

IMPLICACIONES DIDÁCTICAS DE LA INCLUSIÓN DE LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: UNA INTERPRETACIÓN HISTÓRICA DEL ELECTROMAGNETISMO

Jair Zapata Peña

*Estudiante Doctorado Interinstitucional en Educación
DIE - UD*

Introducción

La inclusión de la historia y filosofía de las ciencias (HFC) en la enseñanza de las ciencias, ha girado alrededor de dos problemas: El primero, referido a la justificación de la pertinencia de la HFC en la enseñanza de las ciencias, bajo el argumento que dicha inclusión favorece los aprendizajes desde la perspectiva conceptual (Conant, 1957 y Holton, 1978) y valorativa de las ciencias (Matthews, 1991; 1994; Gil, 1993; Izquierdo, 1994; Duschl, 1997; Solbes & Traver, 1996; 2001; Hottecke, et al., 2010); y el segundo, problema referido a la construcción de modelos didácticos de los procesos de enseñanza de la ciencia desde la orientación de la HFC (Mellado y Carracedo, 1993).

En esta mirada es importante tener en cuenta que la inclusión de la HFC en la enseñanza de las ciencias, ha implicado evidenciar dos aspectos necesarios, por un lado, los problemas que envuelve el hacer la enseñanza de la ciencia en ausencia de la HFC y por otro lado, hacer visibles los beneficios que tiene incluirla.

En relación a los problemas, se ha identificado que en general en la enseñanza habitual de las ciencias están ausentes aspectos históricos, lo que transmite a los estudiantes una imagen deformada de la actividad científica. La mayoría de los alumnos creen que la ciencia consiste en descubrir una realidad preexistente e ignoran el papel fundamental del trabajo científico, el cual busca la construcción de modelos teóricos explicativos para interpretar los comportamientos de la naturaleza, a partir de la resolución de problemas, la investigación de hipótesis y la edificación de conceptos. Así mismo, se hace evidente que los aspectos históricos están ausentes en la mayoría de los libros de texto y los pocos que los incluyen lo hacen de forma superficial (Gagliardi & Giordan, 1986; Sánchez, 1988; Gil, 1993; Izquierdo, 1994). De igual manera cuando se trabaja la inclusión de la HFC en la enseñanza de las ciencias generalmente se

suele caer en errores como incurrir en visiones anacrónicas del pasado (García, 2011), lo que puede generar juicios a priori o interpretaciones erróneas de la historia, al mirar el pasado con los ojos del presente.

En referencia a los beneficios que conlleva la inclusión de la HFC en la enseñanza de las ciencias, es importante destacar algunos aspectos relevantes sobre cómo esta inclusión contribuye al aprendizaje conceptual y de valoración de la ciencia como una construcción de conocimientos. Estos aspectos pueden ser enmarcados en dos escenarios, los asociados con la enseñanza y los componentes curriculares y los relacionados con el aprendizaje en la formación del estudiante.

Sobre los aspectos curriculares y de enseñanza es posible identificar como la contribución de la HFC permite favorecer las reconstrucciones curriculares a la luz de los obstáculos epistemológicos, mejorar la significatividad que los estudiantes le dan a los problemas que se le plantean cuando estos son ambientados desde el contexto histórico y proporcionar una mejor información sobre las dificultades de los estudiantes relacionadas con las dificultades de la historia misma.

Por otro lado la inclusión de HFC puede contribuir en el aprendizaje al fomento en los estudiantes de una imagen crítica de la ciencia, visibilizada como una construcción de conocimientos que no están acabados y que permanecen en constante refinación, además entender que esta construcción ha estado marcada por el aporte de muchos pequeños y grandes científicos que la han consolidado a través de la historia y que no puede ser vista como una creación individual de algunos pocos genios. La ampliación de este panorama sobre la visión de ciencia, posibilita también extender el horizonte hacia las interacciones CTS a través de la historia, con las implicaciones ideológicas, religiosas, sociales y tecnológicas desde las que se han construido. Todos estos aspectos logran nutrir los conocimientos de los estudiantes para identificar y caracterizar los acontecimientos sobre las crisis de la ciencia y los cambios de paradigmas, aportando a un adecuado cambio en las concepciones alternativas de los estudiantes (Solbes & Travel, 1996).

Se plantea además que es posible aumentar el interés de los estudiantes hacia el estudio de la física y la química, a través de un tratamiento mínimamente detenido de algunos aspectos históricos introducidos en el proceso de adquisición de los diferentes conceptos y teorías científicas, en relación a que esta contextualización histórica permite mostrar una imagen de la ciencia más acertada y próxima a la realidad del trabajo de los científicos y al contexto en que éste se ha desarrollado a lo largo de la historia (Solbes & Traver, 2001).

Una de las propuestas relevantes sobre la inclusión de modelos didácticos para la enseñanza de la ciencia orientados por la HFC, se encuentra en el trabajo de Izquierdo, Audúriz-Bravo y Quintanilla (2007), enfocado a la formación de profesores, allí se plantea la necesidad de actualizar el conocimiento profesional del profesorado de ciencias en formación y en ejercicio a través de una inmersión en la historicidad de la disciplina a enseñar, en tanto que se reconoce que profesores y científicos desconocen y se muestran apáticos a realizar análisis críticos y reflexivos de los sucesos históricos, dando prelación a la formación técnica y algorítmica; a esto se suma la ausencia de la HFC en los contenidos educativos de todos los niveles, inclusive es notoria la persistencia de concepciones dogmáticas e instrumentalistas de la ciencia en centros de docencia e investigación, lo que se refleja en la carencia de investigaciones y publicaciones suficientes en relación a la HFC y la educación científica.

Este capítulo se desarrolla en tres apartados, en la primera parte se abordan las implicaciones didácticas de la inclusión de HFC, discutiendo la importancia que tiene incluirla en los cursos de ciencias y en particular dentro de la formación de profesores. Se presenta un acercamiento, a la luz de los autores más representativos, de las posturas que discuten y defienden los factores más relevantes que tiene la inclusión de la HFC para favorecer la enseñanza de las ciencias. La discusión de estos factores servirá como elemento de apoyo para la segunda parte del capítulo, que pretende un ejercicio de identificación de estos aspectos en un recorrido histórico de un tema particular de la física, el electromagnetismo.

La segunda parte presenta la discusión de una aproximación al recorrido histórico del electromagnetismo, resaltando durante el escrito (en cursiva al final de algunos párrafos) diferentes aspectos didácticos de importancia que favorecerían el desarrollo de un curso de física y que están relacionados con la relevancia y los aportes que pueden ser tenidos en cuenta al incluir la HFC, en la enseñanza de un curso de electromagnetismo. Estos aspectos están relacionados principalmente con: a) El trabajo científico visto no solo desde hallazgos individuales sino de comunidades, b) Las polémicas y divergencias científicas que se presentan durante la construcción del conocimiento, c) El sentido de la no indispensabilidad de un método científico, d) Las interpretaciones teóricas que han tenido que hacer los científicos en fenómenos que requieren de modelos explicativos teóricos más que de la observación, e) La naturaleza dinámica y cambiante del conocimiento científico, cambios de paradigmas, f) Las relaciones de la física con otras disciplinas y g) Los contextos sociales en los que se ha desarrollado la historia de la ciencia y la historia de los científicos que la protagonizaron.

Finalmente se presentan algunas reflexiones que recogen las posiciones que fundamentan la investigación doctoral sobre la que se inscriben las ideas de

este capítulo y que relacionan las implicaciones didácticas de la inclusión de HFC y el ejercicio de recopilación histórica que se discute en el segundo apartado, como una primera propuesta, donde además del recorrido histórico se identifican aspectos o sucesos relevantes para la enseñanza del electromagnetismo desde el entorno didáctico de la contextualización histórica.

