



EL USO DE LA HISTORIA DE LAS CIENCIAS EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA: UNA APLICACIÓN PARA EL ELECTROMAGNETISMO

Using history of science in physics teaching: an application for electromagnetism

María Andrea Perea¹
Laura María Buteler²

Cómo Citar este artículo: Perea, M.A, y Buteler, L.M. (2016). El uso de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física: una aplicación para el electromagnetismo. *Góndola, Enseñ Aprend Cienc*, 11(1), 12-25. doi: 10.14483/udistrital.jour.gdla.2016.v11n1.a1

Recibido: 21 de abril 2015 / Aceptado: 20 de abril de 2016

Resumen

Este trabajo es un análisis documental de propuestas para el uso de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de la física. Estas propuestas fueron categorizadas de acuerdo a las finalidades que persiguen: evocar descubrimientos, resaltar la dimensión humana de las ciencias mediante el aporte de grandes científicos, enseñar los procesos científicos, detectar las preconcepciones de los estudiantes para enseñar conceptos y destacar las bases socio-culturales tanto de las ideas como de la investigación científica. Discutimos por qué consideramos que éste último enfoque engloba a los demás y elaboramos lineamientos generales para la incorporación de la historia de la ciencia en para el tratamiento del concepto de campo electromagnético. Nuestra propuesta se enfoca en la controversia entre “Acción a distancia” vs. “Campo”, y está elaborada en base a experimentos cruciales realizados por Heinrich Hertz.

Palabras claves: historia de las ciencias, enseñanza de las ciencias, campo electromagnético, enfoque socio-cultural.

-
1. Instituto de Física Enrique Gaviola. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba. andraperea77@gmail.com.
 2. Instituto de Física Enrique Gaviola. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba. lbuteler@famaf.unc.edu.ar.

Abstract

This work is a documentary analysis of proposals for using History of Science in physics teaching. We categorized these proposals according to aims they pursue: to evoke discoveries, to highlight human aspects of science through contributions of renamed scientists, to teach scientific construction processes, to detect students' preconceptions in order to teach concepts and to highlight socio-cultural bases of both, ideas and scientific research. We discuss why we consider that this last approach encompasses the others, and we elaborated general guidelines for incorporation of the history of science in the treatment of electromagnetic field concept. Our proposal focuses on the controversy between "action at a distance" vs "field", and is based on crucial experiments by Heinrich Hertz.

Keywords: history of science, science teaching, electromagnetic field, socio-cultural approach.

Introducción

Debido a la creciente desmotivación por parte de los estudiantes de nivel secundario los docentes debemos diseñar permanentemente estrategias didácticas para lograr captar su atención, en primer lugar, y provocar así condiciones favorables para el aprendizaje. Una adecuada implementación de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física permitiría a los docentes no solo motivar a sus estudiantes, sino también facilitar a los mismos una comprensión más profunda de los contenidos, de los procesos de la ciencia, de los factores que influyen en el desarrollo de las investigaciones científicas (económicos, sociales, culturales, morales, etc.) y de la dimensión humana de la misma. Hoy existe suficiente consenso entre la comunidad de educadores e investigadores en la educación científica de que sería imposible que los estudiantes se apropiaran de una visión dinámica y humana de la ciencia sin incorporar la historia de la misma en el diseño curricular

La historia de las ciencias ha adquirido cada vez más importancia en la enseñanza de diversas áreas del conocimiento científico. Si bien esto es

aceptado tanto por educadores como por científicos e historiadores, es probable que le den significados muy diferentes entre sí y que existan grandes controversias al respecto.

Por ejemplo, S. G. Brush (1989) afirma que el significado que los educadores dan a la historia de las ciencias muchas veces difiere de lo que los filósofos e historiadores piensan. Dicho autor menciona en su artículo el caso de un material educativo en el que se critica el uso de la historia de las ciencias en la enseñanza, alegando que termina resultando monótono el hecho de repetir uno a uno todos los procesos de los científicos y realizar solo algunas pocas demostraciones.

Acordamos con L. M. Iparraguirre (2007) en que más allá de las probables controversias es indiscutible que mientras se considere favorable plantear los contenidos para la enseñanza con cierto grado de problematización la historia de las ciencias resulta ser una especie de espacio ideal. En ella podemos hallar a los conceptos, de una manera más directa, cuando estos están emergiendo de los mismos problemas que les dieron origen.

Además, en los mismos diseños curriculares de la escuela secundaria y en de los profesorados de ciencias, la historia de las ciencias aparece como un contenido transversal a los contenidos disciplinares. A modo de ejemplo, podemos citar el diseño curricular de educación secundaria de la Provincia de Córdoba (período 2012-2015), en particular al correspondiente a la orientación Ciencias Naturales. En este se establece que una de finalidades formativas de la física como espacio curricular consiste en:

[...] promover el reconocimiento y la valoración de los aportes de la Física a la sociedad a lo largo de la historia, comprendiendo el conocimiento físico como una construcción histórico-social de carácter provisorio que permite el desarrollo de una posición crítica, ética y constructiva en relación con el avance de conocimientos científicos - tecnológicos y su impacto sobre la calidad de vida. (Bono, L. C., Diseño curricular de Educación Secundaria, tomo 4, pág. 92).

Entonces, como existen tanto requerimientos curriculares para introducir la historia de las ciencias en la enseñanza como numerosas posiciones a favor de su implementación (ya sea la de los propios docentes, los investigadores o los historiadores), consideramos pertinente sugerir ciertos lineamientos que permitan diseñar una propuesta didáctica adecuada para ello. Inicialmente, realizamos una revisión bibliográfica de propuestas ya existentes, prestando especial atención a sus fundamentos, objetivos, metodologías y resultados obtenidos (para el caso en las que se conoce que han sido aplicadas en la práctica).

