

**LA RELACIÓN LUZ, ELECTRICIDAD, MAGNETISMO Y LA PERSPECTIVA DE
CAMPOS**

**Jhayson Leon Palacio Rangel
2013146047**

**Universidad Pedagógica Nacional
Departamento de Física
Línea de Profundización: La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física
Bogotá D.C.
2017**

**LA RELACIÓN LUZ, ELECTRICIDAD, MAGNETISMO Y LA PERSPECTIVA DE
CAMPOS**


Jhayson Leon Palacio Rangel
Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Física

Director del trabajo:
Juan Carlos Orozco Cruz

Universidad Pedagógica Nacional
Departamento de Física
Línea de Profundización: La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física
Bogotá D.C.
2017

Agradecimientos

A mi Profesor, Juan Carlos Orozco Cruz.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad y Conciencia</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 6	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	LA RELACIÓN LUZ, ELECTRICIDAD, MAGNETISMO Y LA PERSPECTIVA DE CAMPOS
Autor(es)	Palacio Rangel, Jhayson Leon
Director	Orozco Cruz, Juan Carlos
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2017. 42 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional-Bogotá
Palabras Claves	RELACIÓN LUZ, ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO, PERSPECTIVA DE CAMPOS, EFECTO FARADAY.

2. Descripción
<p>En este documento se hallan reflexiones de orden disciplinar y educativo, en las que se discute y se contextualiza la configuración del pensamiento de Michael Faraday para establecer relaciones entre su interpretación y cómo resulta significativa en la abstracción de la perspectiva de campos. Para ello, se revisan textos de la autoría de Faraday y algunos otros de científicos que trabajaron teniendo en cuenta sus ideas.</p> <p>Las investigaciones que mencionan la obra de Faraday se limitan a discutir sus trabajos más famosos, como la ley de inducción, sin trascender hacia cómo dichos descubrimientos se corresponden con una cosmovisión –que posibilitó, entre otras cosas, el establecimiento de la perspectiva de campos- y, por tanto, se descarta una descripción de lo importante que resulta la articulación del pensamiento de Faraday, en tanto pone de presente la relación del</p>

electromagnetismo y la luz, para la historia y la enseñanza de la física.

En ese sentido, mi planteamiento se encamina al reconocimiento de la cosmovisión de Faraday como un hito en la historia de la física, que propició el debate con importantes teorías sobre las acciones magnéticas y eléctricas, además de conceptualizar el campo. Correspondiente a esa articulación del pensamiento, la exposición de la relación entre fenómenos electromagnéticos y lumínicos permite una reflexión acerca de la manera en que es posible fortalecer la construcción de conocimiento de los estudiantes de física.

3. Fuentes

Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes históricos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Física y Cultura*, 19-37.

Berkson, William (1981). *“Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein”*. Madrid: Alianza Editorial.

Blondel, Christine y Wolff, Bertrand (2009a). *Ampère jette les bases de l'électrodynamique* (septembre 1820-janvier 1821).

Euler, L. (1990). *“Cartas a una Princesa de Alemania sobre diversos temas de Física y Filosofía”*. Edición Carlos Mínguez Pérez. Universidad de Zaragoza.

Faraday, M. (1831-1852). *“Experimental Researches in Electricity”*. London, vol. 4.

Faraday, M. *“Consideraciones sobre las vibraciones de los rayos”*, 1846.

Faraday, M. *“Sobre algunos puntos de filosofía magnética”*, 1855.

Faraday, M. *“Sobre la Acción inductiva electrostática”*, 1843.

Faraday, M. *“Una especulación acerca de la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia”*, 1844.

Hadfield B. Editor, *Permanent Magnets and Magnetism*, Wiley, New York, 1962.

Hertz, H. *“Sobre las relaciones entre la luz y la electricidad”*, 1889. Sexagésima-segunda Conferencia de Científicos y Médicos Alemanes. Misc. Pprs. p.p. 313-327.

J. Ordóñez, V. Navarro y J.M. Sánchez Ron, *Historia de la Ciencia* (Editorial Espasa-Calpe, Madrid, 2007).

Koponen, I. y Mäntylä, T. (2006). *Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching*

Physics: *A suggestion for Epistemological Reconstruction*. *Science & Education*, 15(31), 31-54. doi: 10.1007/s11191-005-3199-6.

Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Chicago.

M.C. Pérez de Landazábal y P. Varela Nieto, *Orígenes del Electromagnetismo. Oersted y Ampère* (Nívola Li-bros y Ediciones, Madrid, 2003).

Mattis D., *The Theory of Magnetism*, Harper Row, New York, 1965.

Mawell, J. C. (1865). *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. En J. C. Maxwell, *Scientific Papers Vol I* (págs. 526-297). Edimburgo: Scottish Academic Press.

Romero, A., & Rodríguez, L. D. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. *Física y Cultura*, 3-16.

Rosenzweig R., "Magnetic Fluid", *Scientific American* 246, 1215 (1982).

Van Vleck J., "A Lyrical Account of Magnetism", *Int. J. of Magnetism I*, 1(1970).

Wang, H., He, H., Feng, J., Chen, X., y Lin, W. (2011). The Actual Nature of Light: Reveal the Mystery about the Actual Nature of Light from Newton, Einstein to the Recent Mistakes. *Journal of Quantum Information Science*, 1(12), 54-60.

Williams, L. Pearce (1965). "*Michael Faraday; A Biography By L. Pearce Williams*" London, vol. 1.

4. Contenidos

- **CAPÍTULO 1: La física en contexto.**

En el primer capítulo se discute la pertinencia de estudiar la física en contexto; se resalta lo importante que es reconocer el fenómeno a estudiar como parte de un proceso de construcción humano, que implica el conocimiento de las ideas actuales y cómo estas se han constituido a través de la historia. Así, se presenta una búsqueda de documentos de investigación que estén relacionados con la intención que presenta el autor a lo largo del texto.

- **CAPÍTULO 2: El debate sobre el comportamiento de la luz.**

En el segundo capítulo se revisa la discusión sobre la naturaleza de la luz que se presenta desde finales del siglo XVII, dado que, es motivo de importantes reflexiones hasta finales del siglo XIX, pues las convicciones presentadas en este debate serían fundamentales en las ideas propuestas por Faraday y sus contemporáneos sobre la manera en que se presentan las acciones eléctricas y magnéticas.

- **CAPÍTULO 3: Las líneas de fuerza; ideas de Faraday y sus contemporáneos.**
En el tercer capítulo se explicitan los criterios que conducen al autor a centrarse en la cosmovisión de Faraday, que fue crucial en la manera en que se concebían los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos en el siglo XIX, para generar una reflexión sobre la enseñanza de la perspectiva de campos a través del establecimiento de la relación entre luz, electricidad y magnetismo. Así, se expone el contexto en el que Faraday estaba inmerso y la diferencia entre sus reflexiones sobre los fenómenos y las de sus contemporáneos.
- **CAPÍTULO 4: La cosmovisión de Michael Faraday y la idea de campo.**
En el cuarto capítulo se hace énfasis en la cosmovisión de Michael Faraday para resaltar cómo sus acciones orientadas por esa articulación del pensamiento lo llevan a fortalecer la perspectiva de campo, que sería una mirada clave para la posterior historia de la física. Así, se describe un experimento en particular, pensado y llevado a cabo por Faraday en el que relaciona de manera directa la relación entre la fuerza magnética y la fuerza lumínica.
- **CAPÍTULO 5: A modo de reflexión.**
Por último, se presenta una reflexión en la cual se exponen algunos elementos claves para la enseñanza de la perspectiva de campos, con base en ello se presentan algunas consideraciones finales sobre la manera de orientar las clases de física.

5. Metodología

Se revisó en primera instancia y con brevedad la historia del debate sobre el comportamiento de la luz y cómo las ideas que ahí surgen son fundamentales en el entendimiento de las acciones eléctricas y magnéticas, que sería un ejercicio en el cual se verían inmiscuidos grandes científicos de la historia de la física, como Coulomb, Ampère y Euler. Es a partir de esta revisión que se opta por trabajar alrededor de la cosmovisión de Michael Faraday. Dada la escogencia de este autor, se lleva a cabo un análisis histórico-crítico al realizar una revisión de sus textos sobre electromagnetismo haciendo énfasis en los experimentos que dieron paso a la idea de campos, que sería retomada en la formalización y la evidencia de las ondas electromagnéticas, hechas por Maxwell y Hertz, respectivamente. .

6. Conclusiones

Como se pudo observar, la perspectiva de campos no nace, como se piensa comúnmente, con Maxwell y su reconocido proceso de “síntesis”, en cambio, es producto de los esfuerzos de Faraday por desarrollar descripciones de la naturaleza acordes a su cosmovisión, la cual consolidaría, en específico, al establecer la relación luz, electricidad y magnetismo.

En medio del ejercicio de repasar la carrera científica de Faraday y observar este caso particular de la historia de la ciencia se encontraron varias ideas concluyentes, tanto para el contexto en el que Faraday se ve inmerso, como para el trabajo de investigación. En primer lugar, se debe resaltar cuán explícito se hace la pertinencia de contar con una cosmovisión, esto es, se pone de manifiesto que para conocer es necesario haber estructurado un conjunto de ideas de manera tal que la forma de explorar y aprender esté orientada por cuestionamientos y certezas que perduren en el tiempo, que generan ideas dado el contexto y se reconstruyen. Así, la articulación del pensamiento de Faraday representa un ejemplo óptimo para considerar las revisiones de la historia como fundamentales en la enseñanza de la física.

En el documento se pudo reconocer la cosmovisión de Faraday como una de las más controversiales de la historia, sus argumentos frente a los debates expuestos representan la perspectiva de un hombre que tiene una concepción de la naturaleza tan sólida, que logra dar un lugar en ella a cualquier novedad que se le presenta. Se muestra, entonces, que la manera de enfrentarse a las nuevas eventualidades de la naturaleza está dada por las ideas previas que tenga el observador, si se piensa en el ámbito escolar, es posible fortalecer la manera en que los estudiantes construyen conocimiento si primero se lleva a cabo un ejercicio de reconocimiento sobre la manera en que los estudiantes ven el mundo, además de adoptar marcos explicativos que les ayudaran a argumentar sus concepciones.

En ese sentido, en el documento se muestra cómo las ideas que parecen estar obsoletas pueden ser útiles dentro de un marco explicativo para dar cuenta de un nuevo fenómeno. El debate sobre la luz presenta bases a todas las personas que investigarían acerca de los fenómenos eléctricos y magnéticos, sin importar cuán diferentes fueran sus líneas de pensamiento, pues habría una manera de describir el mundo acorde a sus convicciones, sin embargo, la dificultad sería cómo establecer consensos.

Como se pudo evidenciar, la herramienta más contundente de Faraday es el experimento, no porque con este pase por alto los argumentos contra su postura, sino porque es gracias a la evidencia expuesta dentro de un marco explicativo que logra estructurar su pensamiento, de manera tal que fundamente sus argumentos para un debate y, posteriormente, se establezca un consenso.

Si los estudiantes asumen la física como una forma de dar cuenta de algunos aspectos del mundo, serán capaces de actuar sobre él: de intervenirlo y transformarlo. En consecuencia, la actividad experimental en el aula debe guiarse por el conocimiento construido por los estudiantes para darles la posibilidad de intervenir y transformar su mundo, en aras de responder sus cuestionamientos, reflexionar sobre sus comprensiones y situarlas en una relación dialógica con los que las comunidades científicas han desarrollado a lo largo de la historia.

En ese orden de ideas, para la enseñanza de la perspectiva de campos el experimento del efecto magneto-óptico de Faraday resulta diciente, pues es indispensable orientar una clase de física que considere la manera en que dicha perspectiva se constituye históricamente y relacione las ideas de los estudiantes con la evidencia misma. Así, establecer una relación entre luz, electricidad y magnetismo, más allá de maravillarse con un experimento, da paso al estudio de uno de las descripciones más importantes que ha dado la física, los campos.

