnéticos sino de la física en general en la teoría de campo
- Conocer la ideas intuitivas o esquemas explicativos previos alrededor del concepto de campo y del origen de la teoría de campo
- Indagar sobre los conocimientos históricos que tienen los estudiantes sobre el desarrollo histórico de los fenómenos eléctricos y magnéticos
- Lograr una reestructuración del significado del concepto de campo y aproximar a los estudiantes a miradas nuevas sobre los fenómenos que estudiamos a diario en las aulas.

#### 4.5. Síntesis de las actividades que se proponen

A continuación, se presenta una síntesis de las actividades que se diseñaron para la propuesta de enseñanza. Introducción a la teoría de campo electromagnético. Para una mayor descripción se recomienda al lector remitirse al anexo A donde se presenta la propuesta completa. La propuesta está estructurada en 4 momentos cada uno de los cuales como se presenta en el anexo A, contiene objetivos, actividad propuesta y ejercicio de reflexión.

##### 4.5.1. Momento A. Preguntas iniciales

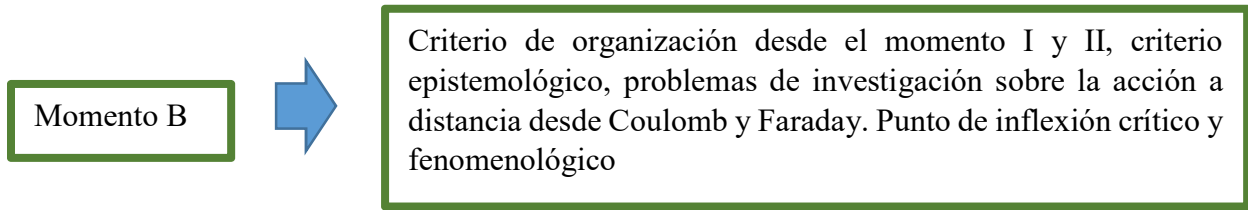
En este momento se plantea un conjunto de preguntas iniciales para los estudiantes con la intención de identificar si en sus conocimientos previos o ideas intuitivas relacionan el concepto de campo con los conceptos de espacio y tiempo. Por otra parte, también se indaga con las preguntas por el desarrollo histórico de la teoría de campo electromagnético.



Esquema 9: Momento A preguntas iniciales

##### 4.5.2. Momento B. Introducción a la teoría de campo electromagnético

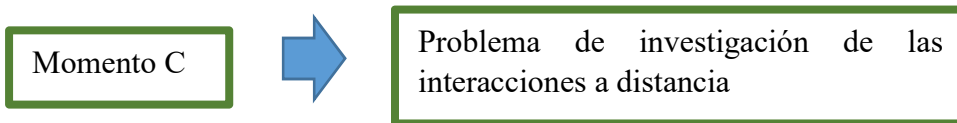
En este momento se propone abordar la lectura por grupos “Una breve introducción al concepto de campo” escrito elaborado para el curso por el autor de este trabajo a partir del estudio histórico realizado, que se encuentra en el anexo A. Esta lectura está dividida en tres partes que recogen el criterio de organización ya que la organización que se le da a la lectura corresponde con los dos primeros momentos que se plantean en este criterio que se propuso al principio de este capítulo. En cada parte se propone un ejercicio de reflexión, la intención es mostrar cuales fueron los problemas de investigación como los Faraday y Ampere que dieron origen a la teoría de campo electromagnético.



Esquema 10: Momento B: Introducción a la teoría de campo electromagnético

#### 4.5.3. Momento C. El problema de las interacciones a distancia.

La teoría de Maxwell fue muy importante para consolidar la idea de campo electromagnético, en este momento se retoma el modelo mecánico que se propone en el capítulo III. La idea es que los estudiantes piensen en esquemas mecánicos para explicar la inducción electromagnética.



Esquema 11: Momento C Interacción a distancia

#### 4.5.4. Momento D. La consolidación de teoría de campo electromagnético.

En este momento se trabaja con base en un punto de inflexión epistemológico enunciado en el capítulo III en relación con el experimento de Hertz. Se plantean una serie de preguntas para los estudiantes con base en el texto elaborado, la intención es que los estudiantes comprendan el problema bajo el que se sitúa Hertz para hacer su montaje experimental.



Esquema 12: Momento D consolidación de la teoría de campo electromagnético



## 4.6.Conclusiones

### 4.6.1. Conclusiones de orden pedagógico

- Reflexionar sobre qué es la ciencia es de vital importancia para quienes se forman como maestros en esta disciplina ya que muchas veces se enfatiza en conocer leyes o principios para estar en la capacidad de usarlos para resolver ejercicios, pero se deja a un lado conocer cómo se llega a esas leyes y principios; por esto es necesario comprender que la ciencia abarca múltiples aspectos: como la lógica, la matemática, el experimento y esto no se puede ignorar en la enseñanza de la física y de cualquier rama de la ciencia. Indagar sobre la historia de la ciencia brinda la posibilidad de conocer los problemas de investigación que llevaron a las teorías que se enseñan actualmente y comprender un poco mejor la actividad científica, si el maestro tiene este tipo de formación histórica se garantiza la presentación de los conceptos en un contexto más claro, además se permite construir una imagen crítica de los procesos en la ciencia y sus objetivos
- A partir del trabajo de investigación se considera que es necesario detenerse y reflexionar sobre algunos elementos previos a la teoría de campo electromagnético como lo son: el espacio y el tiempo. Si se piensa abordar a modo de introducción la teoría de campo electromagnético desde una mirada histórica, se debe considerar el desarrollo de estos elementos, de tal manera que permita hacer un contraste de como la evolución de éstos conceptos dio origen a la teoría de campo electromagnético. En ese sentido uno de los criterios para la enseñanza que se propone es: analizar en detalle estos elementos antes de empezar a hablar de campo como tal, ya que esto permite poner de presente algunas problemáticas como la acción a distancia, además del criterio epistemológico donde se propone comprender la construcción de la teoría de campo electromagnético y el concepto de campo.
- Por otra parte se propone un segundo criterio para la enseñanza que tiene que ver con los puntos de inflexión en el desarrollo de la teoría de campo electromagnético: El primero es la construcción del electromagnetismo por parte de Christian Oersted en 1820 al observar la deflexión de una brújula en cercanías de una corriente; este hecho sería replicado posteriormente por Faraday y plantea la posibilidad de preguntarse por lo que ocurre

alrededor de la corriente y como se relaciona con el imán. Un segundo punto es la reflexión hecha por Faraday en relación al tipo de acción magnética de un imán sobre el bismuto donde se posicionan las acciones locales y no a distancia. El tercero son los trabajos de Heinrich Hertz en 1888 donde demuestra experimentalmente que efectivamente las acciones eléctricas se propagan a través del espacio con cierta velocidad y no de manera inmediata. De esta manera los estudios históricos y en especial los estudios histórico-críticos contribuyen a la formación de maestros ya que le permiten tener una imagen más amplia del significado de los conceptos y las teorías que se proponen enseñar y además identificar los conceptos previos y los problemas que dieron origen a las teorías. Recordando que el significado de cada uno de los conceptos solo es comprendido al interior de la teoría que le da su particular sentido. Lo que posibilita trabajar con los estudiantes desde sus propios conceptos previos, que conduce a una mejor comprensión de dichos conceptos. Como se observa del desarrollo de la investigación el diseño de la propuesta de enseñanza: Introducción a la teoría de campo electromagnético se estructura con base en todo el estudio histórico crítico previo y los materiales para llevarla a cabo se obtienen también de dicho estudio.

#### **4.6.2. Conclusiones de orden teórico**

- El concepto de campo puede llegar a ser un poco confuso en especial cuando se contrasta las definiciones de los libros de texto, con los textos originales de las personas que fueron pioneras en esta idea. Para explicar mejor esto, se puede pensar en lo siguiente: En los libros de texto se refieren al campo eléctrico como una región del espacio y al campo que producen cargas que se mueven como una perturbación que se propaga por el espacio en forma de onda, se puede pensar que más allá de que el campo eléctrico y electromagnético presentan diferentes características deberían tener rasgos comunes; en la definición inicial del campo eléctrico se asume como una región del espacio y en la definición posterior el campo se propaga por el espacio como un ente diferente al espacio. Cabe la pregunta: ¿El campo es parte del espacio o es un ente que se propaga por él? a partir de la investigación se concluye que se le debe dar significado a los conceptos en el marco de las teorías, el campo como una región del espacio cobra sentido en un paradigma newtoniano donde el

espacio es inerte y el campo como un ente que se propaga por el espacio se relaciona más con una teoría donde existe un medio que se polariza.