La historia como herramienta para la enseñanza de las ciencias. Una revisión

La importancia que ha adquirido el uso de la historia de las ciencias en el aula se ha visto reflejada por la diversidad de formas en la que se la ha aplicado: como una introducción para algún tema o concepto en particular, como un criterio a partir del cual se

organiza la unidad didáctica, a manera de ilustración de un contenido, como una forma de motivar a los estudiantes, a modo de temática que sea objeto de una investigación bibliográfica, como generador de discusiones sobre las teorías científicas y facilitar así la comprensión de la evolución de un concepto científico, para analizar la forma de construcción de la ciencia, para detectar las preconcepciones de los estudiantes, entre otras.

A continuación, presentamos una categorización que agrupa a varias de las distintas investigaciones y aplicaciones que, en distintas partes del mundo, se han realizado hasta el momento sobre el uso de la historia de las ciencias en la enseñanza. Dicha categorización ha sido elaborada considerando los fines que cada propuesta persigue, sin embargo, cabe aclarar que algunos de los trabajos citados corresponderían a más de una de las categorías, aunque se los ha colocado en la que consideramos que más se destacaba.

Evocar descubrimientos y resaltar la dimensión humana de las ciencias mediante el aporte de grandes científicos

Probablemente el uso más común de la historia de las ciencias en la enseñanza tiene como objetivo remarcar algunos descubrimientos históricos y a grandes científicos. A partir de este enfoque la ciencia cobra una imagen más humana, pues se conectan conocimientos científicos con nombres específicos, rostros, épocas y lugares. El mito, la biografía, la leyenda y, sobre todo, la anécdota, son los recursos que usualmente utilizan los profesores para incluir la historia de las ciencias en sus clases.

Un ejemplo de esto es el trabajo realizado por F. Martínez Navarro y E. Repetto Jiménez (2002a) en el cual proponen presentar los contenidos a partir de las figuras de los científicos que los desarrollaron, mediante sus biografías. Ellos consideran que así se pone de manifiesto la dimensión humana de la ciencia.

Otra propuesta que corresponde a esta categoría es la presentada por M. Delgado Bermejo et al. (2002) a través de la cual se pretende colaborar en la recuperación del papel que desempeñaron, las mujeres en la ciencia y en la tecnología a lo largo de las diferentes épocas históricas e introducirlas en las actividades planificadas para ser implementadas en el aula. En particular, los autores citan a algunas científicas, además de Marie Curie, que han recibido el premio Nobel como por ejemplo Rosalyn Yallow (fisiología o medicina, 1977) y Dorothy Crowfoot Hodgkin (química, 1964); y a otras que a pesar de no haber sido premiadas se han destacado por sus contribuciones a la ciencia como Lise Meitner (física) y Marie Lavoisier (química).

Enseñar los procesos de las ciencias

J. Solbes y M. J. Traver (1996) estudiaron el uso de la historia de las ciencias en la enseñanza y a partir de allí propusieron una metodología a la cual se podrían adherir los profesores de ciencias. Su propuesta consiste en tratar de clarificar qué papeles puede jugar la historia de las ciencias en la enseñanza de las mismas, de acuerdo con el *modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación*, y elaborar así materiales didácticos coherentes con la propuesta. Los autores sugieren elaborar y someter a análisis a un gran y variado catálogo de actividades de claro contenido y enfoque histórico destinados al trabajo en el aula. Su intención no es solo que los docentes lo utilicen como material complementario, sino también como parte sustancial del hilo conductor de los contenidos abordados en la enseñanza de las ciencias.

En una línea similar, F. Martínez Navarro y E. Repetto Jiménez (2002b) han sugerido una metodología que consiste en organizar los contenidos de manera tal que involucren a la naturaleza de las ciencias y la del trabajo científico, así como también las aplicaciones de las ciencias y las implicaciones sociales de las mismas. Esto permitiría construir un cuerpo coherente de conocimientos y fomentaría

tanto la familiarización con la metodología científica como las actitudes positivas hacia las ciencias y su aprendizaje.

V. Guridi e I. Arriaseq (2004) apuntan más bien a tratar de lograr que los estudiantes sean más conscientes de los contenidos que se abordan, es decir, comprender lo que el concepto significa, por qué y cómo surgió, en qué condiciones, entre otros. Las autoras sostienen que de esta manera se los podría incorporar en forma funcional en las clases y no solo cuando el tema "se preste para esto". Sugieren una planificación en la cual la historia de las ciencias y la física interactúen permanentemente. Uno de los principales objetivos para incorporar la historia de las ciencias en la enseñanza consiste en poner en contacto a los estudiantes con una visión contextualizada de la física. Las autoras consideran que, de esta manera, se pueden erradicar las visiones *simplistas* y utópicas que pueden tener nuestros estudiantes sobre la metodología científica. La propuesta concreta que estas presentan pretende *reconstruir* cómo se fue dando la evolución histórica en lo que respecta a los modelos atómicos, comenzando con el descubrimiento de las primeras partículas subatómicas y continuando así hasta el modelo atómico postulado por Bohr.

L. M. Iparraguirre (2007) considera que no es conveniente que los estudiantes se acostumbren a aprender solo los conceptos aislados, desvinculados del proceso por el cuál surgieron o de las aplicaciones concretas que estos puedan tener. Por ello, el autor considera relevante que estos estén en contacto tanto con los problemas que originaron aparición del concepto como con los distintos procesos que se llevaron a cabo durante la búsqueda de una solución. Básicamente, L. M. Iparraguirre (2007) pretende de esta manera promover aprendizajes activos y problematizadores. Su propuesta concreta corresponde a conceptos de la óptica. Introduce elementos históricos, con el fin de orientar la evolución de los distintos conceptos tratados en la clase, teniendo siempre en mente cómo fue dicha evolución a lo largo de la historia.

