

FILOSOFÍA DE LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*

Philosophy of Experimental Practices and Science Teaching

Edwin G. García A.

Universidad del Valle

Anna Estany

Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN

En este artículo se reconocen los aportes de la filosofía de las prácticas experimentales en torno al debate teoría – práctica y se destaca su influencia en el papel del experimento en la enseñanza de las ciencias, particularmente en el uso por parte de los libros de texto, tomando como ejemplo un caso en electricidad.

Palabras clave: experimentación, teoría, filosofía, historia y enseñanza de las ciencias, textos.

SUMMARY

This article recognizes the contributions of the philosophy of experimental practices into the debate theory-practice and stresses its influence in the role of the experiment in the teaching science, particularly in the use of textbooks, taken as an example a case into electricity.

Key words: experimentation, theory, philosophy, history and teaching of science, textbooks.

1. Introducción

Los debates en filosofía de la ciencia siempre inciden en las investigaciones en didactología¹ y, muy especialmente, en la enseñanza de las ciencias experimentales. Los procesos de enseñanza son vacíos si no se

* **Recibido** Mayo de 2010; **aprobado** Octubre de 2010.

¹ Entendemos la Didactología como una ciencia de diseño, en sentido de ciencias que pretenden no describir el mundo sino transformarlo. En este caso sería una disciplina que tiene como objetivo mejorar la comprensión del conocimiento. (Estany e Izquierdo, 2001).

considerara importante la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia. Desde la aparición del libro seminal de T. Kuhn, en 1962, *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, se ha dado una reorientación profunda en torno al llamado conocimiento científico; filósofos, científicos e historiadores han participado de una transformación en la manera de pensar y caracterizar el conocimiento científico², transformación que influye profundamente en la forma de concebir las ciencias por parte de los investigadores en enseñanza de las ciencias; ¿qué es la ciencia y cuál es su objeto? ¿cómo se producen las teorías?, ¿qué papel juega el experimento?, ¿cuál es la función de las instituciones científicas?, ¿cuál es la naturaleza del conocimiento científico? ¿Cuál es la estructura general de la realidad? ¿Cómo se valida o institucionaliza un experimento, una ley o una teoría? y ¿en qué consiste el progreso científico? son fundamentales para saber ¿de qué y cómo se ocupa la filosofía de la ciencia? (Guerrero, 2006).

Es precisamente en el marco de los debates sobre la naturaleza de la ciencia que se reconoce actualmente una línea de investigación en filosofía de la ciencia centrada en las llamadas prácticas experimentales (Estany, 2007). Filósofos e historiadores de la ciencia actualmente reconocen y reflexionan sobre la importancia de dichas prácticas en el desarrollo de la ciencia, pues en las últimas dos décadas la filosofía de la ciencia está reformulando por completo sus planteamientos, convirtiéndose en una filosofía de la actividad científica, y no sólo en una epistemología (Echeverría, 2003) como es el caso de la concepción heredada, para la cual era manifiesta la dependencia del experimento respecto a la teoría. Los nuevos enfoques defienden, a partir de estudios de caso, la importancia de reconocer el papel de la experimentación y el conocimiento que se desprende de ella, un conocimiento que no es necesariamente subsidiario de modelos teóricos sino que, como sugiere Ian Hacking (1996), tiene vida propia. Reconocer los aspectos centrales de esta línea de investigación aporta elementos fundamentales que pueden tener un profundo impacto en las reorientaciones sobre las investigaciones actuales en didáctica, particularmente en la enseñanza de las ciencias experimentales.

Por otra parte, los textos utilizados para divulgar la ciencia en los distintos grados de escolaridad se apoyan en determinadas visiones sobre la naturaleza de la ciencia, lo cual les permite diseñar, estructurar y presentar los contenidos. Los estudios sobre la estructura retórica de los textos sugieren que existe una intención del autor al escribir el libro que se hace evidente para el lector (Izquierdo, 2005). Intención que se traduce

² Actualmente participan otras disciplinas como la sociología, la antropología y la sociolingüística.

en la selección y organización de los contenidos, los experimentos y las actividades de apoyo presentadas. Las investigaciones en didáctica muestran que la estructura retórica de los textos usados en la enseñanza, sobre todo en los primeros niveles de educación superior, no contribuyen a la comprensión de los estudiantes, sino que más bien acrecientan sus dificultades. Dichas dificultades tienen que ver, entre otros aspectos, con la falta de comprensión de los conceptos (Viennot, 2002) así como con la escasa relación con el experimento y falta de apropiación de la experiencia sensible que le permita dar cuenta de los fenómenos estudiados (García, 1999).

El objetivo de este artículo es mostrar que la filosofía experimental proporciona un modelo de ciencia mucho más en consonancia con la enseñanza de las ciencias que la filosofía teórica de la ciencia. En primer lugar, abordaremos las principales tesis de lo que se ha venido llamando “filosofía experimental de la ciencia”, junto a algunos de sus principales defensores; en segundo lugar, examinaremos cómo en libros de física fundamental el experimento es asumido como subsidiario de la teoría y solamente se le considera para avalar lo que dice un modelo teórico, y analizaremos las dificultades de comprensión que esta concepción del experimento plantea; finalmente, mostraremos la importancia de la experimentación en la enseñanza de las ciencias desde los nuevos aportes de la filosofía de las prácticas experimentales, retomando un caso desde la historia de la electricidad.