- El problema fundamental que surge entre las distintas explicaciones de las interacciones a distancia y que se explica en el capítulo III. Es cómo se demuestra que las interacciones a distancia son instantáneas, o por el contrario son acciones que se propagan por el espacio a una velocidad finita. Pensar en este problema como lo hizo Hertz en su momento se convierte en un elemento clave para entender el origen del campo y la teoría de campo electromagnético
- El tiempo es un elemento clave, no más importante que el espacio, pero sí es necesario como parte de una introducción al concepto de campo. En la concepción de acción a distancia este elemento no es considerado por ejemplo en la ecuación matemática de Newton para la fuerza gravitacional, no se tienen en cuenta el tiempo. Michael Faraday pone de presente la importancia de considerar que las acciones magnéticas requieren un tiempo, en ese sentido y agregando que el campo matemáticamente se define como una función del tiempo (Capítulo IV), este factor va a ser indispensable para aproximarse a una noción del campo.

#### **4.6.3. Conclusiones de orden histórico**

- El desarrollo histórico del concepto de campo da cuenta de un factor que en ocasiones se olvida y es como algunas teorías nacen y se estructuran en debates muy fuertes que contraponen diferentes hipótesis para explicar los fenómenos físicos y es algo que Thomas Kuhn señala en su obra las revoluciones científicas (1962). En el caso del surgimiento y construcción del concepto de campo se tienen dos grandes teorías: una es la acción a distancia e inmediata, que fue desarrollada en el electromagnetismo por investigadores científicos como Marie Ampere, Charles Coulomb y Neumann y la otra es la acción local y mediata, trabajada principalmente por Faraday, Hertz y Maxwell bajo la confrontación que se da en el contexto de los primeros desarrollos de la electricidad y el magnetismo durante el siglo XVIII y XIX

- Historiadores como: Thomas Kuhn y José Manuel Sánchez Ron señalan que la revolución más grande en el campo de la física la encabezaron la teoría cuántica y la teoría de la relatividad, sin embargo, desde el presente trabajo se considera que la teoría de campo de alguna manera ha sido poco reconocida como una revolución histórica, ya que sus precursores fueron los primeros en pensar de una manera distinta a la que se venía haciendo. Y las revoluciones tienen que ver mucho con eso, con romper ideas, y sistemas establecidos y la teoría de campo electromagnético junto con Hertz, Faraday y Maxwell logró esto.

#### **4.7. Conclusión general del trabajo**

- Finalmente, se puede concluir que la realización de este tipo de trabajos, de corte histórico-crítico contribuye de manera significativa en la formación como docentes de física y seguramente en la formación de los futuros licenciados en física, pues como se demuestra a lo largo de este trabajo los estudios histórico-críticos aportan no solo problemas de investigación que se pueden llevar a las aulas; hechos históricos puntuales que dieron origen a las teorías, los cuales se denominan puntos de inflexión, sino también aportan una mirada más contemporánea sobre la actividad científica, elemento que se considera actualmente central para la enseñanza de las ciencias.

#### **Referencias Bibliográficas**

- Albornoz, P. (2019). Análisis conceptual del tratado de J. C. Maxwell desde la perspectiva de campos para la enseñanza de la electrostática. (Trabajo de pregrado). Universidad pedagógica nacional, Bogotá
- Asociación Ernst Mach. (2002). La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena. *Redes* 9(18), 105-149. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/659>
- Ayala, M. Malagón, F. Guerrero, G. (2014). La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. Universidad Pedagógica Nacional grupo física y cultura

- Ayala, M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la re contextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Rev Pro-Posiciones*, 17(1). pp 19-37
- Bautista, G (1687/ s.f.). Los principios matemáticos de la filosofía natural. Universidad pedagógica Nacional
- Bautista, G (1781/ s.f.). Crítica de la razón pura-Primera parte de la doctrina elemental trascendental. La estética trascendental. Universidad pedagógica Nacional
- Berkson, W. (1985). Las Teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein (segunda versión española ed.). Madrid, España: Alianza Editorial
- Bizzo, V. Nelio M. (1993) Historia de la Ciencia y Enseñanza de la Ciencia: ¿Qué paralelismos cabe establecer?, *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 5:18, pp. 5-14, DOI:10.1080/02147033.1993.10821069
- Brush, S. (1991). Historia de la ciencia y enseñanza de la ciencia. *Rev. Comunicación lenguaje y educación*. 11(12). pp. 169-180
- Chaparro, H. Meza, E. (2015). Aportes de Oliver Heaviside a la teoría electromagnética de Maxwell y a su enseñanza. (Trabajo de pregrado). Universidad pedagógica nacional, Bogotá
- Charles, A. (1999). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo veintiuno editores. España
- Collete, J.P. (2006). Historia de las matemáticas. Editorial siglo veintiuno editores. España
- Correa, J. Guerra, M. Núñez, I. Scaron, J. (1985). Física elementos fundamentales Tomo II. Editorial Reverté. España
- Fernández, I. Gil Pérez, D. D. Valdez, P. Vilches, (2005) ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? UNESCO.
- Feyerabend, P. (1970). Tratado contra el método. Madrid. Editorial Tecnos
- Gagliardi, R. Giordano, A. (1986). La historia de las ciencias: Una herramienta para la enseñanza *Laboratorio de Didáctica y Epistemología de las Ciencias*, Universidad de Ginebra. 4(3). pp 253-258
- Garay, E. (2011). Perspectivas de historia y contexto cultural en la enseñanza de las ciencias: discusiones para los procesos de enseñanza y aprendizaje. *Ciencia y Educación* .1 (17). pp 51-62
- Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 11(2), 197–212. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/23403>

- Goldar, A Jose, M. Flores, A. (1983). Sobre la teoria de la relatividad. Grandes pensadores, Editorial sarpe. España.
- Gracia, A.M. Roque, X. (1990). Las Ondas Electromagnéticas. Selección de las Untersuchungen. (G. D. Bellaterra, Ed., & G. D. Bellaterra, Trad.). Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona
- Gramajo, M. Orozco, J. (1855, s.f.). Sobre algunos puntos de filosofía magnética. Universidad pedagógica nacional
- Gramajo, M. Orozco, J. (1844/2016). Una especulación acerca de la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia. Universidad pedagógica nacional
- Guerrero, G. (1999). Elementos para la enseñanza derivados de la obra de T.S Kuhn. Física y cultura; cuadernos sobre historia y enseñanza de la ciencia. No 6. Universidad del Valle. Pp 17-32
- Guerrero, G. (2015). Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo. La concepción científica del mundo. El círculo de Viena: un balance. Universidad del valle programa editorial. Cali, Colombia.
- Hacking, I. (1985). Revoluciones científicas Fondo de cultura económica. México
- Henry, J. (2006). Isaac Newton y el problema de la acción a distancia. Estudios filosóficos. Universidad de Antioquia. No 35, pp 189-226
- Hewitt, P. (2007). Física conceptual. Décima edición. Pearson educación. México
- Hirschberger, J. (1998). Breve historia de la filosofía. Herder Editorial. Barcelona. España
- Kuhn, T. (1962). La estructura de las revoluciones científicas. Mexico DF. Mexico. Fondo de cultura económica
- Lakatos .I. 2011 Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones racionales .editorial Tecnos. España
- Matthews, M.R (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual .Historia y epistemología de las ciencias. 12(2). pp. 255-277
- Morales, S. Zambrano, T. (1860/1998). Conferencia inaugural de James Clerk Maxwell en el King college London. 1860. Universidad pedagógica nacional
- Mosquera, G. (2017). Una propuesta para la enseñanza de la radiactividad en docentes en formación inicial desde un análisis histórico crítico. (Trabajo de pregrado). Universidad del valle, Cali.
- Mosquera, R. (2015). “Uso de la historia de la ciencia para la enseñanza de la didáctica de la física a través de un proceso metacognitivo” (Trabajo de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