En estos trabajos se destaca por sobre todo el uso de la historia de las ciencias para enseñar ciencias y concientizar al mismo tiempo a los estudiantes sobre lo que es y lo que significa la metodología de investigación científica, cómo son los procesos de la ciencia, la no-linealidad de los mismos, cómo va evolucionando el conocimiento, etc.

Detectar las preconcepciones de los estudiantes y enseñar conceptos

Como resultado del estudio de las preconcepciones de los estudiantes, se han descubierto algunos paralelismos entre las ideas de los estudiantes y las de los científicos del pasado (Bizzo, N. M. V., 1993). Por lo tanto, se considera que abordar la historia, incluyendo argumentaciones de teorías competitivas contra ciertas visiones, puede facilitar la reconsideración de las preconcepciones y superarlas, usando los materiales históricos como un soporte necesario. Sin embargo, cabe mencionar que J. Piaget y R. García (1987; citado en Bizzo, N. M. V., 1993), quienes supuestamente fueron los principales precursores de la exploración sobre estos paralelismos entre la construcción del conocimiento a lo largo de la historia de la humanidad y en la mente del estudiante, fueron muy cautelosos en abordar la cuestión. Dicho en sus palabras:

[...] este objetivo no es, en modo alguno, poner en correspondencia las sucesiones de la naturaleza histórica con aquellas que revelan los análisis psicogenéticos, destacando los contenidos. Se trata por el contrario, de un objetivo enteramente diferente: mostrar que los mecanismos de pasaje de un período histórico al siguiente son análogos a los del pasaje de un estadio psicogenético al siguiente. (Piaget, J; García, R., 1982, pg. 33)

Como un caso particular correspondiente a la detección de preconcepciones, podemos mencionar la posición de M. R. Matthews (1989) al respecto. Dicho autor sostiene que:

La comprensión de los obstáculos para el desarrollo de la historia de la ciencia puede en cierta medida arrojar luz sobre los problemas en el aprendizaje individual... Lo que se sugiere es que la historia de la ciencia nos permite comprender mejor lo que son las concepciones actuales, y que el conocimiento de los "obstáculos epistemológicos" en el desarrollo de la ciencia puede iluminar problemas similares en el aprendizaje individual. Aprender en donde las grandes mentes tenían dificultades orienta al profesor hacia donde las mentes inferiores también pueden tener dificultades. (Matthews, M. R., 1989, pg. 9. Traducido del inglés)

En un trabajo presentado por R. Gagliardi y A. Giordan (1986) se muestra un ejemplo de cómo utilizar la historia de las ciencias para superar ciertos obstáculos epistemológicos que se presentan a los estudiantes en biología con respecto a la noción de especie. La propuesta se basa en la discusión sobre la construcción del concepto de especie por medio de un análisis de etapas previas de la ciencia y al mismo tiempo en valorizar la construcción de conocimientos que se ha realizado fuera de las instituciones científicas. Utilizan la historia de la biología como herramienta para definir los conceptos estructurantes, es decir, aquellos que al ser construidos por el alumno determinan una transformación en su sistema cognitivo, lo que permite incorporar nuevos conocimientos. Por otro lado, en lugar de presentar la citología o la fisiología como verdades, sugieren indicar los inconvenientes que se presentaron para desarrollarlas, las trabas conceptuales y los obstáculos que fue necesario superar. Pretenden, además, que la historia de las ciencias no solo sea una parte integrante de la enseñanza, sino que permita la introducción de una clase de discusión sobre los mecanismos de producción del conocimiento. La ciencia pasaría a ser una institución que produce ciertos resultados que es necesario controlar y que deben ser patrimonio de toda la población (Gagliardi, R., Giordan, A., 1986).

Los episodios históricos muestran cómo pueden surgir ideas específicas dados ciertos recursos

conceptuales, preguntas y la oportunidad de investigar. Es decir, los estudiantes pueden aprender a través de la simulación histórica. Una estrategia de este tipo consiste en que los estudiantes se involucren en diálogos imaginarios basados en figuras históricas. Cuando los alumnos se sitúan ellos mismos históricamente para responder preguntas, pueden involucrarse aún más al sentirse dueños tanto de los problemas como de las soluciones resultantes. Por ejemplo, cuando los estudiantes presencian o incluso participan en diálogos dramatizados históricos en el aula entre Aristóteles, Newton y Galileo, consiguen reconocer sus propias preconcepciones expresadas en las palabras de estos tres científicos famosos y son guiados, a través del debate, a la teoría científica actual sobre el movimiento (Lockhead, J., Dufresne, R., 1989; Solomón, J., 1989).

Destacar las bases culturales de las ideas y de la investigación, mediante un enfoque socio-cultural

K. Malamitsa, P. Kokkotas y E. Stamoulis (2005) llevaron a cabo una investigación en la cual pretendían examinar si el aprovechamiento en la enseñanza de las ciencias de algunos casos de la historia, y especialmente la controversia Galvani-Volta, contribuían hacia el desarrollo del pensamiento crítico. Como resultados del estudio observaron la necesidad de dar a los estudiantes la oportunidad de desarrollar su comprensión sobre cómo son aceptadas o rechazadas las ideas científicas con base en la evidencia empírica y cómo las controversias científicas pueden surgir desde las diferentes maneras de interpretar tal evidencia. Sostienen que esta manera de aprender las ciencias es vista tanto como un proceso de construcción activo e individual del conocimiento, como un proceso social el cual involucra a otros en esta construcción (compañeros, profesores, expertos, etc.) y finalmente como un proceso de enculturación en las prácticas científicas de la sociedad en general.

