



**REFLEXIONES SOBRE EL CONCEPTO DE CAMPO EN FÍSICA.
UNA RE-CONTEXTUALIZACIÓN**

YULY PAULIN RAMOS LOZANO



**REFLEXIONES SOBRE LA IMPORTANCIA DEL CONCEPTO DE
CAMPO EN FÍSICA. UNA RE-CONTEXTUALIZACIÓN**

YULY PAULIN RAMOS LOZANO

Director:

MG. JOHN EDUARD BARRAGÁN

Trabajo de grado para optar por el título de licenciado en física

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

BOGOTA D.C.

2016

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Departamento de Física



Tesis monográfica:

**REFLEXIONES SOBRE LA IMPORTANCIA DEL CONCEPTO DE
CAMPO EN FÍSICA. UNA RE-CONTEXTUALIZACIÓN**

Autor:

Yuly Paulin Ramos Lozano

Director

Mg. John Eduard Barragán

Bogotá, 2016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Blanca Alicia Lozano Ortiz por su apoyo incondicional, a mis tías que a pesar de la distancia estuvieron al pendiente, a mi hermana Lizeth Ramos Lozano, que a pesar de los inconvenientes está conmigo, y al papá de mi hija por acompañarme y darme ánimo.

A los profesores que aportaron con sus críticas constructivas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por hacer posible este trabajo, a mi asesor Jhon barragán, al profesor Juan Carlos Orozco que, aunque no fue asesor directo, aportó con sus opiniones, además agradezco a mis compañeros quienes participaron en este proceso.

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

| 1. Información General | |
|------------------------|---|
| Tipo de documento | Trabajo de grado |
| Acceso al documento | Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central |
| Título del documento | Reflexiones sobre la importancia del concepto de campo en física, una re-contextualización. |
| Autor(es) | Ramos Lozano, Yuly Paulin |
| Director | Jhon Eduard Barragán |
| Publicación | Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2016, 58 p. |
| Unidad Patrocinante | Universidad Pedagógica Nacional |
| Palabras Claves | RE-CONTEXTUALIZACIÓN, CAMPO, ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, ÉTER |

| 2. Descripción |
|---|
| <p>El objetivo de esta monografía es realizar una re-contextualización del concepto de campo en física, teniendo en cuenta que la palabra es usada en diferentes áreas, su significado se ha diversificado haciendo necesario para su comprensión realizar un estudio detallado del surgimiento de dicho concepto, los hechos que lo ocasionaron y su enseñanza. En palabras María Mercedes Ayala.</p> <p>“los profesores de ciencias (en formación y quienes los forman) han de vincularse a un proceso de recontextualización de saberes, que exige de ellos la elaboración de criterios de selección de un campo problemático, la toma de posición acerca de los fenómenos que intenta organizar (inquietudes, comprensión que tiene de ellos, etc.) así como la valoración de los aportes que al respecto han hecho otros autores” (Ayala, 2004).</p> <p>Dicha re-contextualización tiene como punto de partida las diferentes teorías del éter, teniendo como punto de partida el libro Einstein Philosophe (Paty, 1993) se extraen las palabras de Maxwell, “el (éter) debe ocupar un lugar preeminente en nuestras investigaciones”, esto debido a que fue el éter en la teoría desarrollada por Maxwell el medio donde los campos eléctricos y magnéticos se propagan, considerando que se pretende rescatar y aclarar el significado de dicho concepto, es necesario conocer cómo surgió el mismo.</p> |

Respecto a esto (Ben-Dov, 1999) menciona que: "Para una mejor comprensión de la física actual, y quizás de la del futuro, necesitamos abordar sus teorías desde una perspectiva histórica." En otras palabras, la comprensión del conocimiento se relaciona con la atención que se da al desarrollo histórico, de modo que es importante tener en cuenta cuáles fueron los pensadores que se vieron inmersos en la elaboración de las teorías, en este documento se abordaron los puntos de vista de diferentes pensadores, entre estos se tendrá en cuenta a Sir Isaac Newton, con su teoría corpuscular sobre el comportamiento de la luz, Christian Huygens, quien planteó la teoría ondulatoria, Michael Faraday, Hertz entre otros.

Estos pensadores son importantes puesto que permiten evidenciar desde los diferentes puntos de vista la construcción del concepto de éter y posteriormente el de campo. La reconstrucción en torno a estos conceptos se organiza de acuerdo a las fechas de participación de cada uno de ellos, se decide agrupar los capítulos teniendo en cuenta los conceptos macro desde lo disciplinar que se tuvieron en cuenta, es decir, el punto de partida es el éter, pero con él se dieron sub-conceptos como el éter luminífero, se le atribuyeron características mecánicas con el fin de dar explicación a las diferentes teorías; por otro lado el concepto de campo que se desarrolla en otro capítulo, que permite dar cuenta de sus características y el paso que se tiene desde lo mecánico hasta lo electrodinámico, desde el punto de vista de la re-contextualización se da un espacio para mostrar la importancia de este tipo de estudios y la implementación que se debe realizar en torno a estos, pues permiten aclarar dudas o vacíos que se pueden tener si sólo se entra a ver el resultado sin el proceso. Una vez realizada dicha reconstrucción se expresan algunas reflexiones en torno a los distintos conceptos que se relacionan con la idea de campo y su enseñanza.

3. Fuentes

- Aristóteles. (14 de Marzo de 2015). <http://www.uruguaypiensa.org.uy>. Obtenido de uruguaypiensa: <http://www.uruguaypiensa.org.uy/imgnoticias/662.pdf>
- Ayala, M. M. (2004). HISTORIA DE LAS CIENCIAS Y LA FORMACIÓN DE PROFESORES. *Física y Cultura*, 1-12.
- Belendez, A. (2008). La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell. *Enseño de física*, 1-20.
- Ben-Dov, Y. (1999). *Invitación a la Física*. Santiago de Chile: Andres Bello.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza Universal.
- Bernstein, B. (1993). *La estructura del discurso pedagógico*. Madrid: Morata.
- Bernstein, B., & Díaz, M. (1984). Hacia una teoría del discurso pedagógico. *Collected Original Resources in Education*, 8(3), 1-41.
- Betancor, C. A. (2010). *Campos eléctrico y magnético: Realidad o recurso matemático. Su enseñanza en electrostática*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

- Cassini, A., & Levinas, M. (2009). EL ÉTER RELATIVISTA: UN CAMBIO CONCEPTUAL INCONCLUSO. *CRÍTICA Revista hispanoamericana de filosofía*, 41(123), 3-38.
- Cassini, A., Levinas, M., & Einstein, A. (diciembre de 2009). EL ÉTER RELATIVISTA: UN CAMBIO CONCEPTUAL AL INCONCLUSO. *Crítica*, 11(123), 10.
- Castillo, J. C. (2016). *Sobre la relación mecánica Electromagnetismo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional .
- Díaz, M. (20 de Octubre de 2016). *Universidad Pedagógica Nacional* . Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional : http://www.pedagogica.edu.co/storage/ps/articulos/pedysab01_05arti.pdf
- Einstein, A. (1905). Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. *Annalen der Physik*, 891 - 921.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1986). *La evolución de la física*. Barcelona: Salvat Editores S.A. .
- Einstein, A., & Infeld, L. E. (1939). *La física, Aventura del pensamiento*. Buenos Aires : Losada.
- Faraday. (1816). Chemist Lectures. En W. Berkson, *Las teorías de los campos de fuerza. De Faraday a Eintein* (pág. 53). Madrid: Alianza S.A.
- Faraday, M. (1855). *Philosophical Magazine*.
- Feynman, R., & Leighton, R. B. (1972). *Física V II Electricidad y Magnetismo* . México: Fondo educativo interamericano.
- Física, L. (25 de Marzo de 2016). *Youtube* . Obtenido de Propagación de la luz Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=72HQJCFHBsE>
- Fowler, M. (1996). *Experimento de Michelson-Morley*. Virginia: Universidad de Virginia.
- Fresnel, A. (1818). LETTER FROM AUGUSTIN FRESNEL TO FRANÇOIS ARAGO, ON THE INFLUENCE OF THE MOVEMENT OF THE EARTH ON SOME PHENOMENA OF OPTICS. *Annales de chimie et de physique*, 286.
- Furio, C., & Guisasola, J. (1993). DIFICULTADES DE APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS DE CARGA Y DE CAMPO ELECTRICO EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO Y UNIVERSIDAD. *Enseñanza de las ciencias* , 131-146.
- Granes , J., & Caicedo, L. M. (20 de 08 de 2016). *Universidad Pedagógica Nacional*. Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional: http://www.pedagogica.edu.co/storage/rce/articulos/rce34_06expe.pdf
- Granés, J. (2005). *Isaac Newton Obra y contexto una introducción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Holton, G. (1989). Teoría del campo electromagnético. En G. Holton, *Teoría del campo electromagnético* (pág. 613). Barcelona: Reverté.
- Lamberti, P. (2000). *Las investigaciones de Heinrich Hertz sobre las ondas electromagnéticas*. Córdoba Argentina: Ciudad universitaria .
- Larmor, J. (1900). *Aether and matter*. Toronto: Cambridge University Press.
- Llancaqueo, A., Caballero, M. C., & Moreira, M. A. (2003). El Aprendizaje del Concepto de Campo en Física: una Investigación Exploratoria a Luz de la Teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 399 - 418.
- Lorentz, H. A. (1937). *Collected papers, Volume 4*. Madison: the University of Wisconsin .
- Lorentz, H. A., & Minkowsky, H. (1952). *The principle of relativity*. Estados unidos: Methuen and Company Ltd.

- Lorenzo, M. G. (Mayo-Agosto de 2012). los formadores de profesores: el desafío de enseñar enseñando. *Revista de Currículum y formación de profesorado*, 16(2), 295-312.
- Margenau, H. (1977). *El concepto de campo en la ciencia moderna*.
- Maxwell, J. C. (1865). *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. Londres: Philosophical transactions.
- Maxwell, J. C. (1873). *A treatise on electricity and magnetism*. Inglaterra: Oxford : Clarendon Press.
- Maxwell, J. C. (1892). Treatise on Electricity and magnetism. En W. Berkson, *Las teorías de los campos de fuerza. desde Faraday hasta Eintein* (pág. 95). Londres : Frowde.
- Meyerson, E. (1930). *Identity and reality*. Londres: G. Allen & Unwin Ltd. ; The Macmillan company.
- Nacional, M. d. (15 de Marzo de 2015). *MINEDUCACION*. Obtenido de MINEDUCACION:
http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf.pdf
- Olarte, R., & Zarate, F. (1991). *Surgimiento del concepto de campo de Faraday*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Orozco, J. C. (2004). *TEORÍAS DEL ÉTER EN EL SIGLO XIX. LOS ESTUDIO DE CASO Y LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA*. Bogotá .
- Paty, M. (1993). *Einstein philosophe*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Peña, R. E. (2008). *Contextualización de las ecuaciones de Maxwell empleando formas diferenciales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Real Academia Española . (20 de Noviembre de 2015). *Real Academia Española* . Obtenido de [http://dle.rae.es/:](http://dle.rae.es/:http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=%E9ter)
<http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=%E9ter>
- Reyes Roncancio, J. D. (2014). *Didáctica Del Campo Eléctrico: Perspectiva del profesor de Física en formación inicial*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas .
- Ríos Rivera, J. I. (15 de Octubre de 2016). *Importancia de la recontextualización y la reconceptualización del saber en diseño de la enseñanza apoyada en tic*. Obtenido de Digicampos virtuales:
<http://cmap.upb.edu.co/rid=1MKBQL1CF-16NP0VP-1QB/Tema%201%20Recontextualizaci%C3%B3n%20y%20recontextualizaci%C3%B3n.pdf>
- Sanchez Ron, J. M. (1983). *El origen y desarrollo de la relatividad*. Madrid: Alianza.
- Sánchez, M. A. (11 de Octubre de 2015). *IES "leonardo Da Vinci"*. Obtenido de IES "leonardo Da Vinci":
<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Luz/Naturaleza-luz.pdf>
- Snowbelen, S. (2006). LA LUZ DE LA NATURALEZA: DIOS Y FILOSOFÍA NATURAL EN LA ÓPTICA DE ISAAC NEWTON. *Estudios filosóficos*, 15 - 53.
- Universidad Pedagógica Nacional* . (05 de 05 de 2015). Obtenido de
<http://cienciaytecnologia.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=380&idh=385&idn=8055>
- Velasco, S., & Salinas, J. (2001). Comprensión de los conceptos de campo Energía y Potencial Eléctricos y Magnéticos en estudiantes Universitarios. *Brasillera de ensiso de física*, 308-319.
- Wald, R. (1992). *Espacio, tiempo y gravitación. La teoría del "Big Bang" y los agujeros negros*. España: Fondo de cultura económica.

Whittaker, E. (1973). *Aether and Electricity*. New York: Humanities press.

4. Contenidos

Capítulo I: importancia de la re-contextualización en la enseñanza: en este capítulo se muestra la importancia de la re-contextualización para el estudiante y futuro docente, pues le permite ampliar su perspectiva y de esta manera puede llegar a desarrollar nuevas herramientas didácticas que le ayuden en su ejercicio como docente.

Capítulo II: En este capítulo se hace una recopilación sobre todas las propiedades que se le atribuyeron al éter, se trata de llegar a una conclusión sobre sus características en cada época de la historia, este concepto se fue modificando de acuerdo a las conveniencias de cada científico.

Capítulo III: El campo, en este capítulo se muestra un estudio histórico sobre la evolución del concepto de campo, sus descripciones matemáticas, y representaciones.

Capítulo IV: Reflexiones, en este capítulo se muestran las conclusiones a las que se llegan a partir del estudio realizado.

5. Metodología

Para el desarrollo de este documento se utiliza la metodología la re-contextualización de saberes, esta permite re-plantear desde el estudio de fuentes primarias las concepciones que el docente en formación posee.

- **Fase 1 (fase heurística):** recopilación de bases (documentos originales, antecedentes entre otros que permiten dar cuenta de las diferentes concepciones, dependiendo de los autores)
- **Fase 2:** Se recopila la información y selecciona material que se va a incluir en el documento final.
- **Fase 3:** Desarrollo del escrito.
- **Fase 4:** reflexiones en torno al estudio y conclusiones.

6. Conclusiones

- Los estudios históricos nos permiten hacer una re-contextualización del concepto de campo y su relación con la enseñanza de la física.
- Se pudo evidenciar que el éter jugó un papel fundamental en la construcción del concepto de campo. Incluso para algunos autores siendo su antecesor
- No se tiene una definición puntual del concepto de campo, se evidencia su existencia a partir de las líneas de fuerza y tiene una descripción matemática
- El trabajo se presta para el desarrollo de otras monografías, puesto que quedan abiertos a investigación aspectos como el desarrollo matemático planteado por Maxwell a partir de los cuaterniones, la aplicación de la re-contextualización en el aula de clase.
- Es posible evidenciar una conexión entre el estudio histórico, que permite la re-estructuración del saber saliendo un poco del aspecto disciplinar que se quiere enseñar, compartido con la fenomenología y la descripción matemática.

| | |
|----------------|-----------------------------------|
| Elaborado por: | Yuly Paulin Ramos Lozano |
| Revisado por: | John Edward Barragán Parra |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------|
| Fecha de elaboración del Resumen: | 25 | 11 | 2016 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------|

Contenido

| | |
|--|----|
| Tabla de figuras..... | 13 |
| Introducción..... | 14 |
| Objetivos | 17 |
| MARCO TEÓRICO | 17 |
| 1. El papel de la re-contextualización de saberes | 22 |
| 2. Éter | 26 |
| 2.1.1 Naturaleza corpuscular de la luz | 28 |
| “La luz ante los ojos de Newton” | 28 |
| 2.1.2 Teoría ondulatoria de la Luz..... | 30 |
| 2.1.3. La Aberración estelar | 32 |
| 2.1.4. El Éter relativista | 37 |
| 3. EL CAMPO | 40 |
| 3.1 Cuestiones de Faraday | 40 |
| 3.1.1 Polaridad | 45 |
| 3.1.2 Tiempo..... | 47 |
| 3.1.3 La gravedad | 48 |
| 3.2 Aportes de Maxwell | 50 |
| 3.2.1 Las fuerzas y su conservación | 50 |
| 3.2.2 Las Analogías de Maxwell | 56 |
| 3.3 la teoría del campo unificado | 65 |
| 4. REFLEXIONES | 68 |
| ANEXOS | 73 |
| Tabla No 1 | 73 |
| Tabla No 2 | 75 |
| Demostración de Maxwell y su ecuación de momentum de rotación (Maxwell J.C, 1895) | 76 |
| Demostración de Einstein (desarrollo matemático para encontrar el factor de conversión) (Einstein, A. 1905) | 77 |
| Referencias..... | 79 |

Tabla de figuras

| | |
|---|----|
| Figura No 1 Experimento de la rendija de Young | 16 |
| Figura No 2 Explicación geométrica del principio de Huygens | 18 |
| Figura No 3 Comportamiento de la luz para Bradley | 19 |
| Figura No 4 Representación del experimento de Michelson | 23 |
| Figura No 5 Representación del campo para Hertz | 48 |
| Figura No 6 Representación de la reflexión de las ondas propuesta por Hertz | 49 |

Introducción

El objetivo de esta monografía es realizar una re-contextualización del concepto de campo en física, teniendo en cuenta que la palabra es usada en diferentes áreas y su significado se ha diversificado. Es necesario para su comprensión realizar un estudio detallado del surgimiento de dicho concepto, los hechos que lo ocasionaron y sus implicaciones en la enseñanza. En palabras de María Mercedes Ayala.

“los profesores de ciencias (en formación y quienes los forman) han de vincularse a un proceso de recontextualización de saberes, que exige de ellos la elaboración de criterios de selección de un campo problemático, la toma de posición acerca de los fenómenos que intenta organizar (inquietudes, comprensión que tiene de ellos, etc.) así como la valoración de los aportes que al respecto han hecho otros autores” (Ayala, 2004)

Dicha re-contextualización tiene como punto de partida las diferentes teorías del éter, evidenciadas en el libro: Einstein Philosophe (Paty, 1993) del cual se extraen las palabras de Maxwell, “*el (éter) debe ocupar un lugar preeminente en nuestras investigaciones*”, esto debido a que fue el éter en la teoría desarrollada por Maxwell el medio donde los campos eléctricos y magnéticos se propagan, considerando que se pretende rescatar y aclarar el significado de dicho concepto, es necesario conocer ¿cómo surgió el mismo?

(Ben-Dov, 1999) menciona que: “*Para una mejor comprensión de la física actual, y quizás de la del futuro, necesitamos abordar sus teorías desde una perspectiva histórica.*” En otras palabras, la comprensión del conocimiento se relaciona con la atención que se da al desarrollo histórico, de modo que es importante tener en cuenta a los pensadores que se vieron inmersos en la elaboración de las teorías, mostrando la importancia del contexto en el cual se desarrollaron sus ideas, el interés que se tenía y las preguntas que se pretendían responder.

En este documento se abordaron los puntos de vista de diferentes pensadores, entre estos se tendrá en cuenta a Sir Isaac Newton con su teoría corpuscular sobre el comportamiento de la luz, Christian Huygens quien planteó la teoría ondulatoria, Michael Faraday, Hertz entre

otros. Son importantes pues brindan una nueva perspectiva frente la construcción del concepto de éter y posteriormente el de campo.

La reconstrucción en torno a estos conceptos se organiza de acuerdo a las fechas de participación de cada uno de ellos, se decide agrupar los capítulos teniendo en cuenta los conceptos macro desde lo disciplinar, es decir, el punto de partida es el éter, pero con él se dieron sub-conceptos como el éter luminífero, se le atribuyeron características mecánicas con el fin de explicar diferentes teorías. Por otro lado, el concepto de campo que se desarrolla en otro capítulo, permite dar cuenta de sus características y el paso que se tiene desde lo mecánico hasta lo electrodinámico.