Elaborado por:	JHAYSON LEON PALACIO RANGEL
Revisado por:	JUAN CARLOS OROZCO CRUZ

Fecha de elaboración del Resumen:	07	11	2017
--	----	----	------

Contenido

1. Introducción.....	1
2. La física en contexto.....	3
3. El debate sobre el comportamiento de la luz.....	12
4. Las líneas de fuerza; ideas de Faraday y sus contemporáneos.....	16
4.1. Los dos fluidos magnéticos.....	16
4.2. Corrientes eléctricas de Ampère.....	18
4.3. Corrientes de fluido magnético o éter.....	21
4.4. La perspectiva de Faraday.....	22
5. La cosmovisión de Michael Faraday y la idea de campo.....	29
5.1. Constitución de un modo de reflexionar sobre la naturaleza.....	29
5.2. El efecto magneto-óptico de Faraday.....	33
6. Reflexión final.....	39
7. Referencias Bibliográficas.....	41

Ilustraciones

Ilustración 1: Montaje experimental para evidenciar el punto de Arago o punto de Poisson. Tomado de: Thomas Reisinger - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poissonspot_setup_treisinger.jpg , CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46551669	14
Ilustración 2: Representación de la balanza de torsión de Coulomb. Tomado de: https://hcasti.wordpress.com/2014/12/01/ley-de-coulomb/	18
Ilustración 3: Corriente eléctrica a través de dos espirales planas causan atracción o repulsión entre ellas.	20
Ilustración 4: Representación de Euler de un imán que dispone limaduras de hierro a su alrededor en una dirección específica. Tomado de: Libro “Cartas a una princesa de Alemania sobre diversos temas de física y filosofía” de Leonhard Euler.	22
Ilustración 5: Representación del montaje realizado por Michael Faraday para el estudio de la acción inductiva electrostática. Tomado de: Libro “Michael Faraday, A Biography by L. Pearce Williams”	26
Ilustración 6: Representación del montaje descrito por Michael Faraday para establecer relaciones entre la electricidad, el magnetismo y la luz.	34

1. Introducción.

En este documento se hallan reflexiones de orden disciplinar y educativo, en las que se discute y se contextualiza la configuración del pensamiento de Michael Faraday para establecer relaciones entre su interpretación y cómo resulta significativa en la abstracción de la perspectiva de campos. Para ello, se revisan textos de la autoría de Faraday y algunos otros de científicos que trabajaron teniendo en cuenta sus ideas.

En el primer capítulo se discute la pertinencia de estudiar la física en contexto; se resalta lo importante que es reconocer el fenómeno a estudiar como parte de un proceso de construcción humano, que implica el conocimiento de las ideas actuales y cómo estas se han constituido a través de la historia. Así, se presenta una búsqueda de documentos de investigación que estén relacionados con la intención que presenta el autor a lo largo del texto.

En el segundo capítulo se revisa la discusión sobre la naturaleza de la luz que se presenta desde finales del siglo XVII, dado que, es motivo de importantes reflexiones hasta finales del siglo XIX, pues las convicciones presentadas en este debate serían fundamentales en las ideas propuestas por Faraday y sus contemporáneos sobre la manera en que se presentan las acciones eléctricas y magnéticas.

En el tercer capítulo se explicitan los criterios que conducen al autor a centrarse en la cosmovisión de Faraday, que fue crucial en la manera en que se concebían los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos en el siglo XIX, para generar una reflexión sobre la enseñanza de la perspectiva de campos a través del establecimiento de la relación entre luz, electricidad y magnetismo. Así, se expone el contexto en el que Faraday estaba inmerso y la diferencia entre sus reflexiones sobre los fenómenos y las de sus contemporáneos.

En el cuarto capítulo se hace énfasis en la cosmovisión de Michael Faraday para resaltar cómo sus acciones orientadas por esa articulación del pensamiento lo llevan a fortalecer la perspectiva de campo, que sería una mirada clave para la posterior historia de la física. Así, se describe un experimento en particular, pensado y llevado a cabo por Faraday en el que relaciona de manera directa la relación entre la fuerza magnética y la fuerza lumínica.

Por último, en el quinto capítulo se presenta una reflexión en la cual se exponen algunos elementos claves para la enseñanza de la perspectiva de campos, con base en ello se presentan algunas consideraciones finales sobre la manera de orientar las clases de física.

2. La física en contexto.

En ciencia es imprescindible estar al tanto de los trabajos actuales y lo que estos podrían aportar en el futuro, así como lo es preguntarse por el proceso que ha seguido la humanidad para llegar a los consensos de hoy día. Reconocer las ideas, leyes y teorías que se adelantan día a día como parte de un proceso humano implica conocer la historia detrás ellas y dar sentido al trabajo de quienes han sido fundamentales para la construcción del conocimiento científico.

Hacer un repaso por el trabajo de Faraday y observar este caso particular de la historia de la ciencia podría dar una muestra de cómo el conocimiento está orientado por cuestionamientos que perduran en el tiempo, generan ideas dado el contexto y se reconstruye. En ese sentido, podría ser un ejemplo óptimo para considerar las revisiones de la historia como fundamentales en la enseñanza de la física.

En Colombia, los docentes de física se ven obligados a aprender los contenidos científicos desde dos perspectivas de la física, la primera es una mirada ahistórica donde se presentan los productos de la labor científica (conceptos, leyes y teorías) a manera de catálogo y el papel del estudiante está limitado a la aprehensión de dichos productos, mientras que la segunda otorga gran importancia al papel de la historia en la construcción del conocimiento científico presentando la física como una actividad y no como un producto terminado, posibilitando espacios de reflexión en los cuales las ideas previas de los estudiantes se ubican en el centro de las discusiones . (Romero & Rodríguez, 1999).

En el caso particular del electromagnetismo son reconocidas básicamente dos perspectivas, que configuran miradas opuestas alrededor de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Se diferencian en cuanto a la imagen de mundo físico que representan y comparten dos características fundamentales; la primera es que sus explicaciones son establecidas por un reducido número de científicos, quienes a través de sus trabajos luchan por dotar a sus teorías de un carácter hegemónico, la segunda es que esas teorías no cubren los fenómenos físicos en su totalidad, por tanto, esa lucha se da en cuanto a desarrollar la mejor teoría para la descripción de un fenómeno particular además de buscar que tenga cabida en fenómenos de distinta naturaleza. Ambas características, en palabras de Kuhn (1962), constituyen un paradigma. El primero de ellos se encuentra representado, principalmente, por Coulomb y

Ampère, quienes siguen una visión Newtoniana para la descripción de fenómenos eléctricos y magnéticos. En esa postura se conciben las acciones físicas como acciones a distancia, además de un espacio vacío, homogéneo e isotrópico. El principal representante del segundo paradigma es Michael Faraday, cuya mirada de los fenómenos físicos concibe una acción física contigua y un universo continuo. En la enseñanza del electromagnetismo desde una mirada ahistórica de la ciencia se suele omitir la diferenciación entre estas dos perspectivas, lo que genera imágenes contradictorias en el estudiante (Ayala M. M., 2006), pues se pasa espontáneamente de una a otra sin hacer hincapié en las diferencias de fondo o inclusive en las razones de por qué cambia el tratamiento matemático entre ambas posturas.

La enseñanza ahistórica de la física y el uso de los libros de texto tradicionales impiden que el estudiante reconozca la física como una actividad desarrollada por un grupo humano, que expresa una forma particular de ver, pensar y entender el mundo, también, se crea un imaginario trivial sobre el científico. En la enseñanza de las ciencias, y los libros de texto especializados para ello, es usual que se presenten los contenidos científicos como desarrollos teóricos que solo un reducido número de personas ha logrado organizar y formalizar en un lenguaje matemático atribuyendo cualidades que rivalizan con la esencia humana de quienes logran tales objetivos. Es, en este sentido, que los autores de ciencia adquieren una imagen antagónica a la de los humanos, en tanto que parecen desvincularse de sus contextos culturales para dedicar su vida a la producción intelectual.

La revisión de documentos de primera mano aparece, entonces, como una herramienta para dilucidar las relaciones que el autor establece con su contexto y la forma en la que este último influye en la consolidación de sus ideas, para que posteriormente puedan ser expuestas tanto en comunidades especializadas como en comunidades que no lo son. Llevar leyes y teorías, cuya construcción implica un tratamiento matemático, a una comunidad que no posee las habilidades para acercarse óptimamente a ellas, representa un desafío incluso cuando tales ideas son propias. Es un trabajo que demanda la construcción de dinámicas que privilegien la posición de quien se aproxima al conocimiento y no de quien lo expone, por tanto, requiere de una actividad una que reconoce un estado cognitivo inicial al igual que un contexto particular que demandan unas necesidades puntuales y que a su vez

enmarcan la manera en la que el individuo se aproxima al conocimiento, a saber, una actividad de recontextualización.

Dada la situación, se expone un caso particular de la física: el de la relación luz-electricidad-magnetismo desde la carrera científica del físico británico Michael Faraday, donde se hace evidente cómo la construcción de conocimiento es inherente de las relaciones que el autor establece con el contexto en el cual se encuentra inmerso. Esta relación permite apreciar al científico y a su actividad como un proceso humano, que se alimenta del debate y la generación de ideas dentro de una cosmovisión, además, expone cómo los productos de la actividad intelectual cobran sentido en la medida en la que son estudiados en contexto y posibilitan una relación dialógica entre la cosmovisión del científico y las ideas de su contemporáneos a través del experimento.

Se presenta el recorrido del filósofo natural¹ a partir de sus escritos originales, escritos de sus contemporáneos y algunos de sus sucesores, con el objetivo de mostrar, en tanto detalle como los textos lo permitan, la manera en que se consolida la perspectiva de campos para generar una reflexión sobre su enseñanza a través del establecimiento de la relación entre los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos. Esto, dado que, se buscan herramientas para la construcción de dinámicas que garanticen el fortalecimiento de un conocimiento legítimo en el estudiante, es decir, un conocimiento argumentado que le permita la generación de espacios de diálogo y discusión frente a ideas pre-establecidas y denominadas científicas.

Ahora bien, para llevar a cabo una investigación de ese rigor, es importante preguntarse por trabajos que puedan anteceder o ampliar las consideraciones iniciales de la construcción del documento. Así pues, se realizó una minuciosa búsqueda dentro de bases de datos que albergan investigaciones sobre la enseñanza de las ciencias (por ejemplo Scielo, Redalyc o Springer) con el objetivo de evidenciar, dentro de un panorama nacional e internacional, investigaciones que se realizaran en una línea de trabajo similar a la que quiero presentar. En la tabla 1, se presentan los documentos, que resultaron de la búsqueda, más relacionados con dichas consideraciones. Se expone la revista o la universidad en la cual se encuentra

¹ La manera en la que Faraday prefería ser llamado, en lugar de científico.

disponible el documento, el título del mismo y la referencia bibliográfica para que el lector pueda acceder a él.

Tabla 1: Documentos encontrados en una línea de trabajo similar a la investigación que se presenta.