2. Filosofía experimental *versus* filosofía teórica de la ciencia

Está claro que en la actividad científica se encuentran científicos teóricos y científicos experimentales (Artigas, 1989) lo cual es, en cierta forma, un reconocimiento de dos actividades diferentes aunque mutuamente necesarias. Pero las investigaciones en filosofía de la ciencia se han centrado fundamentalmente en los modelos teóricos, las leyes y principios establecidos; de hecho una de las tareas de la filosofía de la ciencia ha sido el análisis y reconstrucción de las teorías científicas, dejando a la experimentación un papel subsidiario. Para la mayoría de las escuelas, tanto de la tradición heredada como de la visión Kuhniana de la ciencia, la experimentación ha estado en función de la teoría, ya sea inspirada por ella o al servicio de la misma, pero en cualquier caso, sin vida propia (Hacking, 1996). Para esta concepción de ciencia el experimento es considerado como verificador de teorías, tal como lo consideró el empirismo lógico de C. Hempel, o falsador de las mismas desde un punto de vista popperiano.

El debate sobre la relación teoría- práctica o sobre el papel de la teoría *versus* el papel del experimento es antiguo en filosofía de la ciencia. Lo relevante son los nuevos enfoques que surgen. Hacking (1996) da un giro en la filosofía de la ciencia reivindicando el papel del experimento en la práctica científica y señala que: “la filosofía debía empezar a reflexionar sobre lo que comenzó por allá en el siglo XVII. La aventura que entonces se inició, y que puso por base la experimentación, fue llamada filosofía experimental” (p. 52).

Su pretensión no es eliminar las teorías como representación del mundo sino abandonar el esquema jerárquico en el que el experimento está al servicio de la teoría. Por su parte, M. Iglesias (2004) hace referencia a la importancia de las prácticas experimentales, para mostrar el giro necesario en filosofía de la ciencia y el cambio de la tradicional relación entre teoría y experimento. El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia obliga a que los temas de racionalidad, objetividad, verdad y mundo dejen de ser tratados desde la teoría y a que se redefinan nuevos problemas filosóficos, promoviendo una nueva imagen de la ciencia. Por otra parte Estany (2007) avanza en la búsqueda de resultados empíricos de las ciencias cognitivas que permitan afianzar el sentido de las prácticas experimentales.

Hacking es especialmente interesante para la enseñanza de las ciencias porque pone el experimento al mismo nivel que la teoría. Hay un equilibrio entre ellos. Reconoce que podemos encontrarnos casos, tanto en que el experimento prima sobre la teoría (tal sería el caso de Priestley en química o Faraday en física), como casos en que sería difícil hacer avanzar la ciencia sin tener en cuenta determinados modelos teóricos (por ejemplo, en la época de Liebig no podían resolverse problemas de química orgánica sin partir de determinados modelos teóricos de la química).

En un principio el interés de la filosofía de la ciencia por las tradiciones experimentales centró el análisis filosófico en el conjunto de la práctica científica, en lugar de enfocarlo sólo en el resultado de esta práctica, es decir, en las teorías científicas. Esto implica tomar en cuenta otros factores que intervienen en el quehacer científico, como la infraestructura material, los instrumentos, la interacción humana, las relaciones con las administraciones, etcétera. Aunque no son totalmente independientes estos factores, inciden de forma distinta y en mayor o menor grado en la dinámica interna de la ciencia (Estany, 2007).

Con las investigaciones de estudios de caso, los filósofos de la ciencia quieren poner de manifiesto la existencia de la carga experimental de la teoría. Tal es el caso de Hacking (1983), Galison (1987), Pickering (1995), Gooding, Pinch y Schafer (1989), y Martínez (2003) entre otros,

que avanzan hacia una nueva imagen de ciencia. J. Ordóñez y J. Ferreirós (2002) consideran que la miseria del teoreticismo está en reducir la riqueza y la complejidad del proceder científico a un asunto de mera elaboración conceptual dejando de lado la riqueza de conocimiento que se esconde detrás de las prácticas experimentales. Reconocer la importancia y la validez de las prácticas experimentales en la constitución de la ciencia, su función independiente de la teoría o en equilibrio con ella y su papel más allá del verificacionista o falsacionista que usualmente se le ha otorgado, constituye el fundamento de este campo de investigación de la filosofía de la ciencia.

En esta línea resultan interesantes las aportaciones de Pickering (1995) sobre la producción de cualquier resultado experimental en el que entran en juego tres elementos: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico. El procedimiento material supone disponer de los aparatos e instrumentos necesarios, verificar que funcionen y controlar su funcionamiento, todo lo cual encierra un conocimiento práctico. El modelo instrumental está implicado en el diseño, realización e interpretación del experimento, siendo fundamental la comprensión conceptual del funcionamiento de aparatos e instrumentos. El modelo fenoménico consiste en la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenomenológico, que están siendo estudiados por parte del experimentador, y sin los cuales los resultados carecerían de sentido y significación, y no podrían ser interpretados.