Implicaciones didácticas de la inclusión de HFC

El papel de la HFC en la enseñanza de las ciencias, ha tomado paulatinamente más importancia en el ámbito de la didáctica de las ciencias desde mediados del siglo XX y su importancia se refleja cada vez en mayor medida en los diferentes ámbitos académicos de divulgación científica en educación, que la han posicionado como una línea de investigación con numerosos aportes, a partir de resultados que se evidencian en diversas publicaciones especializadas (Gabel, 1994; Fraser & Tobin, 1998; Perales & Cañal, 2000; entre otros) y la aparición de una revista especializada como *Science & Education*, entre otros.

La inclusión del estudio de la HFC en la enseñanza de las ciencias, tiene su origen en la crisis de los procesos de enseñanza dados en dos momentos históricos. El primero, luego de la Segunda Guerra Mundial, durante los años cincuenta y sesenta del siglo XX, cuando se hizo necesario, incrementar los cursos de ciencias especializados con los que se pretendía aumentar los conocimientos de la ciencia y la población de científicos, pero que originó éxitos de formación solo a unas pocas mentes privilegiadas para la ciencia. El segundo, que se dio durante los ochenta, cuando el rápido avance de la ciencia y la tecnología incrementaba la distancia entre la elite científica y el común ciudadano iletrado de esta disciplina (Duschl, 1994), lo que implicó retos para los profesores y los diseños de los currículos, en busca de disminuir la distancia entre el saber de los expertos y el saber de los profesores, estudiantes y ciudadanos del común.

Estos problemas se evidenciaron principalmente en el poco éxito alcanzado por estos cursos, encontrándose que a pesar de los esfuerzos, la intencionalidad de los cursos estaba demasiado enfocada a los estudiantes brillantes, originando como efecto colateral el dejar aún más rezagados a los estudiantes promedio, sin conseguir el objetivo que era lograr promover y potenciar la actitud científica en la mayor cantidad de alumnos posible. La problemática se profundizó, por la manifiesta falta de interés y comprensión de los profesores por la naturaleza de la ciencia (NC), revelado en un estudio de la Association for Science Education en (1963), el cual mostraba desconocimiento de los profesores por la enseñanza de la ciencia contextual, entendida ésta, como el contexto social, histórico, filosófico, ético y tecnológico, que de acuerdo con Matthews (1994), puede entenderse mejor como “una enseñanza sobre la ciencia y en la ciencia”.

En la década de los noventa y enmarcado en estos movimientos de enseñanza sobre la ciencia y en la ciencia, han seguido tomando fuerza las propuestas que plantean que en la enseñanza se hace necesario un conocimiento sobre el desarrollo histórico de las teorías y principios científicos. Para lograr un acercamiento a la ciencia desde una postura más constructivista, que discuta y presente la ciencia como una construcción de conocimientos (Izquierdo, 1994). Con el propósito de fomentar actitudes positivas de los alumnos hacia la ciencia, reconocer la historicidad y la dimensión humana de la ciencia, menguar el dogmatismo con que ésta se presenta, mostrar las interacciones entre ciencia-tecnología-sociedad (CTS), aproximarse más acertadamente a la naturaleza, método y evolución de la ciencia, reconocer mejor las dificultades y concepciones de los alumnos, y orientar la manera en cómo se introducen los contenidos en las clases de ciencias (Fernández, 2000). Pero esta inclusión no fue sencilla ni rápida, para esto se dieron algunas crisis en la educación científica y dentro de las mismas fueron evidentes las carencias en las construcciones históricas y filosóficas que originaron los contenidos científicos descontextualizados, los cuales generaron por algunas décadas (inclusive actualmente) una visión positivista y absolutista de la ciencia (Matthews, 1998b).

El reconocimiento de la importancia de la inclusión de la HFC en la enseñanza de las ciencias, sin embargo, ha sido objeto de discusiones entre posturas dicotómicas que dividen los discursos y fomentan la fragmentación. Por un lado, están los detractores que posicionan la HFC como elementos acomodados que solo reconstruyen o inspeccionan los hechos históricos con argumentos cronológicos, en relación a los momentos históricos en que se presentan avances significativos, esbozando aspectos geográficos y de temporalidad, o también visualizando este abordaje histórico como compendio de meros eventos anecdóticos de los científicos, al inmiscuirse en los posibles percances o curiosidades que intervinieron en el desarrollo de sus trabajos (Matthews, 1998a). Inclusive se ha llegado a plantear que para formar buenos profesionales en carreras relacionadas con la ciencia o la ingeniería, no se ha demostrado que la incursión de la historia de la ciencia, ya sea desde lo general o lo particular, sea necesaria. Y por el contrario, se argumenta que podría incluso llegar a ser perjudicial por imponer restricciones en la búsqueda de explicaciones satisfactorias (Sánchez, 1988).

En otra mirada, están los defensores de la HFC, quienes la consideran como un recurso didáctico facilitador, o mejor como un puente alternativo para reducir las distancias subyacentes entre los conceptos científicos y los imaginarios de los estudiantes. Permitiendo así mejorar los acercamientos a la comprensión de la ciencia, identificar posibles obstáculos en la comprensión de los estudiantes y contribuir de manera significativa en la reelaboración de la imagen de ciencia, lejos de esa idea de entidad hegemónica, configurada, clara, individualista

y terminada; ahora dirigida hacia una realidad de la ciencia construida desde los procesos de comunidades como “*actividad humana*” (Izquierdo, 2000: 37). Que se ha legitimado a lo largo de la historia, a través de diversos procesos económicos, sociales, religiosos, políticos y paradigmáticos (Matthews, 1991; 1998a).

Particularmente en la formación del profesorado de ciencias, Harre (citado por Matthews, 1994: 266) plantea la importancia de una formación en HFC, a través de la analogía con un profesor de música o literatura, el cual debe conocer elementos históricos como crítica literaria o musical y su relación con los intereses sociales o la historia de las formas literarias. De igual manera un buen profesor de ciencias debe tener un conocimiento razonablemente elaborado no solo de su disciplina sino de la dimensión cultural e histórica de la misma. Esto permite delimitar la frontera entre “ser educado en ciencias o simplemente ser formado en ciencias”.

En esta dirección se encuentran entre otras, algunas propuestas con modelos para introducir la historia de las ciencias en la formación del profesorado (Izquierdo, Auduriz-Bravo & Quintanilla, 2007; García, 2009), a fin de visibilizar una enseñanza de las ciencias soportada en algunas estructuras metodológicas que buscan contextualizar la puesta en escena de un sentido histórico de los procesos de la ciencia, que permita reconfigurar las posturas didácticas de los futuros profesores y reajustar el conocimiento profesional de los docentes en formación, a partir de una actualización del bagaje histórico de la disciplina.

Finalmente, es importante tener en cuenta que todos estos esfuerzos deben abocar al propósito de formar profesores, con un conocimiento disciplinar y pedagógico del contenido (Shulman, 1986), que no solamente se limite a definir verdades aceptadas en la ciencia, sino que además esté en la capacidad de justificar la idoneidad de las proposiciones y teorías científicas, justificar con criterio de argumentación su pertinencia, relevancia y relación con otras posturas dentro de la misma disciplina y fuera de ella (Matthews, 1994; 1998b).

En esta mirada el planteamiento de este capítulo, se ubica desde la posición de los abocados a la necesidad y pertinencia en la incursión de la HFC en la enseñanza de las ciencias, y particularmente en la formación de profesores. En este punto se considera imperante visibilizar cuales fueron esos marcos circunstanciales en los que la HFC se ha visto embebida para emerger como campo de estudio y como estos procesos le han permitido abrirse paso en su diletante trasegar dentro de la también emergente didáctica de las ciencias.