Revista-academia y país.	Título del documento.	Referencia bibliográfica.
Revista Brasileira de Ensino de Física. (Brasil)	Faraday's law of induction: an experimental verification	Hessel, Roberto, Freschi, Aginaldo A., & Santos, Francisco J. dos. (2015). Lei de indução de Faraday: Uma verificação experimental. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 37(1), 1506. Epub 30 de marzo de 2015.
	On equivalent expressions for the Faraday's law of induction	Rodrigues, Fabio G.. (2012). On equivalent expressions for the Faraday's law of induction. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 34(1), 1-6
	The braked rolling of magnets on an inclined plan: an interesting application of the Faraday-Lenz law	Silveira, Fernando Lang da, & Varriale, Maria Cristina. (2009). O rolamento freado do magneto na rampa: uma interessante aplicação da lei de Faraday-Lenz. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 31(4), 4303-4308
	El Aprendizaje del Concepto de Campo en Física: una Investigación Exploratoria a Luz de la Teoría de Vergnaud	Llancaqueo, A., Concesa Caballero, M., y Moreira, M. El Aprendizaje del Concepto de Campo en Física: una Investigación Exploratoria a Luz de la Teoría de Vergnaud. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , Vol. 25, no. 4, Dezembro, 2003
	La unificación de	Beléndez, A. La unificación de luz,

	luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell	electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , v. 30, n. 2, 2601 (2008)
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. (España)	El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias	Acevedo-Díaz, José Antonio, El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias. <i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias [en línea]</i> 2004, 1
	Superación de las visiones deformadas de las ciencias a partir de la incorporación de la historia de la física a su enseñanza	Chade Vergara, Pablo Oscar, Superación de las visiones deformadas de las ciencias a partir de la incorporación de la historia de la física a su enseñanza. <i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias [en línea]</i> 2014, 11 (Enero-Abril)
	Faraday y la guitarra eléctrica	Sancho, César, Faraday y la guitarra eléctrica. <i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias [en línea]</i> 2011, 8 (Noviembre-)
Revista Educere (Venezuela)	Propuesta didáctica en	Alomá Chávez, Eduardo Enrique, Martins Vieira, Isabel María, propuesta didáctica en

	física: el concepto de flujo eléctrico	física: el concepto de flujo eléctrico. <i>Educere [en línea] 2008, 12</i> (Julio-Septiembre)
Revista Ciência & Educação (Bauru). (Brasil)	Michael Faraday: the road from the bookstore to the discovery of electromagnetic induction	Dias, Valéria Silva, & Martins, Roberto de Andrade. (2004). Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. <i>Ciência & Educação (Bauru)</i> , 10(3), 517-530.
	O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade	Krapas, Sonia, Corrêa da Silva, Marcos, O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade. <i>Ciência & Educação (Bauru) [en línea] 2008, 14</i>
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. (España).	El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias	Llancaqueo, A., Concesa Caballero, M., y Moreira, M. El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 2, Nº 3</i> , 227-253 (2003)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Brasil)	Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo	Greca, I.M. y Moreira, M.A. <i>Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo</i> . Instituto de Física, UFRGS. Caixa Postal, 15051. Campus do Vale. Porto Alegre, RS. Brasil.
Universidad de Antioquia. Colombia.	La enseñanza del concepto de corriente eléctrica	Cano, J., Gómez, J., y Cely, I. <i>La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico</i> .

	desde un enfoque histórico-epistemológico.	Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2009
Universidad Pedagógica Nacional. Colombia.	Un experimento para el estudio del fenómeno de inducción electromagnética en el aula.	Garzón, H. D. <i>Un experimento para el estudio del fenómeno de inducción electromagnética en el aula.</i> Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. 2013
Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia.	Diseño e implementación de equipos portátiles para la explicación de algunos fenómenos de electricidad y magnetismo.	Marín, E., Vélez, E., y Sabogal, L. <i>Diseño e implementación de equipos portátiles para la explicación de algunos fenómenos de electricidad y magnetismo.</i> Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. 2012.
Revista Enseñanza de las ciencias. España.	La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada.	Furió C. y Guisasola J. La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. <i>Enseñanza de las ciencias</i> , 2001, 19 (2), 319-334
Cooperación entre Universidad nacional de cuyo, Argentina, Universidad de	Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la Inducción	Catalán, L., Caballero, C., Moreira, M. Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la Inducción electromagnética. Un estudio de caso. <i>Lat. Am. J. Phys. Educ.</i> Vol. 4, No. 1, Jan. 2010.

Burgos, España y Universidade do Rio Grande do Sul, Brasil.	electromagnética. Un estudio de caso	
Revista Scientiae Studia. Brasil.	Michael Faraday and the manuscript Matter: a metaphysical solution for the problem of action at distance	Dion, Sonia Maria. (2006). Michael Faraday e o manuscrito Matter: uma solução metafísica para o problema da ação a distância. <i>Scientiae Studia</i> , 4(4), 615-620.

Es bien sabido que el título de un documento de investigación da cuenta de qué trata el trabajo e indica la perspectiva desde la cual se aborda el problema, por tanto, al revisar la tabla 1 es posible hacerse a un panorama general de lo que exponen los investigadores en enseñanza de las ciencias, particularmente en electromagnetismo, sobre Faraday o sobre la relación entre fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos.

La revisión de los documentos en sí conduce a evidenciar: 1. Poco se investiga sobre la carrera científica de Faraday para la enseñanza de la física, 2. Cada vez que se estudia la perspectiva de campo o a la unificación de las manifestaciones eléctricas, magnéticas y lumínicas, se hace referencia a Maxwell u otro sucesor de Faraday. Aunque dentro de esos textos los avances de Faraday deben resaltar, no se hace énfasis en lo que determina por él mismo.

Dentro de esa corta variedad de escritos, las investigaciones que mencionan la obra de Faraday se limitan a discutir sus trabajos más famosos, como la ley de inducción, sin trascender hacia cómo dichos descubrimientos se corresponden con una cosmovisión –que posibilitó, entre otras cosas, el establecimiento de la perspectiva de campos- y, por tanto, se descarta una descripción de lo importante que resulta la articulación del pensamiento de

Faraday, en tanto pone de presente la relación del electromagnetismo y la luz, para la historia y la enseñanza de la física.

En ese sentido, mi planteamiento se encamina al reconocimiento de la cosmovisión de Faraday como un hito en la historia de la física, que propició el debate con importantes teorías sobre las acciones magnéticas y eléctricas, además de conceptualizar el campo. Correspondiente a esa articulación del pensamiento, la exposición de la relación entre fenómenos electromagnéticos y lumínicos permite una reflexión acerca de la manera en que es posible fortalecer la construcción de conocimiento de los estudiantes de física.

3. El debate sobre el comportamiento de la luz.

En primera instancia, considero indispensable revisar y dar lugar a la discusión sobre la naturaleza de la luz que se presenta desde el “siglo de la física”, dado que, es motivo de importantes reflexiones desde entonces hasta finales del siglo XIX. Dado el carácter distinto que puede adoptar la luz dependiendo de la situación, varias comunidades científicas ponen de presente sus perspectivas, estos marcos teóricos serían indispensables para el desarrollo de hipótesis futuras. Dicho debate se ve implícito en la hipótesis de Ampère sobre corrientes eléctricas de magnetismo, pues se inclina hacia una concepción de varias fuerzas de la naturaleza y su carácter corpuscular, mientras el pensamiento de Coulomb sobre dos fluidos magnéticos apunta a lo contrario. En particular, Michael Faraday permite evidenciar una llamativa postura frente al comportamiento de la luz, sin embargo, no se centra en esta polémica, en cambio, su interés se encamina hacia la manera en que aquello denominado luz se relaciona con fenómenos magnéticos.

A finales del siglo XVII se presenta uno de los grandes debates de la historia de la física, varias comunidades discutieron acerca de dos teorías sobre la naturaleza de la luz; la primera es la teoría ondulatoria defendida principalmente por Francesco Maria Grimaldi, Christian Huygens y Robert Hooke, y la teoría corpuscular argumentada, en principio, por Isaac Newton y varios científicos de reconocimiento de la época que compartían sus ideas, como Simon Laplace y David Brewster. Durante el siglo XVIII la teoría corpuscular de la luz obtuvo gran aceptación, dado que, una buena parte de la comunidad científica consideraba esta teoría coherente, además del peso de la autoridad científica de Newton. (Ordoñez, Navarro, y Sánchez, 2007)

A pesar del carácter radical de Newton sobre su teoría corpuscular de la luz, en 1704 encuentra una falencia en su teoría al no explicar del todo la difracción de la luz. Newton recurre a explicar dicho fenómeno usando la teoría ondulatoria, por lo que nace la dualidad onda-partícula de Newton, que estaría presente en las comunidades científicas durante al menos los próximos cien años, dado que, diferentes críticos y editores mantuvieron su fama en el mundo científico debido a sus escritos sobre el concepto corpuscular de la luz. Para proteger su credibilidad científica, rechazaron varios manuscritos acerca del

comportamiento de la luz que atentaran contra sus argumentos, incluso después del fallecimiento de Newton. (Wang, He, Feng, Chen, & Lin, 2011)

Durante la primera mitad del siglo XIX, hubo importantes discusiones acerca de la naturaleza de la luz, gracias a la demostración experimental del carácter ondulatorio de la luz realizada por Thomas Young y a la formalización de la teoría ondulatoria de la luz llevada a cabo por Augustin Jean Fresnel. En 1801, Young hace una contribución fundamental al campo de estudio de la luz, a saber, el experimento de la doble rendija, en el que se evidenciaba que la luz sufre el fenómeno de interferencia, que es propio del comportamiento de las ondas. Con este experimento se corroboraron las ideas intuitivas de Huygens respecto al carácter ondulatorio de la luz. Young presentó ante la Royal Institution la “Bakerian Lecture”: “On the Theory of Light and Colours” y en 1803 también The Bakerian Lecture: “Experiments and Calculations relative to Physical Optics”, en la que presentaba la “demostración experimental de la ley general de interferencia de la luz” y afirmaba que la luz era una onda.

Como todas las ondas conocidas necesitaban un medio material para su propagación, como sucede con el sonido, las perturbaciones en un estanque o las olas del mar, Young consideró que la luz se propagaba en un medio, el éter luminífero, concluyendo que: “*Un éter luminífero impregna todo el Universo, raro y elástico en alto grado*” y afirmó de forma contundente “*la luz radiante consiste en ondulaciones del éter luminífero*”. (Ordoñez et al., 2007)

Así como Young es el responsable del resurgimiento de la teoría ondulatoria de la luz en Inglaterra, Augustín Fresnel revivió la teoría ondulatoria de la luz en Francia, ajeno en un principio a los experimentos realizados por Young años antes. Fresnel redescubrió el fenómeno de las interferencias con una variante del experimento de la doble rendija de Young usando el “biprisma de Fresnel” y los “espejos de Fresnel”. También estudió la polarización de la luz concluyendo que las ondas luminosas eran ondas transversales, y desarrolló la teoría de la óptica de cristales. Al igual que Young, adoptó el concepto de éter luminífero como medio en el que se propagan las ondas luminosas.

En 1815, Fresnel publica la “Premier Mémoire sur la Diffraction de la Lumière” (Primera Memoria sobre la difracción de la luz) y “Théorie de la Lumière” (Teoría de la Luz) donde

sintetizó los conceptos de la teoría ondulatoria de Huygens y el principio de interferencia de Young y analizó el fenómeno de la difracción, también característico de las ondas y que se presenta cuando una onda es distorsionada por un obstáculo. El aporte más importante de Fresnel en este campo de estudio es haber formalizado de manera matemática la teoría ondulatoria de la luz, sus estudios sobre polarización dieron lugar a varios descubrimientos y nuevos estudios, como los realizados por Malus acerca de la intensidad de la luz.

Después de varios años de debates con científicos como Young y Fresnel de presente, hubo una gran controversia en Francia gracias al experimento de Siméon Denis Poisson en 1818. Poisson apoyaba la teoría de corpúsculos de luz de Newton, por esa razón, justo cuando Fresnel informó su teoría de la difracción de ondas, Poisson calculó el patrón de difracción de un disco usando las ecuaciones de Fresnel y resultó que, de ser correcta la teoría ondulatoria, en un montaje como el expuesto en la ilustración 1, debía evidenciarse una mancha brillante tenue en el centro del disco después de que la luz lo rodeara.

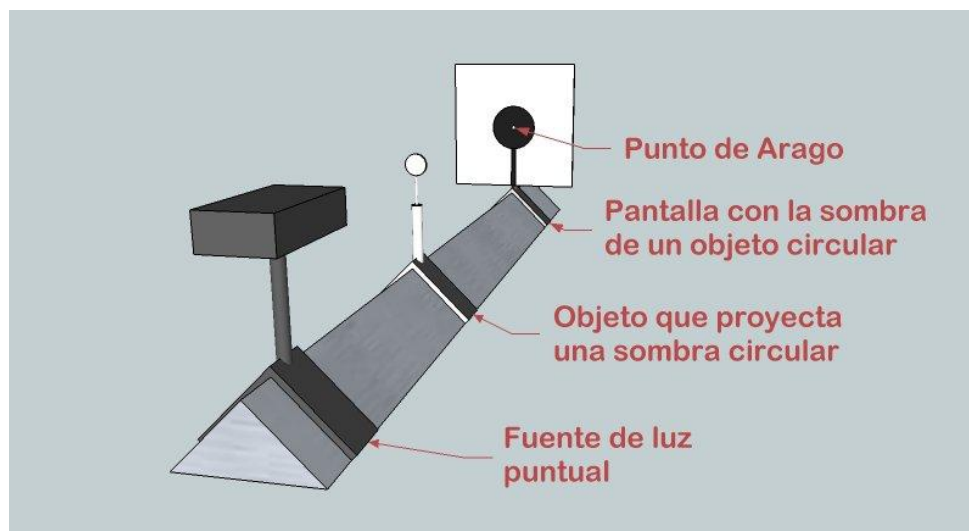


Ilustración 1: Montaje experimental para evidenciar el punto de Arago o punto de Poisson. Tomado de: Thomas Reisinger - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poissonspot_setup_treisinger.jpg, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46551669>.