En la propia experimentación podemos distinguir entre experimentos cualitativos y cuantitativos o experimentación exploratoria y experimentación guiada. Para filósofos e historiadores de la ciencia de la escuela positivista era común describir los procesos de elaboración de teorías científicas a partir de mediciones y datos cuantitativos precisos, en la que los experimentos cuantitativos eran el referente de las investigaciones. Esta versión simplificada del método científico llevó a borrar del mapa la experimentación cualitativa (Ordóñez y Ferreirós, 2002). Los nuevos filósofos e historiadores rescatan el papel de los experimentos cualitativos y su incidencia en la construcción de conocimiento. La experimentación en este sentido se aleja de la vieja tradición de estar orientada por la teoría, como lo llegó a sugerir incluso K. Popper: “*sólo cabe realizar experimentos a la luz de las preguntas y los conceptos determinados por una teoría*” (Popper, 1935) y pasa a tener vida propia, independiente de la teoría, como lo propone Hacking (1983) y que Ordóñez y Ferreirós (2002) reconocen cuando plantean que:

Al menos en física, los experimentos cualitativos han sido una parte fundamental de los procesos de formación de conceptos (procesos de formación de datos). Por ejemplo, los experimentos cualitativos en

electromagnetismo desempeñaron, desde el primer resultado de Oersted en 1820, un papel fundamental en la elaboración de nociones como líneas de fuerza y campo. Oersted y el propio Faraday trabajaron de manera más intuitiva y directa, modelando sus concepciones según algunos rasgos fenomenológicos (o fenomenotécnicos) que surgían directamente de los experimentos que realizaron y como resultado del experimento, el modelo fenoménico es refinado, acomodado y especificado con mayor precisión. (p. 63)

El caso de Faraday es llamativo porque los historiadores han encontrado que sus trabajos *fueron una genuina base experimental*³ esto es, que los experimentos tenían vida propia y que el laboratorio era un espacio de construcción de conocimiento. Por tanto, el debate que se ha planteado en las últimas décadas en filosofía e historia de la ciencia no es en torno a si los científicos han realizado experimentos en sus investigaciones, sino mas bien en la interpretación de los mismos y en su relación con los modelos teóricos.

12 Se reconoce además la importancia de la experimentación cualitativa exploratoria que suele estar presente en las primeras fases del desarrollo de una ciencia, pero que no por ello es menos valiosa que los experimentos cruciales (experimentación cuantitativa guiada) en la estructuración de la ciencia. En cierto sentido la tradición experimental no es nueva, los antiguos griegos, tales como Arquímedes, Hieron, Cardano, etc., ya realizaban “experimentos”, aunque se atribuye a Gilbert y Galileo como los primeros en sistematizar y caracterizar publicaciones donde la base empírica de la física está formada por resultados experimentales (Ordóñez y Ferreirós, 2002). La importancia de los resultados empíricos se expandió rápidamente a otros campos de conocimiento como la óptica, la electricidad y el calor. En electricidad, por ejemplo, se reconocen las aportaciones de Gray, Hauksbee, Dufay, Volta, Franklin y Faraday, entre otros, en la construcción experimental del fenómeno eléctrico. Este tipo de experimentación resulta interesante desde el punto de vista epistemológico porque permite caracterizar la edad temprana de una ciencia, tal como lo sugiere J. L. Heilbronn (1979) en sus análisis históricos sobre electricidad. Este “juego” exploratorio posibilitó la distinción entre materiales conductores y no conductores. O en los estudios de Steinle (2002) para quien la simple variación de lugar de la aguja respecto al hilo en el experimento de Oersted, planteaba dificultades al enfoque de Newton-Laplace de fuerzas centrales.

³ La base empírica genuina no consistía en un conjunto de situaciones naturales, sino que los experimentos eran creados, los aparatos se diseñaban y construían para producir o evidenciar efectos deseados. Hoy en día se hace referencia a fenomenotecnia

Otro aspecto que resulta importante desde la filosofía de las prácticas experimentales es el tipo de discurso que hay en la propia experimentación. No se corresponde con el que en la concepción heredada se le asigna a la deducción. En la experimentación existe una forma de argumentar y de conocimiento diferente al fenómeno de la deducción (Galison 1987). Es necesario admitir que en la acción hay pensamiento, lo cual implica romper y superar el dualismo cartesiano que divide mente y cuerpo, naturaleza y cultura. Hay un lenguaje diferente que se expresa en la actividad experimental y del cual surgen pensamientos e ideas que posteriormente se articulan conceptualmente. El conocimiento experimental está presente al diseñar y construir aparatos, pero también en la manipulación de entidades y en la creación de fenómenos. Hemos de reconocer entonces que en la actividad experimental hay una riqueza conceptual que no había sido reconocida ni valorada en su justa dimensión. Tener presente que en la experimentación, como lo sugiere Iglesias (2004): “la naturaleza no se nos muestra ella por sí sola: ella se abre, se despliega, según lo imponga la manera a la que fue sometida en una acción específica” (p. 11).

Todo ello nos lleva a preguntarnos hasta qué punto, desde las tradiciones experimentales, la teoría es subsidiaria del experimento y, en este caso, qué papel juega en el conjunto de la práctica científica. Ya hemos visto que Hacking mantiene un cierto equilibrio entre teoría y experimento en función del momento histórico. En la misma línea, Estany (2007) sugiere una interacción entre ambas, teoría y experimentación, donde la una no sea subsidiaria de la otra sino que se complementen mutuamente. Para ello es necesario replantear las formas de representar el conocimiento, donde la denominación de “práctica científica”, que hace referencia a la actividad de los científicos, no esté determinada sólo por el producto (teorías) sino también por el proceso de dicha actividad. Un aporte en esta dirección lo sugiere Hutchins (1995) al proponer el enfoque de la cognición socialmente distribuida, en el que la unidad de cognición no es la mente individual sino un sistema formado por la interacción entre diversos agentes, y entre éstos y determinados artefactos tecnológicos implicados en el éxito del proceso cognitivo. En este marco lo relevante del conocimiento (cognición) no es que esté influenciado por la sociedad y la cultura sino que es un proceso cultural y social en sí mismo. Así pues, la ciencia es una actividad cultural, realizada de acuerdo con necesidades e intereses individuales, sociales, económicos, políticos, éticos y estéticos. Lo importante de este enfoque es que se considera además de la conducta y el proceder del científico los procesos cognitivos que intervienen en dicha conducta, esto es, necesidades, intereses y formas de ver el mundo, de

describirlo, caracterizarlo y modelarlo, teniendo en cuenta los contextos sociales y culturales en los que se desenvuelve.