I. Galili (2010a) postula que cualquier disciplina fundamental como la física podría ser representada como la incorporación de elementos de tres

grupos. El primero incluye los principios, conceptos fundamentales y leyes. Juntos forman el *núcleo* de la disciplina. A partir del resto de los elementos, aquellos que representan distintas aplicaciones de los elementos del núcleo tales como la resolución de problemas, el modelado y las explicaciones de diversos fenómenos y experimentos de laboratorio, componen el *cuerpo* de la disciplina. Sin embargo, se pueden reconocer elementos de conocimiento de un tercer tipo, los cuales forman la *periferia*. Aquí uno encuentra, por ejemplo, los principios y las concepciones del pasado reemplazadas en el curso de la historia por teorías más nuevas, así como también los fenómenos que no pueden ser explicados basados en los principios del núcleo. La periferia incluye todo el conocimiento relevante del objeto de dominio, incluyendo las preconcepciones. Las dos primeras áreas (núcleo y cuerpo) determinan la disciplina, y la suma de la periferia lleva la disciplina al estatus de *disciplina-cultura*.

Al abordar el discurso científico se crea un diálogo diacrónico que incluye la contribución desde diferentes épocas, países, visiones del mundo, valores, maneras y normas de organización del conocimiento. Y a pesar de todas esas diferencias, dichas contribuciones crean un espacio de aprendizaje esencial para la comprensión (Galili, I., 2010b). Por su propia naturaleza, tales diálogos incluyen también elementos de conocimiento obsoletos e incorrectos desde un punto de vista moderno. Uno puede, por lo tanto, distinguir dos tipos de elementos de conocimiento en la historia de la física. Por un lado, están los elementos que sobreviven al paso del tiempo debido a su veracidad. Por ejemplo, la ley de flotación de Arquímedes, la ley de Pascal de presión de los fluidos, el valor obtenido por Eratóstenes correspondiente al diámetro de la Tierra, entre otras. Existen, sin embargo, otros elementos que son actualmente considerados incorrectos. Tales como la teoría de movimiento de Aristóteles, la teoría de movimiento de Descartes, la teoría del calórico, etc. Esto crea el conocimiento de contenido cultural que amplía el espacio de aprendizaje.

I. Galili (2010b) propone la incorporación de la incursión histórica en puntos que son conceptualmente críticos a lo largo de la implementación del currículo. Dichas incursiones requieren por parte del docente:

- La descripción de la historia conceptual de un cierto conocimiento.
- La elaboración de aspectos filosóficos e históricos de la descripción provista, incluyendo aspectos de la naturaleza de las ciencias.
- Una elaboración sobre la relevancia del tema considerado por el currículo, que incluye los resultados de las investigaciones sobre las dificultades de los estudiantes y las preconcepciones pertinentes.
- Informarse sobre actividades y métodos de enseñanza.
- Disponer de una breve lista de recursos, leer más y ampliar el propio conocimiento.

Uno de los ejemplos presentados por I. Galili (2010b) es el de la incursión a la historia del concepto *peso*. Se puede presentar el peso como formado a partir de tres pasos principales: 1) el peso es el rasgo característico del cuerpo que causa su pesadez y caída; 2) el peso es la fuerza de acción gravitatoria que actúa sobre el cuerpo desde otro cuerpo y es diferente de la masa; 3) el peso es el resultado de pesar el cuerpo, distinguido de la fuerza gravitatoria. La definición de *peso* cambió a lo largo de la historia mostrando la complejidad de la materia. Siguiendo el origen del concepto y la epistemología correspondiente, el estudiante revela la imagen completa, haciendo al concepto más significativo debido a la variación en el espacio de aprendizaje apropiado. Por último, la historia llega a la física moderna y a la separación entre gravitación y peso como se deduce desde el principio de equivalencia de Einstein.

Por último, vamos a mencionar un trabajo realizado por E. García Arteaga (2009) en el que se propone específicamente un enfoque socio-cultural para el caso específico de la mecánica de fluidos. En este, a

partir del análisis histórico-epistemológico de los escritos originales de Galileo, Torricelli, Pascal y Boyle, se recontextualizan las experiencias y problemáticas sobre la naturaleza del vacío, el equilibrio de los líquidos, la presión atmosférica en la edad media y se muestran los aspectos relevantes para su enseñanza a nivel universitario para profesores en formación.

Coincidimos con E. García Arteaga (2009) en que se tiene la firme convicción desde una visión histórica-epistemológica de las ciencias de que la actividad del científico es una actividad cultural que se desarrolla en torno al entendimiento del mundo y depende, por lo tanto, de las personas que llevan a cabo dicha actividad. El conocimiento, en este sentido, se establece en la necesidad de construir una imagen en torno al fenómeno que responda a criterios de organización del individuo y que pueda confrontar y socializar con su entorno. No hay en sentido estricto conocimiento separable de los individuos y comunidades que lo producen sino una construcción y validación del mismo que le generan significados.

Una aplicación del enfoque socio-cultural en el electromagnetismo

En este trabajo se considerará un enfoque socio-cultural para la incorporación de la historia de la física en la enseñanza, y se propondrán algunos lineamientos para la enseñanza a partir de la controversia *campo vs. acción a distancia* en el área del electromagnetismo.

Apuntamos a lineamientos de enseñanza (y a propuestas que podrían derivarse directamente de esto) que sean aplicables y de utilidad tanto en la formación de futuros profesores, como también en los que se encuentran en actividad.

- Por qué se elije este enfoque.* Consideramos que este enfoque incluye a los anteriores. Si se orienta la enseñanza a partir del mismo sería posible alcanzar todos o la gran mayoría de los objetivos que se buscan en general, cuando se emplea

la historia de las ciencias en la enseñanza. Es decir, recordar a científicos destacados y sus contribuciones, mostrar la dimensión humana y los procesos de las ciencias, detectar preconcepciones en los estudiantes, enseñar conceptos, destacando sobre todo las bases culturales sobre las que surgieron las ideas y se realizaron las investigaciones, teniendo en cuenta la influencia que tuvieron los aspectos sociales, económicos, morales, entre otros.