- Mulligan, J. (1994). Heinrich Hertz (1857-1894). A collection of articles and addresses. Garland publishing, NC. New York and London
- O.I,Lombardi.(1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: Argumentos y contrargumentos Rev Historia y epistemología de las ciencias. 15(3). pp 343-349
- Orozco,J.( 2005).Atajos y desviaciones los estudios histori-criticos y la enseñanza de la ciencias. Universidad pedagogica Nacional
- Padra, W. (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. (Trabajo de pregrado). Universidad pedagógica nacional, Bogotá.
- Penrose, R (2007).El camino a la realidad: una guía completa de las leyes del universo. Editorial debate. España
- Piaget, J (1970). Lógica y conocimiento científico. Naturaleza y métodos de la epistemología. Editorial proteo. Buenos aires. Argentina
- Ramos, Y. (2016). Reflexiones sobre el concepto de campo en Física una re-contextualización. (Trabajo de pregrado). Universidad pedagógica nacional, Bogotá.
- Sanchez, J.(1988). Usos y abusos de la historia de la física en la enseñanza. Rev Historia de las ciencias y enseñanza. 6 (2). pp 179-188
- Sepúlveda, A. (2009). Física matemática. Editorial universidad de Antioquia. Medellín. Colombia
- Serway, R. Jewett, J. (2005). Fisica para ciencias e ingeniería. Volumen 2 séptima edición. Editorial cenage lerning. Mexico.DF
- Stanzanjberlker,D.(2019).Conferencia Critica de la razon pura tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=9UGcF72tHAg>
- Taton, R. (1954). La ciencia moderna. Volumen II.Ediciones destino. Barcelona.España
- Thorne,K.(1994).Agujeros negros y tiempo curvo el escandaloso legado de Einstein Editorial critica.España
- Toledo, U. (1998). La epistemología según Feyerabend. Cinta moebio 4: pp.102-127
- Villalobos, P. (2019). Análisis conceptual del tratado de JC. Maxwell desde la perspectiva de campos para la enseñanza de la electrostática. (Trabajo de pregrado). Universidad pedagógica nacional, Bogotá.

## ANEXO

### Propuesta de enseñanza

#### Momento A: Preguntas iniciales

##### Objetivo

Reconocer las ideas intuitivas y esquemas explicativos de los estudiantes acerca del concepto de campo electromagnético, además de indagar sobre sus conocimientos acerca del desarrollo histórico de la teoría electromagnética.

##### Actividades Propuesta:

Se propone abordar unas preguntas iniciales con la intención de generar dudas o inquietudes a los estudiantes un ambiente propicio para el debate y la construcción de conocimiento. Se asume el rol de maestro en este momento como quien modera y reconoce los cuestionamientos de los estudiantes, identificando sus conocimientos previos

##### Preguntas iniciales

¿Por qué un imán es capaz de hacer que un trozo de hierro a cierta distancia se mueva?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



¿Conoce la teoría de la acción a distancia?

---

---

---

---

---

¿Conoce la teoría de campo gravitatorio?

---

---

---

¿Considera que existe una diferencia entre espacio y Campo?

---

---

---

---

Cada una de estas preguntas será discutida por los participantes de la clase, a partir de sus conocimientos previos y sus experiencias. Estas preguntas propuestas por el docente permiten construir un ambiente de aula participativo y un ámbito problemático, desde el cual los participantes se interroguen y propongan sus propias preguntas frente a lo planteado por la clase. El papel del maestro es entonces orientar la discusión hacia los fenómenos electromagnéticos y suscitar en los estudiantes un interés por indagar sobre este tipo de fenómenos.

### **Ejercicio de reflexión:**

- Cada uno de los participantes realiza una síntesis personal de las discusiones, base para sus futuras reflexiones y aportes.

### **Momento B: Introducción a la teoría de campo electromagnético**

#### **Objetivo**

Presentar las principales problemáticas y elementos previos que dieron origen a la teoría de campo electromagnético por medio de una lectura conjunta con los estudiantes.

#### **Actividad propuesta:**

En esta actividad se aborda una lectura en tres partes, la organización que se le da tiene que ver con los criterios que se enuncian en el capítulo 4, se busca que los estudiantes comprendan la importancia de los conceptos de espacio y tiempo en la teoría de campo electromagnético

## Una breve introducción a la teoría de campo

### I. Lectura 1. El campo como idea en la organización de la experiencia

La construcción de conocimiento científico y en especial de la Física tiene como pilar fundamental establecer principios y leyes que sean útiles para explicar los hechos que ocurren en la naturaleza. Cuando se estudia Física aparecen conceptos que pueden ser muy confusos, en ese sentido vale la pena resaltar que los científicos construyen conceptos intangibles como la energía, el campo, la vida; a partir de experiencias en la mayoría de veces con cosas tangibles como la materia. Un ejemplo claro de ello es la idea de la discretización de la materia. En el momento en que se encontró que la combinación de sustancias ocurría en unas proporciones muy específicas de lo que hoy conocemos como pesos atómicos surgen las primeras concepciones de cómo debería ser la materia para que esto ocurra de esta manera y no de otra. Mario Bunge filósofo y físico argentino describe este factor en el trabajo científico de la siguiente manera:

Los científicos conjeturan lo que hay tras los hechos observados, y de continuo inventan conceptos tales como los de átomo, campo, masa, energía, adaptación, integración, selección, clase social o tendencia histórica). Que carecen de correlato empírico, esto es que no corresponden a preceptos aun cuando presumidamente se refieren a cosas, cualidades o relaciones existentes objetivamente. No percibimos los campos eléctricos o las clases sociales, conjeturamos su existencia a partir de hechos experimentables (Bunge, 1960, p 24).

En el caso del concepto de campo surge con un problema muy específico; pensar cómo interactúan cuerpos a distancias. ¿Cuál es el mecanismo que posibilita la acción? De esta manera se pone de presente un elemento epistemológico que en ocasiones se olvida, pero que es fundamental y es cómo se construyen los conceptos que se estudian en la física. Hacer el ejercicio de identificar el problema que está detrás de todo conocimiento es una tarea muy valiosa y necesaria para la enseñanza.

## Ejercicio de reflexión

Elabore un escrito sobre la anterior lectura con base en sus propias reflexiones sobre lo que considera importante para su formación como docente de física. El escrito que se elabora debe tener el desarrollo de la siguiente pregunta: ¿Es relevante que los maestros en formación estudien la construcción de conocimiento científico?

### II. Lectura 2 La insuficiencia de la Teoría de Newton

La historia de la física muestra diferentes corrientes de pensamiento que se han visto envueltas en polémicas como el Atomismo vs Energetismo donde aceptar la idea del átomo se convirtió en el foco del problema. En estas corrientes de pensamiento se encuentre el **mecanicismo** que buscaba explicar todo tipo de fenómenos en términos de conceptos mecánicos como el movimiento. Maxwell<sup>35</sup> citado por Morales y Zambrano (1860/1998) señala que aunque en su momento no se tenía certeza de la relación de materia y movimiento con la electricidad, el calor o la química existía suficiente evidencia para comprender que estudiar este tipo de fenómenos a la base de ideas mecánicas era de gran utilidad. La mecánica recoge distintos temas de estudio, por ejemplo la **Estática** que tiene como enfoque preguntarse por el equilibrio de los cuerpos, la **Dinámica** que se relaciona con las causas del movimiento y surge un concepto como la fuerza “La fuerza es aquí considerada como la causa del movimiento de un cuerpo. Pero la fuerza es siempre la acción entre dos cuerpos y es el resultado de alguna relación entre ellos” (Morales y Zambrano, 1860, p 4). La **Cinemática** que estudia lo que ocurre durante el movimiento en términos espaciales y temporales, esta ciencia se incluyó en el estudio de fluidos en la **Hidrostática** y la **Hidrodinámica**.