Finalmente debemos reconocer que la nueva imagen de ciencia está orientada por una relación entre la teoría y el experimento mucho más profunda y con mayor riqueza conceptual de la que la mayoría de los filósofos e historiadores han mantenido hasta el momento, pero las nuevas corrientes filosóficas promueven la importancia de la “vida propia” que posee la experimentación en la construcción de la ciencia, y que como afirma Iglesias (2004):

Quando se asume la perspectiva de estudios de casos, de puntos específicos de la historia de la ciencia, se encuentra que no es la teoría la que siempre ha guiado la ciencia, que la relación entre teoría y experimento ha sido diversa y no unitaria como han querido mostrarnos la historia y la filosofía de la ciencia. (p. 10)

14

Hacer de la experimentación una plataforma de conocimiento contribuye a un cambio en la imagen de la ciencia. La manera de presentar los experimentos no debe ser solamente descriptiva o narrativa para reforzar el papel de las teorías, sino que se debe avanzar hacia la caracterización de experimentos que involucren problemáticas y que tengan una riqueza conceptual en sí mismos (vida propia), crear necesidades donde el experimento “hable” y se comunique, crear situaciones específicas donde la naturaleza se “despliegue” y muestre comportamientos, esto es, hacer de la experimentación una actividad humana en el sentido de Hacking. Los estudios de caso que muestran el papel de la experimentación en el marco de la filosofía de las prácticas experimentales como los de Hacking, Galison, Pickering, Gooding y Pinch, entre otros, permiten identificar aspectos valiosos de la actividad científica que deben ser reconocidos y considerados por parte de los investigadores en didáctica de las ciencias.

3. Dificultades del modelo teórico en la enseñanza de las ciencias

¿Qué influencia puede tener la filosofía de las prácticas experimentales en la didáctica? El sistema didáctico se compone de tres actores fundamentales, los docentes, los estudiantes y el contenido, este último normalmente expresado en los textos. Los estudios realizados sobre los textos utilizados en la enseñanza de la ciencia consideran que éstos expresan una retórica; esto es, las intenciones que hay detrás por parte del autor y el mensaje que quieren transmitir, la idea de ciencia que se promulga, la forma de persuadir al lector, influyendo en su forma de pensar la ciencia y transformando su mundo (Izquierdo, 2005).

En los procesos de enseñanza de las ciencias la experimentación suele estar presente, los estudiantes hacen prácticas, observan fenómenos, toman datos, hacen registros y manipulan aparatos. Los libros de texto sugieren en muchos casos la realización de tales experimentos, pero cabe preguntarnos; ¿cuál es la finalidad de los experimentos sugeridos? ¿Qué imagen de ciencia se promueve desde las prácticas sugeridas? y ¿qué intención orienta al autor cuando presenta experimentos?

Investigaciones recientes demuestran cómo la influencia de la concepción positivista de la ciencia predomina en la retórica de los textos (García, 2009), donde prevalecen las leyes y teorías como verdades reveladas y el experimento como subsidiario de ésta. Esta manera de presentar la ciencia como un “producto” sin reconocer los procesos que se han llevado a cabo en la construcción del conocimiento han terminado por afectar la relación enseñanza – aprendizaje, pues se ha demostrado en estudios de caso que los estudiantes después de pasar por los cursos formales de física no comprenden los conceptos que se enseñan y menos todavía los fenómenos asociados a ellos (Viennot, 2002). Veamos el siguiente párrafo extractado de un texto de física fundamental referente a la electricidad⁴:

Los antiguos griegos ya sabían, hacia el año 600 a de C. que el ámbar, frotado con lana, adquiere la propiedad de atraer cuerpos ligeros. En la actualidad, al interpretar esta propiedad, decimos que el ámbar está electrizado, que posee carga eléctrica o bien que está cargado eléctricamente. Estos términos derivan de la palabra “elektron” que significa ámbar. Es posible comunicar carga eléctrica a cualquier material sólido, frotándolo con otro material. Una persona se electriza al arrastrar los zapatos contra una alfombra de nylon, un peine se electriza al pasarlo por el cabello seco; se desarrolla carga eléctrica en un papel que se imprime, y así sucesivamente. (p.531)

En este experimento que podemos denominar exploratorio, la intención del autor es que el lector asocie que “el ámbar frotado con lana está electrizado, posee carga eléctrica”. La afirmación es lo relevante. Incluso, puede sostenerse la afirmación sin necesidad de hacer la experiencia. Entonces en el mensaje ¿qué sentido tiene frotar ámbar con lana? ¿Puede inferirse que si froto ámbar con lana, el ámbar está electrificado? No, simplemente puedo apreciar que atrae objetos livianos, ¡pero no más! Hay una evidente carga teórica que hace que el estudiante piense en carga eléctrica cuando frote ámbar. El experimento está diseñado para confirmar o validar el argumento teórico. El autor pone el énfasis en la carga como propiedad de los cuerpos, y todo aquello que se frote entonces desarrolla carga eléctrica (contraria a la visión de campos). Cabría preguntar qué pasa

⁴ Tomado de *Física Fundamental I* de Sears – Zemansky.

si froto ámbar con ámbar, ¿evidencian electrificación? la pregunta como tal no encaja en el cuadro de validación teórica que se quiere transmitir (aunque para Maxwell lo tuviera), por lo tanto, no tiene relevancia para el autor.