Ahora bien, bajo el convencimiento de que la inclusión de la HFC es necesaria y pertinente en la enseñanza de las ciencias, y en particular de la física, se considera oportuno adelantar dicha inclusión en la comprensión de fenó-

menos electromagnéticos, en tanto, que es uno de los campos de la física que más se le dificulta comprender a los profesores de física en formación inicial (McDermott, 1990; García, 1998; Guisasola, et al., 2003; 2005). De acuerdo a esto, se discute a continuación un recorrido histórico del electromagnetismo, resaltando diferentes aspectos didácticos de importancia que favorecerían el desarrollo de un curso de física y que están relacionados con la importancia de incluir la HFC, en la enseñanza de las ciencias (Zapata & Mosquera, 2012).

Aproximación al recorrido histórico del electromagnetismo: *Sobre los fenómenos eléctricos*

Una de las primeras interpretaciones formales de comportamientos de la naturaleza explicados desde las interacciones eléctricas, se desarrollaron paralelo a los trabajos de Newton sobre gravitación¹, por el físico alemán Otto von Guericke quien propuso explicaciones sobre el comportamiento de los planetas y el sol a través de interacciones eléctricas, explicaciones que no tuvieron acogida ni relevancia alguna. A este científico también se le atribuyen además las primeras explicaciones que describían como el ámbar tenía un comportamiento particular, al ser frotado lograba atraer pequeños objetos como el papel y otros objetos adquirirían propiedades eléctricas al estar en contacto con el ámbar. Posteriormente a principios del siglo XVIII cuando Du Fay realizó estudios de los fenómenos eléctricos encontrando que existen dos tipos de carga eléctrica (para la época se llamaban tipos de electricidad), una la producida por el frotamiento de sustancias resinosas como ámbar y lacre y otra la producida por frotar sustancias vítreas como cristal o mica (Furio, Guisasola y Zubimendi, 1998). Estos dos tipos de carga se denominaron resinoso y vítreo, y se estableció también que clases iguales de carga se repelen y las de carga diferente se atraen. Es interesante prestar atención al lenguaje usado para la época en que además de llamar a los cuerpos con carga eléctrica *como que poseían algún tipo de electricidad*, también se le denominaba fluido eléctrico (Einstein y Infeld, 1986). Así se tenía la idea que los cuerpos que contenían iguales cantidades de fluido eléctrico eran neutrales y los cargados eléctricamente tenían un exceso de fluido eléctrico, fuese resinoso o vítreo (Gamow, 1987). *En este momento histórico se evidencia el acercamiento a la construcción de conocimientos de las ciencias desde la mera observación, lo que deja rastros marcados del método científico.*

Para las primeras interacciones en el laboratorio con las cargas eléctricas (aún no llamadas así), se crearon el electroscopio de panes de oro (1705) y la botella de Leyden (1745), que se usaban para detectar y almacenar cargas eléctricas

1. Los trabajos de Newton sobre las interacciones gravitacionales se demoraron en salir a la luz pública, porque él los mantuvo en secreto sin publicar por varios años.

respectivamente. La botella de Leyden consistía en una botella de cristal recubierta por una delgada capa de plata en el interior y exterior, al conectarse a un cuerpo electrizado una de las dos capas de plata y la otra a tierra se lograba acumular electricidad en el interior de la botella, de la que se podían obtener chispas cuando se ponían en contacto la capa exterior con la interior mediante algún alambre conductor. Este modelo de botella dio origen a los condensadores actuales, que son utilizados para acumular carga eléctrica.

Una de las primeras evidencias de la utilización de botellas de Leyden, se encuentra en el libro *Experiments and Observations on Electricity Made Philadelphia in America* publicado en (1753) y que reúne los trabajos de Benjamín Franklin. En este se describe cómo las botellas se cargaban por electricidad recogida de las nubes, a través de cometas que hacían volar en las tormentas y que conducían la electricidad hasta la botella por la cuerda mojada. Luego de la publicación de este libro y gracias a sus aportes a la física, Franklin fue nombrado como miembro de la Real Sociedad de Londres y otras importantes entidades académicas de Europa y Norte América (Gribbin, 2005). *Resulta importante hacer notar este suceso como un ejemplo de las comunicaciones existentes entre comunidades científicas, que da cuenta de cómo para esta época ya se compartían conocimientos entre Norteamérica y Europa.*

Dentro de las interpretaciones teóricas hechas por Franklin, él afirmaba que el fluido eléctrico era producido exclusivamente por la ausencia o exceso de electricidad vítrea, así, si un material tenía deficiencia de carga vítrea se le rotuló como cargado negativamente y el exceso de electricidad vítrea en un cuerpo se llamó como cargado positivamente. Aunque los planteamientos de Franklin no eran del todo correctos sobre la naturaleza del flujo eléctrico, si se mantuvo el nombre de positivo y negativo para la naturaleza y los tipos de carga.

Pero los fenómenos eléctricos no solo tenían lugar en los recintos privados o laboratorios de física, la magia de la electricidad se empezaba a mostrar en otros escenarios como la naturaleza. Tal fue el caso de un pez proveniente de África y Sudamérica, al que posteriormente se le llamó anguila eléctrica, debido a las descargas que producía cuando se tocaba la cabeza del pez y la parte inferior del cuerpo con una mano. El fenómeno empezó a interesar a físicos y biólogos por su comportamiento atípico, del cual hasta el momento solo se conocían efectos similares en las construcciones de fenómenos experimentales que se obtenían artificialmente con la botella de Leyden.

El efecto producido por el pez tomó definitivamente su tinte de eléctrico cuando se demostró que podía utilizarse para cargar la botella de Leyden. Este fenómeno llamó la atención al físico italiano Luigi Galvani que se interesaba por el estudio de la contracción muscular en las patas de las ranas. Galvani experimentaba colocando dos metales diferentes uno al nervio y otro al mus-

culo de la pata de la rana observando que la pata se contraía en cada contacto, cuando conoció del efecto de la descarga eléctrica de la anguila, inmediatamente lo asoció con los efectos obtenidos en su laboratorio (Kistner, 1934). *Este suceso muestra cómo en la historia también se han hecho relaciones erróneas de la física con otras áreas, y que en su momento se han tomado como válidos.*

El italiano Alessandro Volta físico y amigo de Galvani se dio a la tarea de reconstruir el experimento, al probar con diferentes partes de la rana demostró que la corriente eléctrica que causaba la contracción muscular en la pata de la rana no era un fenómeno como el de la anguila, de origen orgánico que producía electricidad, sino que se trataba de un suceso meramente inorgánico de circulación de electricidad a través de un tejido acuoso o cualquier cuerpo húmedo, debido al contacto entre este y dos metales diferentes conectados entre sí. Gracias a la cercanía con Galvani Volta llamó a este fenómeno galvanismo. Posteriormente realizó variaciones a la forma de las conexiones entre los dos metales acumulando mayor cantidad de ellos, generalmente cinc, cobre o hierro, que acondicionó hasta llegar a formas de discos; varió el medio entre ellos para ya no necesariamente separar los metales con tejido biológico, sino que utilizó solución salina, papel absorbente mojado o madera húmeda. Construye entonces lo que él bautizó como una fuerza electromotriz, llamada posteriormente la pila de Volta o pila voltaica (Guisasola, Montero y Fernández, 2005). Reconocida como la primera fuente de corriente eléctrica continua, prototipo base incluso de las pilas actuales. Presentada en 1800 por Volta ante la Royal Society en un manuscrito que describía su descubrimiento, lo que le presentó entre otras cosas una condecoración de Napoleón por su gran aporte a la ciencia de la época (Silver, 2005). *Este acontecimiento muestra cómo la historia puede ayudar a identificar relaciones de la física con otras disciplinas y formas de conocimiento, que en determinadas circunstancias se han validado al proporcionar explicaciones a comportamientos propios de la naturaleza.*

