

**LA INVESTIGACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA: DE LA ANÉCDOTA A LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICAMENTE FUNDAMENTADO
(Research in physics education: from the anecdote to the production of scientific based knowledge)**

Jenaro Guisasola Aranzabal

Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

Resumen

Las características de los que define el área de investigación en Didáctica de la Ciencias y, en concreto de la Física, así como sus objetivos y metodología constituye el tema de este trabajo. Se comienza describiendo la serie de hechos y circunstancias sociales que han dado lugar a la formación de esta área de investigación y se definen algunas de sus características. A continuación se describe la metodología de investigación atendiendo a las características sobre las que existe un mayor consenso y se concretan con ejemplos de una investigación en Enseñanza de la Física dirigida por el autor de este trabajo. Se termina mencionando algunas aportaciones de la investigación en Didáctica de las Ciencias y las perspectivas de futuro.

Palabras-clave: didáctica de las ciencias, investigación, enseñanza de la Física.

Abstract

The features that define the area of research in didactic of sciences, especially physics, as well as their objectives and methodology constitute the subject of this paper. It starts describing the series of events and social circumstances that resulted in the formation of this research area, and some of its characteristics are defined. After that, it describes the research methodology, taking into account the more consensual ones, and presents some examples of research studies in physics education carried out by the author. It ends presenting some contributions of research in the didactic of sciences and discussing future perspectives.

Keywords: didactic of sciences, research, physics education.

¿Por qué una investigación sobre Enseñanza de la Física?

La enseñanza de la física en la universidad, en todo el mundo, está actualmente en proceso de desarrollo y cambio como se puede constatar en las diversas aportaciones que se realizan en diferentes Foros y Congresos Internacionales (Redish y Rigden 1997, Tiberghien, Jossem y Barojas 1998). Una de las principales razones de esta nueva dinámica es la constatación como profesores de física, ya sea a nivel de secundaria o universitario, del desajuste existente entre lo que enseñamos a nuestros estudiantes y la visión que ellos acaban teniendo de la física. Existe un amplio número de estudios que constata el alto porcentaje de fracaso de los estudiantes en el área de ciencias en la Enseñanza Secundaria (Pfundt y Duit 2004) y, recientemente, se está empezando a tener datos del fracaso en la enseñanza universitaria. En un estudio de indicadores de Rendimiento realizado por el Consejo de

Universidades de España (documento de trabajo. Madrid 1993, revisado en 1996), se indica que en las titulaciones de Ingeniería la estimación de éxito en el tiempo teórico establecido para obtener la titulación es del 20%, que el 40% lo realiza con uno o más años de retraso y que hay una tasa de abandono también del 40%. El fracaso generalizado se constata independientemente del plan de estudios realizado por los estudiantes en Secundaria. Así, en el trabajo realizado por De Miguel (MEC 2001) que analiza las tasas de éxito de los estudiantes procedentes de los planes de estudios españoles COU y LOGSE en la universidades de Oviedo, País Vasco y Zaragoza al final de la titulación, se pone de manifiesto que no llega al 20% los estudiantes que lo logran en el tiempo teórico establecido y que cerca de un 35% lo hacen con un año de retraso. Estos porcentajes se mantienen con cifras muy similares para los estudiantes de los dos planes COU y LOGSE.

Por otra parte, también se constata que numerosos estudiantes opinan que la física es una asignatura difícil que no compensa estudiar y muestran un bajo nivel de motivación hacia su estudio. Un síntoma de este problema es que, actualmente el número de los estudiantes en los departamento de física disminuye y se presenta una situación incierta para el futuro de algunos departamentos y facultades.