En suma, la re-contextualización de un concepto fundamental en la física, da un espacio para mostrar la importancia de este tipo de estudios y la implementación que se debe realizar en torno al concepto de campo en el caso de este trabajo, pues permiten aclarar dudas o vacíos que se pueden tener si sólo se entra a ver el resultado sin el proceso. Una vez realizada dicha re-contextualización se expresan algunas reflexiones en torno a las distintas ramas del conocimiento que se relacionan con la idea de campo y su enseñanza.

Planteamiento del problema

Al hacer referencia a conceptos como el campo eléctrico y magnético algunos docentes hacen uso del lenguaje matemático para evidenciar su existencia, otros de corte más experimental se apoyan en distintas experiencias que le permiten al estudiante observar los efectos de dichos campos sobre un cuerpo en particular, pero pese a sus esfuerzos, para los estudiantes continúa siendo difícil relacionar los formalismos matemáticos con los fenómenos observados.

Diferentes autores han desarrollado investigaciones en torno a esta situación. (Furio & Guisasola, 1993); Por su parte analizan dos factores: uno tiene relación con la dificultad y el desarrollo histórico de los contenidos y el otro con el aprendizaje del estudiante en sí mismo. (Velasco & Salinas, 2001). Concluyen que a pesar de aprobar la asignatura de electricidad y magnetismo los estudiantes de segundo semestre de ingeniería no tienen claros los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico y energía, puesto que no se dan explicaciones

científicas relacionadas con el fenómeno y consideran que las líneas de campo no son continuas y que pueden ser interrumpidas.

En los antecedentes se destaca que es necesaria indagar acerca de la utilización del concepto de campo, ya que muestran las dificultades de los estudiantes, pero no es posible decir si es por la falta de contextualización por parte del estudiante o del docente. Es importante resaltar que no es posible generalizar a los estudiantes, pues es claro que en la actualidad diferentes líneas de investigación se remiten a buscar metodologías o herramientas que le permitan al docente enseñar de una manera más apropiada dependiendo del grupo de estudiantes al que está dirigido; en este caso no se involucra una población específica pues el trabajo de re-contextualización se enfoca directamente en el docente en formación el cual con el tiempo desarrollará una metodología o una estrategia didáctica que le va a permitir explicar los diferentes temas relacionados con la física, pero mientras eso sucede el estudiante en algunos casos se limita a ser el transmisor de acontecimientos científicos que otros hicieron, por ejemplo (Reyes Roncancio, 2014) afirma en su estudio que el conocimiento didáctico del contenido (CDC), le permite al docente en formación organizar de manera jerárquica los conocimientos, y no se apropia del mismo, por lo que se considera necesario una “*recontextualización de saberes*” (Ayala, 2004) en torno al concepto de campo, esto lleva a formular la siguiente pregunta:

¿Cuál es la importancia del concepto de campo en la enseñanza de la física?

Objetivos

Objetivo General

Realizar una re-contextualización sobre el concepto de campo que permita reflexionar acerca de la importancia que tiene en la física, tomando como puntos de partida el éter.

Objetivos específicos

- Indagar en las obras de Newton, Maxwell y Einstein, el papel que le asignaron al éter y en el desarrollo del concepto de campo.
- Analizar los procesos y las situaciones que permitieron el surgimiento del concepto de campo en la física.
- Establecer algunas reflexiones que permitan dar cuenta de la construcción del concepto de campo y su importancia en la enseñanza de la física.

MARCO TEÓRICO

Es necesario realizar una revisión de documentos que permita visualizar qué aspectos sobre la enseñanza del concepto de campo se han trabajado. Se encontraron documentos en el departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Francisco José de Caldas y otras instituciones a nivel nacional y global que permiten dar cuenta de diferentes estudios y enfoques que se han trabajado para la enseñanza del concepto de campo, sus dificultades y avances, además de estos se realiza un estudio de diferentes documentos que desarrollan las ideas planteadas por Faraday, Hertz, Einstein entre otros; A partir de estos se realiza el desarrollo de esta monografía.

El desarrollo del concepto de campo para Faraday, es una monografía en la que los autores parten de la historia para demostrar los avances de Faraday, realizan un análisis de la teoría del electromagnetismo de Gilbert, pasan por Descartes, Franklyn y Ampere (Olarde & Zarate, 1991); en cuanto a la enseñanza de este concepto se encontró un documento que elabora una

secuencia didáctica que le permite al estudiante la comprensión del concepto de campo, desarrollando la evolución histórica, acompañada de sondeos pedagógicos y el análisis de libros básicos de electromagnetismo. (Betancor, 2010).

Otros trabajos, muestran la enseñanza desde modelos cuantitativos que permitan al lector verificar que tan efectivo es dicho modelo (Reyes Roncancio, 2014), pero no solo la enseñanza desde una perspectiva didáctica es importante, también los avances matemáticos que ha tenido la física en cuanto al concepto aunque cada autor asigna un significado particular y lo desarrolla de una manera especial, pensadores como Maxwell, no solo intenta dar un significado al campo también permite demostrar su existencia de manera matemática, que con el tiempo se fue modificando para facilitar la comprensión del estudiante haciendo uso de las formas diferenciales (Peña, 2008).

La importancia de los estudios epistemológicos en la formación de futuros docentes, se muestra gracias a su utilidad al momento de adquirir una posición crítica y modificar nuestra forma de ver las cosas, sin quedarnos con el significado de un texto escolar, siempre es mejor tener conocimiento del por qué, cómo surgió, estos procesos dinámicos que involucran a la epistemología, al plano matemático e investigativo en el que participa de manera activa el estudiante y el docente. (Cardozo & Torres 1999).

La construcción del concepto de campo por parte del estudiante, está ligada a la claridad y dominio que tiene el docente del mismo, investigaciones como las mencionadas en la problemática, se centran en la falta de comprensión por parte del estudiante, (haciendo referencia a cursos de media y universitaria), y se enfocan en sus dificultades, caracterizadas por problemas de enseñanza y epistemológicos; relacionando así los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales del aprendizaje del conocimiento científico (Gil, 1985; Gil y Carrascosa, 1993; Furio 2001). Por otro lado, los estudios enfocados hacia la importancia del concepto de campo en física muestran que la complejidad y las diferentes construcciones matemáticas del concepto hacen necesaria una re-contextualización, que permita tener claridad sobre el mismo. (Llancaqueo, Caballero, & Moreira, 2003)

Por otro lado, el docente en su formación, desarrolla por lo menos tres componentes, el componente disciplinar, componente didáctico y el saber cómo enseñar (Lorenzo, 2012). El componente disciplinar es fundamental, ya que le permite tener un conocimiento sobre lo que es el campo, a su vez le proporciona herramientas para su enseñanza, en este caso es necesario que el docente que enseña el concepto de campo a los estudiantes tenga claro su surgimiento, cómo funciona, cuál es su aplicación, formulación matemática y sea capaz de compararlo con otras perspectivas como la acción a distancia; el componente disciplinar se puede reforzar por medio de estudios históricos, epistemológicos o de re-contextualización, que le permitan al maestro tener una mayor comprensión de las dinámicas de su disciplina (Galvis & Matallana 1999).

La idea de realizar estudios epistemológicos va más allá de plantear o desarrollar una reconstrucción histórica que abarque los sucesos de manera cronológica, por el contrario, la idea es tomar una posición frente a los autores a través de sus escritos que permita construir una “*estructuración particular*” es decir retomar los viejos problemas con nuevos ojos (Ayala, 2004)

Una de las características que resalta la misma Universidad Pedagógica Nacional en su página Web como propuesta de formación de un maestro en ciencias (Especialización en docencia de las ciencias para un nivel básico) es el componente epistemológico,

“Se destaca el papel de los estudios epistemológicos en cuanto proporcionan un contexto cultural más amplio al maestro de ciencias y posibilitan adentrarse en la comprensión de los procesos inherentes a la actividad científica. Se recalca su papel como instrumento de crítica conceptual de los fundamentos y prácticas de la ciencia y su aporte a una mejor comprensión de los saberes especializados y de los problemas cruciales que éstos buscan resolver.” (Universidad Pedagógica Nacional , 2015)

Vale la pena resaltar entonces la importancia que tienen los estudios epistemológicos e histórico-críticos para la construcción y apropiación del conocimiento, seguido de un desarrollo analítico que permita generar herramientas pedagógicas que faciliten la comprensión del concepto de campo.

Algunos estudios muestran que a los estudiantes se les dificulta menos la comprensión del concepto de campo cuando se hacen mapas o ideas mentales del mismo (Llancaqueo, Caballero, & Moreira, 2003).

Esta característica permite resaltar la importancia que tiene para el estudiante y futuro docente realizar estudios epistemológicos y de re-contextualización, en general, se puede afirmar que este tipo de estudios proveen no solo de un amplio conocimiento sobre temas específicos sino también permite dotar de sentido la actividad de conocimiento y actividad del maestro.

En cuanto al concepto de campo se considera relevante ya que es utilizado desde la física clásica hasta la moderna. En física clásica el campo se utiliza para describir y explicar fenómenos electromagnéticos, gravitacionales; en la física moderna *“el campo representa de una manera unívoca todas las acciones determinadas por su fuente”* (Einstein, Albert; Infeld, Leopold, 1986), Feynman define el campo como *“toda cantidad física que toma un valor diferente en cada punto del espacio”* (Feynman & Leighton, 1972), Feynman también enuncia la importancia del campo en las teorías de partículas elementales que buscan la elaboración de modelos que expliquen y unifiquen las fuerzas básicas de la naturaleza (Feynman, 1985), para la física moderna es importante el concepto de campo pues ayuda a la descripción de lo real (Einstein, 1995), el concepto de campo surge con el fin de dar explicación a algunos fenómenos electromagnéticos del siglo XVII, desde ese entonces hasta el siglo XIX, se han dado diferentes ideas sobre su significado, transformándose.

“el término campo y las ideas que yacen detrás de él están encontrando uso en áreas de investigación más y más amplias. Ya que el concepto ha probado ser tan significativo en las ciencias físicas, donde se originó” ... “pero en el presente, el término campo se usa muy vagamente en áreas diferentes de las ciencias físicas y esto desgraciadamente crea confusión, destruye la claridad, distorsiona el significado y por esto disminuye la utilidad”. (Margenau, 1977).

En la tabla No 1 de los anexos se muestra una relación que hacen Moreira, Llancaqueo y Caballero (2003) en su artículo, *El Aprendizaje del Concepto de Campo en Física: una Investigación Exploratoria a Luz de la Teoría de Vergnaud*, sobre algunos estudios relacionados a la importancia del concepto de campo en física.

Se ha mencionado en términos generales la importancia que tiene el concepto de campo en la enseñanza de la física, ahora bien, se hace necesario hacer énfasis en la educación básica y media, ya que dentro de la problemática se plantea que la comprensión de este concepto también es de su competencia.

Dentro de los estándares básicos de competencia que tiene el Ministerio de Educación Nacional (MEN) se establece que los estudiantes desde grado primero tienen un acercamiento a la construcción del concepto de campo, pues las temáticas a trabajar están relacionadas con electromagnetismo, algunos objetivos propuestos hacen referencia específica al termino campo acompañado de su apellido, (es decir campo eléctrico, magnético o gravitatorio), además mencionan conceptos relacionados como las fuerzas, la atracción de los imanes, entre otros, pero siendo un poco más detallados en la observación de los estándares, puesto que uno de los objetivos es que los estudiantes verifiquen las fuerzas a distancia generadas por el imán, pero aunque el imán atrae objetos, existe una relación entre esa atracción y la intensidad de la fuerza, en términos generales los estándares propuestos por el (MEN) son la base que se debe tener en cuenta para la construcción de las mallas curriculares en las instituciones, que dan cuenta de un proceso que los estudiantes deben llevar a cabo en compañía del docente. En la tabla No 2 de los anexos es posible observar los objetivos o logros específicos en el área de física (entorno físico) que se deben alcanzar (Einstein, Albert; Infeld, Leopold, 1986; Einstein A. , 1905).

Lo mencionado anteriormente permite dar cuenta de algunos estudios que resaltan la importancia de la investigación, en torno a la enseñanza y las diferentes metodologías que se pueden tener en cuenta, para el caso de esta monografía se toma como metodología la re-contextualización partiendo del estudio histórico de los acontecimientos, seguido de un análisis que permita finalmente generar reflexiones en torno al tema. A continuación, se desarrollan los temas considerados relevantes para la construcción del concepto de campo.

1. El papel de la re-contextualización de saberes

Las teorías científicas surgen en cierto contexto cultural, económico y social, lo cual hace importante conocer dicho contexto para comprender el surgimiento de las teorías, una herramienta de los docentes es el retorno a los textos que escribió el autor en su momento (originales), conociendo así las situaciones particulares que permitieron surgir en ese momento histórico y no en otro las teorías. No basta con esto solamente, se debe tener en cuenta que unas teorías científicas descontextualizadas, es decir, teorías que no tengan en cuenta el lugar y las personas a las cuales se les está enseñando, es algo poco atractivo para el estudiante y si se quiere hasta tedioso, es el objetivo de la re-contextualización evitar esa falta de interés, Bernstein la designa como el proceso de transformación y adaptación de conocimientos a cierto ambiente social, cultural y político. (Granes & Caicedo, 2016)

Los procesos de re-contextualización implican una articulación y un cambio de conceptos no solo en el estudiante sino también en el docente que imparte el conocimiento, pues es necesario una transformación del discurso, sin dejar de lado la base, la esencia de la teoría científica, el maestro es el encargado de tomar el material que le brindan y adaptarlo de tal manera que se haga interesante a los estudiantes y que esté acorde a la cotidianidad del estudiante. El docente tiene entonces un papel decisivo en dicho proceso pues se deja de lado la reproducción y se empieza un proceso de crecimiento permanente al proporcionar un nuevo significado a los conocimientos.

Dentro de este proceso de re-contextualización los libros de texto juegan un papel importante, pero ¿hasta qué punto los docentes generan dependencia a los libros de texto?, ¿hasta qué punto el docente es libre de desarrollar los contenidos de la física de manera independiente a los lineamientos exigidos por el MEN?

Desde la cotidianidad vivida en las aulas, algunas instituciones obligan a los docentes a ceñirse a un solo libro de texto o una guía docente que eligen a conveniencia pues no se evalúan los contenidos de los textos para la formación de los estudiantes.

Para Granés *“un libro de texto representa en la forma más articulada y coherente posible un determinado paradigma científico, tal como este es aceptado moderadamente por la*

comunidad académica respectiva”. (Granes & Caicedo, 2016) El docente ha asumido que su labor es netamente explicativa y no se genera conocimiento dentro de las aulas, en otras palabras, la labor investigativa del docente queda en un segundo plano, sin entender que el mejor laboratorio para experimentar diferentes modelos educativos y formas de enseñar la física de manera adecuada es el aula de clase. Los protagonistas dentro de la investigación son los estudiantes y los docentes. Estos últimos tienen la labor más difícil pero también la más gratificante que consiste en compartir sus conocimientos sin creerse dueños de él y aprender en medio de la interacción con los estudiantes acerca del quehacer educativo y pedagógico.

Dentro del libro de texto se realiza una contextualización de conceptos de una manera sencilla, se transforma un texto original que es un tanto complejo a uno más sencillo y entendible para el lector, lo cual facilita la circulación del conocimiento dentro del aula de clase, pero se hace necesaria una re-contextualización por parte del docente que permita al estudiante no solo comprender un concepto, aunque esto no siempre se logra, sino también poner en términos familiares, una aplicación de los conocimientos en su entorno, facilitando con ello la comprensión y sobre todo la apropiación conceptual del estudiante.

Por lo anterior es necesario fomentar en el estudiante la cultura del saber, del conocer, del cuestionar y cuestionarse y no quedarse solamente con lo que se dice dentro del aula de clase. En la actualidad es posible ver que el libro de texto contiene las temáticas que se abordarán durante el año escolar, el docente se ciñe de tal manera al trabajo del mismo que se cierra al estudiante la oportunidad de explorar otras opciones con el fin de ampliar su conocimiento, en la práctica, el docente queda entonces como un comunicador, una especie de traductor de contenidos, para lo cual no se ha formado.

En este orden de ideas se está perdiendo el sentido de ser docentes, por esta razón es importante resaltar los procesos de enseñanza, realizar una re-contextualización de saberes que nos dé herramientas para dichos procesos. Pero para hablar de enseñanza es necesario definir a que hacemos referencia con el saber *“El saber se despliega en el espacio transicional entre lo subjetivo y lo objetivo, la unión y la separación, lo real y lo imaginario, lugar donde surge el juego en el niño y que más adelante da lugar a la creación y a la cultura.”* (Ríos Rivera, 2016). Y el saber no solo para el estudiante sino para el docente

porque la tarea del docente debe dar sentido a los temas de la física, de lo contrario se convierte simplemente en un medio por el cual se comunica información, “*el trabajo del maestro puede reconocerse y estudiarse en la relación (decir-del saber). Su habla debe ser estudiada dentro de las reglas de interpretación o (reformulación) que vienen fijadas por la interacción oficializada.*” (Díaz, 2016) Algunos artículos hacen mención a las reglas de la re-contextualización, otros simplemente la definen y dan la posibilidad de basarse en ella para generar herramientas a la hora de la enseñanza, lo cierto es que este proceso es importante porque permite una especie de choque mental entre lo que se sabe, se hace y lo que se aprende.

“La re-contextualización es el estado en el que surge la pregunta por la pertinencia del saber en una determinada época, es decir, que nos aleja del problema de la actualización dado que podemos encontrar cursos actualizados en sus contenidos, pero inadecuadamente re-contextualizados. Ésta le permite al docente tomar distancia, sospechar de todo intento de actualización incauta, más bien le da elementos para alcanzar niveles de pertinencia. Los saberes y la relación con los mismos nos posibilitan una dimensión viva y profunda de nuestra acción de enseñantes.” (Ríos Rivera, 2016)

Teniendo en cuenta lo que menciona el autor en su artículo, la *importancia de la re-contextualización y la re-conceptualización del saber en el diseño de la enseñanza APOYADA en TIC*. La re-contextualización nos permite a los futuros docentes idear metodologías para la enseñanza, abrir nuevos caminos para acercarnos al estudiante, teniendo en cuenta el contexto en el que se va a desarrollar el conocimiento y reconociendo así que los estudiantes no son páginas en blanco para que el maestro llene de conocimientos. Por el contrario, son personas que tienen muchos conocimientos y la labor del docente es sacar el máximo provecho de los saberes previos del estudiante. En este proceso juega un papel importante dejar de lado la cátedra, llevar experimentos que les impacten fomentando así la curiosidad, de esta manera el tema deja de ser aburrido como lo plantea en algún momento José Granés en su artículo *del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza. Análisis de una experiencia pedagógica*, es decir que el docente desarrolla un

discurso pedagógico como lo designa Bernstein (1984). Esta producción tiene una posición primaria en la que se evidencia el orden jerárquico que maneja, luego dicha posición se modifica de acuerdo con las reglas que se plantean dentro del mismo discurso “*Es desde esta perspectiva que puede decirse que el discurso es una categoría constituyente y ubicadora, contextualizante y recontextualizante de sujetos y de relaciones sociales potenciales*” (Bernstein & Díaz, 1984). Es evidente que el papel de la re-contextualización se viene trabajando desde hace años dentro del ámbito educativo, pero a pesar de algunos estudios que muestran que estos procesos son importantes para el desarrollo conceptual del docente y del estudiante, partiendo del discurso pedagógico se diseñaron estructuras y reglas de la re-contextualización en el docente, la relación estudiante-docente y la evaluación que aunque para este trabajo no es relevante si se debe tener en cuenta en el momento de la práctica, Bernstein designa esto en las siguientes palabras.

“Si no podemos explicar las reglas que rigen la construcción, representación y contextualización del ‘texto privilegiante’ -es decir explicar las relaciones ‘dentro de’- tampoco podemos saber que se ha adquirido positiva o negativamente, y si no sabemos esto ¿cómo podemos conocer la relación entre el ‘texto privilegiante’ y la consecuencia del sujeto pedagógico? Y si desconocemos eso ¿en qué sentido podemos hablar de reproducción, resistencia transformación?” (Bernstein, 1993)

En suma, la importancia del proceso de re-contextualización de saberes se hace vital para el trabajo que se quiere desarrollar, pensándose en el desarrollo que a lo largo de la historia de la física tiene la palabra campo a partir de teorías como el éter que nos muestran una física más dinámica que la comúnmente abordada en las clases.