En otro ámbito de la era de la electricidad y en el estudio de fenómenos diferentes asociados igualmente a las cargas eléctricas se encuentran trabajos relevantes como el de Henry Cavendish en la década 1760. Cavendish hijo de un lord, vivía en Londres y se caracterizaba por ser un hombre bastante solitario, temeroso de las mujeres y apartado del mundo, inclusive de su servidumbre con la que se comunicaba por notas dejadas en la mesa. Consagrado a realizar experimentos de física y química, en su laboratorio particular, demostró experimentalmente la ley que describía el comportamiento del inverso al cuadrado de la distancia para los comportamientos de la fuerza eléctrica y gravitacional; y aunque la historia ha demostrado que Cavendish fue el primero que realizó trabajos en esta línea, no fueron conocidos durante su vida, porque solo publicó algunos trabajos sin importancia. Cien años después esta verdad salió a la luz cuando en 1879 James Cleark Maxwell dio a conocer en

una publicación dichos resultados, desconocidos hasta ese momento para este científico (Silver, 2005). Entre sus trabajos se encontraron además de las leyes de interacciones eléctricas y magnéticas, atribuidas por la historia a Coulomb, planteamientos en química del nivel de Lavoisier y su reconocida balanza para el estudio de las fuerzas gravitacionales que le sirvió de soporte para calcular experimentalmente el valor de la masa de la Tierra. *Este es un ejemplo de uno de los pocos trabajos aislados de científicos en la historia de la ciencia, que sin una adecuada interpretación podría contribuir en distorsionar la imagen de ciencia de los estudiantes, cuando se generalizan estos comportamientos y se asume que todos los científicos fueron genios solitarios.*

Charles Augustin de Coulomb publicó sus estudios entre 1785 y 1787, que explicaban el comportamiento de las fuerzas eléctricas en función del inverso al cuadrado de la distancia entre las cargas, similares a los de Cavendish que se conocieron casi un siglo después. Para estos desarrollos Coulomb construyó la balanza de torsión con el objetivo de medir fuerzas muy débiles, consistía en una varilla suspendida y equilibrada horizontalmente de un hilo, la varilla tenía dos esferas colocadas en cada extremo. A partir de una posición de equilibrio la varilla tiene la libertad de girar cuando una de sus esferas está cargada y se le acerca otro cuerpo cargado, y debido a la fuerza eléctrica que actúa sobre la esfera la varilla gira hasta que la torsión del hilo equilibre la fuerza ejercida sobre la esfera (Kistner, 1934). Coulomb encontró que el ángulo de rotación era proporcional a la fuerza, estableciendo que la fuerza eléctrica era directamente proporcional al producto de las cargas y como se mencionó anteriormente inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas (Furio, Guisasola & Zubimendi, 1998).

Hasta este momento los fenómenos eléctricos se habían estudiado a profundidad y los acontecimientos descritos anteriormente representan un recorrido que involucraba netamente los estudios en relación a lo eléctrico. Los experimentos y trabajos que comprendieron la parte magnética se desarrollaron generalmente en otros escenarios, con otros científicos reconocidos que fueron protagonistas de su avance. Aunque finalmente el avance histórico de la ciencia llevó a una construcción que unificaba la electricidad y el magnetismo.

Sobre el magnetismo y su carrera hacia el estatuto epistemológico del electromagnetismo

Existe el mito de que el magnetismo fue descubierto por los chinos en 3000 a. C. al encontrar las primeras piedras magnetizadas. Para la cultura occidental el magnetismo tiene sus primeros vestigios en el modelo Vitalista-Animista de Aristóteles (siglo IV a. C.), que mantuvo su vigencia hasta la Edad Media. Para

este modelo el magnetismo y los fenómenos magnéticos conocidos eran producidos por una “oculta cualidad magnética”; esta cualidad que poseían los imanes podía propagarse a través del espacio hasta ponerse en contacto con el hierro cercano, transfiriéndole una especie de poder que le confería movimiento propio y lo llevaba a unirse con el imán (Heilbron, 1979).

Este modelo animista aunque prevaleció por siglos presentaba deficiencias teóricas para explicar algunos sucesos, sus limitantes se debían principalmente a que la forma de ser abordado era netamente cualitativa pero con explicaciones poco rigurosas sobre fenómenos asociados a la interacción magnética. En esta dimensión las falencias de este modelo se caracterizaban principalmente en que no se identificaba ni se daba razón a la repulsión entre imanes, la polarización magnética no era abordada y la interpretación de las fuerzas gravitacional, eléctrica y magnética aún no tenía un modelo sólido de tal manera que no se distinguía su forma de actuar en los fenómenos de la naturaleza conocidos hasta el momento.

Las explicaciones y trabajos relacionados con el magnetismo desde las ideas aristotélicas permanecieron sin aportes sustanciales hasta el siglo XIII, cuando Santo Tomás perteneciente a la línea aristotélica agregó algunas explicaciones al modelo. Para este filósofo católico, fundador de la escuela tomista de teología y filosofía, la acción magnética estaba mediada por el “área de influencia del imán”, que hacía referencia a la región espacial cercana al imán donde los efectos magnéticos pueden causar el efecto de atracción al hierro, así que, si el metal se encuentra fuera de esta área de interacción magnética del imán no será atraído. También se reconoce a Santo Tomás por proponer una de las primeras explicaciones para aislar los efectos gravitacionales de los magnéticos, aunque de forma meramente cualitativa su intervención apuntaba a describir la caída de los cuerpos a partir de la no necesidad de un “área de influencia”, de tal forma que la caída de un objeto, puede producirse a cualquier distancia de la tierra y no requiere de una región específica de cercanía, algo así como una región de influencia de la Tierra, mientras que la atracción entre el hierro y el imán solo es posible si el hierro se encuentra en el “área de influencia del imán” (Almudí, 2002). *Se evidencia un apartado histórico donde predomina la visión empirista, basada en la mera observación.*

También en este siglo XIII se publica el tratado más antiguo de física del cual se tiene evidencia, que es adjudicado a un soldado del ejército de Carlos I de nombre Pedro de Maricourt conocido como Peter Peregrinus. En este trabajo Peregrinus desarrolló algunas construcciones experimentales con piedras de imán, que lo llevaron a configurar los polos de un imán, caracterizando las reglas de interacción entre ellos, según las cuales polos semejante se atraen y polos opuestos se repelen, la publicación de su trabajo fue dada a conocer en

el manuscrito *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad sygerum de foucaucourt mileton de Magnete* en 1269 (Gribbin, 2005). Se aprecia aquí la evidencia de comunicaciones científicas entre comunidades nacientes sobre un objeto de estudio común, el magnetismo, además este es un ejemplo que desmitifica una vez más la creencia sobre el hecho que los avances en la ciencia se debieron exclusivamente a genios científicos.

Epistemológicamente hablando este modelo considerado como una extensión del animista de Aristóteles, aún se caracterizaba por ser sencillamente cualitativo, al adjudicar las propiedades magnéticas a una particularidad inherente de los imanes, sin ahondar en descripciones que involucraran elementos externos a los imanes como agentes asociados al magnetismo. Esto originaba que hasta ese momento se desconociera cualquier modelización cuantitativa sobre el comportamiento del magnetismo o la fuerza magnética. A pesar que aún no se encontraba un marco teórico suficientemente elaborado en relación al magnetismo, los escritos de Peregrini se consideraban como el tratado más completo conocido hasta entonces en la Europa de este siglo, que demarcaba los referentes teóricos del cuerpo de conocimientos de Occidente sobre el magnetismo.