La preocupación por los problemas anteriores, y en concreto sobre la discrepancia entre los objetivos marcados en el curriculum tradicional y el aprendizaje logrado por los estudiantes ha llevado a muchas discusiones sobre la manera en que podemos mejorar la enseñanza de la física para disminuir la distancia entre lo que se enseña a los estudiantes y lo que ellos acaban por ‘saber’ y ‘saber hacer’. Afortunadamente, ya no tenemos que apoyarnos, como alguna vez hicimos, en una memoria individual anecdótica. En los últimos veinticinco años, físicos de diferentes países han venido contribuyendo al crecimiento de un nuevo campo de investigación: el del aprendizaje y la enseñanza de la física. Los resultados de esta investigación sugieren la presencia de muy diferentes factores que influyen en la enseñanza de la física y que hace que esta tarea sea compleja (Viennot 1996, Niedderer 1999, McDermott 2000, Guisasaola et al. 2004). De esta forma se rechaza una concepción simplista de la enseñanza de la física que la considera una tarea sencilla que consistiría en dominar los contenidos operativos y tener un poco de ‘mano izquierda’ para tratar con los estudiantes. Por el contrario, los resultados que ya hoy en día son admitidos por la Comunidad Internacional de Profesores de física indican que la tarea a desarrollar y los problemas a afrontar son lo suficientemente complejos como para constituir un campo propio de investigación. En este sentido, relacionar la práctica docente con la investigación, supone aceptar explícitamente la existencia de problemas en la enseñanza de la física, lo que favorece la educación de una mentalidad abierta, una actitud reflexiva y una capacidad de autoanálisis y autocrítica.

La Didáctica de la Física (Physics Education), y en general la Didáctica de las Ciencias Experimentales, se ha constituido desde hace pocos años en un campo propio de investigación (Aliberas, Gutierrez e Izquierdo 1989, Gabel 1994, Fraser y Tobin 1998). Este campo aunque autónomo, trata de integrar conocimientos de forma no mecánica de otros campos como la Psicología, la Pedagogía o la Filosofía de la Ciencia. Así pues, son necesarios conocimientos de Pedagogía, Psicología y de Historia y Epistemología de la Ciencia que complementen los necesarios e imprescindibles conocimientos del marco teórico de la física y que, permitan afrontar un escenario tan complejo como es el del proceso de enseñanza-aprendizaje de esta disciplina en el aula.

¿Puede la investigación en Didáctica de la Física constituir un campo propio de investigación?

Desde hace años ha habido una larga polémica en el campo de la Didáctica de las Ciencias acerca de si constituye o no una disciplina científica (Aliberas, Gutierrez e Izquierdo 1989, Hake 2000, Mayer 2001). De acuerdo con Gil, Carrascosa y Mtnez-Terrades (2000) el desarrollo de un nuevo campo de conocimientos aparece asociado a una doble condición:

- ? la existencia de una problemática relevante, susceptible de despertar el suficiente interés para justificar los esfuerzos que exijan su tratamiento y
- ? el carácter específico de dicha problemática, que impida su tratamiento efectivo desde un cuerpo de conocimientos ya existente.

Intentaremos mostrar que ambas condiciones se dan en el caso de la didáctica de las ciencias. A mediados del siglo XX se comenzó a percibir la necesidad de enseñar bien ciencias a toda la población escolar a fin de hacer posible el desarrollo tecnológico futuro. Sin embargo, es en el último tercio del siglo pasado cuando se produce un cambio en los objetivos al cambiar el campo de trabajo de la didáctica de las ciencias. La didáctica de las ciencias pasa de reducirse a los problemas derivados de la transmisión científica a considerarse una interfase entre la ciencia y la sociedad, así p.e. la administración USA ha convertido el esfuerzo en educación en su primera prioridad, y en los National Science Education Standards, auspiciados por el National Research Council (1996) se afirma: “En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos”. De esta forma el dominio de la didáctica de las ciencias se amplía considerablemente y su contenido se hace mucho más interesante.

La nueva situación favoreció la constitución de la “didáctica de las ciencias” como una disciplina científica autónoma que empezaba a crecer en la frontera de otras disciplinas como la Psicología, la Pedagogía, la Historia y Filosofía de la Ciencia y la Sociología. Si bien, como era de prever, las primeras investigaciones o bien respondían a tratamientos puntuales, ateóricos (Klopfer 1983) o bien constituían simples aplicaciones de la psicología de la educación o psico-pedagogía (Coll 1988).

