

INVESTIGACION Y DESARROLLO

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA COMO RECURSO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

JUAN MIGUEL CAMPANARIO

Grupo de Investigación en Aprendizaje de las Ciencias. Departamento de Física.
Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares. Madrid. España.
fscampanario@alcala.es

RESUMEN

En este artículo se analiza críticamente la conveniencia de utilizar la historia de la ciencia como un instrumento en la enseñanza de la Ciencia y se hace una propuesta concreta para su uso en la enseñanza de la Física para conseguir determinados objetivos curriculares

ABSTRACT

In this article the utility of History of Science is discussed as an aid in Science Education and a proposal is made to use it in Physics teaching to achieve some curricular goals.

INTRODUCCIÓN

No cabe duda de que el uso de la historia de la ciencia como un instrumento para la enseñanza es una de las primeras intuiciones que desarrolla cualquier profesor de ciencias interesado en mejorar el aprendizaje de sus alumnos. Este tema ha sido objeto de un profundo debate en la literatura educativa y todavía en nuestros días no está del todo claro si es conveniente utilizar este recurso y cómo debe utilizarse. Es interesante constatar como muchas de las argu-

mentaciones a favor y en contra tienen poco que ver con razones psicológicas y están basadas en parte en el sentido común, algo que, según algunos autores, debería desterrarse de la enseñanza de una vez para todas, como ya se desterró de otras disciplinas y actividades [Gil, 1991]. En un intento por contribuir al debate, en este artículo se revisan las principales razones a favor y en contra del uso de la Historia de la Ciencia como un instrumento de enseñanza de

las ciencias y se formula una propuesta concreta que sirve para ilustrar el uso de la historia de la ciencia en la enseñanza de algunos temas de Física en relación con determinados objetivos.

LA HISTORIA DE LA CIENCIA DESEMPEÑA UN PAPEL LIMITADO EN LA ENSEÑANZA TRADICIONAL

No cabe duda de que, en general, la enseñanza tradicional de las ciencias ha prestado escasa atención a los asuntos relacionados con la Historia de la Ciencia. Entre las excepciones notables se puede citar el programa Project Physics, elaborado en la Universidad de Harvard que alcanzó cierta difusión en los Estados Unidos en la década de los 70. Uno de los objetivos de este proyecto fue diseñar un curso de Física con una orientación humanística [Rutherford, Holton y Watson, 1970]. Un intento más reciente y ambicioso se ha llevado a cabo recientemente en Dinamarca como parte de una reforma de la enseñanza secundaria. En dicho país el currículum inicial en Física, centrado inicialmente en los contenidos físicos, ha dado paso a un nuevo currículum en el que esta disciplina se presenta como una actividad humana y en el que los contenidos de Historia y Filosofía de la Ciencia tienen un peso importante [Nielsen y Thomsen, 1990]. En España la nueva programación de las asignaturas de ciencias de la Enseñanza Secundaria Obligatoria incluye algunos apartados de carácter histórico. Se han publicado además algunos materiales didácticos de orientación histórica enfocados fundamentalmente a la enseñanza secundaria. Según Matthews, en Gran Bretaña ha habido una larga, aunque limitada e irregular, tradición de incorporar la Historia de la Ciencia en la enseñanza [Matthews, 1994]. Si se exceptúan los ejemplos anteriores y otros similares, la Historia de la Ciencia ha sido generalmente ignorada en la enseñanza de las ciencias.

Lo anterior es fácilmente comprensible si se tiene en cuenta la forma tradicional en que se presenta el conocimiento científico a los alumnos. En los enfoques tradicionales no se suele hacer referencia al proceso histórico de producción del mismo [Otero, 1985]; [Campanario, 1996a]. De hecho, existe una distinción comúnmente admitida entre contexto de descubrimiento (que tiene que ver con el contexto y los factores que conducen a la producción del nuevo conocimiento) y el contexto de justificación (que tiene que ver con la incardinación del nuevo conocimiento en las estructuras conceptuales

existentes) [Brush, 1974]. La transmisión del conocimiento científico a los alumnos hace referencia, fundamentalmente, al contexto de justificación, siguiendo casi exclusivamente una retórica de las conclusiones [Otero, 1985]; [Campanario, 1996a].