El proceso del cambio de pensamiento aristotélico que se empezó a dar en la Edad Media en distintos ámbitos de la ciencia, tuvo en el magnetismo sus primeros aportes a principios del siglo XVII con los trabajos de Willliam Gilbert, médico personal de la reina Isabel I y su sucesor Jacobo I; a pesar de ser médico las mayores contribuciones de Gilbert a la ciencia fueron en física, con detalladas investigaciones sobre magnetismo, gracias a su privilegiada posición económica que le permitió gastarse una gran fortuna en trabajos científicos que abarcaban estudios en física y química. Sus cuidadosos estudios de las interacciones magnéticas fueron publicados en 1600 en un libro titulado *De Magnete Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* (Sobre el magnetismo, los cuerpos magnéticos y el gran imán que es la Tierra) más conocido como *De Magnete*, que es considerada como la primera gran publicación en el campo de la física realizada en Inglaterra (Silver, 2005). En esta publicación y basado en el escrito de Peter Peregrinus, Gilbert llevó a cabo numerosos experimentos con piedras de imán, que consistían en observar el comportamiento de hilos metálicos alrededor de piedras de imán esféricas, encontrando que este fenómeno era similar al observado por las agujas de una brújula alrededor de la tierra, fenómeno que lo llevó, por primera vez, a plantear la teoría que la tierra se comportaba como una gran imán con los polos norte y sur orientados cerca de los polos geográficos. *Nuevamente aparece aquí un episodio donde se ratifica el hecho que algunos avances en la historia de la física no se debieron exclusivamente a físicos, teniendo en cuenta que la profesión de Gilbert era médico.*

Este comportamiento de la Tierra como un gran imán le dio cabida para que Gilbert propusiera adicionalmente al magnetismo y las fuerzas magnéticas como responsables del movimiento de los planetas alrededor del sol. Tales ideas no tuvieron gran acogida y fueron desechadas por completo medio siglo después, cuando Newton explicara estos movimientos a partir de La ley de gravitación universal, teoría que se construyó independiente por completo del magnetismo.

La obra de Gilbert contribuyó a darle un estatus científico más sofisticado al magnetismo, despojándolo de algunas creencias místicas que se le adjudicaban, como propiedades curativas o que las características magnéticas de un imán podrían activarse o desactivarse al frotarlo con algo. *Se identifican aquí nuevamente escenarios en que se relacionaban eventos de la física con otras formas de conocimientos, que en su momento eran válidos y generaban explicaciones satisfactorias para los seres humanos, al explicar comportamientos o conocimientos del sentido común.*

El aporte de este modelo tiene una importante trascendencia en las formas metodológicas del proceder científico, porque deja de lado la dinámica de análisis cualitativo del pensamiento vitalista-animista para pasar a un nuevo enfoque que detalla los criterios de evidencia empírica. Convirtiéndose en el primero en describir minuciosamente sus procedimientos experimentales, a tal punto que Galileo quien se inspirara en el libro De Magnete para desarrollar sus trabajos, calificará a Gilbert como el fundador del método científico experimental (Gribbin, 2005). *Aquí se refleja evidencias de la fuerza que tuvo en su momento el método científico, considerado por un largo tiempo como el generador de la actividad científica.*

Como un factor relevante en los aportes del trabajo de Gilbert relacionados con la configuración conceptual del campo de conocimientos del magnetismo, se distingue la separación de la electricidad del magnetismo, otorgándole a este último un estatus de ciencia. En el surgimiento de este nuevo campo de estudio como ciencia, ya para entonces quedaban sentadas las bases conceptuales de una distinción fenomenológica entre las interacciones eléctricas y magnéticas. Ahora a la Tierra se le adjudicaban propiedades magnéticas intrínsecas similares a los imanes que la ubicaban como un gran imán, y que una de esas propiedades (que posteriormente se conocería como “campo magnético”) decrecía con la distancia. Es importante tener en cuenta que este modelo aún no contaba con una caracterización de resultados cuantificable, además de carecer de una adecuada estructura fenomenológica para identificar, relacionar y describir elementos asociados al magnetismo (Almudí, 2002).

En 1820 Hans Christian Oersted que se desempeñaba como profesor en la Universidad de Copenhague conocía el trabajo adelantado por Volta y constru-

yó su propia pila con la que desarrollaba experimentos con sus alumnos. Los experimentos estudiados para esa época no mostraban que existiera algún tipo de relación entre la electricidad estática y los efectos magnéticos de los imanes, razón por la cual se interesó en estudiar qué sucedía con la electricidad que se movía. Luego de una brillante y accidental idea que se le ocurrió en el desarrollo de una clase, observó que al conectar un alambre a cada extremo de la pila de Volta y al colocar una aguja de brújula, que usualmente se orientaba en dirección norte sur, cerca del alambre, la aguja se orientó perpendicular al alambre. Asombrado en la soledad de su descubrimiento, porque los estudiantes no entendían lo sucedido (Gamow, 1987), realizó variaciones al montaje colocando aislantes de cartón entre el alambre y la brújula para verificar que el efecto no fuese producido por algún tipo de corriente de aire debida al calentamiento del cable por la circulación de electricidad; igualmente invirtió el sentido de la corriente y encontró que la brújula cambiaba también el sentido del giro ubicándose anti paralela al primer caso. *Este es un importante momento histórico en el que se hace presente uno de los cambios paradigmáticos de Kuhn, si se considera que por primera vez se relacionaba la electricidad con el magnetismo, hasta entonces separados.*

El 21 de julio de 1820 presentó su trabajo a la revista francesa *Annales de Chimie et de Physique*, que fue publicado a finales de ese año, con una gran acogida por parte de los editores, debido a lo detallado de sus explicaciones y la contundencia en sus resultados que relacionaban la electricidad y el magnetismo. La evidencia experimental demostraba ahora la existencia de “interacciones transversales” entre la corriente eléctrica y la brújula, distinto a la noción de “fuerzas centrales” que se confería hasta entonces para todas las acciones a distancia. Con el trabajo de Oersted en que una corriente podía conseguir el mismo efecto magnético que un imán, surgió lo que él llamó electromagnetismo. *Nuevamente se evidencia aquí la comunicación que ha existido entre comunidades científicas, como eje fundamental del contexto de justificación, donde se validan los resultados de la investigación científica.*

El experimento de Oersted tuvo eco en distintos lugares no solo de Europa sino de Norte América, en ese mismo año William Sturgeon soldado profesional de la artillería real inglesa enrolló alambre en una herradura haciendo pasar corriente por el alambre, creando el primer electroimán. Simultáneamente en Estados Unidos Joseph Henry realiza el mismo experimento pero con muchas más espiras logrando levantar una tonelada de hierro (Silver, 2005).

Francia también tuvo su protagonismo con trabajos inspirados en el naciente electromagnetismo, con el físico matemático André Marie Ampère, fundador de la electrodinámica y llamado por Maxwell el “Newton de la electricidad”, que amplió el estudio de la acción de una corriente sobre una brújula a la interacción entre las corrientes que circulan por dos alambres. En sus investi-

gaciones encontró que los alambres son atraídos uno al otro si las corrientes circulan paralelas en el mismo sentido o repelidos si las corrientes recorren los alambres paralelos en sentido contrario. Los experimentos de Ampère y sus interpretaciones proponían un modelo fundamentado en la acción a distancia con el cual explicaba la fuerza magnética que aparecía entre los alambres.

Ampère propuso un modelo para describir el comportamiento magnético de los imanes a partir de la existencia de corrientes circulares moleculares que formaban pequeños electroimanes dentro de los cuerpos magnetizados. Según este modelo, los cuerpos que no se magnetizaban se debía a que los electroimanes de sus moléculas estaban orientados al azar de tal forma que el resultado neto era igual a cero, mientras que en los cuerpos magnetizados los electroimanes moleculares están aproximadamente orientados en la misma dirección produciendo el efecto magnético neto de atracción o repulsión diferente de cero. La proximidad de este modelo con lo que sucede realmente a escala molecular, ha sido confirmada por los estudios recientes de la física del estado sólido. El trabajo de Ampère fue publicado en 1826 en un libro titulado *Theorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduit de l'expérience* (Teoría de los fenómenos electrodinámicos deducida únicamente de la experiencia) considerada por muchos como la mayor obra de física matemáticas desde los *Principia* de Newton (Holton, 1978). *Este es un ejemplo de la interpretación de los científicos a fenómenos que no eran posibles de observar, y que requirieron de construcciones teóricas puestas a prueba y sometidas a debate en comunicaciones científicas.*