En los años 80 se atribuía a la Didáctica de las Ciencias un status ‘pre-paradigmático’ (Klopfer 1983). De acuerdo con Toulmin (1977) diríamos que le faltaba un conjunto suficientemente aceptado de conceptos, métodos e ideales explicativos. Pero precisamente la existencia de una serie de problemas derivados directamente de la práctica docente irá configurando una comunidad científica cada vez más diferenciada y mejor caracterizada.

Por lo que se refiere a España y, en general al mundo hispanoamericano, a principios de los años 80 se puede hablar de un vacío prácticamente total: no existían revistas en castellano que sirvieran de impulso e intercambio y las revistas extranjeras eran prácticamente desconocidas, las facultades de Ciencias rechazaban, o simplemente ignoraban, los problemas educativos como temas de investigación y elaboración de tesis doctorales (Furió 1994, Gil 1994, Moreira 1994).

El trabajo decidido por ofrecer una enseñanza significativa de las ciencias que permita que las visiones no científicas de los estudiantes entre en el aula y sean contrastadas con la del profesor, ha contribuido a diferenciar los objetivos de esta nueva disciplina de los de las disciplinas fronterizas. Esto hace que las tareas abordadas por la nueva disciplina sean

consideradas como auténticos ‘problemas científicos’ que necesitan una metodología propia de trabajo (Porlán 1993, Gabel 1994, Fraser y Tobin 1998, Martínez Terrades 1998). En este sentido se han producido cambios en la metodología de investigación que en la actualidad es más sistemática combinando métodos cuantitativos y cualitativos para encontrar patrones reproducibles en la estructura de los problemas y la forma en que éstos varían (Pintó, Aliberas y Gomez 1996).

En cuanto al cuerpo teórico de esta nueva disciplina podemos decir que está fragmentado aunque es convergente. La confrontación entre los diferentes modelos de aprendizaje utilizados actualmente en la enseñanza de las ciencias (derivados del aprendizaje jerárquico, de la epistemología genética, del aprendizaje por recepción, de la psicología cognitiva y de la psicología del procesamiento de la información) no ha dado ningún vencedor claro. Cada modelo tiene un ámbito de aplicación en el que demuestra su utilidad. A pesar de que no se ha conseguido el consenso en los aspectos teóricos, sí que ha sido posible en los de tipo práctico.

Este acuerdo consiste en una nueva manera de entender el aprendizaje, el ‘constructivismo’, según el cual se concede más importancia a la construcción de una visión del mundo por parte del estudiante que a la acumulación de informaciones o de procedimientos (Driver 1983, Moreira 2000, Gil et al. 2002). Ello implica la imposibilidad de ofrecer ‘recetas’ didácticas que pudieran ser válidas independientemente del contenido a enseñar y de las circunstancias de los estudiantes. Durante la última década hemos asistido, en la didáctica de las ciencias, al establecimiento de lo que Novak (1988) denominó "un consenso emergente" en torno a planteamientos constructivistas, calificados como la aportación más relevante de las últimas décadas en este campo. Como ha afirmado Hodson (1992), "Hoy ya es posible construir un cuerpo de conocimientos en el que se integren coherentemente los distintos aspectos relativos a la enseñanza/aprendizaje de las ciencias".

Así pues, podemos decir que el desarrollo de la didáctica de las ciencias a lo largo de las dos últimas décadas ha sido calificado de auténtica revolución. Se trata, por supuesto, de un desarrollo que, como en cualquier otro campo científico, no ha tenido un carácter lineal y en el que se han producido y siguen produciéndose fecundas controversias y reorientaciones más o menos profundas. Pero un desarrollo que ha mostrado convergencias y progresos reales en la orientación del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, refrendados por un notable volumen de investigaciones e innovaciones que pueden consultarse en las numerosas revistas especializadas hoy existentes y que han hecho posible ya la aparición de dos *Handbooks* (Gabel 1994, Fraser y Tobin 1998).