Poisson afirmaba que, según sus cálculos, si se observaba la sombra de un pequeño objeto circular, la luz que se “flexiona” desde todos los puntos en el borde del círculo se sumaría especialmente fuerte en el centro, eso indicaría que en el medio de la sombra habría un punto brillante débil, lo que era imposible. El experimento fue llevado a cabo por François Arago, quien validó el punto y verificó que la teoría de Fresnel era realmente correcta.

Ahora, Poisson estaba tan convencido de la teoría ondulatoria, que él mismo presentó el resultado del experimento a otros seguidores de la teoría corpuscular para apoyar a Fresnel y, para honrar su dedicación, el punto observado en el experimento fue nombrado como el punto de Poisson o punto de Arago. (Wang et al., 2011)

La presencia del punto de Poisson se puede entender intuitivamente usando el principio de Huygens, en el que Fresnel se apoyaba. Cuando la luz ilumina un obstáculo circular, el principio dice que todos los puntos a lo largo de la circunferencia del mismo actuarán como nuevas fuentes puntuales de luz. La luz que se emite en cada uno de esos puntos y que llega al centro de la sombra recorre la misma distancia para toda la circunferencia, por lo que llega en fase e interfiere constructivamente. Esta idea sólo es posible, entonces, con la sombra proyectada por un objeto circular, por lo que Poisson propone un disco como objeto a iluminar en el experimento.

A inicios del siglo XIX el físico francés Étienne-Louis Malus estableció que la intensidad de la luz varía al ser polarizada linealmente, de manera que, si la luz se comportaba como una onda transversal, debía constar de planos de polarización. Teniendo en cuenta la semejanza que tenía la propagación de la luz con la manera en que se podía “evidenciar” la electricidad y el magnetismo, para algunos filósofos naturales era coherente pensar que la luz, la electricidad y el magnetismo podían estar relacionadas. Para el físico británico Michael Faraday, estas ideas resultaban acordes con su cosmovisión.

4. Las líneas de fuerza; ideas de Faraday y sus contemporáneos.

En este apartado explico los criterios que me llevan a centrarme en la cosmovisión de Faraday, que fue crucial en la manera en que se concebían los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos en el siglo XIX, para generar una reflexión sobre la enseñanza de la perspectiva de campos a través del establecimiento de la relación entre luz, electricidad y magnetismo.

Para lograr tal objetivo, en primer lugar expondré el contexto de Faraday y la diferencia entre sus reflexiones sobre los fenómenos y las de sus contemporáneos. Aunque todos manejan una visión mecanicista, razón por lo cual explicaban el mundo en términos del movimiento en medios, la diferencia se centra en el papel que Faraday, por un lado, y otros *filósofos* por otro, dan al experimento al momento de elaborar explicaciones sobre los fenómenos magnéticos.

En su texto, *sobre algunos puntos de filosofía magnética*, Faraday pone de presente cómo la teoría ondulatoria de la luz y los descubrimientos sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos hasta su época, permiten generar varias hipótesis generales de la naturaleza física de acción magnética. Entra en discusión con tres marcos teóricos y los desarrollos de formalización matemática alrededor de ellos.

4.1. Los dos fluidos magnéticos.

Una de las tres hipótesis mencionadas por Faraday es la de dos fluidos magnéticos, que están presentes en todos los cuerpos magnéticos y se acumulan en los polos de los imanes, teniendo la capacidad de atraer y repeler a distancia ambos fluidos. De ese modo, las atracciones y repulsiones pueden ser explicadas por la acción a distancia de dichos fluidos sobre cuerpos que contengan alguna clase de los dos fluidos.

La teoría de un fluido propuesta por Gray y Franklin para explicar el flujo de carga eléctrica de un cuerpo a otro fue aplicada al magnetismo por Franz María Aepinus en 1759. Su libro *Tentamen Theoria Electricitates et Magnetismi* hizo que se reconsideraran las teorías basadas en el concepto de “efluvio”. El descubrimiento por Du Fay en 1733 de que había dos tipos de electricidad provocó que el sueco Wilche y el holandés Brugmans propusieran, en 1778, esta teoría de dos fluidos para el magnetismo. (Rosenzweig, 1982)

Charles Coulomb fue el máximo representante de la teoría en esta época, realizó experimentos cruciales con la balanza de torsión para probar la ley de interacción entre cargas y modificó la teoría de dos fluidos. Coulomb hizo la clara distinción entre cargas eléctricas y cargas magnéticas, pues estas últimas nunca aparecían desligadas, sino en pares de polos magnéticos. Poisson, introdujo el concepto de potencial y desarrolló la teoría de la magnetostática. Tanto Poisson como Coulomb rechazaron cualquier intento de especulación acerca de la naturaleza de los fluidos eléctrico y magnético. Esta actitud positivista prevaleció en forma determinante en la ciencia francesa y fue una de las causas por las que los físicos ingleses, y no los franceses, realizaron una síntesis de los fenómenos electromagnéticos. (Rosenzweig, 1982).

La balanza de torsión de Coulomb permitió, entre otras cosas, establecer la ley de Coulomb, que describe la razón de proporcionalidad entre la acción a distancia de los fluidos magnéticos y el ángulo de torsión al presentarse atracción o repulsión de dos cargas eléctricas. El instrumento consiste en un fino hilo del cual se suspende un brazo horizontal en perfecto equilibrio, que se ha de torcer por efecto de las acciones eléctricas entre las cargas. Como se muestra en la ilustración 2, en uno de los extremos de la barra horizontal está situada una esfera B, si esta es cargada de electricidad y después se sitúa en sus proximidades otra esfera A, también cargada, se presenta atracción o repulsión entre las dos esferas. Puesto que la esfera A está fija, y B se puede mover, en la última se evidenciará un giro, que se mide en una escala graduada. Las esferas se encuentran encerradas en un recipiente de cristal sellado al vacío con el fin de que su interacción no se vea afectada por corrientes de aire, además, la densidad de los fluidos magnéticos podría variar si dentro del cristal hubiese un medio adicional .

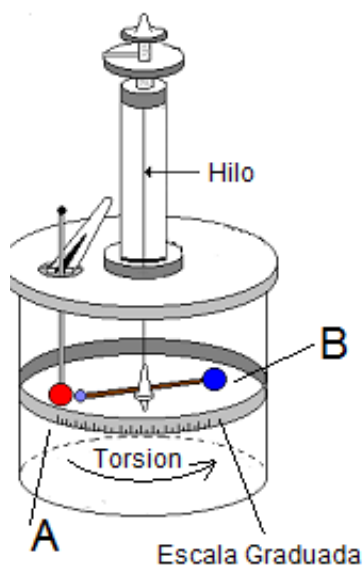


Ilustración 2: Representación de la balanza de torsión de Coulomb. Tomado de: <https://hcasti.wordpress.com/2014/12/01/ley-de-coulomb/>

Después de realizar numerosas mediciones haciendo variar las cargas de las esferas y la separación entre ellas, Coulomb concluyó que la acción magnética es proporcional al producto de los valores de las cargas². Con este contundente experimento, al final del siglo XVIII las características principales de los fenómenos magnetostáticos habían sido descubiertas y se interpretaban con base en la teoría de dos fluidos, combinados con el concepto de acción a distancia implícito en la ley del inverso del cuadrado de la distancia³.

Es claro que tanto la acción eléctrica, la magnética y la gravitatoria se distinguen de las llamada teoría del contacto en el hecho de que actúan aun cuando los cuerpos no se toquen. De esta manera, la acción a distancia comenzó a tomar un lugar importante en las explicaciones sobre fenómenos eléctricos y magnéticos. Matemáticamente hubo un importante avance con las investigaciones de Poisson, que serían útiles para discutir, en un futuro, la inducción magnética. (Mattis, 1965)

4.2. Corrientes eléctricas de Ampère.

El desarrollo de André-Marie Ampère que da explicación a la acción magnética es quizá el más cuestionado por Faraday. Ampère propone la existencia de corrientes eléctricas que circundan las partículas de los imanes y tienen la capacidad de actuar a distancia sobre

² Hoy llamada Primera Ley de Coulomb.

³ Hoy llamada Segunda Ley de Coulomb, que se presenta matemáticamente similar a la ley de gravitación universal de Isaac Newton.

partículas que tengan alrededor corrientes similares. De esa manera, las corrientes se disponen según la masa a la que pertenezcan, causando que las masas se vean supeditadas a la acción magnética.

Al investigar sobre los desarrollos de Christian Ørsted, en los cuales se explicitaba la relación entre una brújula y el campo magnético terrestre, Ampère descubre que la aguja de la brújula se ubica en ángulo recto respecto al cable que transporta corriente, cuando se elimina el efecto del magnetismo terrestre, utilizando la aguja astática. Al analizar el circuito voltaico completo, encuentra que la corriente también viaja a través de la pila. Formula la hipótesis acerca de que los imanes permanentes deben contener corrientes eléctricas. (Pérez y Nieto, 2003)

Ampère lleva a cabo experimentos con helicoides y espirales que utilizará para probar su teoría sobre el magnetismo, y posteriormente realiza una “experiencia decisiva”, dado el montaje que se observa en la ilustración 3: dos hilos conductores enrollados en forma de espirales planas que, al ser recorridos por corrientes eléctricas, se atraen o repelen al ser colocados uno frente al otro. En todos los casos, debido a las atracciones y repulsiones, se pone de manifiesto que, si una de las caras de la espiral se puede considerar como el polo norte, la otra cara se comporta como el polo sur. (Blondel y Wolf, 2009).

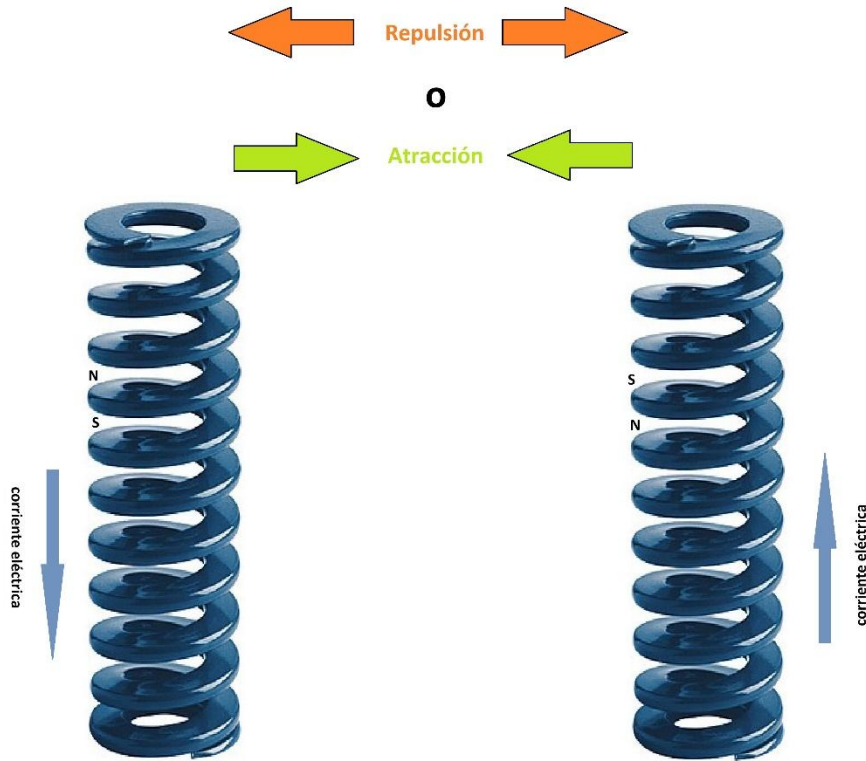


Ilustración 3: Corriente eléctrica a través de dos espirales planas causan atracción o repulsión entre ellas.