También el autor afirma que “una propiedad de la carga eléctrica es que se comunica frotándola con otro material”. Y para demostrarlo recurre a una situación cotidiana, pero ¿puede una persona al frotar el cabello seco con un peine o arrastrar los zapatos, deducir que la carga se comunica? No es posible. La noción de transferencia de carga es un modelo teórico, la intención del autor es que se valide y se acepte la afirmación hecha y la experiencia simplemente se utiliza para validar dicho modelo.

Más adelante, en un experimento de mayor control por parte del lector, el autor escribe:

Supongamos que frotamos una barra de plástico con una piel y después la ponemos en contacto con una bola de médula de saúco suspendida. Tanto la barra como la bola de medula tienen carga negativa. Si se aproxima ahora la piel a la bola ésta es atraída, indicando que la piel está cargada positivamente. De esto se deduce que cuando se frota el plástico con la piel aparecen cargas opuestas en las dos sustancias. Este resultado se obtiene siempre que se frota una sustancia con otra. Así el vidrio resulta positivo, mientras que la seda con la cual se ha frotado resulta negativa. Esto sugiere claramente que las cargas eléctricas no son generadas ni creadas, sino que el proceso de adquirir una carga eléctrica consiste en transferir algo de un cuerpo a otro, de modo que uno de ellos tiene un exceso y el otro una deficiencia de ese algo. Hasta finales del siglo XIX no se descubrió que ese “algo” se compone de partículas muy pequeñas, cargadas negativamente, que hoy se conocen como electrones”. (p.532)

Este experimento tiene una descripción y una justificación. La justificación, que hemos subrayado a propósito, corresponde a un enunciado teórico, una definición o, como en este caso, el principio de conservación de la carga; las cargas no son generadas ni creadas, solamente existen electrones que se transfieren. Principio que además presenta dificultades desde la perspectiva de campos propuesta por Faraday y Maxwell.

Este tipo de experimentos se refieren a fenómenos que no se encuentran directamente en la naturaleza (en este caso es una reconstrucción burda de los experimentos de Dufay) pero con la intención de hacer evidente la existencia de dos tipos de carga eléctrica y la transferencia de electrones. La pregunta nuevamente es, ¿hace falta hacer el experimento? o ¿basta simplemente con afirmarlo?, el mensaje del autor es que el estudiante identifique el enunciado teórico, El lector puede decir que hay dos tipos de carga eléctrica sin necesidad de frotar un objeto con otro, pero si hace el

experimento entonces puede comprobar que lo que se está diciendo es cierto (ciencia verdadera) ¿qué papel está jugando el experimento en este caso? La atención se centra en el mensaje teórico directo (ni siquiera inferido), el experimento es presentado como un apoyo o ayuda para “reafirmar” y “validar” la afirmación de la existencia de la carga y por ahí mismo de los electrones.

Tanto en la presentación de los textos como en la explicación de los estudiantes se encuentra una fuerte tendencia hacia el modelo teórico. En el caso de los estudiantes los investigadores han encontrado que a pesar de los cursos de física fundamental recibidos, éstos no logran comprender los fenómenos que estudian (Greca y Moreira, 1998), en tanto que no pueden dar cuenta del campo fenoménico ni explicar algún hecho diferente a los que les presenta el texto. Y por lo tanto termina con una cantidad de información que no puede utilizar más que en la solución de los problemas del libro, pero con un desconocimiento del fenómeno mismo.

4. Estudio de la electricidad bajo el prisma de las tradiciones experimentales

17

Un ejercicio que nos permite ilustrar el conocimiento y la riqueza de las prácticas experimentales en la enseñanza de las ciencias lo podemos encontrar en electricidad. Los escritos de Stephen Gray publicados en la *Philosophical Transactions de la Royal Society* (1729) y recogidos por Heilbronn (1979) describen una serie de experimentos cualitativos que fueron trascendentales en la visión que posteriormente derivó en la visión de campos. En uno de ellos Gray describe:

Frotando un tubo de vidrio de aproximadamente 3 1/2 pies de longitud y sosteniendo una pluma ligera hacia el borde superior del tubo, hallé que se dirigía hacia el tapón, primero atraída y luego rechazada por éste, así como por el tubo mismo. Me sorprendió mucho y concluí de ello que había sin duda alguna virtud atractiva comunicada al tapón por el tubo excitado. (p. 305)

Se aprecia en este experimento cómo Gray, explorando el comportamiento de los materiales al ser frotados, quiere saber si la virtud eléctrica se queda solamente en la región frotada y encuentra que no, regiones no frotadas atraen la pluma, e incluso otros materiales (tapón) también atraen la pluma, de aquí la afirmación que hace de que la virtud atractiva se comunica al tapón por el tubo. Mas adelante Gray describe lo siguiente:

Teniendo conmigo una bolita de marfil de alrededor de una pulgada y tres décimos de diámetro con un hueco, la fijé a un palito de madera de abeto de cerca de 4 pulgadas de largo; introduciendo el otro extremo dentro del

corcho, y habiendo frotado el tubo, encontré que la bolita atraía y repelía la pluma con más vigor que lo que lo había hecho el corcho anteriormente. Luego fijé la bola en palos más largos, primero en uno de 8 pulgadas y luego en otro de 24 pulgadas de largo y encontré el mismo efecto. Entonces usé primero una varilla de hierro, luego una de bronce para fijar la bola, insertando el otro extremo de la varilla en el corcho, como antes, y encontré la misma atracción. (p. 306)

La experimentación en torno a la virtud atractiva que es comunicada al tapón por el tubo excitado se amplía ahora a la exploración con otros materiales como la madera de abeto y varillas de hierro y bronce, además ahora tienen un elemento nuevo y es la longitud del material, para 4, 8 y 24 pulgadas encuentra el mismo efecto de atracción. Se aprecia la riqueza conceptual de estas experiencias, ligadas a un problema sobre el comportamiento de los materiales. Como hemos visto atrás, esta dinámica de las prácticas experimentales no es reconocida en los libros de texto.