Todo ello ha venido acompañado de un desarrollo espectacular de los órganos de expresión y del número de trabajos. Nos encontramos que la revista *Science Education* apareció en 1916, en 1963 aparece *Journal of Research in Science Teaching* y en 1972 se publica *Studies in Science Education*. Sin embargo a partir de la década de los ochenta aparecen numerosas revistas como *European Journal of Science Education* (actualmente se denomina *International Journal of Science Education*), *Enseñanza de las Ciencias*, *Research in Science Education*, *ASTER*, *Didaskalia*, *Science and Technological Education*, *La Revista de Enseñanza de la Física*, *Investigación en la Escuela*, *Alambique*, *InvestigaÇoes Em Ensino de Ciências ... etc.* Además revistas de contenido en Física como *American Journal of Physics* y *Revista Española de Física* amplían su contenido a trabajos sobre Enseñanza de la Física o publican revistas específicas como *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Actualmente la comunidad de físicos estadounidenses que investiga en Enseñanza de la física

está poniendo en marcha una nueva revista para el año 2005 que recibirá el nombre de *Physical Review Special Topics: Physics Education Research*. Este esfuerzo de publicaciones exige un colectivo de evaluadores que haga la función de ‘un grupo de referencia’ con autoridad suficientemente reconocida como para poder ejercerla con el reconocimiento de sus colegas. Así pues, estaríamos ya en condiciones de cumplir otro de los requisitos de una disciplina bien estructurada.

Podemos decir, pues, que la didáctica de las ciencias y, en particular la didáctica de la física, constituye un campo propio de investigación en la medida en que la problemática que plantea el proceso de aprendizaje de las ciencias (la física) lo es, es decir, en la medida en que los conocimientos científicos son específicos y no pueden aprenderse como, p.e., la lengua o la música.

Dando por supuesto que la didáctica de las ciencias constituye un campo propio de investigación tal y como hemos intentado justificar, no queremos terminar este apartado sin mencionar las principales líneas de trabajo que han centrado el interés de los investigadores en las dos últimas décadas.

Como es lógico no hay una coincidencia total entre los diversos autores sobre lo que consideran líneas de investigación prioritarias, pero sí existe un número determinado de problemáticas que son reconocidas como prioritarias por la generalidad de los investigadores. En primer lugar, debemos citar por el gran número de trabajos y su importancia en la bibliografía las investigaciones en torno a las “concepciones alternativas”. Tampoco puede haber dudas acerca de la importancia de otras temáticas como fructíferas líneas de investigación, entre las que podemos mencionar: “la resolución de problemas” y las “prácticas de laboratorio”. La investigación didáctica ha prestado atención también a cuestiones como “diseño curricular”, “relaciones ciencia/tecnología/sociedad”. Más recientemente se ha convertido en líneas prioritarias temas como “la evaluación”, “la formación de profesores” y “las cuestiones axiológicas” que plantean las diferencias de género, la diversidad cultural ... etc.

Metodología de investigación en Didáctica de la Física

Como es lógico existe una amplia variedad de metodologías empleada por los diferentes investigadores a la hora de abordar una problemática en enseñanza de la Física. Sin embargo, trataremos describir en este apartado algunas características comunes a todas ellas que las permiten validar como investigaciones científicas y no como meros intentos puntuales o no fundamentados que ignoran incluso, otros esfuerzos de innovación y sus resultados.

Un problema como punto de partida

Las investigaciones en enseñanza de la física parten de reconocer *un problema de forma explícita y concreta*. Por ejemplo, un trabajo puede partir de reconocer una preocupación entre el profesorado de Bachillerato y primer ciclo de universidad por los resultados de la enseñanza que se imparte en el área del electromagnetismo en general y, del campo magnético estacionario en particular. A pesar de los esfuerzos y del tiempo que se invierten en esta área de la Física los resultados que se obtienen son poco satisfactorios, como lo demuestra el alto

índice de fracaso escolar que se produce y que, generalmente, es bastante superior al de otras áreas básicas como, por ejemplo, la mecánica.