Coincidimos con N. Grimellini Tomasinini (2004) en que es importante remarcar el gran valor cultural que tiene el aprendizaje de la física, pues permite:

- Conocer no solo las respuestas a las cuestiones sino principalmente por qué los físicos se preguntaron justamente aquellas cuestiones.
- Conocer la situación física problema que se pretende resolver.
- Ver cómo los descubrimientos físicos influenciaron nuestra vista general del mundo.
- Encontrar la conexión entre la física y otras áreas culturales, el arte y la literatura incluidos.

b. *Por qué el electromagnetismo.* Ya que por lo general las situaciones estudiadas en clase corresponden a casos estáticos, se propicia de esta manera la no diferenciación entre la teoría newtoniana³ con la teoría de campos⁴. Comúnmente, en estos casos no se explicitan adecuadamente las limitaciones de la teoría newtoniana ni las ventajas de la teoría de campos, por lo que los estudiantes terminan teniendo una visión newtoniana de la interacción. Tanto en la escuela secundaria, como en los institutos terciarios, en la universidad y hasta en la mayoría de los libros de textos de física, el estudio del electromagnetismo comienza con la electrostática. Como se mencionó anteriormente, esto lleva a conceptualizaciones sesgadas que no contribuyen a una adecuada comprensión del concepto de campo

electromagnético. En este sentido, creemos que la aplicación que se propone en esta presentación podría ayudar a superar esta dificultad.

La controversia acción a distancia vs. campo: Heinrich Hertz como el principal protagonista para la superación de dicha controversia

Hasta mediados del siglo XIX se mantenía la visión mecanicista de la naturaleza. Las leyes de Newton lideraban la física y se habían convertido en un dogma de fe. Tanto la mecánica como el movimiento de los astros podían ser explicados por dos ideas fundamentales y básicas: el universo está formado por materia y vacío, y las fuerzas se pueden transmitir tanto por contacto de un cuerpo a otro como a distancia instantáneamente. Por entonces, los fenómenos de atracción electrostática y magnética eran explicados mediante las leyes de Newton, a pesar de que había algunos aspectos que no encajaban del todo en la mecánica newtoneana (Gambau, J., 2009).

Años más tarde, a partir de las ideas de Faraday (1791-1867) y J. C. Maxwell (1831-1879) se gesta y consolida el concepto de campo. Las hoy famosas ecuaciones de Maxwell fueron formuladas por dicho científico en 1864. Tales ecuaciones reunían por ese entonces todos los resultados existentes sobre la electricidad y el magnetismo. Si bien estas ecuaciones eran una síntesis tanto de las propiedades y como de las interrelaciones de la electricidad y el magnetismo, también predecían la existencia de las ondas electromagnéticas y su velocidad. Años más tarde, en 1887, el físico alemán Heinrich Hertz (1857-1884) logra generar y detectar ondas electromagnéticas por primera vez.

Hertz se formó bajo la tutela de H. Von Helmholtz (1821-1894) entre 1878 y 1883, mientras se encontraba en Berlín. Por esos años, la mayoría

3. Que considera que las interacciones entre masas o cargas se realizan a través de fuerzas instantáneas a distancia.

4. Que considera las interacciones con un campo preexistente en el punto a donde se sitúa la carga o la masa.

de los físicos alemanes aceptaban como válidas las teorías de acción a distancia para la descripción de los fenómenos electromagnéticos desarrolladas por F. Neumann (1798-1895) y W. Weber (1804-1891). Dichas teorías consideraban que la velocidad de propagación de las fuerzas electromagnéticas era infinita.

Helmholtz desarrolló una teoría mixta con la que intentó conciliar las teorías de acción a distancia con la teoría de campos de Maxwell. En su teoría aceptaba la acción a distancia para el vacío pero adoptaba la teoría de Maxwell para los dieléctricos. Por lo tanto, al ser Helmholtz el tutor de Hertz, este último aprendió la teoría electromagnética propuesta por su maestro, y además fue uno de los pocos físicos de la época que apreciaba la importancia de los trabajos de Maxwell, aunque inicialmente tuvo una fuerte creencia en la teoría de acción a distancia.

El oscilador construido por Hertz en 1887 le permitió realizar una gran variedad de experimentos y verificar la veracidad de las ecuaciones maxwellianas, refutando así la idea de acción a distancia (instantánea) propuesta inicialmente por Newton y presente en las descripciones de los fenómenos electromagnéticos realizadas por Neumann y Weber, a la cuál adhería Hertz en un comienzo. Podría decirse que, durante esos años, Hertz pasó por una evolución conceptual en la cual partió de una mentalidad más bien electrodinámica (según la tradición de Ampère, Weber y Helmholtz) hacia una mentalidad de campo electromagnético (según la tradición de Faraday y Maxwell). Para la primera, la base de los fenómenos eléctricos son las cargas y las corrientes (o cargas en movimiento), mientras que para la segunda lo es todo el espacio, aún el espacio vacío. En esa transferencia conceptual M. García Doncel (1990) distingue tres pasos destacados a lo largo de las experimentaciones realizadas por Hertz:

1. Descubre corrientes de *polarización* en los dieléctricos (Maxwell las había llamado corrientes de desplazamiento).
2. Ve al espacio mismo como un dieléctrico capaz de ser polarizado, cuando detecta que la acción eléctrica inductora se propaga por él con una velocidad finita.
3. Descubre que la propagación de esa fuerza eléctrica posee carácter ondulatorio y todas las propiedades de la luz.