2. Éter

La primera idea sobre el éter, fue dada por Aristóteles en su libro física (1995)¹, esta se da tratando de dar explicación a la no existencia del vacío, en este compilado de libros realizado por Aristóteles hacia el siglo IV A.C. en el que considera al éter como una sustancia que compone los cuerpos celestes, (Aristóteles, 2015) algo aproximadamente como el aire de los dioses; En ese momento una de las preocupaciones principales fue la concepción del vacío, pensadores como Aristóteles, Pitágoras y Anaxágoras citados dentro de este mismo libro, dan su punto de vista, se puede concluir al leer el libro IV, que se tenían concepciones divididas frente a la idea del vacío, pues si no había una sustancia material que lo ocupase, para unos este se encontraba vacío, por otro lado se tuvo la idea de que ese vacío no se encontraba tan vacío, puesto que el aire no es vacío, tiene características de resistencia, al igual que el éter, al que se le atribuyen características especiales. Al pasar el tiempo, principios del siglo XVI, nuevamente empieza a mencionarse la palabra éter, esto para dar cuenta de algunos fenómenos, para los pensadores de principio del siglo XIX una de las principales preocupaciones fue la existencia del éter y con ella la postura sobre el espacio, para la época se tenían concepciones diferentes acerca del mundo físico, una de las posiciones fue adoptada por Sir Isaac Newton que definió las características del espacio como homogéneo, infinito, isotrópico y vacío; por otro lado está la posición de los cartesianos apoyados en Descartes que concebían el espacio continuo y extenso, en el que los cuerpos tienen manifestaciones locales y perturbaciones que viajan a través del medio. (Orozco, 2004).

A continuación, se desarrollan las diferentes ideas sobre el éter, pues al igual que el concepto de campo se encuentran acompañados de algunas posturas que hicieron posible su aparición, como la explicación sobre la naturaleza de la luz, entre otras.

Algunos pensadores del siglo IV A.C. como Pitágoras ya habían mencionado algo relacionado a la naturaleza de la luz, él planteó que la luz viajaba en línea recta y que las imágenes eran el reflejo del choque de partículas que emitían nuestros ojos, su idea sobre el espacio también era la concepción del vacío *“los pitagóricos decían que el vacío existe y que*

¹ El libro como tal fue transcrito a formato digital en esa fecha por Guillermo R. de Echandía

penetra en el universo mismo, como si éste lo inhalase desde un soplo infinito, y que es el vacío lo que delimita las cosas de la naturaleza, como si el vacío fuese lo que separa y delimita las cosas sucesivas; y afirmaban que está primariamente en los números, pues el vacío delimita su naturaleza” (Aristóteles, 2015), por otro lado Leucipo, Epicuro y Demócrito partidarios de los atomistas, conciben el espacio entre los átomos indivisibles, es decir un espacio lleno de átomos, gracias a su concepción del espacio, apoyan la idea de que la luz está compuesta por corpúsculos. (Sánchez, 2015).

A finales del siglo XVII había dos posiciones que explicaban la naturaleza de la luz, una representada por Sir Isaac Newton quien propuso que la luz estaba compuesta con pequeños corpúsculos; y la otra por Cristian Huygens y Robert Hooke quienes proponen la teoría ondulatoria de la luz.

La naturaleza de la luz fue una de las incógnitas que marcó a los pensadores durante muchos años, Aristóteles en su momento elaboró una teoría sobre la naturaleza del color, esta consistió en que los colores vivos eran el producto de predominancia de la luz, y los oscuros como el púrpura y el azul se daban cuando la sombra predominaba, a mediados del siglo XVI, pensadores como Grimaldi, Descartes y Hooke expusieron su punto de vista frente al tema, Descartes por su parte realizó una serie de experimentos para poder dar respuesta a la naturaleza de la luz y la formación del color, estos consistieron en instrumentos que simulaban las gotas suspendidas en la atmósfera, dando explicación con esto a la formación del arcoíris, por otro lado Robert Hooke basó su explicación en pulsos que daban cuenta de la refracción de la luz, y finalmente Grimaldi atribuyendo el comportamiento de la luz a un fluido. (Granés, 2005). Por otro lado Isaac Newton interesado también en el fenómeno, realizó el experimento del prisma, pero a diferencia de sus colegas, no se enfocó en dar respuesta a como se da el color sino a la forma que este tiene después de pasar por el prisma, pues según la geometría al descomponerse la luz por refracción, la figura formada debía ser una circunferencia, pero esto realmente no sucedió, puesto que la forma oblonga reflejada sobre el piso, fue lo que hizo que él formulara su teoría sobre el color y la naturaleza de la luz. Lo que esto permite evidenciar es que los puntos de vista que tuvieron cada uno de los pensadores frente al comportamiento de la luz se enmarcaron, en los resultados obtenidos en

sus experimentos, además de sus posiciones teóricas. A continuación, se desarrollan las ideas sobre la teoría corpuscular y ondulatoria respectivamente.

2.1.1 Naturaleza corpuscular de la luz

“La luz ante los ojos de Newton”

A groso modo se puede decir que Sir Isaac Newton por medio de sus escritos, más allá de dar una explicación al fenómeno buscó demostrar a través de su “método científico”, basado en la observación, la existencia de un ser supremo experto en física; esto se puede ver en un artículo realizado por Stephen Snobelen, en el que se muestra a Sir Isaac Newton, como un buscador de la existencia de un ser supremo, en uno de sus párrafos dice:

“Todos los animales grandes tienen dos ojos en la frente, una nariz en medio de ellos, una boca bajo la nariz, dos orejas a los lados de la cabeza, dos brazos, dos patas, o dos alas en los hombros, y atrás dos piernas; y esta simetría en las diversas especies no podría proceder del azar, al haber un azar igual para uno, para tres o para cuatro ojos que para dos. Y así para el resto de los miembros (...) la primera formación de especie de criaturas debe adscribirse a un ser inteligente”. (Snowbelen, 2006)

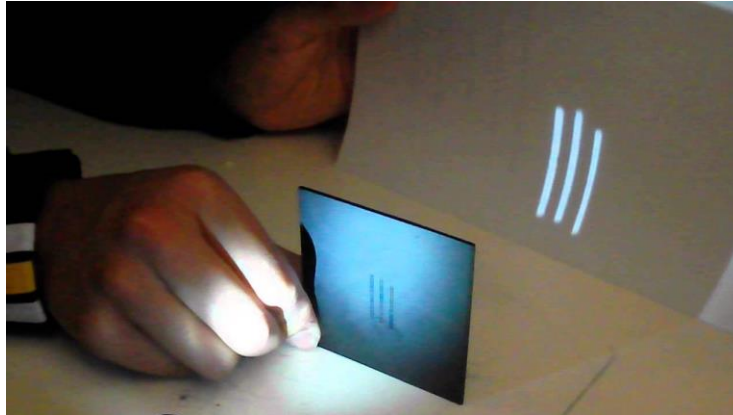
Lo mencionado anteriormente, para dar un panorama general sobre la concepción de Newton, por otro lado, sobre la teoría del color que se plantea desde 1704 en la obra Óptica, basada netamente en la observación del experimento de dejar pasar el rayo de luz a través del prisma; se muestra en los Principia de manera geométrica. Se toma la explicación mostrada por A. Einstein y L Infeld de una manera muy sencilla, en su libro *la física, aventura del pensamiento* partiendo de la propagación de la luz en línea recta descrita en un experimento que llaman “*simple y primitivo*” (Einstein & Infeld, *La física, aventura de pensamiento*, 1939).

A continuación, se muestra en la figura No 1, el experimento similar al realizado por los autores, sobre la propagación de la luz es: “*una pequeña abertura en una linterna cubierta. Sobre una pared distante, el orificio de nuestra pantalla se verá como una mancha luminosa sobre el fondo oscuro*” (Einstein & Infeld, *La evolución de la física*, 1986) esto es posible

evidenciarlo en la gráfica en el que se puede observar una fuente de luz, 3 orificios en una placa y la mancha luminosa sobre el fondo o la pared.

Figura No 1

(Física, 2016)



Para explicar mejor y demostrar que la teoría corpuscular era la correcta Einstein & Infield hacen referencia a “*el enigma del color*”, en este capítulo colocan apartes de la obra de Newton en la que explica la formación de los colores y la combinación de los corpúsculos de los que se compone la luz blanca.

Newton escribió:

“... tales colores no se generan repentinamente, sino que se revelan al separarse; ya que, al mezclarlos por completo de nuevo, componen otra vez el color original. Por la misma razón, la transmutación mediante la reunión de varios colores no es real, porque cuando los distintos rayos se separan nuevamente reproducen los mismos colores que tenían antes de entrar en la composición; como es sabido, polvos azules y amarillos mezclados íntimamente impresionan nuestros ojos como si fueran verdes, y sin embargo los colores de los corpúsculos no se han transmutado realmente, sino tan solo mezclado. En efecto si observamos dicha mezcla con un buen microscopio, veremos entreverados los corpúsculos azules y amarillos” (Einstein & Infield, 1939)eds Newton, I.).

A manera de conclusión, se puede afirmar que para Newton fue fundamental la observación del fenómeno para explicarlo; ya que al no ser partidario de la hipótesis, era necesario a través del experimento demostrar las propiedades de la luz; aunque hasta el momento no se menciona el éter para dicha explicación, esto debido a que la teoría corpuscular propuso que esas partículas que componen la luz viajan a la misma velocidad, en el vacío, al ser esta teoría capaz de explicar el fenómeno de refracción y dispersión es aceptada entre algunos pensadores de la época; pero como no todos eran partidarios de Newton, y no concebían el espacio como homogéneo, infinito, isotrópico y vacío, se planteó entonces la teoría ondulatoria de la Luz.

2.1.2 Teoría ondulatoria de la Luz

“otra manera de ver el fenómeno”

Cristian Huygens por su lado planteó lo que hoy se llama principio de Huygens para demostrar la propagación de la onda en un medio material, hizo uso de la geometría para explicar el fenómeno de reflexión y refracción de la luz. Él consideró que la Luz no podía tener el comportamiento de los corpúsculos, por esto buscó dar otra explicación a la ya planteada por Newton; introdujo la sustancia llamada “éter” que para él era el medio material que permeaba el universo y permitía que la luz se propagara, puesto que era necesario tener un medio material para la propagación de las ondas, además fue más sencillo plantear una sustancia que le permitiera a la luz propagarse, que determinar el comportamiento de infinitas partículas.

El principio de Huygens plantea que un frente de ondas primario, forma uno secundario, y que el punto en el que se intersectan las ondas secundarias muestra la difracción de la luz.

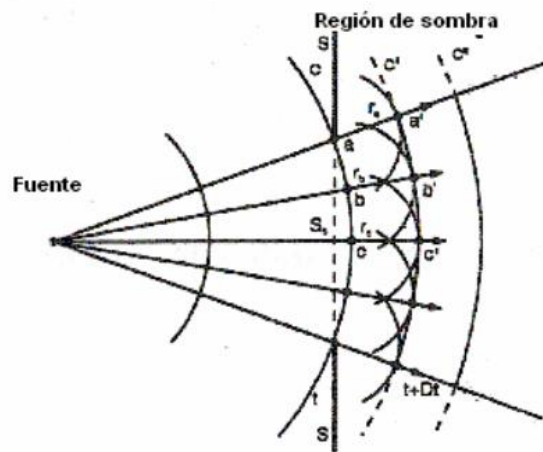
En su *Traité de la lumiere* publicado en 1690 menciona:

“si la luz emplea cierto tiempo para recorrer una determinada distancia, resulta que este movimiento comunicado a la materia en la cual se propaga, es sucesivo y, por consiguiente, se difunde, como el sonido, por superficies esféricas y ondas. Y las llamadas ondas por su semejanza que tienen con las

que se forman sobre el agua cuando se arroja una piedra sobre la superficie: ondas que presentan un ensanchamiento sucesivo en forma de círculos, aun cuando la causa es distinta de las ondas luminosas y estén estas en una superficie plana". (Einstein, Field, & Huyguens , La física una aventura del pensamiento, 1939)

Lo mencionado anteriormente se representa de manera geométrica en la siguiente

Figura No 2².



Una onda primaria forma varias ondas secundarias, y un frente de ondas primarias formará un frente de ondas secundarias, se puede decir que en esencia este es el principio de Huygens. Lo anterior en cuanto a la geometría del principio, pero realmente lo que nos interesa fue cómo llegó a formular el éter al que se le llamó “éter luminífero” posteriormente. Se da inicio entonces con las características que dicho éter debió tener para que le permitiese a la luz propagarse, el medio es transparente y toma forma oblicua, ya que se encuentra en todo el universo, la teoría ondulatoria en la época mostró que con algo de matemática era más sencilla la explicación al fenómeno de la luz, además como se planteó que cada color tenía una longitud de onda diferente, era posible dejar de lado la suposición que cada partícula tuvo un color diferente. Cada teoría tenía un lenguaje diferente.

² (Berkson, 1981)

2.1.3. La Aberración estelar

Luego de plantear las dos teorías, a principio del siglo XVIII, el descubrimiento óptico de la aberración estelar fue crucial para apoyar la teoría corpuscular, Bradley quien descubrió este fenómeno; supuso que la luz está formada por corpúsculos que no se ven afectados por la fuerza de gravedad.

El comportamiento de la luz para Bradley se muestra en la siguiente figura³.

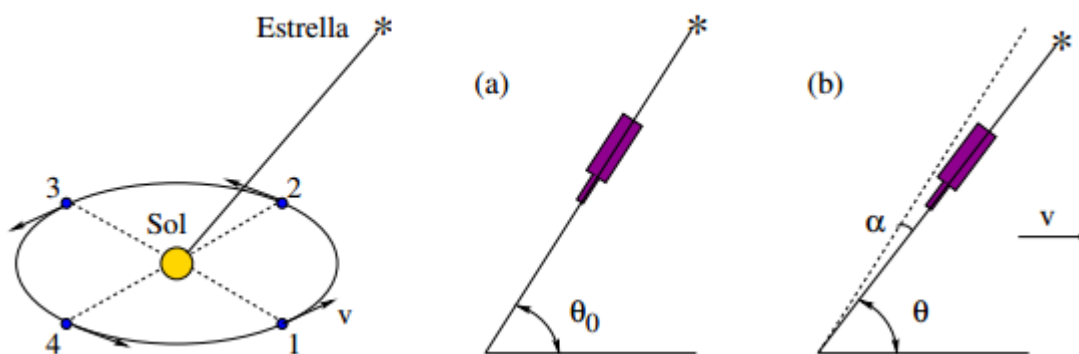


Figura No 3

Según las observaciones de este astrónomo británico se tiene entonces un telescopio ubicado en la tierra (reposo), apunta una altitud teniendo en cuenta el ángulo Θ_0 (figura a), pero si la tierra se mueve con una rapidez v formando una elipse entonces el ángulo que se forma con el telescopio debe ser diferente, por tanto, esa diferencia es el ángulo de aberración que está dado por: $\alpha = \Theta_0 - \Theta$.(figura b)

El descubrimiento de la aberración de la luz aunque determina un gran apoyo a esta teoría tiene algunos tropiezos, dentro de ellos, Thomas Young que continua apoyando la teoría ondulatoria hacia el año de 1800, basándose netamente en la velocidad de la luz, “*la diferente velocidad que la luz tiene en medios distintos la explicaba en base a la diferencia existente entre las densidades del éter en dichos medios*” (Sanchez Ron, 1983) trata de encontrar una explicación a la aberración estelar por medio de la teoría ondulatoria, realizando análisis de experimentos que mostraban dicha aberración por lo cual plantea que ese “éter” es una

³ Figura tomada de (Universidad de Granada, 2016)

sustancia sutil que no es arrastrada por el movimiento de la tierra, afirma en su obra *course of lectures on Natural philosophy* “Al considerar el fenómeno de la aberración de las estrellas estoy dispuesto a creer que el éter luminífero impregna la sustancia de todos los cuerpos materiales con pequeña o nula resistencia” (Sanchez Ron, 1983)

Ésta es entonces una de las primeras características del éter luminífero, en primer lugar este éter tenía la capacidad de impregnar todos los cuerpos incluso lo que se conoce como vacío interplanetario, es una sustancia sutil, ligera y rígida porque no se comprime con facilidad, sin resistencia o con una resistencia casi nula para permitir a los cuerpos su paso; la idea del éter luminífero no le fue del todo indiferente a Newton puesto que terminó aceptándolo aclarando algunas características sobre el mismo.

Lo que se lleva hasta el momento es: que se tuvo un inconveniente al hacer relaciones de la velocidad de la luz⁴, Por ejemplo, en la teoría corpuscular, aunque se mencionan varias partículas cada una con un color diferente, todas viajan a la misma velocidad en el vacío, pero a velocidades distintas en el vidrio, para la teoría ondulatoria se dice entonces que las distintas longitudes de onda tienen la misma velocidad en el éter, pero diferentes en el vidrio. (Einstein & Infield, La física, aventura de pensamiento, 1939)

A pesar de tener formas diferentes de exponerse, de alguna manera tenían un problema con la explicación de las velocidades y la propagación.

Tiempo después Fresnel se interesa por el tema de la teoría ondulatoria junto con François de Arago, quien realizó algunos experimentos, con el fin de demostrar que lo planteado por Newton en la teoría corpuscular, funcionaba también con los cuerpos celestes; En la carta de Fresnel a su amigo François Arago, dice que a pesar de que la teoría se adapte bien a lo observado, es necesario tener en cuenta algunas cosas sobre las partículas.

Fresnel: “Dentro de la teoría corpuscular, como usted ha señalado, este notable resultado sólo puede explicarse suponiendo que los cuerpos luminosos transmiten a las partículas de la luz un infinito número de diferentes velocidades, y que estas partículas sólo afectan al órgano de la

⁴ Se hace relación a la velocidad de la luz en el vacío, ya que para la época era conocido su valor gracias al experimento realizado por Roemer en 1675.

vista cuando viaja a una de estas velocidades, o al menos entre límites muy muy juntos, por lo que un aumento o disminución de una diezmilésima parte es más que suficiente para evitar su detección. La necesidad de esta hipótesis no es la menor dificultad adjuntando a la teoría corpuscular; en lo que sí depende de la visión, Tras el impacto de las partículas de luz en el nervio óptico. En este caso tal impacto no quedaría imperceptible por un aumento en la velocidad. La forma en que las partículas se refractan dentro de la pupila, pero las partículas de color rojo, por ejemplo, cuya velocidad había disminuido incluso por una quincuagésima parte, todavía se refracta menos de que los rayos violetas, y no dejaría el espectro que define los límites de la visión.⁵” (Fresnel, 1818)

Ahora bien, Fresnel indica que la teoría corpuscular, describió de una manera coherente lo que sucedía con los cuerpos dentro de la tierra, encontró el inconveniente de los espectros que emitía cada cuerpo celeste, ya que como menciona en su carta a Arago, los cuerpos luminosos transmiten a las partículas de luz un número infinito de velocidades diferentes, lo que afecta directamente a la vista,

“You have enjoined me to examine whether the result of these observations could be reconciled more easily with the theory in which light is considered as being vibrations of a universal fluid. It is all the more necessary to find an explanation within this theory, because the theory applies to terrestrial objects; for the velocity of wave propagation is independent of the movement of the body from which the waves emanate.” (Fresnel, 1818)

Me han ordenado examinar si el resultado de estas observaciones podría conciliarse más fácilmente con la teoría en la que la luz se considera como vibraciones de un fluido universal. Es tanto más necesario encontrar una explicación dentro de esta teoría, porque la teoría se aplica a los objetos

⁵ Traducción propia realizada de las cartas de fresnel.