En el ejemplo planteado el problema es muy general ya que habla del área del electromagnetismo y en particular del campo magnético estacionario. Sin embargo se puede ir concretando haciendo una revisión de los estudios que sobre esta área se han realizado. Así podemos constatar que fenómenos básicos de Magnetismo y conceptos como el campo magnético y sus fuentes han sido escasamente investigados en niveles de primaria (Erickson 1994, Bar et al. 1997) y Secundaria (Galili 1995, Seroglou et al. 1998). Recientemente han aparecido algunos trabajos para nivel de Universidad (Meneses y Caballero 1995, Bagno y Eylon 1997, Guisasola, Almudí y Ceberio 2001, Guisasola, Almudí y Ceberio 2003, Guisasola, Almudí y Zubimendi 2003, Guisasola, Almudí y Zubimendi 2004). Así pues, se podría concretar la labor de investigación en el análisis de la enseñanza-aprendizaje del concepto de campo magnético. Así mismo, en este ejemplo, los conceptos investigados son prerequisites básicos para analizar un gran conjunto de fenómenos (los electromagnéticos) lo que puede resaltar la importancia de la investigación. Por tanto, el problema que trata de abordar este trabajo *se ubica en el aprendizaje e introducción de conceptos de especial dificultad (campo magnético)*.

Una vez concretado el problema a investigar será necesario indicar cuál es el marco teórico en el que se realiza la investigación y concretar de forma explícita el problema. Por ejemplo, para abordar el problema anterior se podría situar el estudio dentro de tres líneas principales de investigación en Didáctica de las Ciencias que forman, frecuentemente, parte de una misma realidad escolar "el movimiento de las concepciones alternativas", "formas de razonamiento de los estudiantes" y "diseño curricular" (Pozo 1993). Los estudios sobre concepciones alternativas (Wandersee et al. 1994) confirman que los alumnos tienen sus teorías implícitas, y que este conocimiento previo es un factor muy relevante para el aprendizaje de las teorías científicas. Un enfoque didáctico que atienda a la perspectiva constructivista, debe plantearse actuar sobre las concepciones alternativas de los estudiantes, propiciar el cambio epistemológico, sin el cual no se puede producir el cambio conceptual, y proponer una estrategia de enseñanza-aprendizaje que mejore la actitud de los estudiantes hacia la ciencia y sobre todo hacia el propio aprendizaje. Por tanto, el trabajo se inscribirá dentro *del marco constructivista así considerado, y en concreto, en el denominado modelo de aprendizaje como investigación orientada* (Gil et al 2002, Guisasola y Pérez de Eulate 2001).

Así mismo, se ha tenido en cuenta la cada vez más abundante bibliografía en Didáctica de las Ciencias (Cleminson, 1990; Burbules y Linn, 1991; Guilbert y Meloche, 1993) que reivindica un nuevo papel de la Historia de la Ciencia en la enseñanza, en el sentido de que posibilita la anticipación de problemas epistemológicos y ontológicos que puedan dificultar el proceso de aprendizaje. Al mismo tiempo, el conocimiento por parte del profesor de estos aspectos históricos y epistemológicos facilita una mejor secuenciación y organización de los contenidos a enseñar, así como la elaboración de nuevas estrategias de enseñanza en el aula.

Para explicitar de forma interrogativa el problema nos podemos apoyar en una revisión bibliográfica de aquellos trabajos que analicen la enseñanza y/o el aprendizaje del campo magnético, así como en nuestra propia experiencia docente. La bibliografía sobre este tema muestra que la introducción del campo magnético recibe un tratamiento didáctico deficiente y confuso, basado en definiciones operativas y manipulaciones cuantitativas (problemas de cálculo) que no profundizan en el significado del concepto (Galili y Kaplan 1997, Borges y

Gilbert 1998). De acuerdo con lo anterior, el problema didáctico que se plantea pretende contestar a las siguientes interrogantes (Almudí 2002):

- a) ¿Cuáles son las principales dificultades de aprendizaje que se presentan al introducir en primer curso en la Universidad los conceptos básicos del Campo Magnético estacionario?
- b) ¿En qué medida estas dificultades constituyen concepciones alternativas resistentes a la enseñanza convencional?