El conocimiento científico se suele presentar a los alumnos, en el mejor de los casos, formando una estructura lógica dentro del marco amplio de la disciplina, pero sin referencias explícitas a los problemas y circunstancias que motivaron su origen ni, mucho menos, a las influencias sociales y económicas que determinaron directa o indirectamente el planteamiento de tales problemas. Las concepciones metafísicas que, como demuestran diversos autores, orientan con frecuencia el trabajo de los científicos son asimismo ignoradas [Holton, 1982]; [Sánchez Ron, 1988]. Muchos conceptos se presentan a menudo de una manera casi combinatoria, en relación con otros de aproximadamente la misma generalidad. Así, por ejemplo, la capacidad eléctrica se suele presentar como una relación entre la carga eléctrica y potencial eléctrico [Otero, 1985, pág. 364]. Otra forma común de presentar el origen del conocimiento es haciendo referencia a determinados experimentos con una orientación claramente inductivista. Los conocimientos científicos se suelen presentar como las únicas conclusiones posibles, muchas veces definitivas, valiosas en sí mismas y sin alternativas históricas en competencia. Sólo en contadas ocasiones se hace referencia a teorías alternativas sobre un tema determinado. Además, en estas ocasiones la impresión que se suele transmitir es que la teoría "verdadera" triunfa fácilmente sobre las demás.

Sin embargo, como demuestra la Historia de la Ciencia, los conceptos científicos suelen tener su origen en intentos para resolver determinados problemas que los científicos se plantean a lo largo del devenir histórico [Toulmin, 1977]; [Otero, 1985]; [Merton, 1984]. Por ello no es raro que puntos de vista o teorías que compiten entre sí coexistan durante espacios de tiempo prolongados. Además, en numerosas ocasiones los científicos han perseguido durante bastante tiempo caminos de investigación ciegos que se demostraron finalmente inadecuados o erróneos que en alguna ocasión fueron recompensados incluso con el Premio Nobel [Zuckerman, 1977, pág. 36]. Este tipo de episodios tiene mucho que ver con las creencias metafísicas de los científicos que orientan su trabajo tanto en direcciones adecuadas como inadecuadas. Holton incluso considera que las creencias metafísicas consti-

tuyen una tercera dimensión de la ciencia, además de la analítica y la empírica [Holton, 1982]. La interferencia de este tipo de factores se puede apreciar claramente en el desarrollo de teorías como la mecánica cuántica o el electromagnetismo.

Por otra parte resulta interesante comprobar como ciertos errores publicados en las revistas científicas o errores en la aplicación de métodos de trabajo e incluso la mera desviación de los procedimientos usuales en un método determinado están en el origen de nuevos descubrimientos o dan lugar a un desarrollo notable y positivo de un área de investigación determinada [Campanario, 1996a]; [van Andel, 1994]. Sin embargo, el papel del descubrimiento accidental en ciencia se suele reducir a unos cuantos casos paradigmáticos que se suelen presentar a los alumnos más como ejemplo de lo útil que resultan las capacidades de observación en ciencia que para destacar la importancia de los conocimientos previos en la detección de anomalías, con lo que se refuerzan las concepciones inadecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico [Campanario, 1996a].

Los libros de texto que se utilizan habitualmente en la enseñanza de las ciencias comparten una parte importante de la responsabilidad por la situación actual. Así, es bien conocido que las únicas referencias históricas que se suelen incluir en los libros de texto suelen ser las fechas en que se originó determinado concepto, se formuló una teoría, se desarrolló un método o se realizó un descubrimiento. A veces los contenidos de Historia de la Ciencia se incluyen en los libros de texto únicamente para hacer menos aburrida la exposición de los contenidos puramente científicos. Asimismo, los libros de texto suelen incluir biografías (a veces idealizadas) de los científicos más importantes. Los aspectos oscuros relacionados con la actividad de los científicos son cuidadosamente silenciados. Entre estos aspectos que generalmente se silencian cabe señalar, en primer lugar, los relacionados con las disputas y luchas por la prioridad, una de las actividades a las que, según el sociólogo Robert Merton, los científicos más célebres han dedicado más tiempo y energías [Merton, 1985]. Los casos de fraude en ciencia o de conductas dudosas como la selección sesgada de datos o cierto nivel de manipulación de los mismos para que se ajusten a las teorías son otro aspecto olvidado de la Historia de la Ciencia, a pesar de que grandes científicos como Mendel, Newton o Millikan no hayan escapado a tales manejos [Kohn, 1988]. Además, muchos libros

de texto ciencias contienen errores notorios y falsedades históricas en sus apartados relativos a la Historia de la Ciencia [Klein, 1972]. Algunas de estas falsedades persisten durante años. Así, por ejemplo, el sistema copernicano no era inicialmente más preciso que el ptolemaico [Kuhn, 1978], Galileo no realizó algunos de los experimentos que se le atribuyen [Di Trocchio, 1995], no fue el experimento de Michelson-Morley el que llevó a Einstein directamente a la teoría de la Relatividad Especial [Holton, 1982], ni Coulomb obtuvo su famosa ley como el resultado de cuidadosas y sutiles mediciones realizadas con suma precaución, sino que fueron fundamentalmente razonamientos teóricos los que le llevaron a ella [Heering, 1992].