Primer paso. En 1879, la Academia de Berlín ofrece un premio a quien “establezca experimentalmente cualquier relación entre las fuerzas electromagnéticas y la polarización dieléctrica de los aisladores”. Helmholtz sugiere a Hertz que encare este tema de investigación. Inicialmente Hertz no se entusiasma con el problema, recién en 1887, cuando dispuso de un oscilador, lo hizo. Logró demostrar que un material aislante ubicado cerca del oscilador modificaba la respuesta del detector, comprobando así que en los cuerpos aislantes pueden producirse corrientes eléctricas de alta frecuencia detectables por sus efectos de inducción electromagnética. Esta fue la verificación experimental de la existencia de corrientes de desplazamiento en los aislantes, lo cual era de fundamental importancia en la teoría de Maxwell (Lamberti, P. W., 1997).

Segundo paso. Tras la experiencia con las corrientes de desplazamiento, Hertz realizó un verdadero cambio en su cuadro conceptual y en su estrategia experimental. Una forma de determinar en qué medida era correcta la teoría de Maxwell era medir la velocidad de propagación de las perturbaciones eléctricas. En su primer intento logra formar ondas estacionarias de corrientes de alta frecuencia en alambres rectos y, en aproximadamente un mes, logra establecer las interferencias entre esas ondas y la acción electromagnética directa. A partir de esto, Hertz pretendía medir la velocidad de propagación de la acción electrodinámica, y encontrar que coincidía con la velocidad de la luz. Pero lo que obtiene es una velocidad infinita. Posteriormente, luego de varios intentos fallidos (cuando disponía de más espacio y tiempo), logra obtener resultados claramente correspondientes a una velocidad finita

(a fines de 1887). El 21 de enero de 1888 es celebrado por algunos como el *día del establecimiento de las ondas electromagnéticas*, día en el cuál se encuentra fechado el artículo escrito por Hertz que recoge los experimentos anteriormente mencionados. En su versión inicial no habla de ondas en el espacio, sino de “ondas propagadas por alambres” y de “acción electrodinámica propagada por el aire”; pero al demostrar que la acción electrodinámica se propaga con una velocidad finita, Hertz concluye su segundo paso conceptual, el cual es considerado como el *paso revolucionario de su conversión* (García Doncel, M., 1990).

La velocidad de las ondas producidas por Hertz en el vacío coincidía con los valores medidos de la velocidad de la luz. Esto lo llevó a concluir que la luz es una onda electromagnética, y que su longitud de onda se encuentra en el rango visible para el ser humano. No obstante, los fundamentos de la física se encontraban en conflicto. Los resultados que arrojaba la teoría de Newton para la mecánica clásica eran incompatibles con los resultados obtenidos desde la teoría de electromagnetismo de Maxwell.

Tercer paso. Introduce el concepto de *ondas en el espacio*, demuestra experimentalmente su existencia. Los experimentos relativos a ondas estacionarias en el espacio comienzan (marzo de 1888) con el estudio sistemático de efectos sombras y reflexiones (hasta ahora inimaginables) en pantallas y espejos. Obtiene de este modo la comprobación directa de esas ondas, y la medida de su longitud y velocidad.

Convencido ya experimentalmente de las ondas electromagnéticas, deduce teóricamente a partir de las ecuaciones de Maxwell la formación de esas ondas en torno al dipolo oscilante que constituye el emisor (de su oscilador). En estos cálculos suprime definitivamente la distinción entre fuerzas electrostáticas y electrodinámicas, reinterpretando y corrigiendo con sus nuevas ecuaciones los anteriores resultados experimentales (en concreto, las ondas hercianas se propagan esféricamente a

partir del dipolo y no cilíndricamente, como había dibujado previamente Hertz). Además, calcula la energía irradiada por un dipolo al espacio. El proceso conceptual se concluye con los experimentos relativos a los *rayos de fuerza eléctrica* (a fines de 1888). En estos se visualizan aún más las propiedades de las ondas hercianas y su total analogía con la luz. Hertz dijo meses más tarde “Al plantear esos experimentos y al describirlos, dejamos de pensar eléctricamente, pensamos ópticamente. Ya no vemos corrientes circulando por los conductores, o electricidades acumulándose. Vemos únicamente las ondas en el aire, cómo se entrecruzan, cómo se dividen, se reúnen, se refuerzan y debilitan” (García Doncel, M., 1994).

Lineamientos para elaborar una propuesta

Nuestros lineamientos para una propuesta metodológica consisten en sugerencias para elaborar un conjunto de actividades en las cuales la historia de la física se encuentre entretrejida en la misma disciplina, recurriendo en particular a experimentos cruciales realizados en la historia a partir de los que pueda observarse una clara evolución de los conceptos físicos. Por ejemplo, el caso del oscilador construido por Hertz en 1887. Este le permitió realizar una gran variedad de experimentos y comprobar la veracidad de las ecuaciones maxwellianas, refutando así la idea de acción a distancia (instantánea) propuesta inicialmente por Newton y presente en la descripción de los fenómenos electromagnéticos realizada por Neumann y Weber, a la cuál adhería Hertz en un comienzo.

La idea general consiste en incluir hechos tomados de la historia de la física (incluyendo fragmentos de trabajos originales de los científicos, sus diarios de laboratorio, cartas a colegas, entre otros) como material de análisis (no a modo ilustrativo ni como anécdotas). Se pretende trabajar a partir de dicho material, pretendiendo de esta manera facilitar a los alumnos la comprensión de los mecanismos por los cuales se producen y reproducen los

conocimientos, así como también el contexto en el cuál se originó, en este caso particular, la teoría de campos; cuáles fueron los problemas dieron origen a esas investigaciones; qué científicos aportaron en el descubrimiento y qué inconvenientes surgieron; y finalmente, qué experimentos sirvieron para verificar y entender la existencia campos electromagnéticos. Se propone enseñar a partir de las representaciones que poseen los estudiantes y se pretende que a partir de esta estrategia didáctica logren superar los inconvenientes a los que se enfrentan en el proceso de aprendizaje de dicho concepto, reconociendo las ventajas de la teoría electromagnética, sus implicancias y aplicaciones en la tecnología actual.