La existencia de dificultades de aprendizaje nos llevará a investigar las causas de las mismas y ello implica analizar, principalmente dos aspectos, las posibles dificultades epistemológicas de los conceptos introducidos y cómo se enseñan (aspecto didáctico). Respecto del primer aspecto las preguntas que se plantean son:

- c) ¿Existe alguna semejanza entre concepciones vigentes a lo largo de la Historia del pensamiento científico y las concepciones alternativas de los estudiantes?
- d) En qué medida el poco aprendizaje producido puede ser debido a carencias y deficiencias epistemológicas de los contenidos y estrategias de transmisión verbal empleadas habitualmente en la enseñanza?

Respecto a aspectos didácticos de la enseñanza se plantean los siguientes aspectos:

- e) ¿Se tienen en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica? O, de otra manera, ¿qué insuficiencias didácticas existen en las estrategias utilizadas en la enseñanza habitual de estos conceptos y teorías?. ¿Cómo se enseña el tema de campo magnético estacionario y, en particular, los conceptos relacionados con la fuente del campo magnético estacionario?

La crítica de estas enseñanzas debe suponer, al propio tiempo, la presentación constructiva de una propuesta alternativa que aplicada a grupos de alumnos/as muestre su eficacia. Es decir, se planteará si:

- f) ¿Es posible diseñar y desarrollar una programación de la teoría del campo magnético estacionario, basado en un modelo de aprendizaje por investigación orientada, que favorezca sustancialmente el aprendizaje de estos conceptos?

En caso afirmativo, será necesario ver la viabilidad de dicha propuesta. O sea contestar a las siguientes cuestiones:

- g) ¿Qué resultados se obtienen cuando se aplica en clase el programa diseñado?
- h) ¿Cómo valoran los estudiantes las nuevas estrategias utilizadas?

Hipótesis y consecuencias contrastables

Para contestar a las preguntas planteadas en el problema será necesario formular hipótesis a modo de posibles tentativas de solución que irán modificándose a lo largo de la investigación, hasta tomar su forma definitiva en el momento en que el trabajo haya

finalizado. Por ejemplo en el caso del concepto de campo magnético estacionario que nos ocupa, la formulación definitiva de las hipótesis fue la siguiente: la primera de las hipótesis se centra en la ineficacia que revelaría la enseñanza habitual para favorecer un aprendizaje significativo de los conceptos básicos del magnetismo.

HIPOTESIS 1. La enseñanza habitual del Campo Magnético estacionario en el primer ciclo de Universidad, adolece de graves insuficiencias epistemológicas y didácticas que no favorece que los estudiantes aprendan de forma significativa sus conceptos básicos y, en particular, los conceptos relacionados con las fuentes del campo magnético estacionario.

La segunda hipótesis se centra en la posibilidad de organizar y desarrollar un curriculum de teoría del campo magnético con una orientación constructivista y que sea más eficaz. La segunda hipótesis se basa en *no concebir la innovación como mera aplicación de la investigación*, es decir, no introducimos una separación entre los conocimientos producidos por la investigación de la primera hipótesis y la elaboración de propuesta de actuación en el aula. Considerar la innovación como una aplicación de la investigación educativa es una visión simplista; basta reflexionar brevemente sobre el desarrollo histórico de la educación para comprender que los esfuerzos de innovación educativa han precedido, como sabemos bien, a la investigación y la han impulsado. De hecho, muchos investigadores en didáctica de las ciencias somos docentes preocupados por la mejora de nuestra enseñanza.

HIPOTESIS 2. Es posible transformar la enseñanza habitual del Campo Magnético estacionario en el primer curso de la Universidad, en otra basada en el modelo de aprendizaje como actividad de investigación orientada que favorezca un aprendizaje más significativo de sus conceptos y un mayor interés hacia el Magnetismo y su aprendizaje.