Una primera consecuencia de todo lo anterior es que con la enseñanza tradicional se transmite a los alumnos de manera explícita o implícita una versión deformada de la ciencia y el conocimiento científico según la cual el avance científico tiene lugar de manera lineal con el descubrimiento sucesivo de nuevos conceptos y teorías que vienen a ampliar los límites de la ciencia. Ejemplos típicos de estas concepciones hoy casi completamente abandonadas en Historia de la Ciencia son las descripciones comunes sobre el triunfo de las teorías newtonianas. Sin embargo, el éxito de la teoría de la Gravitación Universal de Newton no fue tan inmediato como algunos libros de texto hacen suponer. De hecho, todavía en 1769 (casi un siglo después de la formulación inicial) se llevaban a cabo experimentos para decidir entre la teoría de Newton y otras teorías en competencia [Evans, 1996]. Puntos de vista simples sobre el descubrimiento científico se pueden encontrar también en algunas descripciones comunes del cambio desde la teoría del calórico a la moderna teoría del calor [Brush, 1974]. Los defensores de la teoría moderna del calor son retratados como héroes que hacen avanzar la ciencia en la dirección correcta, mientras los detractores de dicha teoría son considerados, cuando menos, investigadores incompetentes y, en el peor de los casos, científicos dogmáticos que se oponían al avance del conocimiento. Sin embargo, en la ciencia las cosas rara vez son tan simples o tan lineales. Estas visiones lineales y simplistas conllevan la aplicación de valores y criterios actuales, sin más, a métodos y teorías pasadas. Realmente, los desacuerdos entre este tipo de modelos implícitos sobre la producción del conocimiento científico y los ejemplos históricos son tan estridentes que el historiador Stephen G. Brush pudo encabezar uno de sus artículos con el significativo título: "¿Debería la

Historia de la Ciencia ser clasificada X"? [Brush, 1974].

Otra consecuencia negativa que tiene la enseñanza tradicional ahistórica es que tiende a fomentar el aprendizaje arbitrario de la ciencia al eliminar las conexiones lógicas que existen entre el cuerpo de conceptos científicos y el conjunto de problemas a los que dan respuesta [Otero, 1985]. Al eliminarse la conexión entre un problema y el conocimiento científico como respuesta al mismo, los contenidos científicos se aprenden como soluciones aisladas. Con ello se desaprovecha una ocasión única de aumentar la significatividad del aprendizaje ligando un problema con su solución. El fondo del enfoque histórico a la enseñanza de la ciencia consiste precisamente en no enseñar una sucesión de conclusiones, sino mostrar cómo se llegó a dichas conclusiones y qué alternativas se discutieron y descartaron y por qué motivos.

LA HISTORIA DE LA CIENCIA PUEDE AYUDAR A LOS ALUMNOS A APRENDER CIENCIAS

La inclusión de la Historia de la Ciencia como una parte del currículum de ciencias ha sido discutida en profundidad por diversos autores [Brush, 1974]; [Otero, 1985]; [Sánchez Ron, 1988]; [Nielsen y Thomsen, 1990]; [Matthews, 1994]. Para ello existen, en principio, dos posibilidades: enseñar Historia de la Ciencia como un objetivo valioso en sí mismo o utilizar la Historia de la Ciencia como un medio o un instrumento para mejorar o facilitar el aprendizaje de las ciencias. Estas dos alternativas no son incompatibles.

En primer lugar, la Historia de la Ciencia puede servir para identificar y anticipar los obstáculos y concepciones erróneas que se pueden presentar en el estudio de diversos contenidos [Gagliardi 1988]. De hecho, muchas de las concepciones alternativas de los alumnos son muy similares a concepciones históricas que fueron en su día comúnmente aceptadas y que fueron incluso las concepciones "correctas" de su época [Pozo, 1987b]. Este enfoque tiene la ventaja de que puede ayudar a minimizar las reacciones afectivas negativas de los alumnos cuando comprueban que la mayor parte de sus ideas sobre los contenidos científicos son erróneas. Es posible entender las dificultades para aprender determinados contenidos siguiendo una reconstrucción histórica de los mismos [Casadella y Bibiloni, 1985].