18

Por su parte Faraday plantea que polarización e inducción son dos términos para mencionar el mismo efecto, la misma acción. En las cartas enviadas a su amigo Richard Philips, publicadas en 1843, establece que la acción inductiva es una acción sobre y por el medio: es una acción contigua que se transmite de una parte del medio a las partes vecinas y así sucesivamente; de modo que la forma como se propaga y se distribuye tal acción depende de las características del medio. Faraday se pregunta si todos los cuerpos eléctricos poseen realmente alguna influencia sobre el grado de inducción que tiene lugar a través de ellos, en una de sus experiencias resalta que a distancias iguales pero en medios diferentes los efectos observados son también diferentes, (contrario a lo que solía sostener desde la perspectiva de acción a distancia). La experiencia es la siguiente:

Dos placas metálicas B y C, ubicadas simétricamente en aire con relación a una tercera A cargada positivamente, se le suspendían desde sus superficies externas sendas láminas de oro. Cuando las placas, y con ellas las láminas de oro, eran sacadas del aislamiento al mismo tiempo (conectadas a tierra) y luego eran nuevamente aisladas estando en el mismo dieléctrico; las láminas de oro colgaban paralelas entre sí. Pero al introducir laca entre las placas paralelas A y C se observó que las láminas se atraían mutuamente. (Faraday, 1843)

Los resultados de esta experiencia ponen de manifiesto la influencia efectiva que tiene el medio en la acción inductiva que se realiza a través de él, y niega en consecuencia que la acción inductiva sea una acción directa y a distancia. Está claro que si se asume esta última perspectiva -la

acción inductiva como una acción directa y a distancia- ningún cambio ha de esperarse al reemplazar un medio por otro, rompiendo la simetría. Si, por el contrario, se piensa que el medio define la acción inductiva, es de esperar que dicha sustitución produzca un efecto sensible. De acuerdo con Faraday los materiales que conforman el medio se pueden distinguir por la capacidad inductiva específica; para la experiencia propuesta la capacidad inductiva de la laca es mayor que la del aire. Si el medio a ambos lados de la placa A es el mismo, en este caso aire, la acción inductiva sobre las placas conductoras será igual, dada la disposición simétrica de las placas respecto de A. Al sustituir el aire entre las placas A y C por laca, se presenta que, como la capacidad inductiva de la laca es diferente a la del aire, (mayor) debe inducir más hacia C que hacia B. Los libros de texto no tienen en cuenta las experiencias de Faraday para la electrostática, definen la inducción eléctrica desde modelos teóricos de acción a distancia que se yuxtaponen con la noción de campo desde un punto de vista matemático y sin soporte físico.

Los casos de Gray y Faraday muestran la importancia de la experimentación en la construcción de la electrostática, los modelos de explicación están implicados en la realización de las experiencias. El conocimiento y reconstrucción de ellas permite elaborar modelos de intervención didáctica donde la experimentación es relevante en la construcción y organización de explicaciones sobre la electricidad.

19

5. Implicaciones para la enseñanza

De acuerdo con la presentación anterior y reconociendo la necesidad de avanzar en propuestas que tengan en cuenta los aportes de la filosofía de las prácticas experimentales, a continuación se presentan algunos elementos que pueden ser considerados por la didactología.

a) Mayor relevancia de los experimentos cualitativos: dar mayor importancia a los experimentos cualitativos, no solamente para describirlos o justificar la teoría, sino para mostrar su relevancia en la construcción de conocimiento. En este sentido, este tipo de experimentos deben contener riqueza conceptual. Las preguntas o situaciones problema pueden orientar su presentación. Un ejemplo para los fenómenos eléctricos, teniendo en cuenta el uso de la historia descrita atrás, es el siguiente:

Usualmente se dice que una barra de vidrio o ámbar al ser frotada con algún material como paño o piel, adquiere la propiedad de atraer pequeños objetos (por ejemplo papelitos). ¿Está usted de acuerdo en que es posible, mediante frotación, aumentar la fuerza de atracción del vidrio o del ámbar?