Maxwell se sitúa en un contexto bajo el cual la ciencia de la mecánica empieza a consolidarse y a tomar fuerza, por esta razón a lo largo de su conferencia resalta la utilidad de esta teoría. Sin embargo, para 1860 si bien la electricidad habría logrado consolidar sus bases de estudio<sup>36</sup> no

---

<sup>35</sup> Se toma como referencia la traducción hecha por Morales, S.Zambrano,T.(1860/1998).Conferencia inaugural de James Clerk Maxwell en el King college London.1860.Universidad pedagogica nacional

<sup>36</sup> Según Thomas Kuhn los teóricos de la electricidad logran consolidar su campo de estudio entre 1740 y 1760

existía una teoría mecánica fuerte y consolidada de este fenómeno. Debido a esta situación y los frutos de la teoría mecanicista se insistía permanentemente en la necesidad de extender esta teoría a los distintos objetos de estudio de la Física. De esta manera la importancia de la teoría mecánica radica en su utilidad y su extensión para explicar los distintos fenómenos físicos.

Este fanatismo por explicar los fenómenos con una única teoría también se vio reflejado en el problema de las interacciones a distancia; este tipo de interacciones a distancia Newton las había explicado como acciones instantáneas que dependen del cuadrado de la distancia que separa a los cuerpos que interactúan. Coulomb extrapola estas premisas a los fenómenos electrostáticos llegando experimentalmente a una ley similar a la ley de la gravedad de Newton, ambas dependen del cuadrado de la distancia, incluso Coulomb pensaba que esta forma de explicar las interacciones a distancia era válida para los fenómenos magnéticos.

La dirección de una aguja imantada no puede depender de un torrente de fluido... Resulta de la experiencia, que no son torbellinos los que producen los diferentes fenómenos de imantación, y que, para explicarlos, hay que recurrir necesariamente a fuerzas atractivas y repulsivas de la naturaleza de aquellas de que hay que servirse para explicar el peso de los cuerpos, la Física celeste. (Taton, 1958, p 600)

El problema de la interacción a distancia en los distintos fenómenos fue un asunto que tuvo ocupados a los predecesores de Newton y la idea de la acción instantánea con fuerzas que saltan por el espacio y un medio inerte y poco importante durante la interacción parecía tomar fuerza, sin embargo aparece en el panorama un físico británico que superó muchas adversidades, Michael Faraday, uno de los físicos con ideas más brillantes junto con explicaciones sencillas y elegantes empezó a pensar los fenómenos de interacción a distancia de una manera distinta.

*“La teoría de campos de Faraday y las que vinieron después ofrecían nuevas soluciones a un viejo problema que ya había sido planteado en tiempos de los antiguos griegos, o incluso antes. El problema es el de como un cuerpo puede actuar sobre otro. La teoría ayuda a dar respuesta a alguna de las cuestiones más concretas, entre las que podrían citarse: ¿Por qué un cuerpo empuja a otro en vez de penetrar en él? ¿Por qué un imán es capaz de hacer que un trozo de hierro a cierta distancia se mueva? ¿Cómo es posible que un cuerpo electrizado haga que el polvo se*

*mueva hacia él? Otras cuestiones afines serian, por ejemplo, la causa de la combustión, y la razón por la que algunos cuerpos cortan a otros.*

*Filósofos de la Grecia antigua, Tales, Demócrito y Platón, por ejemplo, ya se habían hecho estas preguntas, y propusieron algunas soluciones interesantes que implican teorías sobre la naturaleza del mundo. Demócrito, por ejemplo, decía que los cuerpos interactuaban por contacto entre sus átomos. Cuando el pensamiento griego fue recogido de nuevo en el Renacimiento, Descartes, Galileo y otros pensadores del siglo XVII mejoraron la teoría de los griegos y desarrollaron otras nuevas. Descartes lanzó la teoría de que el mundo está completamente lleno de materia, y toda acción de un cuerpo, sobre otro se realiza por contacto directo o indirecto. (Berkson, 1985 p. 18)*

Faraday es uno de los primeros en presentar una teoría distinta para explicar las interacciones a distancia según Berkson (1970) sus ideas estuvieron muy influenciadas por Kant y Boscovich. En uno de los últimos trabajos que publicó durante 1855 sobre las reflexiones que había cosechado de muchos años de experimentación deja ver su convencimiento de que las acciones no son *instantáneas* sino que son locales y que estas se transmiten en la vecindad de los cuerpos. Sobre la acción magnética de un imán en el bismuto Faraday como se citó en: (Orozco, 1855/ s.f., p 7)

Que estas partículas actúan la una sobre la otra tiene que ser cierto; y los resultados de Tyndall sobre el efecto de la compresión han probado eso por medios correctos, nominalmente por experimento. Si se supiera que ellas no tienen tal acción mutua, ello estaría en contradicción con la naturaleza esencial de la acción magnética y no habría razón para pensar que el imán mismo pudiese actuar sobre partículas o las partículas reaccionar sobre él. (Orozco, 1855/ s.f., p 7)

Esta afirmación es importante porque se sitúa bajo una postura de la naturaleza de la acción magnética como acción mutua; la interacción entre el imán y el bismuto ya no es explicada en términos de fuerzas a distancia, por el contrario Faraday se encamina en un análisis fenomenológico del comportamiento de un imán para explicar la interacción a distancia teniendo en cuenta la misma naturaleza del imán. Cabe añadir que las líneas de fuerza que se dibujan alrededor de un imán no son el tipo de fuerzas centrales que se caracterizaba la teoría de Newton y eso implicó que los afines a su premisa empezaran a pensar en este tipo de fenómenos. Finalmente tenemos dos marcos explicativos para explicar las interacciones a distancia lo que

implicó un periodo de controversia muy interesante y que se relaciona de manera directa con el origen de la teoría de campo electromagnético.

A finales del siglo XIX Heinrich Hertz demuestra experimentalmente que las acciones electrodinámicas (interacciones a distancias) se propagan por el espacio a una velocidad finita y esto se convierte en un espaldarazo definitivo a la teoría de campo electromagnético y puso en tela de juicio la afirmación de que las interacciones a distancia son instantáneas.

### **Consideración**

El docente deberá detenerse explicando porque los problemas de investigación y los puntos de inflexión que se mencionan en la lectura son importantes en el origen de la teoría de campo electromagnético

### **Ejercicio de reflexión**

Realice un mapa mental en el que sintetice el escrito anterior, tomando los aspectos que considera más significativos desde su propia perspectiva.

### III. Lectura 3 Pensar el espacio y el tiempo

Pensar el espacio ha sido un tema de interés que se extendiendo desde las ciencias sociales hasta las ciencias naturales, el filósofo Immanuel Kant reflexiona sobre este concepto y lo configura como un criterio de organización necesario a priori. En otras palabras, el espacio se configura como un elemento del conocimiento independiente de toda experiencia., en palabras de Kant como se citó en: Bautista,(1781/ s.f.).

El espacio es una representación necesaria, a priori, que está a la base de todas las intuiciones externas. No podemos nunca representarnos que no haya espacio, aunque podemos pensar muy bien que no se encuentren en él objetos algunos. Es considerado, pues, el espacio como la condición de la posibilidad de los fenómenos y no como una determinación dependiente de estos. (p .3-4).

No es la intención del presente texto discutir en profundidad la teoría de Kant sobre el espacio, pero si rescatar la importancia que se da a este concepto en la construcción conocimiento, ya que

el espacio está a la base de las intuiciones externas, en últimas determina que lo que observamos sea de la forma en que lo hacemos; y esto en contraste con la postura que se tiene desde Newton donde el espacio es algo totalmente externo a los cuerpos, en el que ocurren los hechos que observamos, es inerte y no influye en las interacciones. Estas dos posturas muestran distintas formas de concebir el espacio, ahora bien, ¿por qué es tan importante pensar el espacio de manera previa para entender la teoría de campo?. Es habitual encontrar en los libros de texto una definición del campo como una región del espacio y como una expresión matemática que da cuenta del efecto que produce la fuente del campo sobre lo que se encuentra a su alrededor; de ahí la expresión del campo como fuerza por unidad de carga para el caso del campo eléctrico.

Si se analiza con cuidado la afirmación “el campo es una región del espacio” desde la concepción de espacio de Newton parece no tener problema, teniendo en cuenta que; para Newton el espacio es inmóvil entonces se espera que el campo tenga esta misma propiedad ya que se afirma que el campo es una parte del espacio. Es posible representar el campo de una carga en reposo y movimiento mediante un esquema como el siguiente.