*terrestres; pero la velocidad de propagación de la onda es independiente de la velocidad de la fuente.*⁶

Dentro de la carta es posible ver que Fresnel tenía algunas dudas relacionadas con la aberración de la luz y la explicación a dicho fenómeno por medio de la sustancia sutil llamada éter, pero asumiendo su existencia y haciendo uso de la hipótesis planteada por Young en la que se menciona que los cuerpos son impregnados por el éter, Fresnel planea que si se pone a viajar la luz en direcciones diferentes, la velocidad de esta debe ser diferente, ya que se menciona un arrastre parcial del cuerpo, una densidad etérea. “*la densidad etérea de todo cuerpo es proporcional, al cuadrado del índice de refracción, n y que cuando un cuerpo está en movimiento transporta dentro de él parte del éter;*” (Fresnel, 1818) por medio de esta afirmación se plantea lo que se conoce como el coeficiente de arrastre (k) de Fresnel.

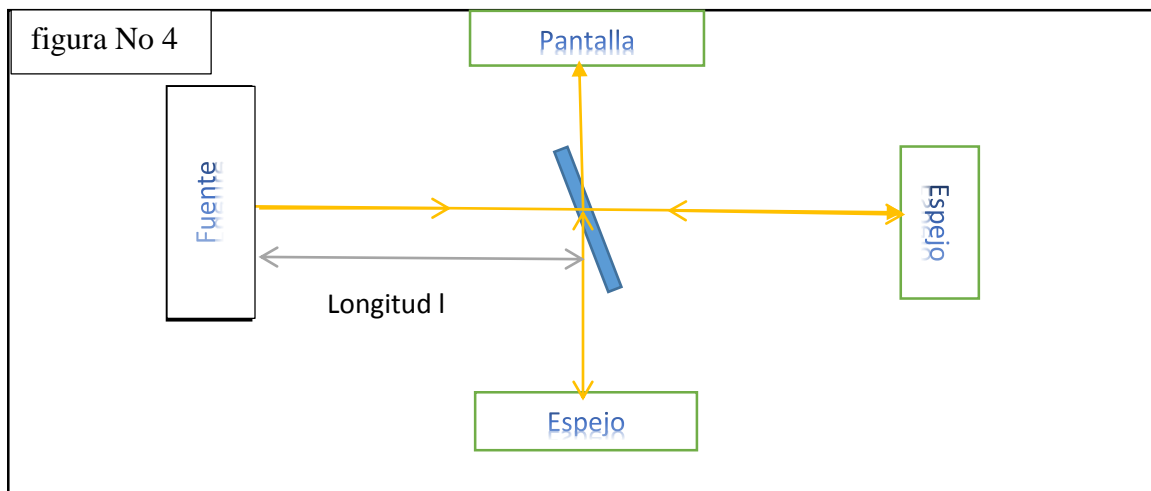
$$\kappa \equiv 1 - \frac{1}{n^2}$$

Este coeficiente de arrastre (k) sirvió para dar explicación al experimento del prisma de Arago, pero en ese momento no se le dio mayor utilidad hasta que Fizeau realiza un experimento independiente, este consistió en enviar luz a través de tuberías de agua que fluían en direcciones opuestas, asumió que como el agua es transparente debía arrastrar algo de éter según lo postulado por Fresnel, la conclusión de este experimento fue positivo ya que mostró que los medios transparentes arrastraban una cantidad medible de éter, pero tenían que seguir en la búsqueda de detectar el movimiento de la tierra a través del éter; este hizo que en adelante todos utilizaran el coeficiente de arrastre formulado por Fresnel,

Una vez demostrado esto, Se intenta evidenciar al éter en el universo, así que Fizeau nuevamente realiza una experiencia que consistió en hacer la medición de la velocidad de la luz a través de engranajes, obtuvo que la velocidad de esta era 313.000 Km/s, Foucault reemplaza el engranaje rotatorio del experimento de Fizeau por un espejo rotatorio y mide la velocidad de la luz, que obtiene 298.000 Km/s. estos resultados fueron publicados hacia el año de 1862. Aunque estos aportes fueron significativos, es hasta 1881 que el físico Albert

⁶ Traducción libre realizada por la autora de las cartas de fresnel.

Michelson hace uso de espejos y láseres para determinar la velocidad de la luz, tomó el tiempo que la luz tardó en hacer un viaje desde la montaña Wilson a la montaña San Antonio, obteniendo una velocidad de 299.796Km/s, valor muy preciso para la época; por otro lado Michelson afirmó “*así como la velocidad del sonido es proporcional al aire, la velocidad de la luz debe ser proporcional al éter*” (Fowler, 1996), razón por la cual realizó un experimento intentando dar razón de la existencia del éter, para realizar este experimento Michelson tuvo una idea, construyó lo que se conoce como el interferómetro que lleva su nombre, este básicamente se compone de un semi-espejo (se puede ver en la figura de color azul), que divide la luz en dos haces con un ángulo determinado uno con respecto al otro, de esta manera era posible que los rayos provenientes de la misma fuente, tomaran direcciones perpendiculares para que recorrieran distancias iguales, y recogerlos en un punto que detectaría el movimiento del éter, a continuación se muestra la figura. (figura de la autora)



La distancia hacia los dos espejos era la misma (una longitud llamada l), de esta manera se garantizaba que los dos recorridos se debían hacer en el mismo tiempo, cualquier diferencia sería causada por el movimiento del éter.

Para explicar el interferómetro de una manera más sencilla, Michelson realiza una analogía, en la cual compara al éter con el agua, y a un nadador que atraviesa un río con el haz de luz.

“En 1887 Michelson y Morley realizaron su famoso experimento, preparado para determinar con gran precisión el cambio de la velocidad medida de la luz debido al movimiento del observador a través del éter. No encontraron

cambio alguno. Como consecuencia de ese experimento se descartó la teoría del éter y fue confirmado el principio de relatividad” (Wald, 1992)

Con lo anterior no se afirma que Einstein planteó la teoría de la relatividad tomando como punto de partida este experimento, realmente fue posible evidenciar con este estudio, que él no parte de la idea de la existencia o inexistencia del éter, es posición de Wald, pero no se comparte la misma, lo que sí es posible afirmar es que hasta el momento el éter era algo inmedible; en este caso, se hace un alto y se plantea entonces ¿realmente es importante demostrar la existencia del éter? Yo considero que fue fundamental la idea de este medio en primer lugar para dar paso a lo que hoy se conoce como campo, el éter funcionaba como medio de propagación, pues fue una idea primaria sobre la concepción del espacio, de cómo éste está constituido y lo que contiene, es por esta razón, que vale la pena resaltar su importancia y las implicaciones que tiene, además se ve la necesidad de profundizar en este concepto que fue necesario para la construcción de nuevas ideas.

Continuando entonces con la re-contextualización se sigue con las ideas propuestas sobre el éter, puesto que el éter luminífero no era el único conocido, también se planteó el éter eléctrico y magnético, que se utilizaron para dar explicación a la electrodinámica formulada por Maxwell, claro está que a partir de esta se unificó la óptica, la electricidad y el magnetismo por ende también el éter, para este entonces se habló del éter electromagnético.

2.1.4. El Éter relativista

Para 1905 se puede afirmar que los científicos creían de manera unánime en la existencia del éter, y que éste era un “*imprescindible sustrato del campo electromagnético*” (Cassini, A. & Levinas, M. 2009), se concibe entonces al éter electrodinámico como una sustancia material con un estado dinámico bien definido por lo que los experimentos ópticos y electromagnéticos no se dieron a esperar, en 1890 Hertz realiza un experimento por medio del cual demuestra el arrastre total del éter. En contraposición Lorentz en 1895 muestra el éter en un estado de reposo absoluto (a pesar del supuesto arrastre generado por la tierra). En términos generales cuando ellos hacen sus experimentos y dan las explicaciones sobre los resultados obtenidos, muestran que no existe la manera, de evidenciar mediante algún

procedimiento experimental la existencia del éter. (Larmor, 1900), Entonces, podríamos decir que, aunque era necesario plantear la existencia de dicha sustancia para explicar algunos fenómenos, los resultados experimentales no permitieron dar cuenta de la misma; por lo que se decide simplemente dejar de lado esta teoría, dejando sin explicación algunos fenómenos, por lo que se resignifica al éter.

“...estos dos postulados son suficientes para llegar a una electrodinámica de los cuerpos en movimiento simple y consistente sobre la base de la teoría de Maxwell para los cuerpos en reposo. La introducción de un “éter luminífero” se mostrará superflua, en tanto que, de acuerdo con el concepto que se desarrollará aquí, no se introducirá ningún “espacio en reposo absoluto” dotado de propiedades especiales, ni se asegurará un vector velocidad a un punto del espacio vacío en el cual ocurren los procesos electromagnéticos.”
(Cassini, Levinas & Einstein, 2009).

Realmente el éter fue un concepto que para la época funcionó para explicar lo inexplicable sobre la propagación de la luz, incluso Isaac Newton terminó aceptando su existencia, aclarando las características específicas que éste debía cumplir, de esta manera se puede demostrar que el éter fue un concepto que generó controversia en el siglo XVII. Albert Einstein en sus escritos no se arriesgó a ser específico al nombrar la existencia del éter, en el escrito de 1920 afirma que el éter es lo que se concibe como el espacio tiempo, y de alguna manera toma como base los experimentos anteriores de Michelson Morley, Fizeau y otros, para la teoría especial de la relatividad (T.E.R). (Cassini, Levinas, 2009).

La finalidad de este capítulo es dar respuesta a la pregunta ¿Qué es el éter?, y como tal dar su definición o tomar una posición específica, resulta complejo, porque en primera instancia cuando se va a definir una palabra se acude al diccionario, para el caso la real academia española lo define como: “*Del lat. aether, y este del gr. αἰθήρ Fluido sutil, invisible, imponderable y elástico que, según cierta hipótesis obsoleta, llena todo el espacio, y por su movimiento vibratorio transmite la luz, el calor y otras formas de energía.*” (Real Academia Española, 2015); para este documento no es admisible pensar en una hipótesis obsoleta ya que, aunque no se tuvieron pruebas fehacientes de la existencia del éter, su concepción sirvió como punto de partida para la construcción de la idea del campo, que en la actualidad es

fundamental dentro de la física clásica y moderna; uno de los historiadores que muestra de una manera clara esta transición del concepto de éter al de campo es Michel Paty (1993) quien menciona en su libro *Einstein Philosophe*, al éter como medio de propagación para los campos eléctricos y magnéticos y afirma “*L’omniprésence du concept d’éther n’est autre, en réalité, que celle du concept de champ représenté dans le cadre de la mécanique.*” (Paty, 1993), (La omnipresencia del concepto de éter no es otra, en realidad que la del concepto de campo representado en el marco de la mecánica.)⁷. Dicho esto, independientemente de que se conciba o no el éter en la actualidad, es importante mostrar que su desarrollo permeó de manera significativa el avance de la física.

Se desarrollaron diferentes teorías en torno al campo, algunas involucraban la sustancia sutil “el éter” y otras se inclinaban por teorías más complejas; en el siguiente capítulo se verán algunas de las hipótesis planteadas por científicos que trataban de dar explicación a los fenómenos de atracción y repulsión que además fueron tenidos en cuenta por Faraday para el desarrollo de sus estudios. Es necesario en esta parte tener en cuenta que Faraday más allá de ser uno de los científicos más reconocidos, se formó de manera empírica, por lo que acude a la experimentación para la demostración de sus hipótesis. A continuación, se desarrollan las ideas en torno a la construcción del concepto de campo.

⁷ Traducción libre realizada por el profesor John Barragán y la estudiante Yuly Ramos en el proceso de discusión de un problema de investigación.

3. EL CAMPO

3.1 Cuestiones de Faraday

Una de las preguntas que se pretende responder en este capítulo es ¿Quiénes influenciaron en el pensamiento de Faraday?, teniendo en cuenta sus inicios se podría afirmar que fue la curiosidad lo que le impulsó a leer e investigar. Con el paso del tiempo, se interesó por el tema concreto de la naturaleza de la electricidad estática, según Berkson *“porque pensaba que podía aportar algo nuevo en relación con el modelo verdadero del mundo (...) lo que más le importaba a Faraday era discernir, de entre dichas teorías, cual se podría utilizar para explicar más satisfactoriamente los resultados experimentales”*. (Berkson, 1981) . Las teorías a las que se hace referencia son las de Leibniz y Descartes y la cosmovisión de Newton. En ese entonces hacia 1800 aproximadamente, los seguidores de Newton y Descartes seguían líneas de investigación diferentes y muy marcados por ejemplo las leyes de Newton que son el desarrollo de la física clásica.

“Al igual que en la ley del inverso del cuadrado, la plausibilidad de la ley de la inercia y de la idea de que todas las fuerzas son centrales proviene de la hipótesis de que el espacio es homogéneo e isótropo (todas las direcciones son equivalentes. Para abogar por la ley de la inercia se hace necesario establecer la hipótesis previa de que el movimiento y el reposo son clases de estados, es decir situaciones que mantienen su identidad a través del tiempo.”
(Berkson, W. 1981)

Las leyes propuestas por Newton daban explicación a casi todos los fenómenos, y a pesar de tener una posición definida, en cuanto al espacio vacío, él utilizó la sustancia sutil “el éter” para dar explicación al fenómeno de los anillos de Newton. Por otro lado, Descartes supone la no existencia de fuerzas, *“La acción de un cuerpo sobre otro se realiza por contacto en un mar universal de materia”* (Berkson, 1981) . Esta teoría contradujo totalmente a lo propuesto por Newton y además de esto, tenía planteamientos poco acertados ya que la ley fundamental se basó en la conservación del movimiento; teorías corregidas posteriormente por Huygens, Wallis y Wren. La teoría en mención se desarrolló según Berkson así:

“Descartes había basado todo su sistema en la interacción de las partículas por contacto de sus superficies. Pero, ¿por qué - preguntaba Leibniz – las superficies son resistentes a la penetración? Si son objetos meramente geométricos. ¿Por qué no se atraviesan, como podemos imaginar que sucede con los objetos geométricos? La pregunta no tenía solución dentro del sistema de Descartes. Para contestarla era necesario considerar junto con la extensión, la fuerza como otra propiedad esencial de la materia. La fuerza debería ser repulsiva para resistir la penetración. Leibniz arguye además que hay que asignar fuerzas a todos los puntos de la materia, y no sólo a partículas de tamaño finito” (Berkson, 1981).

La teoría propuesta por Leibniz llegó a influir tanto en Boscovich y Kant que intentaron sintetizar sus ideas. Leibniz propuso la idea de la inexistencia del vacío, pues suponía que en el mundo físico *“consistía en un mar continuo de puntos de fuerza”*, este razonamiento le atraía a Boscovich, pero también la teoría de acción a distancia a través del vacío propuesto por Newton. A partir de esto, él desarrolla su teoría. Hacia 1816 en una conferencia Faraday menciona ideas similares a las de Boscovich, por lo tanto, se dice que fue una gran influencia para él.

“la idea de solidez ha encontrado oposición, e incluso todavía se discute si existe o no. Implica un pleno o lleno de materia; pero está naciendo una teoría que establece que la materia es simplemente una colección de puntos matemáticos, atractivos y repulsivos; y como estos puntos no tienen partes, se dice, que no tienen extensión ni solidez; y que si fuera posible superar las fuerzas atractivas y repulsivas, dos porciones de materia podrían coexistir en el mismo lugar” (Faraday W. , 1981)

Con estas palabras escritas en *historical sketch of electromagnetism* citadas como se mencionó anteriormente, es posible evidenciar que Faraday muestra una inclinación hacia las ideas no Newtonianas, ya que se pensaba que estas ideas podrían ser la solución a los problemas planteados en la ciencia de la época; Benjamin Franklyn (1754), propuso la teoría de la electricidad con un solo fluido (electricidad vítrea) y dos estados de electrización una como el vidrio (positiva) y la otra como el ámbar (negativa), entre los años 1760 y 1800

aproximadamente, Henry Cavendish fue uno de los primeros científicos en utilizar el concepto de carga eléctrica; a pesar de la cantidad de experimentos realizados, solo publicó dos artículos y dejó manuscritos que fueron descubiertos después por Maxwell, Coulomb propuso la existencia de fluidos eléctricos positivos y negativos que daban explicación a lo que se relaciona con la electricidad, Denis Poisson introdujo el concepto de potencial eléctrico, y en 1811 en su artículo *memoria sobre la distribución de la electricidad sobre la superficie de los cuerpos conductores* aplicó la distribución de cargas en una superficie y mostró la formalización matemática basada en la ley de Coulomb; Volta descubrió la posibilidad de producir corriente eléctrica continua, fundamento de la batería eléctrica. Por otro lado, el método de visualización de la distribución de líneas de fuerza fue de mucha importancia para Faraday, por lo que él pensó en la posibilidad de una teoría no newtoniana de la corriente y la electricidad estática, que intentó desarrollar en el transcurso de su vida (Belendez, 2008).

Los aspectos de dicha teoría no newtoniana fueron:

1. Unidad de todas las fuerzas
2. Rechazo a la materia extensa distinta de la fuerza
3. El mundo está lleno y la acción no se lleva a cabo a distancia

Estos tres aspectos fueron la base o punto de partida para Faraday, a la edad de 25 años en una de sus conferencias dijo:

*“No me atrevo a afirmar positivamente que la atracción de la agregación y la afinidad química sean realmente lo mismo que la acción gravitatoria y la atracción eléctrica. Pero tengo para mí que sí, y cuando tenga el honor de presentarme ante ustedes, les expondré las razones de mi opinión y llamaré de nuevo su atención sobre un nuevo punto de vista de las propiedades atractivas de la materia”*⁸ (Faraday, 1816)

En medio de su búsqueda de identidad, Faraday centrado en la electricidad se inclinó por lo experimental, algunas de las cosas que hizo fue recrear los experimentos de Oersted, ya que

⁸ Aparte de su conferencia que se encuentra dentro del libro de Las teorías de campos de fuerza de William Berkson pp 53.

con estos se mostraba la influencia de la corriente eléctrica sobre un imán. Dentro de las hipótesis que planteó no daba lugar a la existencia de fluidos sutiles “el éter”, pero no negaba la existencia de un fluido “*la existencia de este fluido [eléctrico] es, sin embargo totalmente hipotética, y puede que los efectos dependan de alguna propiedad común a la materia en general; y esto es tanto más probable cuanto que no se conoce ninguna materia que deje de exhibir esos peculiares fenómenos [eléctricos] en determinadas circunstancias*” (Faraday, 1816). Con estas palabras es posible evidenciar que no siguió del todo la línea de Boscovich, ya que él no daba lugar a la existencia de ningún fluido, lo que está claro es que había un fluido que interactuaba con las cargas que hacían visible los fenómenos eléctricos y magnéticos. Realizando las investigaciones para dar respuesta al funcionamiento de dichos fenómenos, descubrió las rotaciones electromagnéticas, con el hallazgo del motor eléctrico (motor homopolar), dio lugar a un mundo basado en tecnología electromagnética, basado en los campos y el principio del motor eléctrico. En su teoría del campo electromagnético, plantea la hipótesis “las fuerzas constituyen la única sustancia física”. Retomando las hipótesis planteadas en la época para dar respuesta a los fenómenos magnéticos, Faraday reconoce tres. La primera y segunda daban lugar a la existencia del éter la otra que fue formulada por Ampere, da lugar a corrientes eléctricas.

“...En esa hipótesis se supone que el fluido magnético o éter se mueve en corrientes a través de los imanes y también del espacio y sustancias alrededor de ellos. Entonces hay la [segunda] hipótesis de dos fluidos magnéticos los cuales, presentes en todos los cuerpos magnéticos y acumulados en los polos de un imán ejercen atracciones y repulsiones sobre ambos fluidos a distancia y así ocasionan las atracciones y repulsiones de los cuerpos distantes que los contienen. Finalmente, está la hipótesis de Ampere que asume la existencia de corrientes eléctricas alrededor de las partículas de los imanes, tales corrientes actuando a distancia sobre otras partículas que tienen corrientes similares se arreglan en las masas a las cuales pertenecen y así hacen que tales masas se sometan a la acción magnética.”⁹ (Faraday M. , 1855)

⁹ Traducción realizada por María Cecilia Gramajo, Departamento de Física, Universidad Nacional de Salta (Argentina) y Juan Carlos Orozco Cruz, Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá (Colombia).