Esta pregunta que ha sido recontextualizada de los escritos de W. Gilbert sobre electricidad, no busca, en principio, qué “sabe” el estudiante sobre el modelo estándar de partículas, sino cómo se relaciona con el comportamiento de los materiales. La pregunta por el aumento de la fuerza de atracción en los materiales es un comportamiento que “despliega” la naturaleza al ser interrogada. A partir de esta experiencia básica es posible formular otras preguntas en torno a la evidencia de electrificación que orienten una experimentación sobre el comportamiento de los materiales, por ejemplo, ¿se manifiesta la electrificación solamente en algunos materiales?, ¿es posible que cualquier objeto de la naturaleza al ser frotado adquiera también la virtud de atraer?, los objetos al ser frotados ¿evidencian el mismo grado de atracción sobre el detector? ¿Afecta el grado de atracción si el material con el que es frotado el objeto cambia? Este tipo de preguntas permiten explorar cómo se comportan los materiales al ser frotados. En este sentido es posible, a partir de este tipo de cuestionamientos, construir un cuadro donde se registren los efectos observados al frotar distintos materiales. Afinando la experimentación el estudiante avanza en la construcción significativa de la triboelectricidad, lo cual le permite continuar en la exploración de materiales dieléctricos, conductividad, inducción, etc.

b) Posibilitar la exploración experimental y conceptual: la riqueza conceptual que hay en la exploración de los fenómenos permite avanzar en la construcción y organización de explicaciones y confrontaciones por parte del estudiante. Estamos de acuerdo en que construir conocimiento es llenar de significado una actividad, en este caso llenar de significado la experimentación. Un ejemplo, derivado del propio uso de la historia de las ciencias, tiene que ver con la conducción eléctrica.

Al acercar un objeto frotado, por ejemplo, una barra de ebonita, a un detector en forma de brújula, éste se orienta siguiendo una cierta dirección, que usualmente corresponde a la región del objeto que ha sido frotada. Pero ¿qué sucede con el detector a medida que nos alejamos de la región frotada a lo largo del mismo material? ¿Es acaso la atracción una característica exclusiva de la región frotada? ¿Qué sucede si ponemos otro material en contacto?

Este tipo de preguntas abre nuevas posibilidades de exploración de la electrificación en los materiales frotados. Por ejemplo, para explorar la comunicación de la electrificación se pueden organizar experiencias posibles como:

- A medida que nos alejamos de la región frotada en un mismo material.
- A medida que nos alejamos de la región frotada en dirección a otros materiales que están en contacto con el frotado o, cuando se ponen en contacto después de la frotación.
- A medida que nos alejamos del material frotado en dirección al aire.

Este tipo de actividad permite caracterizar un comportamiento de los materiales donde la persona que hace la actividad puede encontrar relevantes los siguientes aspectos:

- Que todos los materiales de la naturaleza se puedan electrificar.
- Que el mayor o menor grado de atracción dependa de los materiales que son frotados entre sí.
- Que los metales requieran de ciertas condiciones para poder registrar efectos observables.
- Obtener una selección de materiales cuyo grado de atracción sea el mayor posible.

21

Esta manera de abordar los fenómenos electrostáticos permite varias cosas: la persona puede extraer a partir de la experiencia conclusiones que le sean significativas en torno al comportamiento de los materiales, enriquecer la experiencia sensible, empezar a organizar una imagen en torno a lo electrostático, posibilitar explicaciones ligadas a la experiencia misma y contrastar su conocimiento del fenómeno con otras formas de conocimiento tradicionalmente aceptadas.

c) La creación de artefactos y el procedimiento material: tanto los aparatos como los instrumentos que utiliza el científico son relevantes en la construcción de conocimiento. En los libros de texto no se le da importancia a esta parte del conocimiento. Si continuamos con el ejemplo de la electrostática encontramos cómo los libros de texto suelen hacer referencia al electroscopio de paneles de oro para hacer registro de cargas eléctricas, sin embargo, su importancia no va más allá que como detector de carga eléctrica.

Una propuesta interesante es plantear el diseño y construcción del propio detector. La experimentación en torno a la construcción de detectores cada vez más sensibles, implica un conocimiento sobre el comportamiento de los materiales. Gilbert diseñó y construyó un “Versorium”, esto es, una aguja muy sensible que podía rotar sobre su eje y orientarse en dirección de los objetos electrificados. Esto implica un saber práctico que se construye

en la medida que se manipulan los recursos, se busca que funcionen y se controla su funcionamiento. El libro de texto puede contribuir en esta exploración con preguntas orientadas hacia el diseño y construcción de aparatos. Por ejemplo, ¿cómo obtener un sistema de rotación que permita mayor sensibilidad al detector? ¿Qué otras formas pueden utilizarse para construir detectores? Por ejemplo ¿péndulos?

6. Consideraciones finales

Ciencia y filosofía están en continua interacción, tal como lo muestran las historias de ambas. Es decir, hallazgos científicos que han cuestionado determinados principios filosóficos y sistemas filosóficos que han sido claves en el desarrollo de determinadas disciplinas. Un ejemplo de lo primero lo tenemos en la mecánica cuántica que llevó a los filósofos a reformular muchas de las cuestiones relacionadas con el determinismo y la causalidad. Una muestra de lo segundo la tenemos en cómo el positivismo de Mach y Avenarius influyó en la psicología en el cambio del siglo XIX y XX, llegando el empirismo lógico de Hempel a constituir la base sobre la que se asentó el conductismo.

Esta interacción no sólo se ha dado en las ciencias que podríamos llamar “puras”, cuyo objetivo es describir y explicar el mundo, sino también en las ciencias diseño, cuyo objetivo es resolver problemas prácticos y, en último término, transformar dicho mundo. En nuestro caso, vemos que hay una interacción entre la filosofía de la ciencia y la didactología, en el sentido de que determinados modelos de ciencia inciden en los sistemas de enseñanza. Como hemos visto a lo largo de este trabajo el debate en filosofía de la ciencia entre una concepción teórica y una experimental de la práctica científica tiene repercusiones en la enseñanza de las ciencias. Hemos visto un ejemplo que puede interpretarse de forma distinta según la perspectiva (teórica o experimental) con la que nos acerquemos al mismo.