Según Ampère la metodología utilizada en sus investigaciones estaba fundamentada en el método empírico-inductivo que recogía elementos importantes de las reglas inductivas de la filosofía natural propuestas por Newton. Pero la forma en cómo presentaba sus resultados revela que este modelo no era realmente la base metodológica que uso para sacar las conclusiones de sus teorías, de acuerdo con Kragh (1989), Ampère veía el modelo empírico como el ideal, al mismo tiempo que estaba muy bien acreditado debido a la gran reputación alcanzada por los trabajos de Newton. Al parecer Ampère quería hacer creer que seguía rigurosamente este método para asegurar una mayor credibilidad a sus trabajos. Duheim (citado por Kragh, 1989: 203) señala que el modelo de trabajo de Ampère no estaba acorde con las conclusiones inductivas que proponía, además la descripción que presentaba de sus experimentos era poco precisa y falta de detalles, incluso al final de su escrito Ampère reconoce no haber realizado algunos de los experimentos planteados. Según esto, el método usado por Ampère distaba bastante de la manera en como exponía sus resultados. *Se puede apreciar aquí la inherente necesidad de los cuestionamientos al método científico, teniendo en cuenta que no necesariamente fue el método seguido por todos en los avances de la ciencia.*

Sin embargo y pese a los considerables avances que el trabajo de Ampère aportó al electromagnetismo, aún este campo de conocimientos no se encontraba claro y algunos fenómenos aunque abordados por Ampère no tenían la suficiente profundidad para establecer modelos y teorías contundentes sobre su comportamiento. En este horizonte el trabajo de Ampère no era concluyente con su explicación sobre la instantaneidad de propagación de la interacción magnética, además la verificación de los experimentos para el caso de corrientes abiertas manifestaba un difícil problema de contrastación y no se tenía claridad de lo que representaba físicamente la intensidad eléctrica (Almudí, 2002), sin olvidar que la ventana hacia la inducción electromagnética, como se llamaría posteriormente, se encontraba todavía cerrada para la ciencia y el mundo de la física.

La llave de esta ventana, sobre la inducción electromagnética, aún no aparecía y solo fue hasta años después cuando el ingenio creativo de los experimentos de Michel Faraday lograra encontrarla para descifrar su cerradura. Faraday nació en Londres el 22 de septiembre de 1791, hijo de un herrero creció en un hogar muy pobre sin posibilidades de recibir una educación formal escolar y menos universitaria, a los trece años empezó a trabajar como mensajero y posteriormente como operario de encuadernación con George Riebeau, un pequeño librero que tenía un taller cerca de la casa de Faraday. Su interés por la ciencia se vio enriquecido por el acceso con el que contaba a todos los libros que llevaban a encuadernar, interesándose particularmente por los de divulgación científica como la *Enciclopedia Británica* (Gamow, 1987).

Su primera incursión en asuntos científicos, fuera de la librería y gracias al patrocinio de su hermano Robert, se debió al hacerse miembro de la City Philosophical Society una pequeña sociedad de jóvenes autodidactas que se reunían a discutir los descubrimientos científicos recientes. Su pasión por los eventos científicos empezó a mostrar evidencias cuando él mismo empastó y reunió en cuatro volúmenes la recopilación meticulosa de sus primeros experimentos sobre electricidad y las notas de sus debates en la sociedad. Uno de sus clientes impresionado por el notable interés de Faraday en los asuntos científicos le regaló entradas para asistir a las conferencias de química que dictaba Humphry Davy en la Royal Institution (RI) para la primavera de 1812. Al igual que hizo con los debates de la sociedad Faraday transcribió minuciosamente las conferencias encuadernándolas en un libro, que luego de un acercamiento con Davy en su laboratorio, se las envió con una carta en la que le solicitaba ansiosamente le tuviera en cuenta para algún empleo en la RI. Con la fortuna que a principios de 1813 el ayudante del laboratorio de la RI fue despedido, por borracho, Davy ofrece entonces a Faraday el cargo, convirtiéndolo inicialmente en su auxiliar y seis meses después se lo lleva como ayudante científico en un recorrido por Europa durante año y medio. Esta gran experiencia le sirvió a Fa-

raday no solo para conocer científicos de diferentes países y aprender francés e italiano, sino que pasó de ser ayudante a colaborador científico, lo que le sirvió para retornar a su trabajo en la RI, pero ahora como director de mantenimiento y luego del retiro de Davy ocupar su lugar. *Se presenta en este apartado de Faraday un interesante aporte desde la perspectiva social de la ciencia y del contexto en que ésta se desarrolló, que abordado más profundamente podría contribuir a ahondar en el quehacer científico y la influencia que en su trabajo tuvo el entorno y el momento histórico.*

Cuando tenía 30 años de edad en 1821, sin ser reconocido aún en el ámbito científico, empezó sus primeros trabajos en electricidad y escribió un informe histórico sobre el trabajo de Oersted por solicitud de la revista *Annals of Philosophy*, para este fin tuvo que replicar los experimentos, y a partir de ellos diseñó un experimento para demostrar que un cable por el que circula una corriente tiende a moverse en círculo alrededor de un imán, al igual que un imán se mueve alrededor de un alambre por el que circula una corriente. Fenómeno conocido como “rotaciones electromagnéticas”, este descubrimiento sirvió como fundamento para el motor eléctrico. Luego de esta publicación el nombre de Faraday empezó a tomar posición en Europa, a tal punto que en 1824 fue nombrado miembro de la Royal Society (Gribbin, 2005).

Durante el tiempo restante de esa década, los trabajos de Faraday en electricidad no fueron relevantes, aparte de algunas notas sin importancia y su notable ascenso dentro de la RI, que lo llevó a convertirse en director del laboratorio. Solo fue hasta 1831 que retoma sus trabajos relacionados con electricidad y magnetismo. Planteando la ley de inducción magnética, al crear una corriente eléctrica al hacer variar la intensidad del campo magnético en el interior de una espira de alambre (un imán en movimiento entrando y saliendo de la espira, que dio lugar al principio de una bobina de inducción). Propone además, que se encuentra el mismo fenómeno si hace circular la corriente sobre una primera bobina lo cual genera un cambio en la corriente de una segunda bobina, (lo que dio lugar al principio del transformador). Estos impresionantes descubrimientos adjudicados al genio y gran habilidad experimental de Faraday, hicieron evidente que podía producirse una corriente eléctrica debido a un cambio de otra corriente o al cambio en la posición de un imán. *Nuevamente se hace evidente aquí, uno de los cambios de paradigma que trascendieron el desarrollo de la física y que contribuyeron de forma contundente al avance de la ciencia y los desarrollos tecnológicos que han sacudido el mundo, con la generación de magnetismo a partir de electricidad y viceversa.*

De nuevo Joseph Henry, quien ya trabajaba con electroimanes, descubre efectos similares en Estados Unidos, pero al demorarse en publicarlos son atribuidos a la genialidad de Faraday. Posteriormente Faraday propone la idea de campo y fuerzas de interacción a distancia, para él la idea de acción a distancia no era suficiente explicación para describir el comportamiento de los efectos

que el magnetismo, la electricidad y la gravedad ocasionaban en diferentes cuerpos. Faraday imaginaba que esta interacción requería que el espacio intermedio estuviese lleno de “algo”, inicialmente propone que debería existir algo similar a tubos de caucho, que se ubican entre dos cargas o entre los polos contrarios de los imanes y tira de ellos para atraerlos; para hacer una analogía propuso que esos tubos deberían ir en la misma dirección en que se ubican los trozos de limadura de hierro alrededor de un imán. Estas primeras aproximaciones de Faraday se consolidarían posteriormente bajo la idea que más que ese “algo” que ejercía fuerza debería existir un agente más complejo, surge entonces la idea de *campo de fuerzas* (Schurmann, 1946; Gamow, 1987). *Se evidencia en este suceso histórico, un ejemplo de construcciones teóricas al margen del método científico, que planteaban estructuras conceptuales que generaron cambios paradigmáticos en la física, al construir modelos contrarios a los que se proponían por la observación.*

La trascendencia de las ideas de Faraday, obedecen a su fundamental aporte de explicar las interacciones desde la teoría de campo, remplazando la noción Newtoniana de acción a distancia. Comparable con los cambios paradigmáticos cruciales de la física que trajeron consigo la Mecánica Clásica de Newton, la Relatividad de Einstein y la Mecánica Cuántica de Heisenberg, de Broglie, Schrödinger, Planck, Dirac y otros (Holton, 1978; Eisberg, 1997). Con este nuevo modelo se proponía además de un cambio científico (Kitcher, 2001), un cambio filosófico profundo sobre la manera de concebir los esquemas explicativos. Faraday buscaba comprender los fenómenos eléctrico y magnético en términos de líneas de fuerza, que son producidas por los cuerpos cargados o magnetizados interactuando con el espacio que los rodea, mientras que los teóricos de la época la concebían, en el caso de la electricidad, como fluidos eléctricos que actuaban a la distancia.