En segundo lugar, la Historia de la Ciencia puede proporcionar un marco en el que los contenidos (las conclusiones) que se enseñan tienen una razón de ser distinta de su ajuste en el marco conceptual lógico de la disciplina. Desde este punto de vista, los conceptos que se enseñan son soluciones que responderían a determinadas necesidades conceptuales. Es interesante notar como los científicos suelen concebir el proceso de investigación como un proceso de solución a problemas que ellos mismos se plantean, con un paralelismo notable con los procesos de aprendizaje. Así, por ejemplo, en un interesante estudio sobre la invención del primer motor electromagnético, Gooding demostró los paralelismos existentes entre los procesos de invención y de aprendizaje para este caso histórico concreto [Gooding, 1990]. Por el contrario, los alumnos suelen concebir el aprendizaje de la ciencia como una adquisición de contenidos impuestos. Con un planteamiento tanto de los problemas históricos como de sus soluciones se conseguiría, en cierta medida, mitigar esta componente arbitraria que afecta a gran parte de los contenidos académicos habituales. Siguiendo este enfoque, Pessoa y Castro elaboraron unidades didácticas en las que utilizaron textos clásicos para enseñar los contenidos de calor y temperatura [Pessoa y Castro, 1992].

En tercer lugar, los conceptos más complicados pueden ser objeto de una intervención basada en el estudio de su origen y evolución. Asimismo, el uso de la Historia de la Ciencia puede ayudar a identificar paralelismos entre conceptos y métodos que se aplican en campos diversos pero que tienen un núcleo común. Con frecuencia un concepto se aplica con éxito en campos ajenos a aquel en que surgió inicialmente. Es precisamente la aplicación de un concepto, principio o teoría a diferentes ámbitos y dominios lo que, en definitiva, acaba conformando su significado.

Una ventaja no desdeñable que presenta el uso de la Historia de la Ciencia es que puede ayudar a los alumnos a descubrir que los científicos aplican con frecuencia criterios de evaluación sesgados que se basan en la adscripción a paradigmas que actúan como marcos conceptuales. Tales marcos conceptuales involucran no solo conocimientos, sino también ideas sobre los objetivos y límites de las disciplinas, sobre las metodologías apropiadas y sobre el poder explicativo que deben desempeñar los conceptos relevantes de una disciplina. Además, no es infrecuente que los científicos evalúen las contribuciones de los demás de acuerdo con sus

creencias metafísicas sobre la ciencia [Holton, 1982]. Así, por ejemplo, determinados prejuicios sobre cómo debe orientarse una determinada disciplina provocaron y provocan enfrentamientos entre escuelas de pensamiento opuestas y numerosos casos históricos así lo atestiguan. Entre los casos más conocidos se pueden citar a Planck y sus dudas sobre la validez de su propia hipótesis, Einstein y su conocida oposición a la Mecánica Cuántica, la oposición de muchos científicos de principios de este siglo sobre la forma apropiada de conducir la investigación sobre las vitaminas [Campanario, 1993], las concepciones antimatemáticas de muchos biólogos que dificultaron la extensión de la teoría de Mendel, el escepticismo de Lord Kelvin hacia los rayos X, la teoría electromagnética de Maxwell o el modelo atómico de Bohr y la incredulidad con que Joseph Henry recibió la ley de Ampere [Barber, 1961]. Hemos podido identificar numerosos ejemplos de resistencia al descubrimiento y al cambio conceptual en ciencia desde el estudio de los procesos de comunicación en ciencia [Campanario, 1993]; [Campanario, 1995]; [Campanario, 1996b].

Por otra parte, es evidente que en los últimos años se ha prestado especial atención desde la Didáctica de las Ciencias Experimentales a los aspectos relacionados con la naturaleza del conocimiento científico y de los procesos de elaboración del mismo como un "elemento esencial para el análisis y fundamentación de las disciplinas científicas" [Mellado y Carracedo, 1993, pág. 332] y "una referencia obligada que ha de tener el profesor para planificar su enseñanza" [Sánchez y Valcárcel, 1993, pág. 34] que "puede clarificar qué es lo que conviene y podemos enseñar" [Gil, 1994, pág. 18]. Además, la Filosofía de la Ciencia "es una de las principales fuentes de hipótesis" sobre el modo en que tiene lugar el cambio conceptual [Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982, pág. 211] hasta el extremo de que determinadas teorías en Filosofía de la Ciencia servirían como "modelos claros de como funciona el aprendizaje humano de conceptos científicos" [Poza, 1987a, pág. 110]. No cabe duda de que un mayor conocimiento de la Historia de la Ciencia puede ayudar tanto a los alumnos como al profesor a entender estos aspectos relacionados con la Filosofía de la Ciencia.