A continuación, Ampère analiza estos mismos fenómenos pero con cables enrollados en forma de bobina helicoidal alrededor de un tubo cilíndrico –denominados solenoides-. Nuevamente encuentra fuerzas de atracción y repulsión entre solenoides. Entonces la analogía entre corrientes eléctricas circulares e imanes se hace cada vez más evidente. Para Ampère estas experiencias constituyen pruebas decisivas en favor de su teoría. Si solenoides y espirales se comportan como imanes, entonces las propiedades de un imán en forma de barra se deben a que en el imán existen corrientes eléctricas en planos perpendiculares a su eje. Por lo tanto Ampère dice que él considera que en la superficie y en el interior de un imán hay corrientes eléctricas, en planos perpendiculares al eje del imán, que forman curvas cerradas que no se cortan entre sí (Bondel y Wolf, 2009)

Ampère aplica su teoría al magnetismo terrestre suponiendo que en el interior de la Tierra debe haber corrientes eléctricas. Si la Tierra actúa sobre una brújula como lo hace un imán, entonces debería haber corrientes circulares que sean la causa del magnetismo terrestre. Las causas de estas corrientes podrían ser objeto de diferentes conjeturas, pero las propiedades

del magnetismo terrestre parecen estar de acuerdo con la existencia de esas corrientes circulares. (Van Vleck, 1970)

Ampère propone que todos los fenómenos observados en los imanes, en la interacción entre corrientes y en la interacción entre corrientes e imanes, se pueden explicar con base en una ley fundamental. El fenómeno elemental sería la atracción y repulsión entre dos tramos conductores rectilíneos paralelos: corrientes paralelas en el mismo sentido se atraen, corrientes paralelas con sentidos opuestos se repelen. A su vez, sugiere que se podría utilizar una hélice para magnetizar una aguja. Realiza el experimento y obtiene un resultado exitoso. (Hadfield, 1962)

4.3. Corrientes de fluido magnético o éter.

Faraday considera que, en ese momento, la propuesta más coherente acerca de la naturaleza física de la acción magnética es la desarrollada, en principio, por Leonhard Euler. Euler propone un fluido magnético o *éter*, que se mueve en corrientes a través de los imanes y las diferentes sustancias que se puedan encontrar alrededor de ellos, incluyendo el espacio. De esa manera, la dirección del movimiento del fluido determina si las sustancias y los imanes se atraen o se repelen, así mismo, da cuenta de si hay electricidad negativa o positiva en el imán o sustancia.

Euler afirma que un desequilibrio de éter se presenta cuando esa sustancia sutil que se mezcla y envuelve todos los cuerpos existentes no alcanza a cubrir una región del espacio o es perturbado. Todos los fenómenos eléctricos son una continuación natural de la carencia de equilibrio en el éter, de manera tal que, en todos los lugares donde el equilibrio del éter se modifica, aparecen fenómenos de electricidad. Así, la electricidad es una perturbación en el equilibrio del éter. (Euler, 1761)

En ese sentido, Euler hace una representación gráfica, que se puede observar en la ilustración 4, y asegura que en un imán rodeado por limaduras de hierro se podrá observar que las partículas se disponen de una manera específica en las proximidades del imán, como si cada una de las limaduras fuese una pequeña aguja imantada. Para él es claro, entonces, que la disposición de las partículas de hierro está dada por la acción de ese fluido sutil e invisible. Además, le resulta coherente pensar que la misma sustancia atraviesa el imán, entrando por un polo y saliendo por el otro; de manera que, en su movimiento

continuo y extraordinariamente rápido, forme un torbellino alrededor del imán que lleva la materia sutil de un polo a otro.

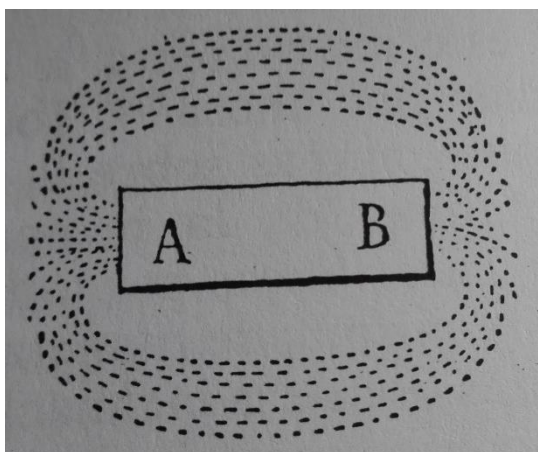


Ilustración 4: Representación de Euler de un imán que dispone limaduras de hierro a su alrededor en una dirección específica.

Tomado de: Libro "Cartas a una princesa de Alemania sobre diversos temas de física y filosofía" de Leonhard Euler.

Desde esta perspectiva, para Euler, la naturaleza de los imanes es bastante similar a la de la tierra, pues estos distinguidos cuerpos están rodeados de un torbellino que agita lo que hay alrededor y dentro de ellos. Así, la tierra orienta las agujas imantadas para que apunten en la dirección de su torbellino de la misma manera en que el imán dispone las limaduras de hierro según su torbellino continuo. La materia sutil sale continuamente por uno de los polos magnéticos de la tierra o el imán y, después de haber dado la vuelta hasta el otro polo, se introduce y atraviesa todo el cuerpo hasta escapar de nuevo por el primer polo.

4.4. La perspectiva de Faraday.

Ahora bien, en el texto *Algunos puntos de filosofía magnética*, Faraday no comparte las hipótesis de Coulomb ni la de Ampère y, aunque la hipótesis de Euler sobre el éter resulta ser la más coherente, no la acepta del todo. Muestra que hay varias explicaciones sobre los fenómenos magnéticos, incluyendo su perspectiva, pone de presente que existen por lo menos cuatro marcos teóricos, por lo que es posible compararlos y reflexionar sobre ellos.

Faraday afirma que su visión sobre las líneas de fuerza es una hipótesis con fundamentos matemáticos y teóricos tan válidos como los de las tres perspectivas anteriores. Argumenta su hipótesis desde las opiniones de personas importantes en la comunidad académica de

entonces, afirma, por ejemplo, que W. Thomson⁴ se refiere sobre las líneas de fuerza aplicadas a la electrostática y la ley de Fourier de movimiento para el calor. Thomson opina que con la teoría de las líneas de fuerza se obtienen los mismos resultados matemáticos que con la teoría de Coulomb, sin embargo, la primera requiere de un proceso de análisis más simple. Sugiere también, que existe una fundamentación suficientemente estricta 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. (Faraday, 1855)

A propósito de los matemáticos que se preocuparon por encontrar el sentido matemático de las líneas de fuerza, Faraday afirma que todos parecen estar de acuerdo en que la visión de las líneas físicas de fuerza es matemáticamente correcta. En específico, el trabajo matemático publicado por Van Rees⁵ sobre las líneas de fuerza suscita a Faraday varias reflexiones alrededor de su postura, pues el matemático asegura que la visión de Faraday, al no asignarle origen a las líneas y al no presentar un principio fundamental para la idea de dos fluidos magnéticos o la de corrientes eléctricas, reemplaza las viejas teorías. Sin embargo, Faraday piensa que su visión es correcta en tanto las líneas que propone se tomen como representaciones del poder y, de esa manera, el matemático las acepta como representaciones adecuadas, aún en toda la extensión de la hipótesis tanto de los fluidos magnéticos como de las corrientes eléctricas. Faraday evita sustituir las hipótesis de los fluidos o corrientes magnéticas, pero, en vista de que se esperaba él se adecuara a una postura anterior, cita el principio de los éteres.

Faraday explicita, entonces, que contrario a lo que piensan varias comunidades sobre su postura, su objetivo va más allá de los de sus contemporáneos:

Faraday, 1855.

El ánimo que derivo de esta apreciación por los matemáticos del modo de figurarse uno mismo las fuerzas magnéticas por líneas me envalentonan a hacer un poco más de hincapié en un punto adicional, sobre la naturaleza verdadera pero desconocida de la acción magnética. Aún más, lo que realmente queremos no es una variedad de

⁴ El británico William Thomson, también conocido como Lord Kelvin, era uno de los más importantes físicos y matemáticos de su época.

⁵ M. Van Rees fue un importante matemático, su trabajo fue transcrito en el Annalen de Poggendorff, en 1853. (Poggendorff, Annalen, 1853, vol. XC, p.p. 415.)

métodos diferentes de representar las fuerzas sino la única verdadera significación física de aquello que se hace aparente a nosotros por los fenómenos y las leyes que los gobiernan. (p.3)

Explica que, aunque el matemático afirme que una de las dos hipótesis debe tener un principio mejor fundamentado que el otro, Faraday piensa que ambas, la de los dos fluidos y la de las corrientes eléctricas, son incorrectas. Argumenta que ninguna de las dos visiones podría haber conducido a estudiar el diamagnetismo, tampoco la *rotación magnética de la luz*.

Faraday reconoce que su postura puede resultar confusa, por lo que aclara que a diferencia de las propuestas de Coulomb y Ampère, que dependen de la acción a distancia sin intermediación, la visión de líneas de fuerza representa acciones a distancia realmente en todo aquello que no es hipótesis. En otras palabras, pone de presente que, con su postura, se conocen ahora tres nociones sobre la naturaleza de la fuerza magnética y dos de ellas presentan inconsistencias, por lo que deben ser falsas.

En ese sentido, las visiones físicas resultan cuestionables y, con el objetivo de dejar preconcepciones de lado y concentrarse en contemplar la fuerza en su pureza, Faraday se refiere a la condición dudosa en la que se hallaban las conflictivas teorías de la luz en el gran debate sobre su naturaleza y propone que, al igual que en su tiempo, se lleve a cabo un ejercicio de juicio unido al experimento, a saber, un experimento decisivo para obtener una resolución de la dificultad magnética.

En relación con lo anterior, Faraday recalca la pertinencia de la actividad experimental para fundamentar las descripciones de los fenómenos que se puedan establecer. Presenta, entonces, algunas razones para acoger los experimentos, en este caso, como juicio.

Faraday, 1855.

Yo, por lo tanto, propongo sin afirmar nada respecto a la hipótesis física del imán, más fuertemente que antes, llamar la atención de los experimentadores de una manera algo deshilvanada con respecto al tema nuevamente, tanto en lo que hace a la deficiencia de las visiones físicas actuales como con respecto a la posible existencia de líneas de fuerza física concentrando las observaciones que yo puedo

tener que hacer alrededor de unos pocos puntos -como polaridad, dualidad y otros- según sea la ocasión; y estoy movido a hacer estos esfuerzos por las suficientes consideraciones. 1. La confirmación, por los matemáticos, de la verdad de las líneas abstractas de fuerza al representar la dirección y la cantidad del poder magnético. 2. Mi propio uso ventajoso de las líneas en numerosas ocasiones. 3. La fiel analogía de la fuerza magnética y los otros poderes duales, ya sea en el estado estático o dinámico y, especialmente, la del imán con la batería voltaica o cualquier otra fuente continua de corriente eléctrica. 4. La idea de Euler de los éteres magnéticos o fluidos circulantes. 5. La fuerte convicción expresada por sir Isaac Newton de que aún la gravedad no puede ser llevada para producir un efecto distante excepto por algún agente interpuesto⁶ que llena las condiciones de una línea física de fuerza. 6. El ejemplo del conflicto y establecimiento experimental final de las dos teorías de la luz.

(p. 4)

Posterior a sus declaraciones, Faraday no llevaría a cabo experimentos con el fin de criticar las hipótesis de Coulomb o Ampère. Sin embargo, durante sus intentos de establecer relaciones argumentadas entre las fuerzas y la materia, Faraday había construido un montaje para el estudio de la acción inductiva de la electricidad estática (ver ilustración 5), ante el cual la hipótesis de los dos fluidos magnéticos se quedaba corta. (Pearce, 1965). Además, sus investigaciones sobre la naturaleza de la acción magnética establecería, entre otras cosas, una distinción entre materiales: paramagnéticos y diamagnéticos⁷, estos últimos fundamentarían el argumento que refutaría la hipótesis de las corrientes magnéticas.