Este modelo de campo de Faraday, al igual que las explicaciones de la rotación electromagnética e inducción magnética, no dependían de las teorías existentes y se caracterizaban por ser verificables experimentalmente, lo cual las posicionaba como neutrales respecto a las teorías. Esto sentó como precedente, debido a las evidencias experimentales, que irremediamente todas las teorías existentes estaban obligadas a tomar en cuenta estos nuevos modelos explicativos (Chalmers, 1988). *Se evidencia aquí un buen ejemplo de las polémicas necesarias en las construcciones teóricas científicas, las cuales debieron abrirse paso entre posturas tradicionales positivistas, que se arraigaban en el método científico, en el que prevalecía la observación sobre la construcción teórica.*

No obstante los modelos explicativos de Faraday presentaban carencias en relación a: la falta de modelización matemática; el desconocimiento de la concepción sobre intensidad de corriente que llevó a Faraday a no tener claridad en la estructura de la electricidad, aunque tampoco se casaba con la idea de

los fluidos eléctricos predominante para la época; además el modelo no aborda explicaciones sobre la fenomenología por la que las fuerzas se propagan (Almudí, 2002).

Faraday soñaba con una teoría que debería unificar la luz, la electricidad y el magnetismo, que tuvo que esperar casi 50 años para que la pudiera ver cumplida, cuando Maxwell lograra transcribir en lenguaje matemático los descubrimientos más importantes del electromagnetismo que habían surgido a principios de este siglo.

James Clerk Maxwell (1831-1879), quien naciera el mismo año que Faraday publicara sus resultados, contaba con una prodigiosa habilidad matemática, contrario a Faraday, debido a que logró contar con una educación formal y graduarse de la Universidad de Cambridge. En 1873 presentó su libro *Electricity and Magnetism* en el que formuló en términos matemáticos los planteamientos físicos de Oersted, Amper y Faraday construyendo los modelos matemáticos que describen la teoría electromagnética.

La unificación electromagnética de Maxwell establece matemáticamente la formalización de las relaciones halladas experimentalmente, para explicar cómo el cambio de los campos magnéticos inducen fuerzas electromotrices y por consiguiente corrientes eléctricas. De manera similar matematiza cómo los campos eléctricos y las corrientes eléctricas variables en el tiempo generan campos magnéticos. Estas relaciones matemáticas se establecieron en las llamadas ecuaciones de Maxwell y relacionan el valor del cambio del campo magnético con la distribución espacial del campo eléctrico y viceversa. A través de estas ecuaciones también se logró construir el modelo que describe cómo los campos electromagnéticos oscilantes en el tiempo se pueden propagar en forma de ondas que transportan energía, las mismas que poco tiempo después se lograría, luego de la teoría corpuscular y ondulatoria, asociar con la luz y demás ondas electromagnéticas, constituyéndose en uno de los fenómenos físicos que dieron origen al surgimiento de la Mecánica Cuántica. *Es importante verificar que este apartado histórico, muestra cómo a pesar de la trascendencia e imponencia del trabajo de Maxwell, éste no puede ser visto como el trabajo de un solo genio, porque se debe tener en cuenta que el mismo se basó en la organización matemática de las contribuciones realizadas por los grandes aportes de Oersted, Amper, Faraday y otros.*

Reflexiones Finales

Quando se enseñan las ciencias desde una perspectiva social, se enseña una ciencia más enriquecedora, por ser más consistente con lo que hacen las personas al desmitificar el rol del científico. Teniendo en cuenta que las consi-

deraciones históricas en detalle muestran no solamente aspectos intrínsecos conceptuales, sino que alimentan lo contextual con las polémicas que genera una nueva teoría, no solamente en ámbitos teóricos o disciplinares sino del entorno político y social que rodeó a los autores de una determinada construcción científica. El hacer evidente el carácter social permite enseñar una ciencia mucho más enriquecedora, más consistente con lo que realmente se hace, menos mítica y menos distante, como plantearía Novak, así la historia ayudaría a enseñar una ciencia conceptualmente transparente.

De acuerdo a lo discutido, diversos autores han dado claros debates sobre la pertinencia o no de la inclusión de la HFC en la enseñanza de las ciencias. Y particularmente en este texto se deja una clara evidencia de la postura que defiende la importancia de considerar la historia de las ciencias para lograr aclaraciones y precisiones conceptuales indispensables en la comprensión de las componentes sociales de la ciencia, como un elemento clave para que el profesor pueda enseñar una ciencia que se aleja de presentar conceptos para que el estudiante los entienda como algo acabado, sino que por el contrario se busca llevarlo a la idea de un proceso más enfocado a una perspectiva que se interesa por entender cómo se produce el conocimiento científico y cómo se desarrolla.

En lo relacionado a las implicaciones didácticas de la inclusión de HFC en la enseñanza de las ciencias, es importante mencionar que algunas cosas clave que un profesor puede reflexionar y argumentar con los estudiantes gira entorno a una discusión crítica sobre la ciencia, cuando ésta es presentada desde una perspectiva apoyada en historia de la ciencia. Sería muy útil que el profesor muestre una ciencia que se desarrolló en términos de polémicas, porque habitualmente los estudiantes piensan la ciencia como una producción de expertos que una vez se produce, ya se asume como una interpretación correcta del mundo, la cual deja de lado la discusión y únicamente hay que repetir y usar lo que el experto ha planteado.

Uno de los aportes del uso de la HFC, es que podría ayudar a superar las perspectivas inductivistas y positivistas de la ciencia. Si se considera que puede contribuir a derribar las concepciones que plantean que el conocimiento está en el mundo, que es el conocimiento verdadero y que lo que han hecho los científicos, a través de la historia, es descubrir esas grandes verdades preestablecidas por la naturaleza, simplemente a partir de observarla cuidadosamente. Para luego de manera inductiva generalizar estas observaciones hasta que lleguen a construir teorías, que luego se comprueban cuando se deducen aplicaciones desde dichas teorías, para mostrar que lo que se hizo por la deducción a partir de teorías coincide con lo que se observó a partir de la inducción, y de esta manera ratificar el método científico.

Se evidencia cómo una ambición inminente en la didáctica de las ciencias, es cambiar la imagen sociológica habitual que se tiene del conocimiento científico. Cuando se entiende como el producto del trabajo independiente de una elite de personas que en algún lugar del mundo plantean una producción científica y ésta es asumida sin objeción por el resto del mundo. En esta dirección, habría que mostrar que desde la antigüedad las personas interesadas por comprender el mundo, por estudiarlo, por pensarlo han conversado entre sí, generando algún tipo de comunicación (ágoras, foros, escritos, comunidades, congresos, etc.), para estar en contacto y plantear sus desarrollos en comunidades abiertas y algunas cerradas. Así, siempre la ciencia ha sido el producto de trabajos colectivos donde la polémica es parte importante, a partir de los apoyos y complementos de unos y otros. De tal manera que esto se ha visto reflejado en las necesidades de las comunidades por poseer espacios de divulgación para tener sus propias publicaciones, lo que derivó en la aparición de revistas especializadas y eventos académicos, para socializar y defender sus tesis o para atacar posturas contrarias.