Al tratarse de una ciencia como la didactología, que pretende un fin práctico, a saber: hacer comprensible una serie de conceptos a personas que aún no los han adquirido, el lograr o no dicho fin es fundamental. Por tanto, es relevante comprobar que, desde el punto de vista de facilitar o dificultar la comprensión de los conceptos científicos, la filosofía experimental de la ciencia muestra claras ventajas respecto a la filosofía teórica. La consecuencia es que en la enseñanza de las ciencias se ha producido un cambio de modelo a raíz de uno de los debates más interesantes que ha tenido lugar en las últimas décadas en el seno de la historia y la filosofía de la ciencia.

Estas ideas las hemos ejemplificado en el caso de la electricidad. De una parte se aprecian las dificultades que implica en los estudiantes la visión teórica en la enseñanza de fenómenos como conducción e inducción eléctrica, la cual termina por reducirse a un aprendizaje memorístico, de formulas y definiciones cargadas de información abstracta. Y, por otra parte, se muestran las fortalezas de la práctica científica donde se abre un panorama de posibilidades de exploración experimental y conceptual en la que los aparatos e instrumentos se hacen relevantes en la construcción del conocimiento, la experimentación supera el papel subsidiario de demostración de la teoría y se establece como forma genuina de organizar el fenómeno eléctrico y donde el estudiante asume un papel activo en la construcción de explicaciones sobre la electricidad estática tal que le permitan hacer comprensible y transformable el mundo que le rodea.

Es posible entonces reorientar el papel que se le están dando a la experimentación y considerar la riqueza conceptual que allí se esconde. Saber física no es solamente saber de leyes y teorías, es también el saber experimental, es darle importancia al diseño y construcción de experimentos cualitativos y cuantitativos cuya riqueza está en llenar de sentido un conocimiento, está en el diseño y elaboración de aparatos e instrumentos. Al final, todo esto revierte en los libros de texto que constituyen una forma de anclar materialmente los conocimientos. Por tanto, es importante que éstos reflejen la importancia de los experimentos, su relación no subsidiaria de la teoría y, en último término, contribuyan al equilibrio y complementariedad entre teoría y práctica.

Referencias Bibliográficas

- Artigas, M. (1989): *Filosofía de la ciencia experimental. Introducción*, España, Ediciones Universidad de Navarra.
- Bachelard, G. (1948): *La formación del espíritu científico*, Buenos Aires, Editorial Argos.
- Cid, F. (1985): *Enciclopedia "Historia de las Ciencias" Vol. 2*, Barcelona, Editorial Planeta.
- Echeverría, J. (2003): *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía en el siglo XX*, Madrid, Ediciones Cátedra.
- Estany, A. (2007): "Innovación tecnológica y tradiciones experimentales. Una perspectiva cognitiva", *Revista ciencias*, México, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Estany, A. y Izquierdo, M. (2001): "Didactología: una ciencia de diseño", *Endoxa*.
- Faraday, M. (1843): "Sobre la acción inductiva estática" carta enviada a Philips, R. Lond. and Edinb. Phil. Mag. 1843, Vol. XXII.

- Galison, P. (1987): *How experiments end*, Chicago, University of Chicago Press.
- García, E. (1999): *Construcción del fenómeno eléctrico en la perspectiva de campos. Elementos para una ruta pedagógica*, Tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- García, E. (2009): *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza. Neumática e hidrostática*, Cali, Editorial Universidad del Valle.
- Gilbert, W. (1600): *De magnete*, Editorial Limusa.
- Gooding, D.; Pinch, T.J.; y Schaffer, S. (1989): *The uses of experiment*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Greca, I. y Moreira, M. (1998): “Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo”, *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), pp. 289–303.
- Guerrero, G. (2009): *Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo*, Cali, Programa Editorial Universidad del Valle.
- Hacking, I. (1983): *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge, Cambridge University Press; v.e. *Representar e Intervenir*, Trad. Sergio F. Martínez, Instituto de Investigaciones Filosóficas – UNAM/ Paidós, México, 1996.
- Heilbronn, J.L. (1979): *Electricity in the 17 and 18 centuries*, California, University of California Press.
- Hutchins, E. (1995): *Cognition in the wild*, The MIT Pres.
- _____ (2005): “Material anchors for conceptual blends”, *Journal of pragmatics*, 37.
- Iglesias, M. (2004): “El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental”, *Revista de ciencias humanas y sociales*, No. 20.
- Izquierdo, M. (2005): “Estructuras retóricas en los libros de ciencias”, *Tarbinya. Revista de investigación e innovación educativa*, No 36. pp. 11-34.
- Kuhn, T. (1962): *La estructura de las revoluciones científicas*, México, EFCE.
- Martínez, S.M. (2003): *Geografía de las prácticas científicas*, México, UNAM.
- Ordóñez, J. y Ferreirós J. (2002): “Hacia una filosofía de la experimentación”, *Critica. Revista hispanoamericana de filosofía*, Vol. 34, No 102, pp. 47-86.
- Pickering, A. (1995): *The mangle of practice. Time, agency and science*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Popper, K.R. (1935): *La lógica de la investigación científica*, Trad. Víctor Sánchez de Zavala, 1962, Madrid, Tecnos.
- Steinle, F. (2002): “Challenging established concepts. Ampere and exploratory experimentation”, *Teoría*, Vol. 17, No 44. pp. 291–316.
- Viennot, L. (2002): *Razonar en física. La contribución del sentido común*, Madrid, Ed. A. Machado libros, S. A.