Las tres hipótesis expuestas, en la época daban explicación a la existencia del campo, ya que debía haber algo que permitiera la interacción de las cargas. Aunque Faraday no rechazó ninguna, se inclinó por la segunda y tercera que tenían sustento matemático. Lo que actualmente conocemos como las líneas de fuerza o campo tuvieron origen en la época de Faraday, él inicialmente les llamó líneas físicas de poder, básicamente ellas daban cuenta de la fuerza existente en el transporte y ejercicio de los cuerpos magnéticos a distancia. La primera hipótesis no le convenció ya que no consideraba al éter como la sustancia que se encuentra en el campo, en referencia dijo: *“Aquellos que abriguen en algún grado la noción de éter pueden considerar estas líneas como corrientes o vibraciones progresivas o como ondulaciones estacionarias o como estados de tensión. Por muchas razones ellas¹⁰ deberían ser contempladas alrededor de un alambre que lleva corriente también como saliendo de un polo magnético”* (Faraday, 1816). La idea de las líneas de fuerza como método de representación tuvo gran acogida, ya que W. Thomson tenía una visión similar, las líneas de fuerza aplicadas a la electricidad estática; la ley de Fourier de movimiento del calor mostraron el mismo resultado matemático que la ley de Coulomb, por lo que Thomson concluyó *“Estricta fundamentación para una analogía con base en la cual **el poder de conducción de un medio magnético puede ser expresado en términos de líneas de fuerza**”¹¹* El tema de las líneas de fuerza fue objeto de estudio para muchos científicos de la época, Van Rees por ejemplo publicó en el *Annalen Pogendorff* un artículo en Alemán mostrando su desarrollo matemático de las líneas de fuerza, Faraday dice que en este Rees no es partidario de dejar de lado las teorías antiguas por las de flujos o corrientes, como lo hace Faraday, es decir que no es conveniente dejar de lado ideas como la del éter o interpretándose de otra manera.

Es posible afirmar en este caso que no se hizo una transición del concepto de éter al de fluido, esta afirmación puede ser severa porque no está en ningún libro de manera explícita, pero es lo que, hasta el momento, se ha dado a entender, por ahora los científicos se centran en encontrar características mecánicas que le permitan dar explicación o propiedad en sí al éter para que sea demostrable o no su existencia. Por su parte Faraday dice: *“siempre fue mi intención evitar sustituir estos fluidos o corrientes por cualquier otra cosa que la mente*

¹⁰ Faraday hace referencia a las líneas de fuerza física.

¹¹ Palabras de Thomson a las que hace referencia Faraday en sus notas, tomado de *Ibid.*, p.p. 56

podría sacar del cautiverio de las nociones preconcebidas, pero para aquellos que desean una idea sobre la cual descansar está el viejo principio de los éteres” (Faraday M. , 1855); de alguna manera prefiere no incluir conceptos como el éter ya que incluirlo implica describirlo como se mostró en el capítulo sobre el éter, en todo caso no hay una definición o descripción clara sobre este concepto.

En cuanto a la verdadera naturaleza de la acción magnética que era el objeto de estudio de Faraday, era aún un misterio, ya que existía matemáticamente hablando métodos de representación, pero no había a la fecha un experimento concreto que diera cuenta de su existencia de una manera eminente, era necesario uno que mostrara dicha naturaleza de manera real y única. Las hipótesis planteadas consistían una en la existencia de dos fluidos que daban cuenta de ella y la otra en corrientes eléctricas, una tercera fue propuesta por Faraday, ya que él creyó que dichas suposiciones, aunque tuvieran argumento matemático, en sí mismas no habrán podido dar cuenta de la rotación magnética de la luz, ni el fenómeno del diamagnetismo, y afirma: *“un matemático guiado por cualquiera de las hipótesis debe haber negado tal posibilidad”*¹². Dicha hipótesis consistió en proponer las líneas de fuerza que representan una acción a distancia, pero no inmediata y con geometría diferente.

“Es evidente, por lo tanto, que nuestras visiones físicas son muy dudosas y pienso que sería bueno esforzarnos por zafarnos de tales preconcepciones como las contenidas en ellas, para que podamos contemplar por un tiempo la fuerza, tanto como sea posible, en su pureza” (Faraday M. , 1855)

De esta manera él fue formando su metafísica, el objetivo de sus estudios consistió en llegar a encontrar la naturaleza magnética, por ello se incluyen nuevos conceptos dentro de sus estudios como el de tiempo y polaridad que se verán desarrollados a continuación.

3.1.1 Polaridad

El concepto de polaridad como muchos conceptos que se trabajan en física, antes de un descubrimiento radical o una demostración de que es esa la descripción o definición única,

¹² Palabras de Faraday tomadas de la traducción De Philosophical Magazine

pasa por diferentes concepciones, como el éter, la luz, entre otros; en este caso, la matemática no dio un aporte significativo para despejar la incógnita de la polaridad, por lo que cada vez se hizo necesario un experimento decisivo. “*Así podemos esperar, por un debido ejercicio del juicio unido al experimento, obtener una resolución de la dificultad magnética también.*” (Faraday M. , 1855) Para solucionar esta cuestión, Faraday propuso la hipótesis física del imán considerando por un lado que ya se había demostrado matemáticamente la existencia de las líneas abstractas, representando la dirección y cantidad de poder magnético, su uso propio de las mismas para dar explicación a fenómenos electromagnéticos.

“...la visión de polaridad se funda sobre el carácter en dirección de la fuerza misma cualquiera pueda ser la causa de esa fuerza y afirma que cuando un cuerpo electroconductor que se mueve en dirección constante, cerca o entre cuerpos que actúa magnéticamente sobre ellos mismos o entre sí, tiene una corriente en una dirección constante producida en él, la polaridad magnética es la misma” (Faraday M. , 1855).

A pesar de estas definiciones, el problema hasta este punto consistió en que Faraday no había desarrollado un experimento crucial que proporcionara pruebas fehacientes que indicaran que su teoría estaba por encima de teorías propuestas por Ampere, Coulomb o cualquier otro. El experimento decisivo que le permitió demostrar la inducción lo realizó seis años después de varios experimentos fallidos experimentos fallidos, o sea hacia 1836, este consistió primero en estudiar la forma del imán decidiendo que fuera un aro, a este anillo se le enrolló la mitad con cable cuyas puntas iban a una batería y en la otra mitad se realizó el mismo procedimiento pero con los extremos unidos a un galvanómetro como resultado se obtuvo que al cerrar el circuito el anillo quedaba imantado, y el galvanómetro indicaba un paso de corriente muy leve, al abrir el circuito el anillo se desimantaba y el galvanómetro volvía a registrar una leve corriente. Al estado del cable lo llamó “*estado electrotónico*” su teoría estableció “...la creación o variación del < *estado electrotónico* > siempre producía una corriente” (Berkson, 1981), otro experimento decisivo y no muy conocido fue el efecto Faraday, o efecto magneto óptico, en este es posible evidenciar el giro que se da a un haz de luz polarizado que atraviesa un material al que se le aplica un campo magnético, demostrando que la fuerza magnética y la luz estaban relacionadas entre sí, aportes significativos al desarrollo de la electricidad y el

magnetismo, luego de estas afirmaciones apareció una nueva cuestión que impulsó a Faraday a desarrollar otros experimentos, la cuestión planteó una pregunta alrededor del campo magnético que se genera en un disco conductor y la intensidad relacionada con el flujo de corriente, el siguiente experimento consistió en un disco conductor sobre una barra magnética girando en torno a un imán, como resultado Faraday descubrió que cuando el imán y el disco giran simultáneamente generaron corriente continua. “*Parece evidente la existencia de una peculiar independencia del magnetismo con respecto a la barra en que reside*” (Berkson W. 1981). Este descubrimiento hizo que cambiara su teoría de inducción, señaló entonces que la condición básica para esta residía en el corte de las líneas de fuerza que realiza el cable. Ya para esta época y luego de este descubrimiento y de formalizar la existencia de las líneas de fuerza, Faraday tenía clara su postura. Había demostrado que la perturbación en un campo requería tiempo para propagarse, su teoría se diferenció de la Teoría propuesta por Isaac Newton en algunos puntos, entre ellos la inexistencia de la acción a distancia. Por otro lado, el cuerpo material sufre un cambio de configuración cuando es afectado por una fuerza dentro del campo, Faraday planteó en algún momento que la acción a distancia no se daba de manera instantánea por lo que incluye el tiempo como una variable dentro de su teoría. (Belendez, 2008).

3.1.2 Tiempo

Como se mencionó anteriormente, Faraday supuso que el tiempo era un concepto fundamental para describir la acción magnética, en su diario, propuso que si se intentara medir el tiempo que tarda una carga en interactuar con otra, sucedería lo mismo que en el caso de la luz y su velocidad, dando como resultado un valor muy pequeño.

“Si se pudiera probar experimentalmente que la propagación de la fuerza magnética dura una cierta cantidad de tiempo, se probaría la existencia física de las líneas de fuerza y la probable existencia de un medio; por otro lado, si existe un medio y existen realmente las líneas de fuerza magnética, entonces es casi seguro que interviene el tiempo” (Berkson W, 1981)

Según su escrito existían algunas dificultades con este nuevo planteamiento, en el que las fuerzas magnéticas necesitan de un tiempo para actuar a distancias diferentes, a continuación, se enumeran las consideraciones que Newton tuvo en cuenta para dicha afirmación:

1. Rapidez de acción
2. Larga distancia, ya que para hacer efectiva la medida de dicho tiempo es necesaria dicha distancia.
3. La falta de indicadores instantáneos, ya que el galvanómetro no es lo suficientemente sensible, es decir no es una herramienta adecuada para dicha medición
4. La falta de una fuente magnética instantánea

Estas consideraciones se debían tener en cuenta a la hora de realizar un experimento que pudiera mostrar este nuevo elemento, a pesar de sus esfuerzos, los experimentos realizados para demostrar su planteamiento no dieron resultados positivos. Fue hasta 1887 que Hertz demostró que el tiempo de propagación del campo magnético es finito.

Además de este experimento fallido, Faraday intentó mostrar la polarización de la luz sin resultado, además de dar explicación al efecto que se producía en los cables utilizados para la telegrafía, en este caso si tuvo resultados positivos ya que logró su explicación por medio de la conducción. Está claro que, a pesar de tener ideas razonables y ciertas, no tuvo manera de demostrar que sus planteamientos eran verdaderos, pero retomando el elemento del tiempo, él describe algunos de los experimentos que realizó para mostrar que este si era un elemento que, hacia parte de la acción magnética, describiendo siempre el antes y el después, pero sin posibilidad de demostración.

3.1.3 La gravedad

Este fue otro aspecto que Faraday tuvo en cuenta en sus investigaciones, su idea principal consistió en la posibilidad de convertir la gravedad en electricidad y la electricidad en gravedad, basándose en la teoría de la unidad de las fuerzas y la conservación de las fuerzas. Por su parte postuló el principio de conservación de fuerza, que equivale a la conservación de la energía, las fuerzas no se crean ni destruyen solo se transforman unas en otras.

El gran inconveniente que tenía para poder desarrollar su supuesto, consistió básicamente en que la gravedad era una fuerza que no interactúa con otras, así que desde su razonamiento planteó algunas preguntas, entre ellas “¿Qué sucede con la fuerza de atracción entre dos cuerpos al acercarse a éstos?, ¿Cómo se hace posible el crecimiento de la fuerza del inverso del cuadrado? ¿Se puede compensar un cambio de la fuerza gravitatoria con una variación de la fuerza eléctrica o magnética?” (Berkson W, 1981), tratando de dar respuesta a sus planteamientos buscó un experimento que le permitiera dar cuenta de la interacción entre la electricidad, la gravedad y el magnetismo. Luego de varios experimentos con resultados negativos que intentó publicar sin éxito debido a que la comunidad científica se negó a ello. Después de ver un fragmento de una carta escrita por Newton a Bentley, se emocionó y expuso sus ideas en un artículo cuyo nombre es “*On the Conservation of force*”¹³ como argumento principal él ya mencionado que las fuerzas de acción a distancia no eran instantáneas; pero si afirmó que estas líneas de fuerza magnéticas, producen corriente en un hilo, y la variación de corriente produce un campo magnético. En cuanto a la relación existente entre el campo y las líneas de fuerza, se relacionó entre la caída del cuerpo que a mayor altura adquiere mayor velocidad generando así mayor fuerza. La explicación expuesta por Faraday para dar explicación a lo mencionado anteriormente, consistió primero en que las líneas de fuerza de la gravedad se alejan del cuerpo cuando este se aleja de la fuente de fuerza gravitatoria y converge cuando se acerca, lo otro que planteó fue que las fuerzas están en interacción constante pero sólo es evidente el fenómeno en presencia de un cuerpo, finalmente la relación entre la masa inercial y la gravedad manifestó que es posible en una teoría de campos. (Holton, 1989)

“Hay una maravillosa propiedad de la materia, quizá su única verdadera indicación, llamada inercia; pero en relación con la definición común de gravedad, sólo añade dificultades. Si consideramos dos partículas de materia separadas a una cierta distancia se aproximarán debido a la mutua atracción bajo las fuerzas de la gravedad; y cuando la distancia de separación sea solo la mitad, cada una de ellas tendrá almacenada, debido a la inercia, cierta cantidad de fuerza mecánica. Lo cual tiene que deberse a la fuerza ejercida, y

¹³ Traducción inglesa en scientific memoirs: Natural Philosophy, ed. J. Tyndall y W Francois (London 1853) P 114

si se cumple el principio de conservación, tiene que haber consumido una proporción equivalente de la causa de atracción” (Faraday W. , 1981)

Hasta ahora se ha realizado un mapeo general que nos permite hacer una idea sobre las problemáticas que Faraday pretendió responder. Para resumir, se tiene claro, que para él el éter no tiene lugar dentro de sus teorías, aunque se seguía utilizando, las fuerzas a distancia actuaban, pero no de manera simultánea, cada punto de fuerza del campo actúa sobre puntos contiguos, el campo se mide en fuerza por unidad de área, la existencia de las líneas de fuerza que muestran la existencia del campo y la densidad del mismo y lo más importante de sus planteamientos, la conservación de la fuerza. El campo entonces en términos de Faraday es la causa de la fuerza, aclarando que el cuerpo y el campo son entidades distintas que coexisten en el mismo lugar. (Berkson, W. 1981).

3.2 Aportes de Maxwell

Continuando con la línea de investigadores, el científico James Clerk Maxwell tuvo en cuenta los aportes realizados por Faraday, para dar inicio a su propio planteamiento sobre los conceptos propuestos sobre el campo, y poder formalizarlo matemáticamente, así da inicio a uno de sus escritos.

“Antes de comenzar el estudio de la electricidad decidí no leer más matemáticas sobre esta materia hasta leer los Experimental Researches on Electricity de Faraday... Si mis escritos sirvieran para ayudar a algún estudiante a comprender la forma de pensamiento y de expresión de Faraday, considero cumplido uno de mis mayores propósitos: el de comunicar a otros el mismo placer que he experimentado al leer los Researches de Faraday”
(Maxwell J. C., Treatise on Electricity and magnetism, 1892)

3.2.1 Las fuerzas y su conservación

Maxwell propone que las fuerzas son el producto de la intensidad del campo que actúan sobre la materia del mismo punto que el campo, en esta sección se mencionan las fuerzas ya que fueron parte fundamental de la teoría de campo planteada por Faraday, en su momento existían fuerzas de superficie, lineales y puntuales, dentro del planteamiento de Boscovich,

existen fuerzas puntuales y Newton habló de masas puntuales; pero en sí la importancia de las fuerzas radicaba en la conservación de las mismas, la idea de una cantidad de fuerzas finita, ya que Faraday no plantea leyes para su teoría de campos, lo que si deja claro es, que su comportamiento se describe por medio de ecuaciones diferenciales y funciones continuas, las ecuaciones diferenciales permiten ver la variación de la función o funciones, y la función continua se encarga de la descripción del campo; las fuerzas según Faraday poseen localización definida, direccionalidad y se mueven por el campo con velocidad finita, Maxwell por su parte menciona las mismas consideraciones pero con la energía, esta idea como muchas tenían seguidores y opositores, entre ellos Tait (1895) que critica fuertemente la idea de la conservación de dichas fuerzas.

“Tírese de un extremo de una larga cuerda, manteniendo fijo el otro extremo: la cantidad de fuerza que se puede producir es casi infinita, ya que hay una tensión aplicada en cada sección a través de toda la longitud de la cuerda. Efectúese una presión sobre un pistón móvil en un recipiente lleno de un fluido: la cantidad de fuerza es prácticamente infinita, ya que a través de cada sección ideal de líquido se ejerce una presión por pulgada cuadrada igual a la aplicada en el pistón. Si soltamos la cuerda o dejamos libre al pistón, toda esa cantidad de fuerza prácticamente infinita desaparece” (Faraday W. , 1981)

Esto muestra la oposición frente a una idea como la conservación de la fuerza, fuese una ley natural, a tal punto que él junto a William Thomson escribieron un libro, con el fin de eliminar la idea mencionada anteriormente, la crítica según Berkson aplica solo a las fuerzas Newtonianas.

James Clerk Maxwell abordó las incógnitas que movían a los científicos de la época, desde una teoría de campos, una teoría unificada que le permitiera dar respuesta a la acción de la electricidad estática, y por otro lado a la relación entre la luz y el electromagnetismo; por su parte no era partidario de la acción a distancia, y para la época había varias miradas referentes a esta posición, por su parte Hertz refutaba la acción a distancia y planteó:

“Al ver que los cuerpos actúan unos sobre otros a distancia, podemos formarnos diversas concepciones de la naturaleza de esta acción. Podemos

considerar el influjo como una fuerza a distancia que salta por el espacio, o bien podemos verla como una consecuencia de una acción que se propaga de punto a punto en un medio hipotético. Al aplicar estas concepciones a la electricidad, podemos hacer una serie de distinciones más finas. Al pasar desde la pura concepción de acción a distancia inmediata, podemos distinguir cuatro puntos de vista” (Castillo, 2016)

Desde el primer punto de vista, se considera la atracción de dos cuerpos como una afinidad espiritual entre ambos, en el segundo punto de vista, se menciona la posibilidad de ver la acción cuando interactúan dos o más cuerpos, y esa interacción se ve reflejada en la modificación del espacio, el tercero mantiene la concepción del segundo, pero le añade una complicación. Admite que “las fuerzas a distancia inmediatas no determinan por si solas la acción entre cuerpos separados” en esta parte se habla de una modificación del medio, esto desde el punto de vista de la polarización eléctrica, esta posición la explica de una mejor manera Helmholtz, para el último punto de vista, lo único existente son las polarizaciones causadas por el movimiento de los cuerpos ponderables.

Realmente lo que muestra Hertz es que desde la perspectiva de campos no es posible la concepción de la acción a distancia, sin la existencia de un medio, se plantea desde esta teoría de campos una acción local, descrita por una ecuación diferencial parcial en el espacio, de esta manera Hertz apoya la teoría de Maxwell, pues con el descubrimiento de las Ondas electromagnéticas de Young, se dejó de lado la teoría de Weber, teoría planteada junto a Newman que tuvo como punto de partida la teoría de Ampere, similar a la gravitatoria de Newton y otras, en pro del comportamiento particular de la luz, aunque esto no era un todo porque aunque la teoría de Maxwell daba explicación a fenómenos ópticos, aún faltaba dar explicación a fenómenos electrodinámicos cuánticos.

Por otro lado, hablando de las corrientes se enfocaron a buscar la relación de la corriente y las fuerzas amperianas, tomando como base la teoría de Lorentz, introduciendo una función llamada “potencial vectorial” descrito matemáticamente así la suma alrededor del circuito de cada elemento de corriente considerado como un vector, dividido por la distancia desde el punto cuyo potencial vectorial se desea calcular.

$$A = \int \frac{id\mathbf{s}}{r}$$

Donde A equivale al potencial vectorial, i es la corriente y r la distancia desde el punto de referencia.