Finalmente resulta ineludible denotar la naturaleza dinámica y cambiante del conocimiento científico de la ciencia a través de la historia. Que de acuerdo con autores como Kuhn (1970), a lo largo de la historia, las ideas científicas dominan el conocimiento hasta ser sustituidas por otras, de esta manera la estructura del avance en los desarrollos científicos, se ha dado en términos de paradigmas. Así un paradigma se mantiene hasta el surgimiento de uno nuevo que reemplace el anterior. Por esta razón el progreso científico no es acumulativo, de menor a mayor conocimiento o como se proponía en la mirada positivista, de lo teológico a lo metafísico a lo positivo. El verdadero progreso científico se da cuando se producen saltos en las concepciones y se presenta una revolución científica, es decir un cambio en la mirada de cómo se concibe un determinado conocimiento, un cambio de paradigma.

Este capítulo se enfocó en el caso del recorrido histórico del electromagnetismo, con el ánimo de mostrar la interpretación de algunos aspectos didácticos relevantes sobre el camino seguido a lo largo de la historia, en la construcción de conocimientos de este ámbito de la física, a través de una trama de sucesos teóricos y experimentales que no fueron producidos solamente por observar el mundo, sino que se dieron por la generación de polémicas construcciones teóricas, que demostrarían que el famoso método donde se plantea que el conocimiento surge a partir de lo que se observa quedaría reducido a poco. Teniendo en cuenta que era muy difícil tratar de explicar algo a partir de la observación, en situaciones o fenómenos que no permitían abiertamente la interacción con el fenómeno y que fueron producto de construcciones conceptuales a partir de modelos físicos elaborados para dar explicación a comportamientos de la naturaleza, como por ejemplo, la interpretación de los electrones como uni-

dades de carga o el modelo de las líneas de fuerza y los campos para explicar las interacciones eléctricas y magnéticas producidas entre cargas eléctricas, fuentes de campo y corrientes eléctricas.

Como una de las pretensiones de esta apuesta didáctica en la que se fundamenta este texto, se busca la utilización de la historia como una herramienta para generar reflexiones alrededor de la construcción del conocimiento, que ayuden a cambiar esa imagen positivista del conocimiento científico de la física.

Bibliografía

Almudí, J. M. (2002). "Campos magnéticos producidos por cargas móviles: dificultades de aprendizaje y propuesta constructivista de enseñanza en primer curso universitario de física general". Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco.

Association For Science Education (1963). *The Training of Graduate Science Teachers*. ASE. Hatfield, Herts.

Chalmers, A. F. (1988). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Argentina: Siglo XXI Editores.

Cohen, L. & Manion, L. (1990). *Métodos de investigación educativa*. Madrid: La Muralla.

Conant, J. B. (1957). *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Harvard University Press Cambridge.

Duschl, R. (1994). Research on the history and philosophy of science. En: D. L. Gabel. (ed) *Handbook of Research on Science Teaching*, pp. 443-465. New York: Macmillan.

Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Ed. Narcea.

Einstein, A & Infeld, L. (1986). *La evolución de la física*. Barcelona: Salvat.

Eisberg, R. & Resnick, R. (1997). *Física Cuántica*. México: Ed. Limusa.

Fernández, G. M. (2000). Fundamentos Históricos. En: Perales, P. F. J. & Cañal de León, P. *Didáctica de las ciencias experimentales*, pp. 65-83. Alcoy: Marfil.

Fraser, B. & Tobin, K. G. (1998). *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publisher.

Furio, C., Guisasaola, J. & Zubimendi, J. L. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la Interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos Considerados elementales. *Investigações em ensino de ciências*. V (3), pp. 165-188.

Gabel, D. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: MacMillan Pub.

- Gamow, G. (1987). *Biografía de la Física*. Barcelona: Salvat.
- Gagliardi, R. & Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), pp. 253-259.
- García, A. E. G. (1998). El papel de la historia en la organización del fenómeno eléctrico. En: *El papel de la historia en la organización del fenómeno eléctrico desde una perspectiva de campos*. Brasil: Universidad Federal Do Rio Do Janeiro.
- García, M. A. (2009) Aportes de la historia de las ciencias al desarrollo profesional de profesores de química. Tesis doctoral. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- García, A. E. G. (2011). Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje. Aporte Histórico y filosófico en la física de campos. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Gil, D. (1993). Contribución de la Historia y la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), pp.197-212.
- Gribbin, J. (2005). *Historia de la Ciencia 1543-2000*. Barcelona: Crítica.
- Guisasola, J., Almudi, J.M. & Ceberio, M. (2003). Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección, *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (2), pp. 281-293.
- Guisasola, J., Montero, A & Fernández, M. (2005). Concepciones de futuros profesores de ciencias Sobre un concepto «olvidado» en la enseñanza De la electricidad: la fuerza electromotriz. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), pp. 47-60
- Heilbron, J. L., (1979). *Electricity in the 17th and 18th centuries. A study of early modern Physics*. University of California Press, California.
- Holton, G. (1978): *Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias Físicas*. Reverté, Barcelona.
- Hottecke, D., Henke, A. & Riess, F. (2010). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Sci & Educ*. DOI 10.1007/s11191-010-9330-3.
- Izquierdo, M. (1994). Como contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia la enseñanza de las ciencias. *Aula de Innovation Educativa*, 27, pp. 37-41.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos Epistemológicos. En Perales, P. F. J. & Cañal de León, P. *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy: Marfil, pp. 35-64.
- Izquierdo, M. Auduriz-Bravo y Quintanilla M. (2007) Discusión en torno a un modelo para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias. En *Investigar en la enseñanza de la química, nuevos horizontes; contextualizar y modelizar*. Barcelona: Editorial UAB.
- Kragh, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Editorial Crítica.

- Kistner, A. (1934). *Historia de la Física*. Barcelona-Buenos Aires: Editorial Labor.
- Kitcher, P. (2001). *El avance de la ciencia*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kuhn, T. S. (1970). *La estructura de las revoluciones científicas*. 2ª ed. Chicago: University of Chicago Press.
- Martínez, M. (2006). *Ciencia y arte en la metodología cualitativa*. México: Trillas.
- Matthews, M.R. (1990). History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement, *Studies in Science Education*, 18, pp. 25-51.
- Matthews, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*. 11-12, pp. 141-155.
- Matthews, M.R. (1994). Historia, Filosofía Y Enseñanza De Las Ciencias: La Aproximación Actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), pp. 255-277.
- Matthews, M.R. (1998a) *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. Rutledge. New York.
- Matthews, M.R. (1998b). The nature of science and science teaching. En Fraser, B. & Tobin, K. G. *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publisher, pp. 981-999.
- MCdermott, L.C. (1990). A perspective on teacher preparation in physics-other sciences: the need for special science courses for teachers, *American Journal of Physics*, 58 (8), pp.734-742.
- Mellado, V. & Carracedo, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), pp. 331-339.
- Roberts, D. A. & Russell T. (1975). An alternative approach to science education research: Dra-wing from philosophical analysis to examine practice. *Curriculum Theory Network*, 5, pp. 107-125.
- Schurmann, P. F. (1946) *Historia de la física*. 2a. ed. Tomo II. Buenos Aires: Nova.
- Silver, B. L. (2005). *El ascenso de la Ciencia*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Solbes, J. & Traver, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (I), pp. 103-112.
- Solbes, J. & Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp. 151-162.
- Zapata, P. J & Mosquera, S. C. J. (2012). Implicaciones para el cambio didáctico en profesores de física: el papel del contexto histórico y profesional. *Revista EDUCyT*; Vol. Extraordinario. Diciembre, pp.169-185.