En 1843, Faraday escribió *Sobre la Acción inductiva Electroestática*, donde describe varios experimentos con el objetivo de dar ideas precisas respecto a ciertos principios de la acción eléctrica inductiva. El primero de ellos elimina la hipótesis magnética de Coulomb al

⁶ Newton dice, "que la gravedad debe ser innata, inherente y esencial a la materia, de tal manera que un cuerpo puede actuar sobre otro a distancia a través de un *vacío* sin la mediación de nada más, por y a través del cual su acción y fuerza puede ser comunicada de uno al otro, es para mí un absurdo tan grande que yo creo que ningún hombre que tenga en asuntos filosóficos una facultad de pensamiento competente pueda alguna vez caer en él. La Gravedad debe ser ocasionada por un agente que actúa constantemente de acuerdo a ciertas leyes; pero si este agente es material o inmaterial lo he dejado a la consideración de mis lectores", ver la tercera carta a Bentley.

⁷ Se habían encasillado en dos categorías todos los materiales dependiendo de cómo respondían a la acción magnética; los paramagnéticos, por la atracción que presentaban con el origen de la fuerza magnética y los diamagnéticos, que presentaban el efecto contrario al de los primeros.

cuestionar la variación de la densidad de los fluidos magnéticos. El montaje se puede apreciar en la representación de la ilustración 5.

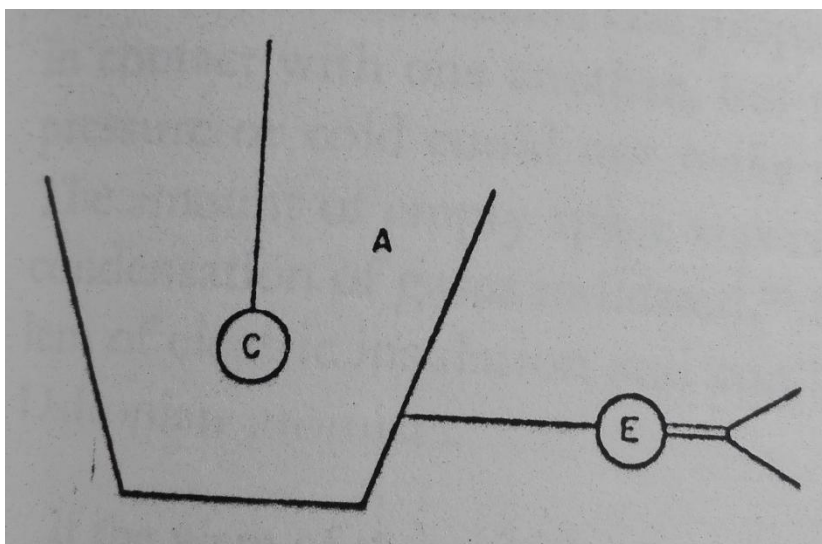


Ilustración 5: Representación del montaje realizado por Michael Faraday para el estudio de la acción inductiva electrostática.

Tomado de: Libro "Michael Faraday, A Biography by L. Pearce Williams"

En el diagrama, A representa una enfriadera de peltre⁸ aislada, conectada por un alambre con un delicado electrómetro de hoja de oro E, C representa una esfera de latón aislada por un hilo seco de seda, de manera tal que no se vea afectada por la mano que la sostiene por encima del recipiente. A se encuentra perfectamente descargada, C se carga a distancia por una máquina o por una botella de Leyden y es introducida en A, como se aprecia en la ilustración. Si C es positiva, E también divergirá positivamente y si se retira C, E colapsará. Cuando C entra al recipiente A la divergencia de E aumentará hasta que C esté próximo a tocar el borde del recipiente y permanecerá casi estacionaria y sin modificarse para cualquier descenso de ahí en adelante. Esto muestra que en esa distancia la acción inductiva de C es completamente ejercida sobre el interior de A y en ningún grado directamente sobre los objetos externos. Si C toca el fondo de A, toda su carga se transfiere a A y no se repetirá ninguna acción inductiva de C sobre A, pues después de que C se retire, se encontrará completamente descargada.

⁸ El peltre es una aleación compuesta por plomo, cobre, estaño y antimonio. Era comúnmente usada para la fabricación de recipientes abiertos, como las enfriaderas.

Dentro de las varias conclusiones que Faraday comunicó sobre este y otros experimentos, escribió:

Por lo tanto, si un cuerpo es cargado, ya sea una partícula o masa, no hay nada acerca de su acción, la cual pueda consistir en absoluto con la idea de exaltación o extinción, la cantidad de fuerza es perfectamente definida y constante: o para aquellos que en sus mentes representan la idea de la fuerza eléctrica por un fluido, no debe haber ninguna noción de compresión o condensación de este fluido dentro del cuerpo o de su coercibilidad como algunos entienden esa frase. (Faraday, 1843, p.3)

Estas declaraciones fueron argumentos contundentes contra la teoría de los dos fluidos magnéticos, porque estas hipótesis dependían de la densidad variable del fluido eléctrico dentro de los cuerpos. Para Faraday, la inducción siempre fue la acción de una fuerza específica sobre las partículas de los cuerpos, cuya acción, como la de la afinidad química, era constante.

Después de una ardua revisión de los ejercicios experimentales llevados a cabo por Sebald Justinus Brugmans⁹ y el descubrimiento del diamagnetismo, Faraday señala la hipótesis de corrientes eléctricas y las cuestiona. Afirma que dentro de esta explicación se tendría que abandonar la ley de su acción inductora para todos los casos de diamagnetismo, pues de acuerdo con esa ley, si se le acerca un material diamagnético en forma de espiral a un polo, se obtendría una corriente producida en este.

A lo largo de su explicación sobre la filosofía magnética, Faraday menciona en repetidas ocasiones una relación de correspondencia entre las líneas de fuerza magnética y las líneas de fuerza lumínica. En un inicio, menciona que el espacio se encuentra en un estado de oscuridad magnética, lo que lo lleva a pensar en una línea Newtoniana, aunque afirma que Newton fue más precavido que él, al mencionar que no hay luz o una forma de esta en el espacio entre el sol y el planeta tierra, porque el espacio es *invisible* al ojo. Además,

⁹ Brugmans fue físico y matemático Holandés del siglo XVIII, evidenció por vez primera el fenómeno de diamagnetismo.

rechaza las hipótesis propuestas por Coulomb y Ampère al no poder dar cuenta de la rotación magnética de la luz¹⁰. Faraday (1855)

En ese orden de ideas, Faraday hace una analogía entre un imán y el sol, afirmando que existen múltiples razones para pensar que el sol es un imán. Establece que un imán puede disponer la fuerza magnética alrededor de él, llenando el espacio que lo circunda, tal como el sol llena el espacio con rayos curvos y luminosos. De esa manera, Faraday escribe:

Porque si hay tales líneas de fuerza magnética correspondientes (al tener una existencia real) a los rayos de luz, no parece tan imposible por el experimento tocarlas y debe ser muy importante obtener una respuesta a la pregunta respecto de su existencia, especialmente en la medida en que es suficientemente probable que la respuesta sea afirmativa. (Faraday, 1855, p. 4)

Una vez más, Faraday pone de presente que sus analogías entre la manera en que se manifiestan los fenómenos no deberían ser del todo descartadas. Sus investigaciones son siempre en pro de lo que parece ser uno de los más grandes objetivos de su carrera: evidenciar las fuerzas de la naturaleza como exposiciones de un mismo ente. Es gracias a ese gran fin que Faraday plantea objetivos más específicos para llevar a cabo una variedad de experimentos cuyos resultados se relacionan y parecen estar acordes con su pensamiento, lo que sería un punto a favor en todos los debates en los que Faraday se vería involucrado. Es importante resaltar, entonces, cuán importante resulta tener una cosmovisión.

¹⁰ Posteriormente, este fenómeno pasaría a llamarse *efecto magneto-óptico de Faraday*.

5. La cosmovisión de Michael Faraday y la idea de campo.

5.1. Constitución de un modo de reflexionar sobre la naturaleza.

Como se ha podido evidenciar, Michael Faraday prioriza la actividad experimental en la construcción de conocimiento, en el que afirma se debe considerar la naturaleza como un todo, por lo que es coherente al orientar la mayoría de sus experimentos hacia la corroboración de los que serían los dos principios de su carrera, a saber, la *unidad de las fuerzas* y la *interconvertibilidad de los fenómenos*. Así, en este apartado describo un experimento en particular, pensado y llevado a cabo por Faraday, que es acorde a su cosmovisión y relaciona de manera directa la relación entre la fuerza magnética y la fuerza lumínica.¹¹

A puertas de la segunda mitad del siglo XIX, la preocupación por la relación entre las fuerzas de la naturaleza no era novedosa y ya se concebía un medio que parecía interactuar con diferentes fenómenos. Se describía el éter como un medio considerablemente más sutil que el aire y con propiedades eléctricas, magnéticas, lumínicas y calóricas, pero, más allá del medio en el que los fenómenos tuvieran lugar, Faraday se proponía como objetivo científico encontrar la relación directa entre ellos. (Berkson, 1981)

Los factores por los que el éter podía ser perturbado debían tener algo en común que les permitiera una relación con este medio, es decir, si específicamente esos aspectos de la naturaleza son los que están en capacidad de interactuar con el éter, deben constar de características que el resto de la naturaleza no tiene. De esa manera, en la época resultaba poco descabellado imaginar que dichos factores de la naturaleza estaban vinculados. Así, Faraday piensa que las distintas “fuerzas de materia” –eléctrica, magnética, lumínica y calórica-¹² están íntimamente relacionadas, tienen un origen común, son mutuamente dependientes, son convertibles la una en la otra y poseen equivalencia de poder en su acción. (Faraday, 1845).

Uno de los primeros descubrimientos de Faraday acorde a su cosmovisión tiene lugar en la década de 1830 con el estudio de la electroquímica, encontró un proceso a través del cual se

¹¹ También se vería relacionada la fuerza eléctrica, pero, la primera concepción de Faraday era la relación entre el magnetismo y la luz.

¹² Estas son las fuerzas de la materia que Michael Faraday establece en sus *Experimental Researches In Electricity*, en una de las series escritas en 1838.

podía evidenciar la conversión de electricidad en una afinidad química y viceversa. Gracias a esto, Faraday pensó que había establecido su principio sobre la convertibilidad de las fuerzas sobre bases experimentales y, por ende, fundamentadas. Ese primer principio da paso libre a Faraday para abordar el concepto, que a este punto resultaba inherente, de la unidad de las fuerzas. Dicho concepto había orientado sus investigaciones por bastante tiempo, sin embargo, parte de la comunidad científica de entonces no compartía esa convicción. Otros electroquímicos, por ejemplo, no percibían una conversión de la electricidad en una afinidad química, preferían, en cambio, continuar con la idea de Volta sobre una “fuerza electromotriz”, que era creada por el contacto de conductores heterogéneos –teoría del contacto-. (Pearce, 1965)

En ese sentido, varios científicos encontraban las ideas de Faraday extrañas al referirse a una explicación sobre el funcionamiento de la pila de Volta. Se da lugar, entonces, a un debate en el que, por un lado, se hallaban quienes eran partícipes de la teoría del contacto de la pila Voltaica –principalmente Robert Hare- y, por otro, estaban los seguidores de las ideas de Faraday comandados por él. Fue hasta la publicación de la quinta a octava serie de sus *Experimental Researches in Electricity*, que Faraday logra argumentar la electroquímica y el funcionamiento de la pila de Volta de manera contundente. Se refirió a los efectos eléctricos de la pila a combinaciones químicas, además de establecer una conexión cuantitativa directa entre la electricidad y la afinidad química. Estas investigaciones dieron paso a la segunda ley de la electroquímica, que establece la equivalencia entre la cantidad de corriente que pasa y las afinidades químicas asociadas con las sustancias que se hallan bajo los electrodos.

De esa manera, se dejó fuera de lugar a la teoría del contacto, pues toda la explicación podía ser abordada desde la química y parecía no haber razón para asumir una fuerza electromotriz que resultara del contacto de metales distintos para explicar la acción de la pila. Estas investigaciones fueron, por tanto, decisivas para Faraday, porque reforzaría su cosmovisión, lo que le permitiría referirse, en un futuro, a la relación entre fuerza y materia.