Weber por su parte inspirado en Gauss y la teoría de la corriente propuesta por Fechner (cargas positivas y negativas) se dedicó a desarrollar esta de manera matemática, pues para él los efectos de las corrientes podían explicarse mediante una ley matemática relacionando las fuerzas con la velocidad y la aceleración de las partículas cargadas. Su ley fue considerada una victoria puesto que matemáticamente mostraba una descripción en función de las cargas, y se omitía la idea de la fuerza en sí misma, con lo que no contó en ese momento fue que su ley iba en contra de un principio fundamental, el de la conservación de la energía. Helmholtz fue el principal opositor ya que hacer un cambio tan radical y dejar de lado la idea del principio de conservación no era algo sencillo.

La ley de Ohm fue un punto que no tuvieron en cuenta que demostraba la violación a dicho principio, esta ley ignorada hasta 1849 cuando Kirchhoff demostró que la ya mencionada fuerza electroscópica en la Ley de Ohm, era lo mismo que el potencial electrostático, dejando de lado la idea propuesta por Weber.

Al inicio de este sub capítulo se menciona la idea de la conservación de la fuerza propuesta por Faraday, lo mencionado entre las ideas de Weber y Newman, mostraron la oposición a la teoría que hoy se concibe como la base de la mecánica y es la conservación de la energía, partiendo de la conservación de la fuerza propuesta por Faraday, esto fue importante no sólo para Faraday a quien esta idea le ayudó a descubrir la rotación electromagnética de la luz, sino también a Oersted para llegar al descubrimiento del electromagnetismo y a Seebeck, al de las corrientes termoeléctricas. Hacia 1845 ya se conocían las transformaciones de la electricidad en calor, magnetismo y energía química. En esta época las teorías científicas distintas y contradictorias entre ellas, apoyadas por sus seguidores, tenían avances y argumentadas dentro de sí mismas, la conservación de la fuerza tenía validez en la electricidad, magnetismo y la química, faltaba la mecánica en la que reinaban las leyes de Newton indiscutiblemente.

Joule en ese entonces era el equivalente mecánico del calor, planteando su ley, la ley de Joule, sus ideas similares a las de Grove y Mayer, para esta época el que sobresalió fue Helmholtz con su publicación “sobre la conservación de la fuerza” en el que menciona la relación directa que debe existir entre la conservación de la fuerza y la mecánica Newtoniana, demostró que el trabajo sobre una partícula era igual a la variación de la tensión sobre la partícula, lo que conocemos como la energía potencial, además dedujo que la existencia de corrientes inducidas se sigue del principio de conservación de fuerza (P.C.F).

W. J. H. Rankine retomó las teorías de Helmholtz sobre la conservación de la fuerza y otros autores, con el fin de unificar conceptos, a la vis viva la llamó energía, a la tensión energía potencial, y a la mitad de la vis viva, la llamo energía cinética, y a todo en conjunto le dio el nombre de la conservación de la energía. Aclarando así algunos conceptos que hasta el día de hoy se utilizan de la misma manera, claro está que, aunque en la actualidad se define la Energía potencial y cinética mediante una ecuación y se describe al principio de conservación de la energía como otra descripción matemática el concepto en sí mismo de energía, campo y éter siguen sin estar claros, por su parte Meyerson explica la situación así:

“La energía es en realidad sólo una integral; pero lo que nosotros buscamos es una definición substancial, como la de Leibniz, y este deseo hasta cierto punto está justificado, ya que nuestra propia convicción de la conservación de la energía descansa en gran parte de este fundamento... Y por eso, en los manuales de física se contienen dos definiciones discordantes de la energía, la primera verbal, inteligible, capaz de convencernos, pero falsa; y la segunda matemática, exacta, pero carente de expresión verbal. Para empezar, el profesor da la primera definición previendo – inconsistentemente, pero con agudeza psicológica – que el estudiante sólo hará uso de la segunda. Esta situación no suele acarrear problemas al científico mientras éste se mueva en el terreno del cálculo; pero cuando se dispone a la generalización teórica, el recuerdo de la definición verbal de la energía puede llegar a confundirle... Y desde luego, para el divulgador esta divergencia es una constante fuente de error.”
(Meyerson, 1930)

Las palabras de Meyerson no se alejan de nuestra realidad, puesto que existen conceptos en física que se definen mediante una fórmula matemática, cuya única función es llegar a un resultado un valor numérico que se supone nos dice todo sobre el concepto a trabajar, pero no se interioriza, por el contrario se mecaniza, entonces surge un interrogante, cuál es la mejor opción para nosotros, los maestros en formación, ¿qué se debe trabajar realmente?, la fórmula del texto o tratar que el estudiante y nosotros mismos entendamos lo que realmente es dicho concepto, para esto es que se considera fundamental trabajar en el origen de cada concepto, de esta manera el docente re-contextualiza y no cae en la divulgación que puede ser errónea.

Esto se desarrollará más adelante, ahora continuando con las teorías y su interpretación, se hará mención a William Thomson, amigo cercano de Maxwell, que le infundió una semilla de la interpretación de Faraday, este personaje, al igual que Stockes y otros pensadores de Cambridge sostenían la idea del éter como medio de propagación, en el espacio. *“la teoría del éter había emanado de la luz. Tan pronto como Young sugirió que las ondas luminosas podían ser representadas como ondas transversales propagándose en un medio sólido, quedó preparado el terreno para una teoría del éter”* (Berkson, 1981) lo único que quedaba en ese momento era hacer una relación entre las dos teorías, pero esto presentaba un gran inconveniente ya que era necesario explicar la disminución de la velocidad de las partículas en el medio material llamado éter, por otro lado, era necesario entonces explicar también la teoría gravitatoria en función del éter. El intento de explicar estas cuestiones no daba respuesta pronta, por lo que Thomson decide hacer interpretaciones de las teorías y como resultado muestra analogías, la primera interpretación la hace en relación a la teoría de campos de Faraday en la que él interpreta y muestra que la teoría no es más que el éter, demostró que las ecuaciones de calor se aplicaban igualmente a la electricidad estática, cambiando claro está la fuente de calor por una carga, y la temperatura por el potencial. Su idea principal fue describir el campo como una acción de partículas contiguas y no a distancia, la analogía entonces la realiza con las líneas de fuerza y la propagación de calor, esta analogía fue la semilla que le entregó a Maxwell e hizo que este tomara a Faraday como punto de partida para plantear su propia teoría.

3.2.2 Las Analogías de Maxwell

James Clerk Maxwell, partidario de explicar todo por medio de la matemática, decidió hacer un alto y estudiar los escritos de Faraday, para explicarlos opta por realizar analogías, la primera se relaciona con las líneas de fuerza propuestas por Faraday, su interpretación fue netamente geométrica, así que lo explica como unos tubos por donde circula un fluido incompresible, la dirección y la magnitud lo representa con un fluido imaginario, las cargas positivas son fuentes y las negativas sumideros, de esta manera habrá un fluido que circula de manera constante que sale de las fuentes y cae por los sumideros, al ser una analogía matemática le puede atribuir todas las características que se deseen, la ventaja del trabajo con analogías es que es posible plantear una teoría en principio falsa que posteriormente arroje la verdad de lo que se pretende mostrar, la analogía de los tubos o remolinos le permitió a Maxwell demostrar la idea de Faraday de la tensión a través de las líneas de fuerza y la intensidad magnética, una vez demostró esto, abordó un segundo problema, la relación entre la corriente y el campo magnético, con la misma analogía encontró que la velocidad del remolino (intensidad magnética) y las esferas eléctricas es fija (corriente), el planteamiento matemático que desarrolla es el siguiente: (suponiendo un cuerpo C, conectado con dos puntos de manejo independientes A y B)¹⁴

$$X = \frac{d}{dt} (L_u + M_v)$$

$$Y = \frac{d}{dt} (M_u + N_v)$$

Dónde: X y Y son fuerzas externas. L, M, y N son momentos

Dos fuerzas externas X y Y interactuando con los sistemas de referencia A y B, supuso que le movimiento de A es resistente a la fuerza y proporcional a la velocidad, a este le llamó R_u y al de B le llamó S_v , R y S son coeficientes de resistencia, entonces las fuerzas en A y B serán respectivamente ξ y η . (Maxwell J. C., 1865).

¹⁴ La explicación y descripción matemática de cómo llegó Maxwell a esta ecuación se encuentra en los anexos.

$$\xi = X + R_u = R_u + \frac{d}{dt} (L_u + M_v)$$

$$\eta = Y + S_v = S_v + \frac{d}{dt} (M_u + N_v)$$

Maxwell, tomo en consideración la energía para lograr relacionar la variación de la fuerza magnética con el producto de la fuerza electromotriz y la velocidad de los remolinos, demostró que la fuerza electromotriz es la misma variación del momento reducido o estado electrotónico, mencionado en el trabajo de Faraday como: $E=d\vec{A}/dt$, luego al tener en cuenta que los remolinos podrían curvarse o alargarse, construyó su teoría de los conductores en movimiento, y descubrió con esto que la fuerza electromotriz es el producto vectorial de la velocidad del conductor por la fuerza magnética ($\vec{E} = \vec{v} \times \mu\vec{H}$), los elementos que componen la fuerza electromotriz son:

1. La fuerza eléctrica debida a la carga estática.
2. La fuerza de inducción electromagnética debida a la variación del estado electrotónico, calculada como si el remolino no se desplazara de su posición
3. La fuerza de inducción electromagnética debida al movimiento del conductor

Con estos 3 componentes formula la siguiente ecuación:

$$\vec{E} = \nabla \cdot \psi + d\vec{A}/dt + \vec{v} \times \mu\vec{H}$$

Donde ψ es la carga estática, Inicialmente en las formulaciones de Maxwell no se tuvo en cuenta la carga, ni la fuerza electromotriz debida al movimiento de un medio magnético polarizado, luego de varias formulaciones y cuando finalmente tiene en cuenta a la carga llega a una relación similar a la propuesta por Coulomb $F = c^2(e_1e_2/r^2)$ donde c tenía una equivalencia a la capacidad inductiva específica., de esta manera Maxwell pone fin a dos de sus tareas planteadas, la primera fue plantear una ecuación de campo que describía los fenómenos electromagnéticos y en segundo lugar probó que las ecuaciones eran consistentes con los experimentos conocidos.

La luz como una constante electromagnética, fue una de las propuestas de Maxwell, esto, aunque no se abarcará en este documento se menciona pues hablar sobre la luz y sus propiedades fue un tema que le ayudó a plantear su teoría de campos, sin el uso del

mecanicismo; en el artículo a *Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, trató de resolver dos cuestiones:

1. Liberar a las ecuaciones del mecanicismo
2. La teoría electromagnética de la luz y las líneas de fuerza

En esta publicación Maxwell coloca su tabla de ecuaciones libres del mecanicismo, con las que logra deducir que las ondas electromagnéticas se mueven a la velocidad de la luz, que k en el vacío es $4\pi c^2$, demostró que la onda electromagnética es transversal.

A. Ecuación de la elasticidad eléctrica

$$\vec{E} = \frac{1}{2}\vec{D}$$

B. Ecuación de la resistencia eléctrica

$$\vec{E} = -r\vec{j}$$

C. Ecuación de la electricidad libre

$$\rho + \nabla \cdot \vec{D} = 0$$

D. Ecuación de continuidad

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot \vec{j} = 0$$

E. Ecuación de corriente total

$$\vec{T} = \vec{j} + \frac{d\vec{D}}{dt}$$

F. Ecuación de la fuerza magnética

$$\mu\vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

G. Ecuación de la corriente eléctrica

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = 4\pi T$$

H. Ecuación de la fuerza electromotriz

$$\vec{E} = \vec{v} \times \mu\vec{H} - \frac{d\vec{A}}{dt}$$

Donde \vec{T} es la corriente total, \vec{H} es el vector intensidad, \vec{j} densidad de la corriente, \vec{A} el vector potencial magnético, \vec{E} es el campo eléctrico

Además de las deducciones matemáticas y de las demostraciones que logró con esto, matemáticamente logró explicar el comportamiento de la luz polarizada en cristales, dedujo la ecuación de onda del vector potencial y determinó que la fuerza eléctrica es igual a su variación en el tiempo, entre otras; Maxwell concluye su trabajo de la siguiente manera:

“Creo que hay buenas pruebas para creer que en el campo magnético se da cierto fenómeno de rotación, que esta rotación la ejecutan gran número de porciones muy pequeñas de materia que giran en torno a sí mismas, orientados sus ejes en la dirección de la fuerza magnética, y que las rotaciones de todos estos remolinos dependen unas de otras a través de

algún tipo de mecanicismo que las conecta (...) es posible pensar en el mecanicismo como algo capaz de proporcionar una conexión mecánicamente a la conexión real que existe entre las partes del campo electromagnético... No obstante, los siguientes resultados de la teoría son de gran valor:

- 1. La fuerza magnética es el efecto de la fuerza centrífuga de los remolinos*
- 2. La inducción electromagnética de las corrientes es el efecto de las fuerzas que entran en juego cuando varían la velocidad de los remolinos*
- 3. La fuerza electromotriz tiene su origen en la tensión que actúa sobre el mecanicismo de conexión*
- 4. El desplazamiento eléctrico proviene de la deformación elástica del mecanicismo de conexión.*

Estamos tan poco familiarizados con los detalles de la construcción molecular de los cuerpos que no es probable que en relación con un determinado fenómeno como el de acción magnética sobre la luz- se pueda formar ninguna teoría satisfactoria..." (Maxwell, 1873)

De esta manera Maxwell nos deja ver que de alguna manera se dio la opción de la existencia de varios mecanicismos puesto que no dejó de lado la teoría Newtoniana, aunque no estuvieran aceptados, por otro lado, deja abierta la posibilidad del cambio de pensamiento pues consideró que faltaban investigaciones más a fondo que permitieran hablar de una veracidad sobre sus propuestas.

Oliver Hevidside,(1892) introduce el análisis vectorial con el que calculó correctamente el campo generado por una carga en movimiento, luego dicho cálculo, lo extiende a una esfera en la que comete un error que luego corrige junto a Searle, aporte que ayudó posteriormente al principio de la relatividad, pero a pesar de haber simplificado las ecuaciones propuestas por Maxwell, estas no encajaban del todo en el mecanicismo Newtoniano, a continuación se muestran las ecuaciones modificadas que son las que conocemos actualmente (Belendez, 2008)

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)\end{aligned}$$

luego de ver los aportes de Maxwell y las modificaciones que hace Heaviside para que las ecuaciones fueran un poco más entendibles, Helmholtz trató de explicar a manera general la teoría de campos, manteniendo los principios newtonianos. En su artículo (*sobre las ecuaciones de movimiento de la electricidad para cuerpos conductores en movimiento*) demostró que la conservación de las fuerzas se podía manejar dentro de la teoría mecanicista, y que cualquier sistema de partículas que se rija bajo la ley de conservación de la fuerza, deben existir fuerzas centrales que dependen de las posiciones relativas de las partículas, la expresión matemática que encuentra para el potencial de un elemento de corriente sobre otro que concordara con Ampere, a él se le atribuye la introducción de la conservación de la energía en el medio científico, reconoció el valor de la teoría de campos, y trató de conservar la idea de acción a distancia, aunque esto difiera bastante de lo propuesto por Maxwell. (Lamberti, 2000)

Se hace esta breve referencia sobre Helmholtz ya que fue de gran influencia para científicos que se dedicaron a la tarea de encontrar experimentos decisivos que permitieran decidir entre la teoría de Maxwell y la teoría de acción a distancia que se encontraban planteadas en el momento, entre estos científicos están Heinrich Hertz y Lorentz.

Hertz logró demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas, y sus experimentos se explicaban totalmente con la teoría de Maxwell, de esta manera se dejó de lado la teoría generalizada de Helmholtz. Hertz dio inicio a sus experimentos impulsado por la idea de demostrar las cuestiones planteadas por Helmholtz, la primera parte del problema consistió en demostrar que la polarización de un cuerpo conductor ejerce una fuerza electromagnética, para esto hizo los cálculos de la descarga de una de una botella de Leyden con las ecuaciones de Maxwell, para comparar el resultado experimental con el resultado matemático y la propuesta de Helmholtz, (él propuso que esta descarga se realizaba de manera oscilatoria), el

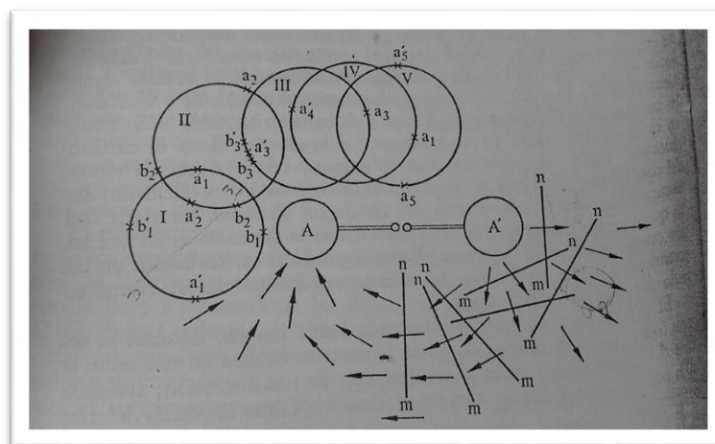
experimento no dio frutos ya que el efecto inductivo era muy débil para ser percibido, luego de este fallo Hertz hizo uso de un dispositivo denominado <<espirales de riess o Knochenhaver>>. La descripción física es la siguiente:

“Cuando no salta la chispa en el emisor, la resistencia del circuito es la del secundario de la bobina inductora. Cuando la diferencia de potencial entre esferillas de laton supera al voltaje de ruptura del aire, una chispa salta entre ellas; de esta forma la resistencia del circuito cae” (Lamberti, 2000)

El experimento demostró la existencia de la inducción mutua entre un circuito lateral y un detector, de esta manera resuelve la incógnita planteada, y le da pie para resolver otra que su maestro no pudo resolver, la inducción debido a corrientes no cerradas, siendo este un punto crucial para contrastar las teorías de Maxwell, Weber y Neumann.

Hertz realizó una serie de experimentos que le permitieron demostrar la existencia de las ondas, por lo que se centró luego en demostrar la velocidad finita de la acción eléctrica, gracias a estos experimentos logró dibujar el campo que se genera por una corriente oscilante, en él describe 3 fenómenos uno conocido como inducción magnética y a los otros dos les llamó *“efectos de cuerda pulsada”* a continuación se muestra la representación realizada por Hertz. (figura tomada de Berkson, 1981)

Figura No 5



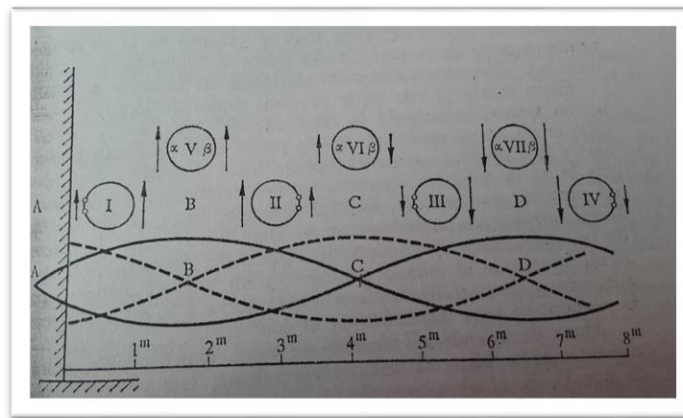
Luego de lograr esta representación se concentra en la detección de la onda, partiendo de dos hipótesis, la primera plantea que el campo viaja a la velocidad muy próxima a la velocidad

de la luz, la segunda que el campo se considera como infinito y por tanto se da la acción a distancia, para esto describe su experimento crucial así:

“Un simple experimento cualitativo, que con la experiencia que ya tenía podía terminarse en una hora, debería dirimir esta cuestión y llevar finalmente a la meta. Pero ... (...) descubrí que la fase de interferencia era evidentemente distinta a diferentes distancias y que la alteración era la que correspondería a una tasa infinita de propagación en el aire. (...) llegué a la conclusión de que sería de gran importancia descubrir que la fuerza eléctrica se propaga con velocidad infinita, demostrando que la teoría de Maxwell era falsa, o por el contrario probar que esta teoría era correcta siempre que el resultado fuese definido y cierto (...) era necesario suponer que la velocidad era finita, aunque mayor que la del cable” (Hertz, 1981)

De esta manera él confirma la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz, como Maxwell predijo, claro que como todo en ese momento tuvo inconvenientes, y para el caso Hertz no tuvo en cuenta el periodo de vibración del oscilador ni la propuesta de la reflexión de las ondas de Maxwell, así que se vio en la obligación de realizar otro experimento, en este colocó una lámina metálica frente al aparato productor de las ondas para poder determinar la reflexión, además tuvo en cuenta el periodo del oscilador obteniendo los siguientes resultados. (figura tomada de Berkson, 1981).