Mediante la Historia de la Ciencia se puede fomentar la discusión en clase sobre los procesos de producción del conocimiento científico con el fin de conseguir que los alumnos adquieran una visión más adecuada sobre los mismos. Si los

alumnos llegan a ser conscientes de la influencia que tienen los marcos conceptuales y creencias epistemológicas y sobre lo difícil que resulta el cambio de ideas en ciencia es más probable que lleguen a admitir que ellos también pueden verse influenciados por la interferencia de sus concepciones alternativas sobre los contenidos científicos y por sus concepciones epistemológicas acerca de la ciencia y el conocimiento científico. La enseñanza de la ciencia utilizando recursos obtenidos de la Historia de la Ciencia tendría, desde este punto de vista, una dimensión metacognitiva en la medida en que serviría para ayudar a los alumnos a reflexionar sobre sus procesos de pensamiento y sobre sus dificultades para el cambio a nuevas concepciones.

Una última ventaja del uso de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de las ciencias es que, según Brush, con ella se consigue un cambio positivo en las actitudes de los alumnos hacia la ciencia [Brush, 1974]. En unas disciplinas como las de ciencias en las que las actitudes de los alumnos son con frecuencia negativas este tipo de ayudas suelen ser bien recibidas. Es preciso, no obstante, evitar caer en excesos tales como el "contar historias" para conseguir captar a toda costa el interés de los alumnos en detrimento de los aspectos conceptuales y metodológicos de las asignaturas.

Diversos autores consideran la Historia de la Ciencia como un elemento valioso por sí mismo en la formación de los futuros maestros y profesores de ciencias. Los futuros maestros deben tener ideas adecuadas sobre la ciencia y un medio posible consiste en analizar la evolución histórica de las disciplinas o seguir el proceso histórico de construcción del conocimiento científico [Pedrinaci, 1994]; [Sánchez Ron, 1988, pag. 187].

La HISTORIA DE LA CIENCIA PUEDE SER UN ARMA DE DOBLE FILO

Como señala Sánchez Ron, la utilización de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de las ciencias no está exenta de errores [Sánchez Ron, 1988]. Un profesor que decida incluir la Historia de la Ciencia en su asignatura debería tener en cuenta algunas precauciones. En primer lugar, la Historia de la Ciencia es una disciplina en la que trabajan investigadores con diferentes puntos de vista y con relaciones conceptuales con otras disciplinas afines. Estos investigadores rara vez conciben su área en función de sus posibles aplicaciones en educación. Ello exige un análisis

previo de los contenidos que se van a utilizar y una evaluación del grado de ajuste entre los objetivos que se persiguen con los contenidos históricos que se incluyen en el programa [Whitaker, 1979]. Por otra parte, la reconstrucción de los procesos de descubrimiento puede resultar muy complicada porque requiere el uso de técnicas, conceptos y teorías que en muchas ocasiones ya están obsoletos [Sánchez Ron, 1988, pág. 186]. El beneficio intelectual que se puede obtener de estas reconstrucciones tan laboriosas es, en general, escaso. Por esta razón existen dudas de que la Historia de la Ciencia sea un recurso adecuado para la formación de los alumnos de las carreras técnicas y científicas. Como señala Sánchez Ron está por demostrar que en estos contextos la Historia de la Ciencia tenga ventajas radicalmente mayores que los enfoques que se utilizan habitualmente [Sánchez Ron, 1988].

Cuando la Historia de la Ciencia se utiliza para dar una continuidad y un sentido a los conceptos científicos se corre el riesgo de interpretar los conceptos que utilizaron los científicos en su día en términos de los conocimientos actuales [Kuhn, 1971]. Además de que ello supone una evidente falsificación, se corre el peligro de conseguir lo contrario de lo que se persigue.