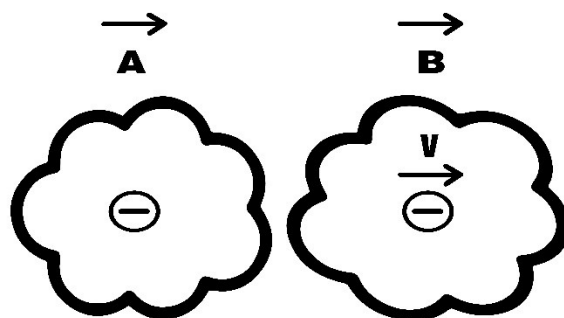


Ilustración I

A y B representan distintas regiones del espacio; una en reposo y otra durante el movimiento, las regiones del espacio que caracterizan el campo en reposo y durante el movimiento deberían ser



diferentes ya que la región que abarca la carga durante el movimiento va cambiando. Hasta ahí no hay problema de la afirmación con la teoría de Newton, ya que la región del espacio cambia, pero en ningún momento esta región adquiere algún tipo de movimiento. Sin embargo, si se toma el campo desde la teoría de Maxwell el asunto es diferente; debido a que el campo ya no es una región del espacio, sino que es un ente que se propaga por el espacio en forma de una onda.

Por lo tanto, el espacio pasa de ser inerte y poco importante en las interacciones a ser un medio que permite que se propague el campo y que además tiene propiedades que juegan un papel importante en las interacciones físicas y que Maxwell retoma para plantear sus ecuaciones. Cabe la pregunta de ¿si el campo es parte del espacio o es un ente diferente al espacio que se propaga por él? más allá de una definición rigurosa que se pueda dar del concepto de campo y teniendo en cuenta que en la ciencia no existe una verdad absoluta en lo que se quiere hacer énfasis es en la importancia de pensar y diferenciar las distintas posturas de espacio como un elemento previo y muy útil para comprender la teoría de campo electromagnético

Por otra parte, el factor tiempo se convierte en un factor importante para la teoría de campo electromagnético ya que se afirmaba un poco por influencia del pensamiento Newtoniano que las interacciones a distancia son instantáneas es decir que requerían un tiempo, pero este tiempo era mínimo y despreciable. En ese sentido si se demostraba que esta afirmación era falsa y que las acciones se propagan por el espacio a una velocidad finita y no infinita el tiempo empezaba a ser un factor que se debería tener en cuenta.

Max Planck<sup>37</sup> en su escrito conmemorativo de la muerte de Heinrich Hertz en 1894 señala que: “Ahora, la electrodinámica desarrollada por Webber y Neumann con base en la acción a distancia reconoce solo las interacciones pondero motrices entre imanes como dependientes de su magnetismo, pero no de las variaciones de ese magnetismo en el tiempo<sup>38</sup>(, Max Planck, 1894, p 393). En las teorías a las que se refiere Planck de Webber y Neumann no se considera el tiempo como una variable importante en las acciones magnéticas, en contraste con el trabajo de Faraday que reflexiona sobre el punto de tiempo en conexión con las acciones magnéticas. En ese sentido

---

<sup>37</sup> Tomado de Mulligan, J. (1994). A collection of Articles and Addresses traducción hecha por el autor del trabajo de grado

el tiempo empieza a jugar un rol distinto al que jugaba en la teoría de acción a distancia y por esto se convierte en un elemento determinante en la teoría de campo

### **Ejercicio de reflexión**

- Dar respuesta a la pregunta ¿si el campo es parte del espacio o es un ente diferente al espacio que se propaga por él?
- Realice una representación gráfica de su idea de campo

### **Bibliografía del texto**

Gramajo, M. Orozco, J. (1855, s.f.). Sobre algunos puntos de filosofía magnética. Universidad pedagógica nacional

Bautista, G (1781/ s.f.). Crítica de la razón pura-Primera parte de la doctrina elemental trascendental. La estética trascendental. Universidad pedagógica Nacional

Berkson, W. (1985). Las Teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein (segunda versión española ed.). Madrid, España: Alianza Editorial

Taton, R. (1954). La ciencia moderna. Volumen II. Ediciones destino. Barcelona. España

Bunge, M. (1967). La ciencia su método y su filosofía. Editorialsudamericana. Buenos Aires. Argentina

Morales, S. Zambrano, T. (1860/1998). Conferencia inaugural de James Clerk Maxwell en el King College London. 1860. Universidad pedagógica nacional

### **Momento C: El problema de las interacciones a distancia**

#### **Objetivo**

Lograr que los estudiantes se aproximen a entender cuál es el problema que dio origen a la teoría de campo, haciendo uso de un fragmento de una Carta del físico Heinrich Hertz dirigida a sus padres. Desde esta carta se piensa el problema desde una perspectiva teórica y experimental

### Actividad propuesta:

En esta actividad se retoma el modelo explicativo del capítulo III del trabajo haciendo uso del punto de inflexión epistemológico que causó la teoría de Maxwell, se propone que el estudiante inicialmente lea los párrafos que se presentan a continuación y posteriormente piensa las preguntas que se plantean en el ejercicio de reflexión para discutir después con todos los estudiantes

### La interacción a distancia desde una perspectiva mecánica

A principios del siglo XIX Michael Faraday observó que, si se movía un imán en cercanías de una bobina se inducía una corriente eléctrica, si se acercaba o alejaba el imán la dirección de la corriente cambiaba, además si el imán estaba en reposo ya no se inducía corriente. Este fenómeno hace parte de las interacciones a distancia ya que no hay contacto alguno entre el imán y la bobina. Maxwell explicó este fenómeno mediante un modelo mecánico. Este modelo *mecánico* constituye una explicación para la acción inducción de corriente eléctrica. Así se tiene hexágonos que representaban remolinos magnéticos y varias bolas con carga eléctrica en las que se desprecia la masa, algunos lados del pentágono entran en contacto con las bolas esto hace que todo el sistema esté conectado, por otro lado cuando estas bolas empiezan a moverse producen remolinos magnéticos con una  $V_i$  esta velocidad será igual para todos los remolinos siempre y cuando lo que separa los remolinos funcione de manera análoga a como funciona un piñón que logra comunicar el movimiento entre las partes contiguas. Si tenemos una disminución<sup>39</sup> en la intensidad de la corriente las bolas se moverán más lento, esto hará que la velocidad de los remolinos magnéticos disminuya  $V_f$  y exista una diferencia de velocidades con la situación inicial

Se sigue que:

$$V_i > V_f$$

Para el modelo de Maxwell esta diferencia de velocidades va a ser posible que la acción se transmita de manera contigua hasta que ocurra un movimiento de bolas que genere una inducción electromagnética. Hay que tener en cuenta algunas consideraciones para entender un poco mejor el modelo:

La masa de los remolinos magnéticos depende de la permeabilidad magnética del medio

---

<sup>39</sup> El ejemplo también es válido para un aumento en la intensidad de corriente

El conjunto de bolas en movimiento representa la corriente eléctrica  
Los remolinos magnéticos tienen la propiedad de ser elásticos

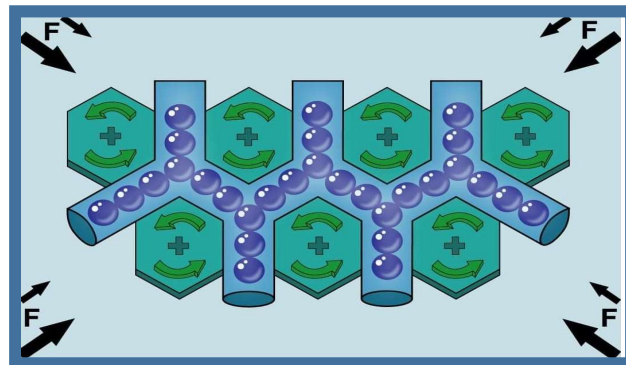


Ilustración II

Fuente: Berkson, W. (1985).