Figura No 6



Al demostrar la reflexión de la onda, la teoría de campos propuesta por Maxwell fue acogida por la comunidad científica, y los experimentos de Hertz fueron replicados en diferentes

lugares, esta teoría se convirtió en el punto de partida para otros, de alguna manera admiraban la manera en la que Maxwell había creado una teoría sin alejarse del todo del mecanicismo, dando la idea de que no era el único, pero para otros seguía la incógnita planteada en algún momento por Faraday y sus ideas anti newtonianas basadas en el éter, se podría suponer que volver a la explicación del campo a través del éter es como un retroceso, pues ya se tenía una explicación del mismo en términos de las líneas de fuerza generadas por una corriente.

Por su parte Hendrik Antoon Lorentz parte de un supuesto éter en reposo, de esta manera los remolinos que entraron en las analogías propuestas por Maxwell no tenían lugar, aunque sus ecuaciones podían ser aplicables en para el éter, de alguna manera se puede entender que en la actualidad las ecuaciones de Maxwell en función diferencial o integral, están descritas para el vacío, teniendo características como la permeabilidad μ_0 y la permitividad ϵ_0 en el mismo, tal vez en esa época se quería aplicar o más bien encontrar esos valores de μ_0 y ϵ_0 para el éter.

En el capítulo 2 se mencionaron las diferentes concepciones que se tuvieron del éter, por lo que no se retomarán sus propiedades, en lo que respecta al éter y Lorentz lo que se resaltará en esta parte del documento es la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, para abordar esta idea Lorentz parte del supuesto que los cuerpos contienen partículas cargadas, además que estas partículas obedecen a las ecuaciones de Maxwell y al éter en reposo. (Paty, 1993)

Lo que hizo Lorentz fue algo realmente admirable pues mezcló teorías incompatibles como la de acción a distancia de Weber con la teoría de Maxwell que no concibe dicha afirmación, y extrajo de cada una razonamientos que le permitieron plantear su propia teoría conocida como la teoría de los electrones, (acá aclaro que así la conocemos en la actualidad, porque en la época el nombre de electrón no se conocía él más bien la llamo corpúsculos cargados) y con ella sus ecuaciones basadas en las de Maxwell que fueron modificadas por Heaviside. matemáticamente Lorentz dice que son estas las ecuaciones con las que es posible definir el campo.

“En cambio, [nuestras] formulas expresan por un lado los cambios que se producen en el éter por la presencia y el movimiento de los corpúsculos cargados; y por otro lado dan a conocer la fuerza con la que actúa el éter sobre cualquiera de las partículas... En términos generales se puede decir

que los fenómenos suscitados en el éter por el movimiento de una partícula electrizada se propagan con una velocidad igual a la de la luz” (Berkson, ed. Ibid 1981)

La fuerza del éter sobre las cargas se describe con una ecuación llamada fuerza de Lorentz (f)

$$f = \vec{H} \times \mu\vec{v} - \frac{d\vec{A}}{dt}$$

La fuerza la calculó sobre un electrón a partir del principio de mínima acción, pero para que su teoría fuera totalmente válida, debía hacer que esta fuera viable para todos los experimentos conocidos en óptica y electricidad, en este momento la amenaza hacia su teoría radicó en el resultado del experimento realizado por Michelson del que también se habló en el capítulo 2, a esto Lorentz explica su solución de una manera bastante creativa.

“este experimento me ha traído de cabeza durante mucho tiempo, y al final sólo se, me ha ocurrido un método para conciliar su resultado con la teoría de Fresnel. Consiste en suponer que la línea que une los dos puntos de un cuerpo sólido y que inicialmente siguiera la dirección del movimiento de la tierra no conserva la misma longitud cuando el cuerpo gira 90 grados... quizá merezca la pena mencionar sobre el resultado obtenido en el caso de fuerzas eléctricas da, es decir la cantidad de contracción de uno de los brazos que es necesaria para explicar el experimento de Michelson”
(Lorentz H. A., 1937)

De esta manera él continúa con sus experimentos, pero a pesar de haber dado ya una explicación a las mismas aun debía demostrar que su teoría se aplicaba a todos los cuerpos en movimiento a través del éter, es decir la invariancia de los resultados al aplicarlo en un sistema en reposo y en movimiento, por lo que se le ocurrió hacer uso de un elemento matemático conocido como las transformaciones de Lorentz, su objetivo fue encontrar ese factor de conversión que le permitiera la transformación entre un sistema móvil y el sistema del éter, de esto concluye que:

- Hay un tiempo local que varía con la posición del sistema en movimiento

- Los fenómenos electromagnéticos y ópticos son los mismos en un sistema en reposo o que se mueven a velocidad constante relativa con respecto al éter.

A pesar de las diferentes críticas recibidas por científicos como Pointcaré apoyado en experimentos de Rayleigh, Brace, Trouton y Noble. Siguió adelante, aunque se vio en la obligación proponer una nueva teoría ahora basándose en tres supuestos y el apoyo de Fitzgerald:

1. Los electrones se contraen en un factor $\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$ en dirección del movimiento.
2. *“Las fuerzas entre partículas no cargadas, así como entre partículas no cargadas y electrones, son influidas por las translaciones de la misma forma que las fuerzas eléctricas en un sistema electrostático”* (Lorentz & Minkowsky, 1952)
3. El electrón no posee masa material

Hacia 1905 Pointcaré demostró que la teoría de Lorentz era totalmente compatible con el principio de la relatividad, y en ese mismo año Einstein descubrió un método más simple para deducir los resultados, e inició un programa de investigación basado en el sueño de Faraday y las concepciones anti newtoniana. (Paty, 1993)

3.3 la teoría del campo unificado

Einstein aborda la situación desde un punto de vista diferente, él no parte de las ecuaciones de Lorentz ni de Galileo pues considera inicialmente que las teorías no son perfectas y que si se quiere demostrar su validez no se puede partir de los errores de otros, a pesar de las afirmaciones sobre la teoría de Lorentz y el principio de relatividad, la idea de Einstein sobre el mismo tenía un mayor alcance *“ni el espacio absoluto ni el éter de Lorentz forman parte de la verdadera imagen del mundo”* (Berkson, 1981) en esta parte de la teoría aunque se resaltan los aportes de Einstein, otros científicos como Walter Ritz que aunque no concordaban con la posición de Albert Einstein, desarrolló un método aplicable a todos los experimentos sin suponer la contracción de Lorentz- Fitzgerald ni el tiempo local, él postuló que *“la velocidad de la luz y la velocidad de la fuente son aditivas, como en la vieja física, sin embargo hoy sabemos que la velocidad de la luz es independiente de la fuente en*

*movimiento*¹⁵” (Whittaker, 1973), Al no querer partir Einstein de la misma concepción de Lorentz cambia un poco la idea del concepto de tiempo y el de espacio; de esta manera rompe de alguna manera la concepción absolutista que se manejó hasta el momento, Einstein define el tiempo como lo que marca la manecilla de su reloj, además para entender los planteamientos de Einstein es necesario aclarar cuál fue su posición frente a conceptos como el espacio y el tiempo, porque si bien es cierto, dentro de la mecánica Newtoniana en la que se venía desarrollando este escrito, de estos se tiene una concepción absolutista y homogénea, para esto se parte de la definición de simultaneidad propuesta por Einstein en la que se incluye el tiempo.

“Cuando queremos describir el movimiento de un punto material, especificamos los valores de sus coordenadas en función del tiempo. Sería necesario tener en cuenta que una descripción matemática de esta índole tiene un sentido físico solamente cuando con anterioridad se ha aclarado lo que en este contexto se ha de entender bajo “tiempo”. Debemos tener en cuenta que todas nuestras afirmaciones en las cuales el tiempo juega algún papel, siempre son afirmaciones sobre eventos simultáneos. Por ejemplo, cuando digo “Ese tren llega aquí a las 7,” esto significa algo así como: “El momento en que la manecilla pequeña de mi reloj marca las 7 y la llegada del tren son eventos simultáneos” (Einstein, A. 1905)

Así el tiempo estaba señalado por el reloj de cada observador en su sistema de referencia, pero aun proponiendo una definición relativa para el tiempo, a Einstein inicialmente se le dificultó demostrar matemáticamente que la velocidad de la luz era constante independientemente del marco de referencia, sus primeros planteamientos no dieron frutos, pero con el tiempo logró deducir ecuaciones similares a las de Lorentz, para sus deducciones tuvo en cuenta algunos aspectos, por un lado la homogeneidad parcial del espacio – tiempo pues y transformaciones no lineales generales, se parte entonces de dos sistemas de referencia uno inercial y otro con una velocidad (v) para cada uno se tiene un tiempo t y t' , además de por las propiedades de homogeneidad que le da al espacio plantea que $x' = x - vt$, en los anexos

¹⁵ Traducción propia

se coloca el ejemplo y la demostración matemática con la que Einstein logra llegar a plantear el factor de conversión (β) igual al que llegó Lorentz- Fitzgerald (Einstein, A. 1905)

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Una vez trabajado y demostrado que existe un factor de conversión, Einstein se centra en los cuerpos en movimiento, y al igual que Lorentz demostrar la invariancia del campo en un sistema de referencia inercial y otro en movimiento, en su artículo *sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento* planteó dichas ecuaciones, en las que por razones de simetría $X = Y = Z = L = M = 0$ y $N \neq 0$, si v cambia de signo, pero no su magnitud, para Y' se debe cumplir lo mismo.

$$\begin{aligned} X' &= X, & L' &= L, \\ Y' &= \beta \left(Y - \frac{v}{V} N \right), & M' &= \beta \left(M + \frac{v}{V} Z \right) \\ Z' &= \beta \left(Z + \frac{v}{V} M \right), & N' &= \beta \left(N - \frac{v}{V} Y \right) \end{aligned}$$

De esta manera, las deducciones matemáticas aplicadas a la teoría del campo unificado se resume a lo siguiente: “*si una carga eléctrica, puntual y unitaria se mueve en un campo electromagnético, la fuerza que actúa sobre ella es igual a la fuerza eléctrica presente en la posición de la carga, la cual se obtiene mediante una transformación del campo a un sistema de coordenadas en reposo con respecto a la carga eléctrica*” (Einstein, A. 1905)

Los aportes de cada uno de los autores mencionados en este capítulo fueron significativos ya que independientemente de la corriente que siguieron, mostraron un proceso de re-contextualización dada mediante experimentos sobre fenómenos de la luz, otros mediante experimentos mentales y planteamiento de analogías e hipótesis.

4. REFLEXIONES

Durante el desarrollo de este trabajo fue posible evidenciar un cambio conceptual, en relación al campo. En los objetivos se planteó como punto de partida para esta re-contextualización el concepto de éter, teniendo en cuenta la analogía que muestra el señor Paty (1993), en su libro *Einstein Philosophe*.

Este tipo de trabajos son de gran ayuda y aporte pues nos permite no solo hacer una reconstrucción histórica, sino en algún momento tomar posición, además hace reestructurar nuestra forma de pensar y ver el mundo, en el caso del concepto de éter, a pesar de no ser en la actualidad una sustancia definida o medible, permitió a los pensadores de las diferentes épocas pensarlo, y darle características para su existencia; de una manera esto me hace pensar que si se busca dar características o propiedades a algo, ese algo en cierta forma ya existe, así sea solo de manera teórica.

Alrededor del éter se construyeron diferentes modelos que permitieron dar explicaciones momentáneas, o sirvieron de base a las teorías planteadas por cada pensador que defendió su existencia, es entendible que si se trata de explicar una teoría, esta deba ser lo suficientemente elocuente para explicar todos los fenómenos de la naturaleza que se pretenden abordar con ella, por lo menos demostrarlos, y para que estas teorías se cumplieran era necesario que estuvieran acompañadas de un experimento fehaciente, o un desarrollo matemático de tal manera que no podía haber duda de que lo planteado era real. Entre 1800 y 1900 hay un cambio de pensamiento científico, que permite avanzar en el ámbito investigativo, a pesar de

| Conceptos | científicos | | | | | | |
|--|-----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| | Newton (1643-1727) | Boscovich (1711-1787) | Faraday (1791-1867) | Maxwell (1831-1879) | Weber (1864-1920) | Lorentz (1853-1928) | Einstein (1879-1955) |
| Espacio Vacío | | | | | | | |
| Espacio lleno | | | | | | | |
| Acción a distancia | | | | | | | |
| Acción continua | | | | | | | |
| Velocidad finita | | | | | | | |
| Velocidad infinita | | | | | | | |
| Cuerpos obedecen las leyes de Newton | | | | | | | |
| Cuerpos no obedecen las leyes de Newton | | | | | | | |
| Posición dependiente de fuerzas centrales | | | | | | | |
| Posición dependiente de fuerzas no conservadoras | | | | | | | |
| Materia y campo independientes | | | | | | | |
| Materia y campo identificados | | | | | | | |

haber corrientes científicas que daban sus propios puntos de vista sobre un mismo fenómeno como lo vimos en el capítulo dos sobre las teorías planteadas para dar cuenta del comportamiento de la luz, con las teorías corpuscular y ondulatoria, cada expositor tuvo argumentos fuertes para defender su posición, y en cierta forma se enfocaron en encontrar el experimento crucial que permitiese mostrar quien estaba formulando de manera errónea, en esta primera gran controversia, se plantea la existencia del éter como ese medio sutil que va a permitir a las ondas propagarse pero también a ser el medio gracias al cual los corpúsculos pueden viajar, cada teoría lo muestra con características particulares, a continuación muestro una tabla que encierra conceptos claves que trabajó cada uno de los pensadores tenidos en cuenta para este documento, esto con el fin de mostrar por épocas los conceptos que se tuvieron en cuenta para llegar a la construcción del concepto de campo.

La tabla que muestro la realizo en base a los conceptos que llamaron mi atención durante el desarrollo de este documento, aunque podría hacer lo mismo para designar las características del éter, pero la idea es mostrar de una manera muy general, algunos conceptos que se tuvieron en cuenta o que plantearon antes de llegar a la formalización del campo, el espacio es uno de los temas que se abarcó en el desarrollo del segundo capítulo, pues para algunos pensadores la existencia de un espacio vacío era inadmisibles, pero para aquellos que decían que el vacío no es vacío existía el éter, o una sustancia sin nombre pero con características inicialmente mecánicas, la acción a distancia es un concepto que aun en la actualidad utilizan algunas docentes para hablar de interacción, para el caso de este documento, se deja de lado esta idea.

El cuestionamiento sobre la velocidad de la luz, incógnita que trataron de responder por medio de experimentos inicialmente, lo cual se encuentra documentado en el marco teórico llama mi atención acerca de la concordancia de los cuatro pensadores que se revelaron en cierta forma a ver el mundo de una manera mecanicista, (Faraday, Maxwell, Lorentz y Einstein), como se muestra en el desarrollo del tercer capítulo; aunque en este ítem al igual que en la obediencia de las leyes de Newton compartan su posición a excepción de Maxwell, lo particular de este personaje fue que él no pensó ir en contra de las leyes de Newton, sino que más bien planteó una manera diferente de ver el mecanicismo, tal vez la existencia de otros tipos de mecanicismo.

Dentro de las características que se le atribuyeron al éter están, por un lado, las mecánicas, en algún momento dentro del documento planteo una cuestión, esta es, ¿es importante demostrar la existencia del éter?, digamos que ahora después de haber realizado el estudio pienso que en su momento fue necesario buscar esas características, y que cada uno tuviera la necesidad por llamarle de alguna manera de demostrar su existencia o la no existencia, que no quedara la menor duda de que eso que se había logrado en algún momento por medio del experimento o la matemática se iba a establecer como una ley; si no hubiese existido ese motor en ese momento tal vez hoy no podríamos hablar del campo, en cuanto a las propiedades mecánicas que se le atribuyeron, varían dependiendo del pensador, pues cada uno acomodó el éter a su teoría, lo ideal de aplicarlo era que este diera cuenta de que independientemente de que se demostrara o no su existencia, para la teoría planteada encajaba a la perfección.

Cuando se inicia a cuestionar la luz, su composición y por qué funciona de determinada manera, algunas teorías involucraron la existencia del éter otras definieron un medio con ciertas características pero sin el nombre de éter, otros simplemente le llamaron vacío, pero independientemente del nombre y las características, elásticas, sutiles, ligeras que le dieron lo único que se puede afirmar es que ese medio existía con nombre o sin él, pero había algo que permitía que la luz se propagara por el espacio, y si bien la luz se concibe como onda o como partícula, cualquiera de las dos necesitaba un medio para moverse, fue un paso significativo el que se dio entre 1800 y 1900 pues dejaron de buscar esas características mecánicas, pero eso solo sucedió cuando dejaron de pensar el mundo bajo las leyes mecanicistas establecidas, claro, como todo tuvieron opositores fuertes los pensadores que plantearon un mundo no mecanicista como Faraday, pero si ellos no se hubieran atrevido a tanto, seguiríamos viendo el mundo bajo leyes de Newton,

Se presenta de esta manera un cuestionamiento importante y es si llevamos al aula de clase trabajos como este ¿qué sucedería?, ¿serán positivos los resultados?, ¿se logrará interesar a los estudiantes? Los docentes nos encargamos de hacer que los estudiantes vean el mundo bajo las leyes mecanicistas, siguiendo las normas establecidas por las mallas curriculares que los colegios diseñan teniendo en cuenta los estándares de MEN. Para el docente como investigador se hace más interesante la enseñanza de cualquier concepto de física si al

momento de estar en el aula se muestra el origen, el entorno y el experimento, con lo cual se apostaría a tener una mejor conceptualización por parte de los estudiantes y sobre todo una reflexión por parte de ellos frente a la concepción de ciencias, que es tan importante cambiar actualmente, que no se piense por parte de los estudiantes una ciencia aburrida y monótona sino una ciencia gracias a la cual existen grandes avances en la cotidianidad y que es evidencia de la evolución del pensamiento humano.

Retomando las características ahora eléctricas y magnéticas que se buscan al éter para poder explicar la propagación de la luz en los diferentes experimentos realizados por Hertz, y el cambio de perspectiva que se muestra, me arriesgo a afirmar que eso que llamamos campo eléctrico o magnético fue llamado en algún momento éter, aunque ningún autor lo hace abiertamente, es posible deducir por medio de sus trabajos que las características de ese éter o el medio en el que se propaga la luz, o bien hasta el vacío son las mismas que hasta el mismo Einstein en algún momento en su artículo de 1920 menciona que el mismo espacio – tiempo fue lo que se conceptualizó por los físicos de la época como éter.

Por todo lo descrito en el presente trabajo, el éter, al cual cada autor dio características particulares según la conveniencia a su teoría, no se logró definir en términos materiales, permitió dar cuenta del campo eléctrico y magnético, las líneas de fuerza que interactúan en el medio, y avanzar en lo que hoy conocemos de la electrodinámica, la inducción entre otros avances del magnetismo y la electricidad. Cada experimento que realizaron fue importante y nos permite mostrar las inquietudes de los autores al momento de plantear sus explicaciones a las problemáticas, lo cual posteriormente se enunciaría como un postulado o una teoría. Es por ello que, si se quiere hablar del campo, necesariamente hay que hablar del éter, pues podría decirse que fue una primera aproximación a dicho concepto que me inquietó a realizar el presente trabajo, y al saber su génesis se puede adecuar la misma conceptualización de los docentes que posteriormente se encargarán de enseñar dichos conceptos correspondiendo a los cuestionamientos de los autores y generando su propia re-contextualización de saberes que falta tanto en la enseñanza de las ciencias.