En efecto, uno de los objetivos del uso de la Historia de la Ciencia en la enseñanza debería ser mostrar la evolución de los conceptos científicos. Si se fuerza la historia hasta el punto de interpretar los conceptos, experiencias y teorías pasadas según el punto de vista actual, se estaría transmitiendo una visión estática del conocimiento científico como algo que una vez que se construye permanece sin alteración: una de las ideas inadecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico más comunes entre los alumnos y, a veces, entre los propios profesores [Gil, 1994]; [Campanario, en revisión]. Realmente, los peligros de un enfoque histórico para la enseñanza de la ciencia son tantos y tan grandes que Whitaker acuñó el término cuasihistoria para denominar al "resultado de numerosos libros de autores que han sentido la necesidad de dar vida a sus explicaciones con un poco de contenido histórico, pero que de hecho han reescrito la historia acomodándola paso a paso a la Física" [Whitaker, 1979, pág. 109].

Por otra parte, es conveniente evitar otro error que denuncia Gil y es el de dar una visión puramente sociológica de la ciencia, es decir, una visión acientífica de la ciencia con un exceso de atención en visiones descontextualizadas y

sin prestar atención a los cuerpos coherentes de conocimientos [Gil, 1994].

UNA PROPUESTA CONCRETA: ¿CÓMO UTILIZAR LA HISTORIA DE LA CIENCIA EN UN CURSO GENERAL DE FÍSICA?

Debido a la sobrecarga de contenidos conceptuales en los planes de estudio de la enseñanza secundaria y en la Universidad, las asignaturas de ciencias no parecen, en principio, la más indicadas para estudiar la Historia de la Ciencia in extenso. Esta tarea es más propia de otras asignaturas específicas, optativas muchas veces en el caso de la enseñanza universitaria. Una alternativa razonable es, en vez de incrementar la cantidad de información que los alumnos deben aprender, utilizar la Historia de la Ciencia únicamente como un recurso puntual con el que se persiguen los objetivos discutidos anteriormente: existencia de ideas erróneas, resistencia al cambio conceptual, naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico, evolución de las teorías en ciencia,.... Una propuesta en este sentido se desarrolla en el anexo. Una orientación completamente histórica de las asignaturas se considera contraproducente si se tienen en cuenta las consideraciones anteriores de los especialistas en este terreno. Un tratamiento histórico de la disciplina requeriría un cierto nivel de conocimientos por parte de los alumnos y una dedicación de tiempo con la que muchas veces no se puede contar.

Una orientación constructivista o una orientación enfocada al cambio conceptual hacen de las ideas previas de los alumnos el necesario punto de partida del proceso de enseñanza-aprendizaje [Gil, Carrascosa, Furió y Martínez-Torregrosa, 1991]; [Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982]. Negar la existencia de ideas previas en los alumnos, no tenerlas en cuenta o no prestar la debida atención a la resistencia al cambio en dichas ideas resulta hoy día difícilmente justificable en una enseñanza seria de las ciencias. En consonancia con lo anterior, la actividad inicial de cada unidad didáctica puede consistir precisamente en la elicitación de las ideas previas de los alumnos, bien mediante una actividad abierta en clase o mediante un cuestionario escrito. Estas actividades se pueden complementar a veces con el repaso a teorías históricas relativas al tema en cuestión. Dado que, como se ha indicado, existe un parecido notable entre algunas de estas teorías históricas y las ideas previas de los alumnos, cabe esperar que éstos las encuentren, en cierta medida, razonables.