Los criterios empleados para pensar y diseñar la propuesta son los siguientes:

A nivel disciplinario

- Reconstruir ciertos contenidos del electromagnetismo desde una perspectiva newtoniana de acción a distancia hacia una perspectiva más bien maxwelliana, incursionando por experimentos cruciales que llevaron a resolver esta controversia.
- Favorecer la comprensión y el reconocimiento del concepto de campo electromagnético, resaltando en los aspectos que lo hacen el más adecuado y completo para la descripción de fenómenos de este tipo.

A nivel epistemológico

- Fomentar una imagen de la física como un *producto cultural* caracterizada por la coexistencia de diferentes interpretaciones del mismo fenómeno.

A nivel educacional

- Promover el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes, permitiéndoles entre otras

cosas, analizar ideas y compararlas con las observaciones correspondientes al comportamiento de la naturaleza y confrontando de esta manera sus propias preconcepciones con el funcionamiento de las ciencias.

Fases que podría tener la propuesta

- ***Iniciar con una introducción al electromagnetismo:***

Realizar una breve reseña de la historia de la electricidad y el magnetismo hasta el comienzo del siglo XVII. Presentar los principales aspectos que forman el previo conocimiento fenomenológico de la electricidad y los efectos de atracciones en la naturaleza como la gravedad. Dar a conocer el papel inspirador de los contextos socio-históricos para la investigación sobre el magnetismo (destacándose las brújulas magnéticas que permiten la navegación en el mar, así como también para la minería del carbón). Incluir finalmente en esta reseña los trabajos realizados por William Gilbert (1544-1603), mediante el análisis de su diario de laboratorio, y con la posterior implementación de una serie de experimentos similares a los que él mismo llevó a cabo para lograr distinguir entre interacciones eléctricas y magnéticas.

- ***Profundizar en el concepto de campo electromagnético:***

Describir la situación reinante sobre los conocimientos relativos al electromagnetismo a inicios del siglo XVIII, haciendo referencia a los científicos que estaban trabajando en ellos, tales como Faraday, Neumann, Weber, Maxwell, entre otros. Destacando la controversia existente en la descripción de determinados fenómenos electromagnéticos pues, por un lado, los newtonianos empleaban la acción a distancia (instantánea) para describirlos (un ejemplo de ello es la ley de Coulomb), mientras que los maxwellianos recurrían al concepto de campo.

Una vez planteada la controversia por parte del docente, colocar a Heinrich Hertz como el centro de la cuestión, con una breve presentación de su vida, contexto histórico-social, formación e inquietudes personales.

Trabajar posteriormente con los alumnos sobre la evolución de los conceptos por la que fue pasando Hertz a lo largo de su trayectoria científica, mediante la lectura y el análisis de materiales originales como: fragmentos de su diario de laboratorio, cartas escritas a colegas y a sus padres en donde hacía referencia a sus experimentos. Sería interesante que culminen con el armado de un oscilador, similar al de Hertz, con el cuál puedan verificar algunos de los resultados obtenidos por él, tales como la presencia de ondas electromagnéticas, ubicación de máximos y mínimos, etc.

Apuntar a que logren responder cuestiones como: ¿qué es lo que puede influir en decisiones de los científicos sobre los temas de investigación y en la forma de hacerla?, ¿por qué los científicos escriben acerca de su trabajo?, ¿necesitaba Hertz hacer experimentos o había otras maneras de hacer la investigación?, ¿qué fue lo que en definitiva convenció a Hertz en la certeza de las ecuaciones de Maxwell?

Reflexiones

Como se dijo en un comienzo, la creciente carencia de motivación por parte de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias en general nos lleva continuamente a los docentes a replantearnos las metodologías que implementamos en la enseñanza, y a tratar de adecuarlas a la situación educativa actual, sin descuidar por ello los distintos tipos de contenidos que deben ser enseñados. Consideramos que los lineamientos para elaborar una propuesta presentados constituyen una alternativa válida y apreciable, la cuál brinda al profesor una base metodológica a partir de la cual se pueden diseñar actividades que incluyan a la historia de las ciencias, sin aumentar la cantidad de conocimientos, sino optimizando la calidad de los mismos.

Según la categorización inicial presentada sobre el uso que se le ha dado a la historia de las ciencias en la enseñanza, los lineamientos fueron elaborados tratando de atender fundamentalmente a un enfoque socio-cultural de la disciplina. Adoptamos dicho enfoque porque, como mencionamos anteriormente, incluye a los demás, es decir, es el más amplio y completo. Creemos que, en la actualidad, enseñar la física como parte de nuestra cultura sería una estrategia poderosa para llevar a la práctica ya que, por sobre todas las cosas, estamos formando ciudadanos.

Sin embargo, acordamos con L. M. Iparraguirre (2007) en que es importante ser consciente de que incluir a la historia de las ciencias en la enseñanza no asegura por sí misma el hecho de que se produzcan aprendizajes significativos. Para lograr esto es necesario que el profesor implemente una propuesta bien fundamentada que pueda ser aplicada y adaptada a sus clases y a sus propios alumnos. Esto implica un esfuerzo extra por parte de los docentes, no obstante, consideramos que los resultados que se obtendrían serían muy gratificantes y alentadores.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo, mediante los subsidios correspondientes a los proyectos de investigación PIP 112 201301 00099 CO y PICT 2013-0139.