Dentro de la controversia sobre las fuerzas de Faraday, se le cuestiona acerca de su interacción de la fuerza y la materia, en específico, la inducción y conducción. Faraday plantea, entonces, una discusión acerca de si la acción eléctrica y/o magnética es una

propiedad de los cuerpos o estos solo se remiten a responder frente a dichas acciones. La primera opción es la visión preponderante de la época de concebir la electricidad como un atributo de algo que es lo que realmente existe, pero, Faraday establecería que aquello que realmente existe es eso llamado atributo, que es la fuerza. Así, realiza varios experimentos para explicar su postura acorde a su cosmovisión, pues la idea de líneas de fuerza entraría en relación con la de inducción y, gracias a ello, ya se podría intuir el concepto de “campo”.

En su carta a Richard Taylor, *Una especulación acerca de la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia*, Faraday escribe acerca de cómo considera él que debe estar estructurada la materia. Puesto que para la época ya había varias hipótesis sobre la constitución atómica de la materia, Faraday debía explicar su postura teniendo en cuenta los desarrollos llevados a cabo sobre el átomo. Así pues, hace referencia a la teoría de Ruđer Josip Bošković¹³ que establecía un modelo de “átomos-punto”.

La obra de Bošković, *Theoria philosophiae naturalis*, contiene una teoría dinámica de la materia fundada en la hipótesis de que las partículas elementales que constituyen la materia no son más que centros de fuerza. Este concepto de centros de fuerza abandonaba la antigua idea de una variedad de átomos sólidos diferentes. Las partículas fundamentales, según él, eran todas idénticas y las relaciones espaciales alrededor de esos puntos centrales constituían la materia. Esta teoría no hace predicciones cuantitativas, pero ejerció una gran influencia sobre la física de los siglos XIX y XX, pues representa el atomismo matemático ideal con suposiciones mínimas, a saber, acciones centrales de dos cuerpos dependientes de la separación entre ellos.

Las características que serían fundamentales para Faraday de la teoría de Bošković son dos: en primer lugar se elimina el dualismo democríteo-newtoniano de espacio ocupado y vacío y se sustituye por un monismo de relaciones espaciales, luego, usando puntos centrales, se empieza a clarificar el significado de estructura física como un patrón de puntos en tres dimensiones. Faraday infirió de sus mediciones electroquímicas que los equivalentes químicos corresponden a cantidades equivalentes de electricidad. Conoció los

¹³ Bošković fue un importante físico y matemático Croata del siglo XVIII, su trabajo más destacado es *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unam legem virium in natura existentium*, donde, entre otras cosas, trata su teoría sobre el átomo.

diversos modelos atómicos de su época y expresó preferencia por los átomos-punto de Bošković, como centros de fuerza, no como puntos materiales. Faraday escribió:

Faraday, 1844.

Si no debemos asumir para nada, como es el caso en una rama de conocimiento como la actual, apenas podemos evitar entonces seguir el procedimiento más seguro que parece ser asumir tan poco como es posible y, al respecto, me parece que los átomos de Boscovich tienen una gran ventaja sobre la noción más usual. Sus átomos, si los entiendo correctamente, son meros centros de fuerza o poderes, no partículas de materia, en las que los poderes mismos residen. (p. 5)

En ese sentido, Faraday establece que las partículas cargadas hacen las veces de un centro de fuerza y, de la misma manera en que funcionan los átomos-punto, pueden existir relaciones espaciales entre ellas, que podrían estar dadas por la inducción de una partícula a la otra. Así, el discurso de Faraday se encaminaría hacia la forma en que los materiales pueden reaccionar a esas interacciones espaciales, esto es, cómo se disponen los materiales en presencia de un campo eléctrico o magnético.

Por otro lado, el fenómeno del diamagnetismo ya había sido evidenciado por Brugmans en 1778, observó que el bismuto y el antimonio fueron repelidos por acciones magnéticas. Sin embargo, el término diamagnetismo fue establecido hasta en 1845 por Faraday, cuando se dio cuenta de que todos los materiales responden, ya sea en forma diamagnética o paramagnética, a un campo magnético aplicado.

Faraday define un diamagnético como un cuerpo a través del cual pasan las líneas de fuerza magnética y bajo cuya acción no se adquiere el estado magnético usual del hierro ni de la calamita, en otras palabras, no es paramagnético, que no atrae los campos magnéticos, por el contrario, los repele. En cuanto a esa diferenciación, es posible considerar a Faraday como la persona que descubrió el fenómeno del diamagnetismo, pues logró establecer de manera clara y objetiva el comportamiento diferente de la materia bajo la influencia de campos magnéticos.

En ese orden de ideas, Faraday concluye que la electricidad y el magnetismo no pueden ser una propiedad de los cuerpos, porque de ser así la experiencia conduciría a una paradoja,

pues si se piensa en la materia, es evidente que existen cuerpos conductores y otros que no los son. Así, se entiende que el comportamiento adoptado por los cuerpos bajo la acción de un campo magnético no es más que una reacción que puede ser de alguna de las dos clases mencionadas, por tanto, se establece que la materia responde de diferentes maneras a la fuerza.

Esas ideas permiten a Faraday encontrar coherente, dentro de su cosmovisión, pensar en la existencia de una relación entre la electricidad, el magnetismo y la luz. Dentro de sus experimentos para entender de mejor manera el fenómeno de inducción, llevaría a cabo, como él denomina, un experimento que consiste en la "*electrificación y magnetización de un haz de luz y en iluminar una línea de fuerza magnética*". (Faraday, 1845). Aunque no hace parte de sus investigaciones experimentales más famosas, es fundamental para entender la convicción de campo que Faraday establece, porque reúne varios de los conceptos que él mismo estableció con anterioridad.

5.2. El efecto magneto-óptico de Faraday.

En sus últimas investigaciones experimentales, Faraday se dedicó al intento de unificar los fenómenos magnéticos con los ópticos, por lo que propuso un experimento en el cual evidenciaría la influencia de un campo magnético sobre un haz de luz polarizada. Faraday no se conformaba con revelar la relación entre electricidad y magnetismo, quería saber también si los imanes afectaban a los fenómenos ópticos. Como se ha descrito, pensaba en la unidad de todas las fuerzas de la naturaleza, particularmente entre la fuerza lumínica, eléctrica y magnética. En 1845 comprobó que si un haz de luz polarizado linealmente atraviesa un vidrio -de plomo- al que se aplica un campo magnético en la dirección de propagación de la luz, se observa un "cambio" en la manera en que se observa la luz.

En su experimento original, descrito en la decimonovena serie de sus *Experimental Researches in Electricity*, Faraday menciona que, con el fin de evidenciar si existe una relación entre la luz y las fuerzas eléctricas y magnéticas, electrificará y magnetizará un rayo de luz: describe un montaje en el cual hay una vela como fuente de luz, dos filtros polarizadores (analizador y polarizador), bobinas que harán las veces de electroimán y una pantalla. El montaje se configuró de manera tal que la luz producida por la vela pase por el

analizador, atraviere el espacio entre las bobinas, siga su camino por el polarizador y finalmente llegue a la pantalla, como se observa en la ilustración 6.

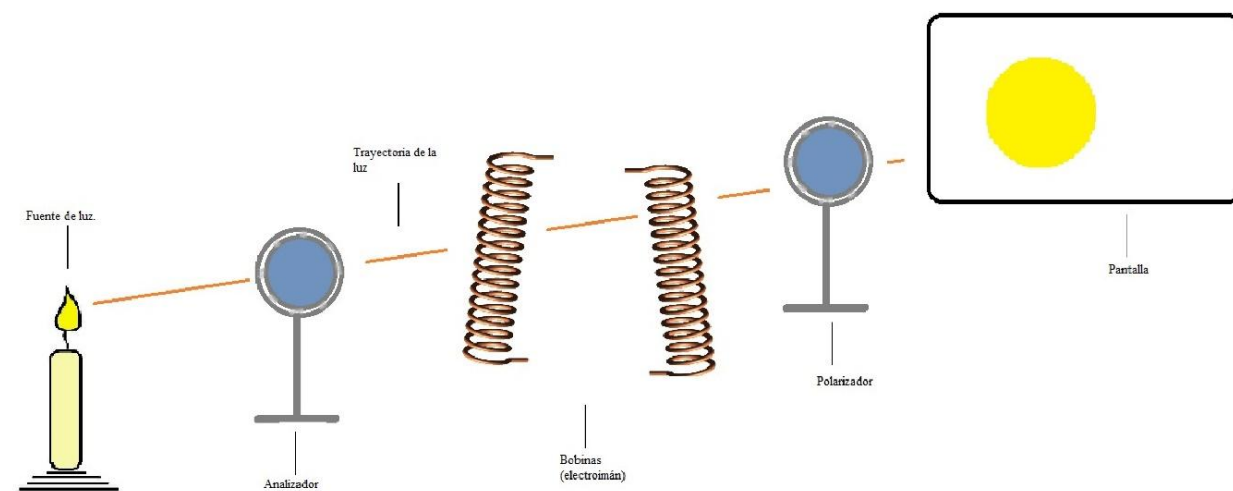


Ilustración 6: Representación del montaje descrito por Michael Faraday para establecer relaciones entre la electricidad, el magnetismo y la luz.

En el experimento se evidenció que si los electroimanes estaban inactivos y la luz de la vela era polarizada, era imposible observarla reflejada en la pantalla, una vez los electroimanes se ponían en marcha, y sin modificar el ángulo de rotación de los polarizadores, la luz proveniente de la vela se reflejaba en la pantalla. De esa manera, la luz que se opacaba gracias al ángulo de rotación de los polarizadores podía verse como si estos no existieran, dado que, se “*magnetizó el rayo de luz*”. (Faraday, 1845).

Faraday escribió en la serie XIX de sus *Experimental Researches in Electricity*:

Hoy he trabajado con líneas de fuerza magnética, aplicadas a diferentes cuerpos (transparentes en distintas direcciones) y al mismo tiempo haciendo pasar un rayo de luz polarizada a través de ellas (...) se produjo un efecto sobre el rayo de luz polarizado, y por tanto la fuerza magnética y la luz se demuestra que están relacionadas entre sí. (Faraday, 1845, p. 596)

Esa fue la primera indicación evidente de que la fuerza magnética y la luz estaban relacionadas, Faraday afirma en la misma bitácora: “*Este hecho probablemente será sumamente fecundo y de gran valor en la investigación de ambas clases de fuerzas naturales*”. (Faraday, 1845, p 596).

En una de las charlas vespertinas de la Royal Institution de 1846, Faraday especuló que la luz podría ser algún tipo de perturbación que se propaga a lo largo de las líneas del campo, presentó sus ideas sobre la naturaleza de la luz y su charla fue publicada ese mismo año en la revista *Philosophical Magazine* con el título *Thoughts on Ray Vibrations*. Como se expuso, Faraday cuestionó la existencia del éter luminífero, que se suponía era el medio en el que se propagaba la luz, como había descrito Fresnel en su teoría ondulatoria de la luz. Propuso que la luz podría no ser el resultado de las vibraciones del éter, sino las vibraciones de las líneas físicas de fuerza. Faraday intentó prescindir del éter, pero mantenía las vibraciones u ondulaciones, como las llamaría Young. Con lo que parece ser una disculpa hacia la comunidad científica de entonces, Faraday termina su artículo con las siguientes palabras: *“Es probable que haya cometido numerosos errores en todo cuanto he dicho, pues mis ideas al respecto me parecen incluso a mí mismo sombras de especulación”*. (Faraday, 1846, p.5)

A este punto, Faraday había evidenciado que hay maneras de encontrar la relación directa entre las fuerzas de la naturaleza y su unificación; a través de la interconvertibilidad de los fenómenos. Dados los resultados del experimento del efecto magneto-óptico, Faraday concluyó poco sobre la manera en que la luz, la electricidad y el magnetismo podían ser parte del mismo fenómeno, sin embargo, demostró que había un punto de vista en que las tres fuerzas se relacionaban indefectiblemente, a saber, la perspectiva de campos. Así pues, mencionar el campo eléctrico, magnético y ahora su relación con la fuerza lumínica lo llevaría a pensar que quizá existieran ondas electromagnéticas: unas vibraciones propias de las líneas de fuerza lumínica, que se propagan dado un campo eléctrico y magnético. Esta especulación sería clave, no solo para los trabajos de Maxwell, sino para la historia de la física.