Por último, en los ejemplos que siguen se utiliza la historia de la Física para ilustrar el importante aspecto de la resistencia al cambio conceptual en ciencia. Mediante ejemplos concretos se destaca el papel de la resistencia al descubrimiento científico como una fuente de dificultad adicional en el desarrollo de la ciencia y se incide en el paralelismo entre esta resistencia y la resistencia de los alumnos a abandonar sus ideas previas. Como se ha indicado más arriba, con esta orientación la historia de la ciencia en la enseñanza de la Física adquiere una dimensión metacognitiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBER, B. (1961) Resistance by scientists to scientific discovery. *Science*, 134, 596-602.
- BRUSH, S.G. (1974) Should the history of science be rated X?. *Science*, 183, 1164-1172.
- CAMPANARIO, J.M. (1993) Consolation for the scientist: Sometimes it is hard to publish papers that are later highly cited. *Social Studies of Science*, 23, 342-362.
- CAMPANARIO, J.M. (1995) Commentary: On influential boos and journal articles initially rejected because negative referees' evaluations. *Science Communication*, 16, 304-325.
- CAMPANARIO, J.M. (1996a) Using Citation Classics to study the incidence of serendipity in scientific discovery. *Scientometrics*, 37, 3-24.
- CAMPANARIO, J.M. (1996b) Have referees rejected some of the most-cited articles of all times?. *Journal of the American Society for Information Science*, 47, 302-310.
- CAMPANARIO, J.M. (en revisión) ¿Quiénes son, que piensan y que saben los futuros maestros y profesores de ciencias?: Una revisión de estudios recientes.
- CASADELLA, J.; BIBILONI, L. (1985) La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las dificultades de su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 217-224.
- DI TROCCHIO, F. (1995) *Las mentiras de la ciencia*, Alianza Editorial: Madrid.
- EVANS, J. (1996) Fraud and illusion in the anti-newtonian rear guard. *Isis*, 87, 74-107.
- GAGLIARDI, R. (1988) ¿Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 291-296.
- GIL, D. (1991) ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 66-77.
- GIL, D. (1994) Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. *Investigación en la Escuela*, 23, 17-32.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991) *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, ICE, Universitat de Barcelona: Barcelona.
- GOODING, D. (1990) Mapping experiment as a learning process: How the first electromagnetic motor was invented. *Science, Technology and Human Values*, 15, 165-201.
- HEERING, P. (1992) On Coulomb's inverse square law. *American Journal of Physics*, 60, 988-994.
- HOLTON, G. (1982) *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Universidad: Madrid.
- KLEIN, M.J. (1972) Use and abuse of historical teaching in Physics. En S.G. Brush y A.L. King (Eds) *History in the Teaching of Physics*, University Press of New England: Hanover.
- KOHN, A. (1988) *Falsos profetas*, Pirámide: Madrid.
- KUHN, T. (1971) *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica: México.
- KUHN, T.S. (1978) *La revolución copernicana*, Ariel: Barcelona.
- MATTHEWS, M.R. (1994) Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 255-277.
- MELLADO, V.; CARRACEDO, D. (1993) Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 331-339.

- MERTON, R.K. (1984) *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Alianza Universidad: Madrid.
- MERTON, R.K. (1985) *La sociología de la ciencia*, Alianza Universidad: Madrid.
- NIELSEN, H.; THOMSEN, P.V. (1990) History and philosophy of science in Physics education. *International Journal of Science Education*, 12, 308-316.
- OTERO, J.C. (1985) Assimilation problems in traditional representations of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7, 361-369.
- PEDRINACI, E. (1994) Epistemología, historia de la ciencia y abejas. *Investigación en la Escuela*, 23, 95-102.
- PESSOA, A.M.; CASTRO, R.S. (1992) La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de la Física en secundaria: Un ejemplo en calor y temperatura. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 289-294.
- POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W.; GERTZOG, W.A. (1982) Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- POZO, J.I. (1987a) Y sin embargo, se puede enseñar ciencia. *Infancia y Aprendizaje*, 38, 109-113.
- POZO, J.I. (1987b) La historia se repite: Las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad. *Infancia y Aprendizaje*, 38, 69-87.
- RUTHEFORD, F.J.; HOLTON, G.; WATSON, F.G. (1970) *Project Physics Text*, Holt, Rinehart and Winston: New York.
- SÁNCHEZ, G.; VALCÁRCEL, M.V. (1993) Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 33-44.
- SÁNCHEZ RON, J.M. (1988) Usos y abusos de la historia de la Física en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 179-188.
- SEGERSTRALE, U. (1995) Good to the last drop? Millikan stories as "canned" pedagogy *Science and Engineering Ethics*, 1, 197-214.
- TOULMIN, S (1977) *La comprensión humana*, Alianza Universidad: Madrid.
- VAN ANDEL, P. (1994) Anatomy of the unsought finding. Serendipity: Origin, history, domains, traditions, appearances, patterns and programmability. *British Journal of Philosophy of Science*, 45, 631-648.
- WHITAKER, M.A.B. (1979) History and quasi-history in Physics education. *Physics Education*, 14, 108-112.
- WHITAKER, R.J. (1983) Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, 352-357.
- ZUCKERMAN, H. (1977) *Scientific elite*, The Free Press: New York.

ANEXO

PROPUESTA DE CONTENIDOS SUSCEPTIBLES DE TRATAMIENTO HISTÓRICO

Movimiento, velocidad y aceleración: Las teorías históricas del movimiento.