### Bibliografía del texto

Berkson, W. (1985). Las Teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein (segunda versión española ed.). Madrid, España: Alianza Editorial

### Ejercicio de reflexión

- Si tuviera que pensar en un modelo mecánico o de otro tipo que explicara de qué manera ocurre la inducción electromagnética como lo hizo Maxwell ¿Cuál sería?:

---

---

---

## **Momento D: La consolidación de la teoría de campo electromagnético**

### **Objetivo**

Dar a conocer mediante un ejercicio de re contextualización uno de los experimentos más importantes para la consolidación de la teoría de campo electromagnético

### **Actividad propuesta:**

Esta actividad tiene principalmente un enfoque experimental ya que se busca que los estudiantes conozcan mediante la lectura (por grupos) del texto que se propone como fue el proceso que llevo a Heinrich Hertz a construir a uno de los experimentos que consolido la teoría de campo electromagnético. La idea es que los piensen y construyan un montaje que tenga que ver con la problemática que se plantea en el ejercicio de reflexión

## La consolidación de la teoría de campo

### Heinrich Rudolf Hertz un físico genuino



Figura 1

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Heinrich\\_Rudolf\\_Hertz](https://es.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Rudolf_Hertz)

Tras la muerte de Heinrich Hertz el 1 de enero de 1894 su alumno más destacado el físico Max Planck publica un texto conmemorativo en el que reconoce ampliamente los aportes de su maestro al desarrollo de la física y al nacimiento de nuevos problemas de investigación como se citó en Mulligan, J. (1994).

*Hert's life work is now complete, not a single sentence will he be able to add to in the future. From now on science will go forward without him ... But no one who Works in his field will be able to escape his influence; a thousand times more important than the results*

*of his work are the sedes which he scattered abroad in his writings and which, in the proper soil, can develop pinto new shoots*<sup>40</sup>(Mulligan, J. (1994), p. 403)

En la vida de este gran físico alemán una persona fue muy importante para su formación; el profesor Von Helthmoz quien después de su muerte deja ver su desconcierto por la temprana edad a la que murió. “Nothing seems so tragic to one who is old as the death of one who is old as the death of one who is Young, and this alone proves that life is a Good thing”<sup>41</sup>. (Mulligan, J. (1994), p 381)

Después de terminar sus estudios de secundaria en Hamburg classical Gymnasium entre 1875 y 1877 estudio ingeniería en el politécnico de Dreseden ubicado en Frankfurt, además presto servicio militar enfocando su trabajo desde la ingeniería. En estos años también fue ayudante de construcción participando en la construcción de un edificio y un puente nuevo en el rio Main. Entre 1878 y 1883 llevó a cabo sus estudios en Física en la *Friedrich Whiliem University* donde comenzó sus primeras investigaciones en las que trabajo sobre los siguientes tópicos: La relación entre energía cinética y cambios abruptos en la corriente, posteriormente llegaría a que no existe tal relación, además también trabajo sobre el movimiento de un conductor entre dos imanes y la evaporización del mercurio en el vacío; incluso en una área que sorprende que haya trabajado como la astronomía; en relación a la acción de las estrellas en las mareas y estudios meteorológicos<sup>42</sup>

En 1883 asumió como profesor en la Universidad de Kiel, allí comenzó sus primeros estudios en electrodinámica; uno de sus primeros artículos en esta etapa fue “On the Relations between Maxwell’s Fundamental Electromagnetic Equations and the fundamental Equations of the Opposing Electromagnetics” (1884) En esta universidad solo estuvo dos años en los que su

---

<sup>40</sup> *El trabajo de la vida de Hertz está ahora completo, ni una sola frase podrá ser agregada en el futuro. Desde ahora la ciencia avanzará sin él, pero nadie que trabaje en su campo podrá escapar a su influencia; miles de veces más importantes que los resultados de su trabajo, son las semillas que esparció en el extranjero con sus escritos, y que, en el terreno adecuado puede desarrollar nuevos brotes*

<sup>41</sup> *Nada parece tan trágico para alguien que es viejo, como la muerte de alguien que es joven, y esto solo prueba que la vida es algo bueno*

<sup>42</sup> *Tomado de Mulligan, J. (1994). Heinrich Hertz (1857-1894). A collection of articles and addresses. Garland publishing, NC. New York and London*

trabajo más relevante fue el que se mencionó en los párrafos anteriores: Ahora bien, entre 1885 y 1889 pasaría a ocupar la cátedra de física en la Universidad de Karlsruhe allí también realizó investigaciones interesantes y además conoció a la madre sus dos hijos *Elizabeth* quien era hija de uno de los profesores de la universidad

En el periodo de 1889- 1894 fue profesor titular de Física en la Universidad de Bonn allí estructuró y publicó sus famosos principios de la mecánica y también trabajó en la naturaleza de los rayos catódicos que lo llevarían a una famosa controversia acerca de su naturaleza con el físico británico J.J Thomson.

Con este esbozo breve vemos que Hertz durante su vida trabajó en distintos temas, , considero que su contribución al mundo de la Física radica principalmente en dos cosas: La confirmación de la existencia de las ondas electromagnéticas y la velocidad finita con la que se propagan por el espacio , consolida sin duda alguna la base de una nueva forma de entender las interacciones físicas y siembra la primera semilla para la teoría de campos, es decir hablamos de que contribuyo al avance de la física moderna en gran medida; así lo reconoce una de las figuras más representativas el mundo científico como Albert Einstein<sup>43</sup>. Por otra parte, sus principios de la mecánica configuran tres criterios fundamentales para el conocimiento como lo son: permisibilidad, corruptibilidad, y pertinencia. Básicamente da en un punto epistemológico muy sustancial en la Física, y tiene que ver con el hecho de que al fin acabo todo el mundo físico representa una imagen de la naturaleza como señala Heinsberg en su libro *“La imagen de la naturaleza en la física actual (1955)”* y lo que Hertz entra a discutir es que esa imagen que se construye debe cumplir con ciertos criterios. En resumen, aunque muchos no lo tengan tan presente el trabajo de Hertz representó si se quiere un cambio de paradigma en dos sentidos, epistemológico y disciplinar.

### **Experiencias previas al experimento definitivo**

En esta sección se consideran algunos artículos escritos por el Ingeniero y Físico Heinrich Hertz entre 1887 y 1890 tomados de *“Annalen der Physik”* en los que se encuentra gran parte de su

---

<sup>43</sup> Ver introducción del trabajo



pensamiento en relación con los fenómenos electromagnéticos y además el experimento que sería clave para que la teoría de campos tomara fuerza en el ámbito científico. Este trabajo lo desarrollo en la Universidad técnica de Karlsruhe y desde allí escribía cartas permanentemente para comunicarse con sus padres y con otros colegas físicos<sup>44</sup>. El 1 enero de 1888 Hertz escribe una carta dirigida a sus padres donde narra algunas de sus preocupaciones en cuanto a la física y señala lo siguiente:

*La cuestión, en torno a la cual todo da vueltas, es demostrar que las acciones electrodinámicas digamos por sencillez acciones eléctricas, avanzan por el espacio con una velocidad absolutamente finita, determinada y comprobable; por tanto, no como acciones a distancia inmediatas, sin consumir tiempo.* (García y Roque, 1990, p.186)

En este pequeño fragmento resume uno de los grandes problemas de la Física del siglo XIX ya que si se comprobaba experimentalmente esta propagación de las acciones electrodinámicas a una velocidad finita tendría sentido hablar de una propagación del campo como lo estructuro matemáticamente Maxwell. Posteriormente Hertz demostraría experimentalmente que este tipo de acción no es a distancia, sin embargo esta sección tiene como intención mostrar muy brevemente como experiencias previas al experimento “crucial” que algunos llaman empezó a dar indicciones de la dificultad de adaptar la acción a distancia a las acciones electrodinámicas.