Lo anterior le daba testimonio a Faraday de que su cosmovisión era correcta, pues anteriormente, había establecido la relación entre electricidad y magnetismo, del mismo modo en que estableció la relación entre electricidad y la química en sus leyes de la electroquímica. Faraday estableció, entonces, que las fuerzas no se crean ni se destruyen, pueden convertirse en otra o manifestarse en un fenómeno distinto.

La idea de Faraday fue recibida con escepticismo y no fue comúnmente aceptada hasta la publicación en 1865 del artículo de Maxwell titulado *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. Este artículo de Maxwell no sólo contiene la teoría electromagnética de la luz, también atribuye a las consideraciones sobre las vibraciones de los rayos de Faraday, las ideas que le sirvieron de base para la elaboración de su teoría electromagnética de la luz. Maxwell se refiere al artículo de Faraday de 1846 de la siguiente forma:

Maxwell, 1865.

La concepción de la propagación de perturbaciones magnéticas transversales y la exclusión de las normales está claramente establecida por el Profesor Faraday en sus 'Consideraciones sobre las vibraciones de los rayos'. La teoría electromagnética de la luz, según lo propuesto por él [Faraday], es lo mismo en esencia, a la que yo he comenzado a desarrollar en este trabajo, a excepción de que en 1846 no había datos para calcular la velocidad de propagación". (p. 6).

Maxwell también escribe sobre el efecto magneto-óptico descubierto por Faraday veinte años antes y lo cita en repetidas ocasiones en su artículo sobre la teoría dinámica del campo electromagnético. Maxwell fue un gran lector de las ideas y trabajos de Faraday sobre las líneas de fuerza, incluso una de sus obras más importantes lleva el nombre de este científico inglés (*On Faraday Lines of Force*) presentando sus agradecimientos públicamente a través de su prefacio para la primera edición del tratado sobre electricidad y magnetismo. Además, gran parte del trabajo de Maxwell sobre electromagnetismo está basado en el trabajo previo de Faraday, fue Maxwell quien finalmente modeló de manera matemática los descubrimientos experimentales de Faraday sobre electromagnetismo en la teoría que se conoce hoy día.

Las ondas electromagnéticas, cuya existencia fue especulada por Faraday en 1846 en sus consideraciones sobre las vibraciones de rayos y fue predicha matemáticamente por Maxwell en 1865, finalmente fueron producidas en el laboratorio del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, quien, entre 1885 y 1889, comprobó de manera experimental que la luz y las ondas producidas por medios electromagnéticos seguían las mismas leyes. Hertz, en su texto *On the Relations Between Light and Electricity*, hace referencia a Faraday y

resalta lo valioso que resultaron sus ideas para la comunidad científica, elogia su manera de pensar y con base en ello plantea algunas preguntas interesantes para el estudio de la relación luz, electricidad y magnetismo.

Hertz, 1889.

Para él [Michael Faraday] las fuerzas eléctrica y magnética se convierten en las realidades tangibles, realmente presentes; para él la electricidad y el magnetismo eran las cosas cuya realidad debería ser discutida. Las líneas de fuerza, como él llamaba a las fuerzas independientemente consideradas, estuvieron a los ojos de su intelecto como estados del espacio, como tensiones, vórtices, corrientes, cualesquiera ellas pudieran ser –esto él mismo fue incapaz de determinar- pero allí ellas estaban, actuando sobre cada otra, empujando y halando cuerpos alrededor, propagándose ellas mismas alrededor y llevando la perturbación de un punto a otro. A la objeción de que el reposo absoluto es la única condición posible en el espacio vacío, él pudo responder: ¿está el espacio realmente vacío? ¿No nos compelen los fenómenos de la luz a considerarlo como lleno con algo? ¿No podría el éter que transmite las ondas de la luz también ser capaz de transmitir los cambios que llamamos fuerzas eléctricas y magnéticas? ¿No habría alguna conexión concebible entre estos cambios y las ondas de luz? ¿No podrían las últimas ser debidas a algo como una vibración de las líneas de fuerza?

Faraday hubo avanzado tanto como esto en sus ideas y conjeturas. Él no pudo probarlas aunque buscó intensamente tal prueba. Se deleitaba investigando la conexión entre la luz, la electricidad y el magnetismo. La hermosa conexión que de hecho descubrió no fue la que él buscaba. Trató una y otra vez, y su investigación solo culminó con su vida. Entre las muchas cuestiones que él emprendió, solo una que se le presentó continuamente fue si las fuerzas eléctricas y magnéticas requerían tiempo para su propagación. (p. 3-4)

Como se puede observar, Hertz se maravilla con las preocupaciones que sólo Faraday, y no sus contemporáneos, se planteaba; principalmente por el hecho de discutir la realidad de la electricidad y el magnetismo en lugar de la realidad de la materia. Menciona la investigación sobre luz, electricidad y magnetismo para resaltar lo innovadora que resultó,

por lo que fue tan crucial para establecer el concepto de campo electromagnético y con ello las ondas electromagnéticas. Así, la perspectiva de campos, que se fue trasluciendo de a poco a causa de la cosmovisión de Michael Faraday, permitió la unificación de los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos, razón por la cual es indispensable en la historia y, por tanto, en la enseñanza de la física.

6. Reflexión final.

Ahora bien, como se pudo observar, la perspectiva de campos no nace, como se piensa comúnmente, con Maxwell y su reconocido proceso de “síntesis”, en cambio, es producto de los esfuerzos de Faraday por desarrollar descripciones de la naturaleza acordes a su cosmovisión, la cual consolidaría, en específico, al establecer la relación luz, electricidad y magnetismo.

En medio del ejercicio de repasar la carrera científica de Faraday y observar este caso particular de la historia de la ciencia se encontraron varias ideas concluyentes, tanto para el contexto en el que Faraday se ve inmerso, como para el trabajo de investigación. En primer lugar, se debe resaltar cuán explícito se hace la pertinencia de contar con una cosmovisión, esto es, se pone de manifiesto que para conocer es necesario haber estructurado un conjunto de ideas de manera tal que la forma de explorar y aprender esté orientada por cuestionamientos y certezas que perduren en el tiempo, que generan ideas dado el contexto y se reconstruyen. Así, la articulación del pensamiento de Faraday representa un ejemplo óptimo para considerar las revisiones de la historia como fundamentales en la enseñanza de la física.

En el documento se pudo reconocer la cosmovisión de Faraday como una de las más controversiales de la historia, sus argumentos frente a los debates expuestos representan la perspectiva de un hombre que tiene una concepción de la naturaleza tan sólida, que logra dar un lugar en ella a cualquier novedad que se le presenta. Se muestra, entonces, que la manera de enfrentarse a las nuevas eventualidades de la naturaleza está dada por las ideas previas que tenga el observador, si se piensa en el ámbito escolar, es posible fortalecer la manera en que los estudiantes construyen conocimiento si primero se lleva a cabo un ejercicio de reconocimiento sobre la manera en que los estudiantes ven el mundo, además de adoptar marcos explicativos que les ayudaran a argumentar sus concepciones.

En ese sentido, en el documento se muestra cómo las ideas que parecen estar obsoletas pueden ser útiles dentro de un marco explicativo para dar cuenta de un nuevo fenómeno. El debate sobre la luz presenta bases a todas las personas que investigarían acerca de los fenómenos eléctricos y magnéticos, sin importar cuán diferentes fueran sus líneas de

pensamiento, pues habría una manera de describir el mundo acorde a sus convicciones, sin embargo, la dificultad sería cómo establecer consensos.

Como se pudo evidenciar, la herramienta más contundente de Faraday es el experimento, no porque con este pase por alto los argumentos contra su postura, sino porque es gracias a la evidencia expuesta dentro de un marco explicativo que logra estructurar su pensamiento, de manera tal que fundamente sus argumentos para un debate y, posteriormente, se establezca un consenso.

Adicionalmente, como lo señalan Koponen y Mäntylä (2006), el experimento es generativo en la construcción del conocimiento en ciencia si “*los estudiantes tienen la oportunidad de expresar sus ideas en sus propias palabras, de reflexionar sobre sus propios aprendizajes y corregir sus propios errores, y hacer explícito su propio razonamiento intuitivo* (p.3)¹⁴.” En otras palabras, el experimento cumplirá su labor al permitir a los estudiantes actuar y pensar el mundo desde un marco explicativo definido: la física.

Si los estudiantes asumen la física como una forma de dar cuenta de algunos aspectos del mundo, serán capaces de actuar sobre él: de intervenirlo y transformarlo. En consecuencia, la actividad experimental en el aula debe guiarse por el conocimiento construido por los estudiantes para darles la posibilidad de intervenir y transformar su mundo, en aras de responder sus cuestionamientos, reflexionar sobre sus comprensiones y situarlas en una relación dialógica con los que las comunidades científicas han desarrollado a lo largo de la historia.

En ese orden de ideas, para la enseñanza de la perspectiva de campos el experimento del efecto magneto-óptico de Faraday resulta dicente, pues es indispensable orientar una clase de física que considere la manera en que dicha perspectiva se constituye históricamente y relacione las ideas de los estudiantes con la evidencia misma. Así, establecer una relación entre luz, electricidad y magnetismo, más allá de maravillarse con un experimento, da paso al estudio de uno de las descripciones más importantes que ha dado la física, los campos.

¹⁴Traducido del texto original: *Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction* .

7. Referencias Bibliográficas.

- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes históricos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Física y Cultura*, 19-37.
- Berkson, William (1981). *“Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein”*. Madrid: Alianza Editorial.
- Blondel, Christine y Wolff, Bertrand (2009a). *Ampère jette les bases de l'électrodynamique* (septembre 1820-janvier 1821).
- Euler, L. (1990). *“Cartas a una Princesa de Alemania sobre diversos temas de Física y Filosofía”*. Edición Carlos Mínguez Pérez. Universidad de Zaragoza.
- Faraday, M. (1831-1852). *“Experimental Researches in Electricity”*. London, vol. 4.
- Faraday, M. *“Consideraciones sobre las vibraciones de los rayos”*, 1846.
- Faraday, M. *“Sobre algunos puntos de filosofía magnética”*, 1855.
- Faraday, M. *“Sobre la Acción inductiva electrostática”*, 1843.
- Faraday, M. *“Una especulación acerca de la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia”*, 1844.
- Hadfield B. Editor, *Permanent Magnets and Magnetism*, Wiley, New York, 1962.
- Hertz, H. *“Sobre las relaciones entre la luz y la electricidad”*, 1889. Sexagésima-segunda Conferencia de Científicos y Médicos Alemanes. Misc. Pprs. p.p. 313-327.
- J. Ordóñez, V. Navarro y J.M. Sánchez Ron, *Historia de la Ciencia* (Editorial Espasa-Calpe, Madrid, 2007).
- Koponen, I. y Mäntylä, T. (2006). Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A suggestion for Epistemological Reconstruction. *Science & Education*, 15(31), 31-54. doi: 10.1007/s11191-005-3199-6.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Chicago.
- M.C. Pérez de Landazábal y P. Varela Nieto, *Orígenes del Electromagnetismo. Oersted y Ampère* (Nívola Li-bros y Ediciones, Madrid, 2003).
- Mattis D., *The Theory of Magnetism*, Harper Row, New York, 1965.
- Mawell, J. C. (1865). *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. En J. C. Maxwell, *Scientific Papers Vol I* (págs. 526-297). Edimburgo: Scottish Academic Press.

- Romero, A., & Rodríguez, L. D. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. *Física y Cultura*, 3-16.
- Rosenzweig R., "Magnetic Fluid", *Scientific American* 246, 1215 (1982).
- Van Vleck J., "A Lyrical Account of Magnetism", *Int. J. of Magnetism I*, 1(1970).
- Wang, H., He, H., Feng, J., Chen, X., y Lin, W. (2011). The Actual Nature of Light: Reveal the Mystery about the Actual Nature of Light from Newton, Einstein to the Recent Mistakes. *Journal of Quantum Information Science*, 1(12), 54-60.
- Williams, L. Pearce (1965). "Michael Faraday; A Biography By L. Pearce Williams"
London, vol. 1.