CONCLUSIONES

- Los estudios históricos nos permiten hacer una re-contextualización del concepto de campo y su relación con la enseñanza de la física.

- Se pudo evidenciar que el éter jugó un papel fundamental en la construcción del concepto de campo. Incluso para algunos autores siendo su antecesor
- No se tiene una definición puntual del concepto de campo, se evidencia su existencia a partir de las líneas de fuerza y tiene una descripción matemática
- El trabajo se presta para el desarrollo de otras monografías, puesto que quedan abiertos a investigación aspectos como el desarrollo matemático planteado por Maxwell a partir de los cuaterniones, la aplicación de la re-contextualización en el aula de clase.
- Es posible evidenciar una conexión entre el estudio histórico, que permite la re-estructuración del saber saliendo un poco del aspecto disciplinar que se quiere enseñar, compartido con la fenomenología y la descripción matemática.

ANEXOS

Tabla No 1

Características de publicaciones de investigaciones educativas sobre el concepto de campo.

| | |
|--------------------------|---|
| Estrategias de enseñanza | Estas investigaciones tienen por propósito el diseño y evaluación de estrategias de enseñanza del campo eléctrico para estudiantes secundarios de bachillerato, con propuestas sustentadas en un modelo de aprendizaje como una investigación dirigida (Furió y Guisasola, 2001; Martín y Solbes, 2001) orientado a superar dificultades de aprendizaje, asumidas a partir de resultados de investigaciones anteriores sobre concepciones alternativas, y resultados de análisis de contenidos y de formas de razonamiento (Viennot y Rainson, 1999). Del análisis de los resultados de la aplicación de las estrategias y de la evaluación de aprendizaje conceptual, se observa que la mayoría de los estudiantes mejora su aprendizaje del concepto de campo e informan de una mayor asimilación de las ideas significativas del concepto frente al grupo control. Las dificultades de aprendizaje se interpretan como consecuencia de un tratamiento didáctico deficiente y confuso (Martín y Solbes, 2001). Además, los resultados destacan, la detección de dificultades de los estudiantes para aceptar la existencia de un campo eléctrico en un medio donde las cargas están inmóviles, e ignorar las fuentes de campo no representadas explícitamente en forma matemática (Viennot y Rainson, 1999). Se concluye que la comprensión conceptual de los estudiantes progresa solo cuando los aspectos causales han sido enfatizados durante la enseñanza. |
| | Estas investigaciones tienen por objetivo principal identificar, interpretar y analizar dificultades de aprendizaje del campo electromagnético en contextos de enseñanza con estudiantes secundarios (15-17 años) y primer año de universidad (17-18 años), bajo la hipótesis de que estas dificultades se originan y relacionan con las concepciones alternativas de la mecánica (Galili, 1995), o bien se deben a un paralelismo entre los problemas de aprendizaje y los problemas epistemológicos (Furió y Guisasola, 1998) que hubo que superar en la historia del desarrollo del electromagnetismo. Los resultados y conclusiones de este grupo de investigaciones muestran que una minoría de los estudiantes de enseñanza secundaria y universitaria usan en forma significativa el concepto de campo. La mayoría no establece diferencias conceptuales entre fuerza y campo eléctrico, y se aprecia que la introducción del concepto de campo a partir de su definición operacional afecta su comprensión, y a su vez, hace evidentes problemas de aprendizaje de la mecánica. Se infiere la confirmación de la hipótesis que el origen de las dificultades de |

| | |
|------------------------------------|---|
| | <p>aprendizaje podría estar en las concepciones alternativas y en un paralelismo entre problemas de aprendizaje y problemas epistemológicos históricos de los orígenes del concepto de campo eléctrico.</p> |
| <p>Dificultades de aprendizaje</p> | <p>Estas investigaciones están orientadas a identificar los modelos mentales (Johnson-Laird,1983) que usan las personas para pensar acerca del magnetismo y las relaciones entre electricidad y magnetismo (Borges y Gilbert, 1998), e investigar el tipo y nivel de representación mental del concepto campo electromagnético que construyen y utilizan los estudiantes cuando estudian, responden preguntas y resuelven problemas (Greca y Moreira, 1997; 1998), y una revisión en profundidad de la teoría de representaciones mentales (Greca y Moreira, 2000), que sirve de marco teórico y orienta la identificación de las representaciones del campo electromagnético. Los resultados y conclusiones de estas investigaciones destacan, que las personas construyen modelos mentales simples en acuerdo con sus conocimientos del mundo físico, y que la expansión del conocimiento en un dominio es por asimilación y acomodación del nuevo conocimiento en modelos más sofisticados. En el caso del magnetismo, los diferentes modelos de magnetismo construidos por los estudiantes son una evidencia de los efectos de la instrucción (Borges y Gilbert, 1998) recibida. Por otra parte los trabajos de Greca y Moreira destacan que los estudiantes que evidencian comprensión y aplicación de los significados del concepto de campo son aquellos que desarrollan un modelo mental físico del concepto según la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird (1983), por tanto, aprender el marco conceptual de una teoría física implicaría generar un modelo o representación mental del mismo</p> |
| <p>Representaciones mentales</p> | <p>Este grupo de estudios apunta a investigar concepciones y formas de razonamiento de los estudiantes. En particular, identificar ideas acerca de aspectos del campo eléctrico que revelen posibles obstáculos de aprendizaje (Viennot y Rainson, 1992); identificar la coexistencia de concepciones alternativas y concepciones aceptables científicamente del campo gravitatorio (Palmer, 2002) e indagar las relaciones entre estas concepciones. En el caso del campo eléctrico, los resultados de estas investigaciones muestran que las explicaciones de los estudiantes evidencian un razonamiento causal lineal, que dota a la carga encerrada por una superficie gaussiana de un tipo de causalidad exclusiva (Viennot y Rainson, 1992) que los lleva a negar y no usar el principio de superposición del campo eléctrico. La investigación referida al campo gravitatorio destaca como resultado relevante la identificación de concepciones alternativas en igual proporción en todos los grupos de estudiantes, sin importar aparentemente la diferencia de edad y los niveles de instrucción en física (Palmer, 2002), lo cual implicaría formas de pensamiento común que sobreviven a la enseñanza. Además, se</p> |

| | |
|--|--|
| | confirma la coexistencia de concepciones alternativas y concepciones aceptables científicamente (Palmer, 2002) enlazadas por procesos de razonamiento condicional, influenciadas por el contexto de las situaciones de las preguntas |
|--|--|

Tabla No 2

| Objetivo o logro a alcanzar | Grado |
|---|----------------------------|
| Verifico las fuerzas a distancia generadas por imanes sobre diferentes objetos | Primero, Segundo y tercero |
| Verifico la conducción de electricidad o calor en materiales. | Cuarto y Quinto |
| Verifico la acción de fuerzas electrostáticas y magnéticas y explico su relación con la carga eléctrica | Sexto y Séptimo |
| Comparo sólidos, líquidos y gases teniendo en cuenta el movimiento de sus moléculas y las fuerzas electroestáticas. | Noveno y Décimo |
| <ul style="list-style-type: none"> • Relaciono masa, distancia y fuerza de atracción gravitacional entre objetos. • Establezco relaciones entre el modelo del campo gravitacional y la ley de gravitación universal. • Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas. • Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético. | Décimo y Once |

Demostración de Maxwell y su ecuación de momentum de rotación (Maxwell J.C, 1895)

Ecuación general donde X y Y son fuerzas que actúan sobre un cuerpo C, los diferenciales son desplazamientos simultáneos, p es el tiempo para A y q el tiempo para B, u es la velocidad para A y v es la velocidad para B.

$$C \frac{dw}{dt} \delta z = X \delta x + Y \delta y,$$

$$\frac{dw}{dt} = p \frac{du}{dt} + q \frac{dv}{dt},$$

$$\delta z = p \delta x + q \delta y.$$

Sustituyendo y teniendo en cuenta que dx y dy son independientes se tiene:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{d}{dt}(Cp^2u + Cpqv), \\ Y &= \frac{d}{dt}(Cpqu + Cq^2v). \end{aligned} \right\}$$

El momento de C con respecto a A es:

$$Cp^2u + Cpqv$$

El momento de C con respecto a B es:

$$Cpqu + Cq^2v$$

si existieran diferentes cuerpos conectados a A y B con valores diferentes para p y q se simplifica la ecuación así:

$$L = \Sigma(Cp^2), \quad M = \Sigma(Cpq), \quad \text{and } N = \Sigma(Cq^2),$$

$$X = \frac{d}{dt}(Lu + Mv)$$

$$Y = \frac{d}{dt}(Mu + Nv).$$

Demostración de Einstein (desarrollo matemático para encontrar el factor de conversión) (Einstein, A. 1905)

Supongamos que desde el origen del sistema k se emite un rayo de luz en el momento τ_0 a lo largo del eje X hacia x_0 y desde allí en el momento τ_1 se refleja hacia el origen de coordenadas a donde llega en el momento τ_2 . Entonces se debe cumplir que:

$$\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1$$

o incluyendo los argumentos de la función τ y aplicando el principio de la constancia de la velocidad de la luz en el sistema en reposo:

$$\frac{1}{2} \left[\tau(0, 0, 0, t) + \tau \left(0, 0, 0, \left\{ t + \frac{x'}{V-v} + \frac{x'}{V+v} \right\} \right) \right] = \tau \left(x', 0, 0, t + \frac{x'}{V-v} \right)$$

Tomando a x' infinitamente pequeño de esta última ecuación queda:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{x'}{V-v} + \frac{x'}{V+v} \right) \frac{\partial \tau}{\partial t} = \frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{1}{V-v} \frac{\partial \tau}{\partial t}$$

Asumiendo que la luz siempre se propaga con la velocidad $\sqrt{V^2 - v^2}$ a lo largo de los ejes Y y Z obtenemos:

$$\frac{\partial \tau}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = 0.$$

Al ser esta una función lineal queda:

$$\tau = a \left(t - \frac{v}{V^2 - v^2} x' \right)$$

Donde a es por el momento una función desconocida $\phi(v)$ y por brevedad supondremos que $\tau = 0$ cuando $t = 0$. Con ayuda de estos resultados es fácil determinar las magnitudes ξ , η , ζ , expresando mediante ecuaciones que la luz (tal como lo exige el principio de constancia de la velocidad de la luz en conexión con el principio de la relatividad) también se propaga en el sistema en movimiento con velocidad V . Para un rayo de luz que en el momento $\tau = 0$ se emite en la dirección de crecimiento de ξ tenemos que:

$$\xi = V\tau,$$

$$\xi = aV \left(t - \frac{v}{V^2 - v^2} x' \right).$$

Pero con respecto al origen de k el rayo de luz se desplaza con la velocidad $V - v$, cuando se mide en el sistema en reposo, de tal manera que:

$$\frac{x'}{V - v} = t.$$

Si consideramos rayos de luz propagándose a lo largo de los otros ejes, de forma análoga encontramos

$$\xi = a \frac{V^2}{V^2 - v^2} x'.$$

$$\eta = V\tau = aV \left(t - \frac{v}{V^2 - v^2} x' \right),$$

$$\frac{y}{\sqrt{V^2 - v^2}} = t; \quad x' = 0;$$

$$\eta = a \frac{V}{\sqrt{V^2 - v^2}} y$$

$$\zeta = a \frac{V}{\sqrt{V^2 - v^2}} z.$$

Introduciendo el valor de x' , resulta

$$\tau = \varphi(v)\beta \left(t - \frac{v}{V^2} x \right),$$

$$\xi = \varphi(v)\beta(x - vt),$$

$$\eta = \varphi(v)y,$$

$$\zeta = \varphi(v)z,$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}}$$

Referencias

- Aristóteles. (14 de Marzo de 2015). <http://www.uruguaypiensa.org.uy>. Obtenido de uruguaypiensa: <http://www.uruguaypiensa.org.uy/imgnoticias/662.pdf>
- Ayala, M. M. (2004). HISTORIA DE LAS CIENCIAS Y LA FORMACIÓN DE PROFESORES. *Física y Cultura*, 1-12.
- Belendez, A. (2008). La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell. *Enseño de física*, 1-20.
- Ben-Dov, Y. (1999). *Invitación a la Física*. Santiago de Chile: Andres Bello.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza Universal.
- Bernstein, B. (1993). *La estructura del discurso pedagógico*. Madrid: Morata.
- Bernstein, B., & Díaz, M. (1984). Hacia una teoría del discurso pedagógico. *Collected Original Resources in Education*, 8(3), 1-41.
- Betancor, C. A. (2010). *Campos eléctrico y magnético: Realidad o recurso matemático. Su enseñanza en electrostática*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Cassini, A., & Levinas, M. (2009). EL ÉTER RELATIVISTA: UN CAMBIO CONCEPTUAL INCONCLUSO. *Revista hispanoamericana de filosofía*, 41(123), 3-38.
- Cassini, A., Levinas, M., & Einstein, A. (diciembre de 2009). EL ÉTER RELATIVISTA: UN CAMBIO CONCEPTUAL AL INCONCLUSO. *Crítica*, 11(123), 10.
- Castillo, J. C. (2016). *Sobre la relación mecánica Electromagnetismo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional .
- Díaz, M. (20 de Octubre de 2016). *Universidad Pedagógica Nacional* . Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional : http://www.pedagogica.edu.co/storage/ps/articulos/pedysab01_05arti.pdf
- Einstein, A. (1905). Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. *Annalen der Physik*, 891 - 921.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1986). *La evolución de la física*. Barcelona: Salvat Editores S.A. .
- Einstein, A., & Infeld, L. E. (1939). *La física, Aventura del pensamiento*. Buenos Aires : Losada.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1939). *La física, aventura de pensamiento*. Buenos Aires: Losada S.A.
- Einstein, A., Field, I., & Huyguens , C. (1939). *La física una aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Losada S.A.
- Faraday. (1816). Chemist Lectures. En W. Berkson, *Las teorías de los campos de fuerza. De Faraday a Einstein* (pág. 53). Madrid: Alianza S.A.
- Faraday, M. (1855). *Philosophical Magazine*.

- Faraday, W. (1981). Las teorías de los campos de fuerza. Desde Farady hasta Einstein. En Berkson, *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Farady hasta Einstein* (pág. 280). Madrid: Alianza Editorial S.A.
- Feynman, R., & Leighton, R. B. (1972). *Física V II Electricidad y Magnetismo*. México: Fondo educativo interamericano.
- Física, L. (25 de Marzo de 2016). *Youtube*. Obtenido de Propagación de la luz Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=72HQJCFHBsE>
- Fowler, M. (1996). *Experimento de Michelson-Morley*. Virginia: Universidad de Virginia.
- Fresnel, A. (1818). LETTER FROM AUGUSTIN FRESNEL TO FRANÇOIS ARAGO, ON THE INFLUENCE OF THE MOVEMENT OF THE EARTH ON SOME PHENOMENA OF OPTICS. *Annales de chimie et de physique*, 286.
- Furio, C., & Guisasola, J. (1993). DIFICULTADES DE APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS DE CARGA Y DE CAMPO ELECTRICO EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO Y UNIVERSIDAD. *Enseñanza de las ciencias*, 131-146.
- Granes, J., & Caicedo, L. M. (20 de 08 de 2016). *Universidad Pedagógica Nacional*. Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional: http://www.pedagogica.edu.co/storage/rce/articulos/rce34_06expe.pdf
- Granés, J. (2005). *Isaac Newton Obra y contexto una introducción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Holton, G. (1989). Teoría del campo electromagnético. En G. Holton, *Teoría del campo electromagnético* (pág. 613). Barcelona: Reverté.
- Lamberti, P. (2000). *Las investigaciones de Heinrich Hertz sobre las ondas electromagnéticas*. Córdoba Argentina: Ciudad universitaria .
- Larmor, J. (1900). *Aether and matter*. Toronto: Cambridge University Press.
- Llancaqueo, A., Caballero, M. C., & Moreira, M. A. (2003). El Aprendizaje del Concepto de Campo en Física: una Investigacion Exploratoria a Luz de la Teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 399 - 418.
- Lorentz, H. A. (1937). *Collected papers, Volume 4*. Madison: the University of Wisconsin .
- Lorentz, H. A., & Minkwosky, H. (1952). *The principle of relativity*. Estados unidos: Methuen and Company ltd.
- Lorenzo, M. G. (Mayo-Agosto de 2012). los formadores de profesores: el desafio de enseñar enseñando. *Revista de Currículum y formación de profesorado*, 16(2), 295-312.
- Margenau, H. (1977). *El concepto de campo en la ciencia moderna*.
- Maxwell, J. C. (1865). *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. Londres: Philosophical transactions.

- Maxwell, J. C. (1873). *A treatise on electricity and magnetism*. Inglaterra: Oxford : Clarendon Press.
- Maxwell, J. C. (1892). *Treatise on Electricity and magnetism*. En W. Berkson, *Las teorías de los campos de fuerza. desde Faraday hasta Eintein* (pág. 95). Londres : Frowde.
- Meyerson, E. (1930). *Identity and reality*. Londres: G. Allen & Unwin Ltd. ; The Macmillan company.
- Nacional, M. d. (15 de Marzo de 2015). *MINEDUCACION*. Obtenido de MINEDUCACION: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf.pdf
- Olarte, R., & Zarate, F. (1991). *Surgimiento del concepto de campo de Faraday*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Orozco, J. C. (2004). *TEORÍAS DEL ÉTER EN EL SIGLO XIX. LOS ESTUDIO DE CASO Y LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA*. Bogotá .
- Paty, M. (1993). *Einstein philosophe*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Peña, R. E. (2008). *Contextualización de las ecuaciones de Maxwell empleando formas diferenciales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Real Academia Española . (20 de Noviembre de 2015). *Real Academia Española* . Obtenido de <http://dle.rae.es/>: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=%E9ter>
- Reyes Roncancio, J. D. (2014). *Didáctica Del Campo Eléctrico: Perspectiva del profesor de Física en formación inicial*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas .
- Ríos Rivera, J. I. (15 de Octubre de 2016). *Importancia de la recontextualización y la reconceptualización del saber en diseño de la enseñanza apoyada en tic*. Obtenido de Digicampos virtuales: <http://cmap.upb.edu.co/rid=1MKBQL1CF-16NP0VP-1QB/Tema%201%20Recontextualizaci%C3%B3n%20y%20recontextualizaci%C3%B3n.pdf>
- Sanchez Ron, J. M. (1983). *El origen y desarrollo de la relatividad*. Madrid: Alianza.
- Sánchez, M. A. (11 de Octubre de 2015). *IES "leonardo Da Vinci"*. Obtenido de IES "leonardo Da Vinci": <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Luz/Naturaleza-luz.pdf>
- Snowbelen, S. (2006). LA LUZ DE LA NATURALEZA: DIOS Y FILOSOFÍA NATURAL EN LA ÓPTICA DE ISAAC NEWTON. *Estudios filosóficos*, 15 - 53.
- Universidad de Granada. (5 de febrero de 2016). *Universidad de Granada*. Obtenido de Universidad de Granada: <http://www.ugr.es/~jillana/SR/sr1.pdf>
- Universidad Pedagógica Nacional* . (05 de 05 de 2015). Obtenido de <http://cienciaytecnologia.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=380&idh=385&idn=8055>
- Velasco, S., & Salinas, J. (2001). Comprensión de los conceptos de campo Energía y Potencial Eléctricos y Magnéticos en estudiantes Universitarios. *Brasillera de ensiso de física*, 308-319.

Wald, R. (1992). *Espacio, tiempo y gravitación. La teoría del "Big Bang" y los agujeros negros.*
España: Fondo de cultura económica.

Whittaker, E. (1973). *Aether and Electricity.* New York: Humanities press.