En 1887 el fisico Alemán Hertz publica su artículo “sobre las oscilaciones eléctricas muy rápidas” para la revista los anales de la física; en este artículo trabaja principalmente sobre la siguiente intención: “*La intención del presente trabajo se limita a mostrar que es posible, y de qué manera es posible, excitar incluso en conductores metálicos cortos las oscilaciones propias de esos conductores*” (García y Roque, 1990, p.89). Hay que recordar que este artículo va a estar muy influenciado por el reto que le había impuesto su maestro Von Helmothz. Hertz en este artículo transita por diferentes montajes como se muestra en la figura:

---

<sup>44</sup>La recolección de estas cartas se puede encontrar en los apendices de la traducción que realizan de algunos artículos

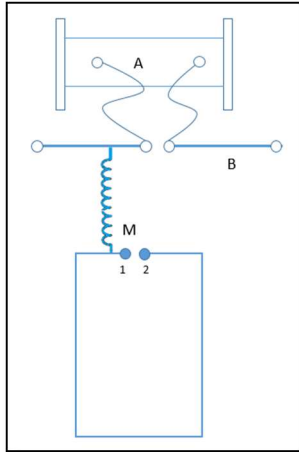


Figura 2

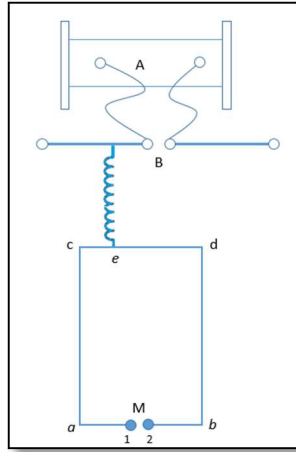


Figura 3

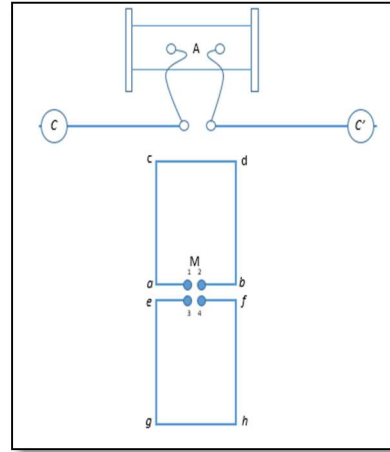


Figura 4

Fuente: Mulligan, J. (1994).

Ahora bien, en estos trabajos experimentales se utilizó un carrete de Rumhkorff que en el diagrama se marca como A esto garantizaba la variación del campo magnético y por tanto la inducción electromagnética:

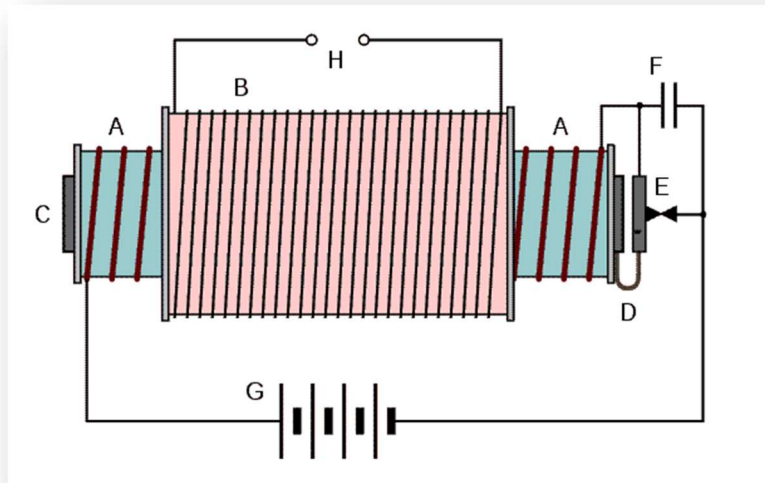


Figura 5

Fuente: [https://www.ealuro.com/eb3emd/Bobina\\_de\\_Tesla/Bobina\\_de\\_Tesla.htm](https://www.ealuro.com/eb3emd/Bobina_de_Tesla/Bobina_de_Tesla.htm)

Básicamente el carrete se compone de dos bobinas, una primaria (A ver figura) y otra secundaria (B), la primaria tiene pocas vueltas y está conectada a una pila de volta que produce una baja intensidad de corriente y la secundaria tiene miles de vueltas con un hilo conductor muy fino, además se conecta al circuito un condensador de placas paralelas (F) y un núcleo de hierro( C) una masa ferromagnética(E) y una para chispas (H); en cuanto al funcionamiento este dispositivo logra generar una corriente que cambia periódicamente, la corriente en la bobina primaria produce un campo magnético que ejerce una fuerza magnéticas sobre la masa ferromagnética E. Los carretes de Rumhkorff producen una corriente de muy alta intensidad que cuando se conectan a alambres cortos metálicos crean oscilaciones eléctricas muy rápidas y es ahí donde se configura el fenómeno que se estudia a lo largo del artículo

En sus primeros montajes Hertz pone en contacto el circuito primario y secundario mediante un cable conector (Ver figura 1), en esta situación no es tan clara la acción a distancia, pero en montajes como el de la figura 3 no existe contacto entre el circuito primario y secundario y es bajo estos montajes que presenta al final de su artículo que se desprende su experimento crucial, fue un trabajo bastante arduo.

Si se observa la figura 1 se puede notar que la acción eléctrica o como se denomina en el artículo original “onda eléctrica” llegara primero a la esfera 1 que a la esfera 2; ya que la primera está más cerca al punto que conecta el alambre rectangular con el alambre de conexión es por esto que se observa una chispa debido a esa diferencia de potencial eléctrico, cuando la onda llega primero a una esfera se tiene un potencial determinado diferente al de la esfera 2 que en ese preciso instante espera a que la acción eléctrica llegue a través del cable, esta es una explicación de lo que ocurre que Hertz narra en su artículo más en detalle.

Posteriormente Hertz emprende la tarea de indagar en qué condiciones se producen las chispas y que hace que aumente su longitud o disminuya. Después de varias modificaciones concluirá que este efecto cambia en relación al periodo de oscilación<sup>45</sup> eléctrica que está definido por la siguiente ecuación

$$T = \frac{\pi}{c} \sqrt{LC} \quad [1]$$

---

<sup>45</sup> Periodo de oscilación

En esta ecuación (1)  $L$  representa la autoinducción  $C$  la capacidad y  $c$  la velocidad de la luz, en teoría si se modifica estos parámetros en el montaje experimental se afectará el periodo de oscilación y así las chispas. Si se modifica por ejemplo la longitud de los cables metálicos cortos del circuito el parámetro  $L$  varía y por tanto el periodo de oscilación eléctrica también lo hará

Además Hertz señala sobre la acción eléctrica en el primer montaje (Figura 1) lo siguiente *“Pero en segundo lugar muestra más claramente que el experimento anterior, que estos movimientos son tan rápidos que resulta ya apreciable el tiempo empleado por las ondas eléctricas en atravesar conductores metálicos cortos”* (García y Roque,1990, p.64).Desde la traducción hecha por los profesores españoles se considera que Hertz transita de explicaciones de tipo Newtoniano de acción a distancia a una teoría de campo, no es la intención del presente texto profundizar en este aspectos, más bien el interés se centra en mostrar la genialidad y esfuerzo que tuvo que pasar Hertz para consolidar un experimento que lograra solucionar el problema que comunico a sus padres a través de la carta que se citó en un comienzo

A comienzos de 1888 Hertz comienza a trabajar en un salón de la Universidad de Karlsruhe con sus montajes experimentales de finales de 1887.En esta etapa empieza a jugar con la distancia entre los circuitos primario y secundario, la rotación del chispero ente otras variables. Llama la atención una situación con la que Hertz se enfrentaba mucho durante su trabajo y es la siguiente: si se alejaba a distancias considerable el conductor primario del secundario se debilitaban las chispas, pero cuando el circuito secundario se acercaba a zonas cercanas de la pared del salón donde experimentaba las chispas aumentaban para posteriormente desaparecer cuando estaban a poca distancia de la pared, esto Hertz lo explica de la siguiente manera:

La explicación más sencilla me pareció esta: admitir que la acción inductiva que se propagaba ondulatoriamente se reflejaba sobre las paredes y que las ondas reflejadas reforzaban los incidentes a una cierta distancia y a otras las debilitan, al formarse mediante la interferencia ondas estacionarias en el aire (García y Roque,1990, p.92)