Referencias bibliográficas

- BIZZO, N. M. V. Historia de la Ciencia y Enseñanza de la Ciencia: ¿Qué paralelismos cabe establecer? **Comunicación, Lenguaje y Educación**, v. 5, n. 18, p. 5-14, 1993.
- ARGENTINA. BONO, L. C.; Ministerio de Educación de la Provincia de Córdoba; Secretaría de Educación; Subsecretaría de Promoción de

- Igualdad y Calidad Educativa; Dirección General de Planeamiento e Información Educativa. Diseño curricular de Educación Secundaria (2012 - 2015). Orientación Ciencias Naturales. Tomo 4, p. 92, 2012. Disponible en: <<http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/EducacionSecundaria/LISTO%20PDF/orientacion%20naturales28-03-12.pdf>>. Visitado en: 21, abr., 2015.
- BRUSH, S. G. History of Science and Science Education. **Interchange**, v. 20, n. 2, p. 60-70, 1989.
- DELGADO, M.; MARTINEZ, F.; MORERA, P.; PERDOMO, T. Y.; LÓPEZ, P.; LLAMAS, C.; BOTÍN, P. Ciencia y género. La mujer en la historia de la ciencia. Mujeres en la sombra. Una propuesta de enseñanza y aprendizaje para la física y química de la ESO y bachillerato. Análisis de una experiencia. In: XX ENCUENTROS DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. Tenerife. Centro Superior de Educación. Universidad de La Laguna. 2002. Disponible en: <<http://apice.webs.ull.es/pdf/123-070.pdf>>. Visitado en: 21, abr., 2015.
- GAGLIARDI, R.; GIORDAN, A. La Historia de las Ciencias: una herramienta para la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, p. 253-258, 1986.
- GALILI, I. History of Physics as a tool for teaching. In: Vicentini, M; Sassi, E. (Org). **Connecting research in Physics Education with Teachers Education**. I.C.P.E. p. 153-166. 2010a.
- _____. Cultural content knowledge – The required enhancement for physics teachers. In: REIMS INTERNATIONAL CONFERENCE: TEACHING AND LEARNING PHYSICS TODAY: CHALLENGES BENEFITS? Reims. GIREP – ICPE - MPTL. 2010b. Disponible en: <http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29397.pdf>. Visitado en: 21, abr., 2015.
- GAMBAU, J. C. Los experimentos de Hertz. Foro histórico de las comunicaciones. Disponible en: <<http://forohistorico.coit.es/index.php/sendas/tecnologica-mundial/item/los-experimentos-de-hertz>>. Visitado en: 24, mar., 2016.
- GARCÍA ARTEGA, E. Historia, epistemología y enseñanza de las ciencias; caso mecánica de fluidos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, Número Extra, VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, p. 1256-1260, 2009.
- GARCÍA DONCEL, M. **Heinrich Hertz, Las Ondas Electromagnéticas**. Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra: España. 1990.
- GRIMELLINI TOMASINI, N. Teaching physics from a cultural perspective: Examples from research on physics education. In REDISH, E. F.; VICENTINI, M. (Org) **Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", Research on Physics Education**. v. 156, pp. 559-582, 2004.
- GURIDI, V.; ARRIASSECQ, I. Historia y filosofía de las ciencias en la educación polimodal: propuesta para su incorporación al aula. **Ciência & Educação**, v.10, n. 3, p. 307-316, 2004.
- IPARRAGUIRRE, L. M. Una propuesta de utilización de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de un tema de Física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 25, n. 3, p. 423-434, 2007.
- LAMBERTI, P. W. Las investigaciones de Heinrich Hertz sobre las ondas electromagnéticas. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 10, n. 2, p. 37-47, 1997.
- LOCKHEAD, J.; DUFRESNE, R. Helping students understand difficult science concepts through the use of dialogues with History. In HERGIT, D. E. (Org). **The History and Philosophy of Science in Science Teaching**. Florida. p. 221-229, 1989.
- MALAMITSA, K.; KOKKOTAS, P.; STAMOULIS, E. The use of aspects of History of Science enhances the development of critical thinking - a proposal. In: **EIGHTH INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY, SOCIOLOGY & SCIENCE TEACHING CONFERENCE**. Leeds. England. 2005.
- MARTÍNEZ NAVARRO, F.; REPETTO JIMÉNEZ, E. Utilización de las biografías de los científicos

en la enseñanza de las ciencias con una orientación de ciencia, tecnología y sociedad. In: XX ENCUENTROS DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. Tenerife. Centro Superior de Educación. Universidad de La Laguna. 2002a. Disponible en: <<http://apice.webs.ull.es/pdf/211-029.pdf>>. Visitado en: 21, abr., 2015.

_____. Utilización didáctica en la enseñanza de la física y química de bachillerato de la biografía y producción científica de investigadores eminentes. In: XX ENCUENTROS DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. CENTRO SUPERIOR DE EDUCACIÓN. Tenerife. Universidad de La Laguna. 2002b. Disponible en: <<http://apice.webs.ull.es/pdf/124-028.pdf>>. Visitado en: 21, abr., 2015.

MATTHEWS, M. R. A role for history and philosophy of science in science teaching. **Interchange**, v. 20, n. 2, p. 3-15, 1989.

PIAGET, J.; GARCÍA, R. **Psicogénesis e Historia de la Ciencia**. Siglo XXI editores, Buenos Aires: Argentina. 1982.

SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. **Science & Education**. v. 10, p. 153-172, 2001.

SOLBES, J.; TRAVER, M. J. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 1, p. 103-112, 1996.

SOLOMON, J. The Retrial of Galileo. In HERGET, D. E. (Org). **The History and Philosophy of Science in Science Teaching**. Florida State University. Tallahassee. p. 332-338, 1989.