Es interesante realizar un repaso de algunas teorías históricas del movimiento mediante la discusión de diferentes ejemplos (caída libre, fuerzas que actúan sobre una piedra que se lanza hacia arriba, trayectoria del agua que surge de un caño horizontal, ...) Es de esperar que los alumnos encuentren razonables muchas de las ideas históricas sobre el movimiento que, sin duda, coinciden con algunas de sus ideas previas (ej: teoría medieval del ímpetus: cuando se lanza un objeto hacia arriba se le comunica un ímpetus que poco a poco se va "gastando". Cuando el ímpetus se agota completamente el objeto cae). No en vano Withaker afirmaba que nuestros alumnos son todavía "aristotélicos" [Whitaker, 1983].

El movimiento circular como movimiento natural

El movimiento circular tuvo una gran importancia conceptual en el pasado, ya que fue considerado durante muchos siglos como propio de la armonía de las esferas celestes y de los planetas frente a los movimientos "violentos" que acontecían en el mundo sublunar precedero y lleno de pecados. Estas creencias desempeñaron un papel importante en las teorías medievales del cosmos y en la resistencia a la teoría heliocéntrica [Kuhn, 1978]. Es importante destacar cómo las concepciones previas y las expectativas propias sesgan las observaciones y dificultan el cambio conceptual en ciencia.

Movimiento en el campo gravitatorio. La oposición a la teoría de Newton.

El descubrimiento newtoniano de la Gravitación se suele considerar uno de los hitos más significativos de su obra y un punto inicial del desarrollo de la ciencia moderna. Sin embargo, la ley del inverso del cuadrado de la distancia no fue aceptada tan rápidamente como muchos libros de texto sugieren. Hubo, de hecho, oposición a la teoría de Newton y otras teorías e hipótesis entre la que destaca la hipótesis de Descartes. Esta hipótesis proponía, precisamente, que el peso aumenta con la distancia. Evans ha relatado recientemente los episodios casi rocambolescos, fraudes incluidos, y los intentos de algunos cartesianos por comprobar la validez de la teoría de Newton casi un siglo después de que éste la propusiera [Evans, 1996].

Teorías del calor: Del sustancialismo al mecanicismo

Han existido diversas teorías históricas sobre el calor. Entre las teorías más influyentes cabe destacar la teoría del calórico. Es interesante realizar un análisis de diversos ejemplos en los cuales la teoría del calórico es útil para explicar determinadas observaciones. Probablemente los alumnos encontrarán razonable la concepción del calor como un fluido que se almacena en los cuerpos. Esto llevará sin duda a algunas inconsistencias internas en las concepciones sustancialistas del calor que mantienen los alumnos y entre estas y las concepciones mecanicistas. Por otra parte, estos contenidos pueden utilizarse para ilustrar la resistencia al cambio de las concepciones sustancialistas del calor a las concepciones mecanicistas.

Los principios de la Termodinámica: El caso de Mayer

Las dificultades de Mayer para que sus trabajos en Termodinámica fuesen aceptados por la comunidad científica de su época provocaron en él depresiones y desequilibrios mentales. Un árbitro de una prestigiosa revista científica de la época rechazó una de sus contribuciones en este terreno y Mayer se vio forzado a publicar sus teorías en oscuras revistas [Campanario, 1993]. Un nuevo caso de resistencia al cambio conceptual.

La ley de Coulomb

Contrariamente a la idea comúnmente extendida, no fueron los resultados de experimentos sumamente precisos los que llevaron a Coulomb a formular su ley, sino, fundamentalmente, consideraciones teóricas [Heering, 1992]. La ley de Coulomb no fue, por otra parte, fácilmente aceptada por los científicos de la época y hubo una cierta oposición a la misma.

La medida de la carga del electrón.

El experimento de Millikan para determinar la carga eléctrica del electrón se ha considerado a veces como un ejemplo claro de conducta contraria a la ciencia por varias razones. Parece probado, por ejemplo, que Millikan eliminó arbitrariamente algunas de las medidas que menos se ajustaban a sus expectativas [Seegerstrale, 1995]. Además, un estudiante de doctorado de Millikan intervino en los experimentos sin obtener ningún reconocimiento posterior. Por otra parte, la famosa controversia entre Millikan y Ehrenhaft (firme creyente de la continuidad de la carga eléctrica) sirve para ilustrar el papel de este tipo de acontecimientos en el desarrollo de la ciencia, algo a lo que no se suele prestar mucha atención [Holton, 1982]. La controversia Millikan-Ehrenhaft sirve como ejemplo de la importancia trascendental que, según Holton, tienen los factores temáticos o metafísicos en la investigación científica.