Esta explicación que narra Hertz está en relación de la interferencia que se observa en experimentos como la Doble rendija de Thomas Young y que cobran sentido bajo una teoría ondulatoria, pero lo interesante de lo que señala Hertz es que está asumiendo una perspectiva de campos entendiendo la acción inductiva como una acción que se propaga por el medio en forma de onda, pero lo que es aún más significativo es que este hecho causa conflicto en la teoría de acción a distancia; o por lo menos hace pensar que lanzarse a entender porque ocurre esto desde una teoría de acción a distancia se vuelve tedioso. Si la acción efectivamente es instantánea y a distancia lo que tendría que ocurrir es que las chispas se debilitaran a medida que aumenta la distancia como lo dicta la teoría electrodinámica desarrollada por Ampere

### **La Contribución de Hertz a la idea de campo**

Antes de estudiar el experimento crucial para la teoría de campos, es importante considerar que Hertz se aseguró de un par de cosas que se deben considerar. Una de ellas es que efectivamente estaba frente a un fenómeno de tipo ondulatoria, ya que demostró experimentalmente que el aumento o disminución de las chispas se debía a la resonancia; un compartimiento que se explica en términos de la teoría ondulatoria. Además, garantizó la medición de las ondas que se propagaban por el aire modificando las condiciones experimentales para que las ondas fueran estacionarias y así se pudiera medir su longitud El montaje experimental se muestra en la siguiente figura:

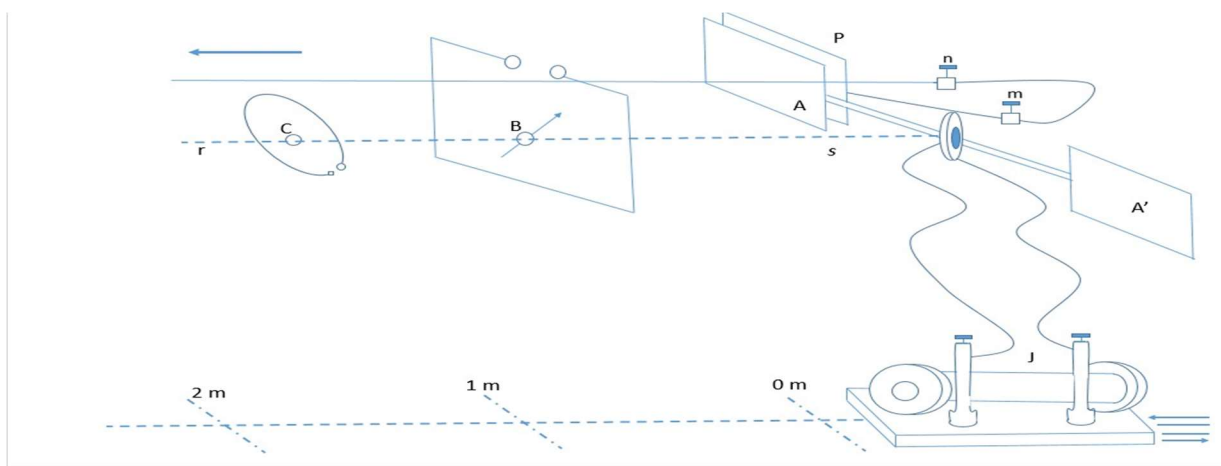


Figura 6. Fuente: Berkson, 1985

El montaje se compone de un carrete de Ruhmkorff (J) tres placas A, A' y una placa P que esta conectada a un cable, hasta ahí el circuito primario, después están los circuitos detectores ubicados en las posiciones C y B allí se debe observar la chispa. Es importante mencionar que la placa P se ya que cuando se enciende el carrete A carga eléctricamente P y la acción electrodinámica viaja por el cable, esto es clave porque le permite a Hertz comparar los periodos de oscilación de las ondas que van por el aire y las que viajan por el cable que comunica las placas. Hertz pudo medir la longitud de onda en el cable y la longitud de onda que se propagaba por el aire. Teniendo esto en cuenta se tienen dos hipótesis que se buscaba poner en juego en dicho experimento. La primera de ellas tenía que ver con la acción a distancia instantánea y hablar de inmediatez en términos de la velocidad de propagación de las ondas implica que esta magnitud fuera la misma para la onda que se propagaba por el aire como para la que viajaba por el cable, en ese sentido si se recorre una determinada distancia los periodos deben coincidir, la segunda es que los periodos fueran distintos y la acción que viajaba por el cable tardar un tiempo distinto a las acciones que viajan por el aire (Berkson, 1970). Así las cosas, para entender un poco mejor si se tiene un desplazamiento de estas ondas entre dos puntos cualquiera el tiempo que tardan en recorrer esta distancia debería ser el mismo, para el caso de las ondas el periodo debe coincidir. Sin embargo, se tiene una segunda hipótesis donde las ondas no se propagaban a la misma velocidad y por lo tanto el periodo es distinto respecto a determinados puntos de referencia como I, II, ... Después de superar algunas dificultades Hertz llega a la gráfica final en su artículo de su experimento que es la siguiente

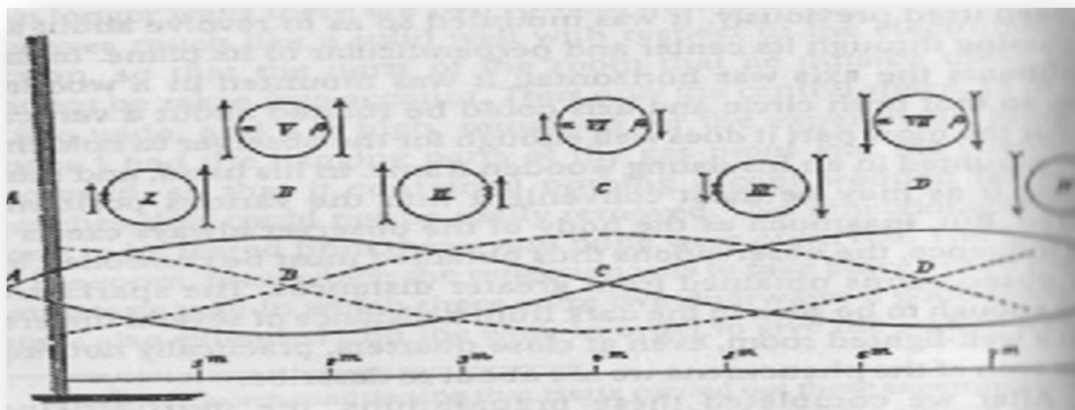


Figura 6 Fuente: Mulligan, J. (1994).

Si se observa en detalle la figura se ve que a una distancia de 4m la onda propaga por el aire (que se representa mediante líneas punteadas) no ha alcanzado ni media oscilación en comparación con la onda que se propaga por el cable que ha hecho media oscilación. Esto nos indica que las acciones electrodinámicas se propagan por el aire con velocidad finita. Finalmente la teoría representada por Maxwell y Faraday tomaba fuerza y tenía una prueba contundente que la convertiría en una de las más respetadas a nivel mundial.

### **Bibliografía del texto**

Mulligan, J. (1994). Heinrich Hertz (1857-1894). A collection of articles and addresses. Garland publishing, NC. New York and London

Gracia, A.M. Roque, X. (1990). Las Ondas Electromagnéticas. Selección de las Untersuchungen. (G. D. Bellaterra, Ed., & G. D. Bellaterra, Trad.). Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona

Berkson, W. (1985). Las Teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein (segunda versión española ed.). Madrid, España: Alianza Editorial

### **Ejercicio de reflexión**

Heinrich Hertz físico alemán en una carta dirigida a sus padres describe muy bien un problema sobre el que trabajó durante un buen tiempo:

La cuestión, en torno a la cual todo da vueltas, es demostrar que las acciones electrodinámicas digamos por sencillez acciones eléctricas, avanzan por el espacio con una velocidad absolutamente finita, determinada y comprobable; por tanto, no como acciones a distancia inmediatas, sin consumir tiempo. (García y Roque, 1990, p.186)

Teniendo en cuenta lo leído que muestra el contexto de la carta. Si tuviera que pensar en un montaje experimental que logre dar cuenta de si las acciones electrodinámicas se propagan por el espacio con velocidad finita o por el contrario son acciones instantáneas. Cual sería ese montaje

**Montaje:**



**Intención experimental:**

---

---

---

---

---

---

---

---

¿Por qué el experimento que propone considera tiene relación con el problema que señala Hertz?:

---

---

---

---