La operativización de la primera hipótesis del ejemplo implica la enumeración y análisis de diversos aspectos implicados en la enseñanza/aprendizaje habitual de la teoría elemental del campo magnético estacionario. Este análisis se ha dirigido hacia los dos aspectos principales del proceso. De una parte, hacia la enseñanza que se imparte, y que tiene como protagonistas principales **al profesorado** y a **los libros de texto**. En segundo lugar, debemos analizar el aprendizaje logrado por **los alumnos** tras este tipo de enseñanza.

La realización de diseños obliga a concretar mucho más las hipótesis. Esta labor termina con la explicitación de lo que denominamos *consecuencias contrastables* :

A. La presentación didáctica del Campo Magnético estacionario, (desde la introducción de sus fuentes, hasta sus aplicaciones, pasando por las leyes fundamentales que lo caracterizan), en la enseñanza habitual presenta visiones distorsionadas en relación con la construcción de la Ciencia y del trabajo científico (Guisasola, Almudi y Furio 2004).

? Si fuera cierto lo que se afirma en la primera derivación (A), entonces la organización y secuenciación de contenidos de los libros de texto y/o de los profesores presentarán graves carencias epistemológicas que se concretan en:

A.1. Una *visión aproblemática* del Campo Magnético estacionario caracterizada por la ausencia de dificultades y problemas en su presentación a los estudiantes, que justifiquen la introducción de conceptos, realizándose ésta de forma arbitraria.

A.2. Una *presentación acumulativa lineal* de los contenidos caracterizada por una exposición lineal de los conceptos que componen el modelo teórico actual del magnetismo, de forma que no tiene en cuenta los saltos cualitativos, ni las reformulaciones conceptuales profundas que se realizaron al introducir nuevos conceptos de mayor poder explicativo.

A.3. Una *visión excesivamente analítica* que transmite conocimientos analizados autónomamente, olvidando las conexiones con otros, y los esfuerzos de unificación en un cuerpo coherente de conocimientos cada vez más amplio, propio de las construcciones científicas.

A.4. Una *visión acrítica* de la Ciencia caracterizada por la omisión, en muchos casos, de la valoración del grado de aplicabilidad de conceptos y leyes que, en consecuencia, son vistas por los aprendices como “recetas mágicas” utilizables en cualquier circunstancia.

A.5. Una *falta de conocimiento del cambio ontológico* que se produjo en el desarrollo de la teoría del magnetismo al pasar de unos modelos a otros. En concreto el cambio ontológico que se produjo al pasar de una “visión newtoniana” a otra de “teoría de campo” y que puede llevar a considerar esta última teoría como muy “abstracta” y vacía de contenido físico.

B. La enseñanza habitual del Campo Magnético estacionario no tiene en cuenta los resultados de la investigación didáctica respecto al aprendizaje de las Ciencias, y por tanto, presenta graves deficiencias didácticas.

? De acuerdo con la segunda derivación (B), las estrategias de enseñanza que presentan los libros de texto y/o utilizan los profesores de Física para introducir los conceptos tienen carencias que se manifiestan en:

B.1. No tener en cuenta las posibles concepciones alternativas de los estudiantes sobre los conceptos más importantes del Campo Magnético estacionario lo que da lugar a una *visión simplista* de la Ciencia.

B.2. *Presentación básicamente operativista* de los conceptos y problemas que se analizan a lo largo del desarrollo del tema, donde, en consecuencia, no se explicita un tratamiento cualitativo de aquéllos.

B.3. No tomar en consideración que los estudiantes, además de las dificultades conceptuales, presentan dificultades procedimentales (razonamiento de “sentido común”, causalidad simple, inversión de la implicación causa-efecto...etc.), derivadas de la no utilización de los aspectos fundamentales de la metodología científica (planteamiento cualitativo del problema, emisión de hipótesis, diseño y realización de experimentos, análisis de resultados...), que coadyuvan a un aprendizaje memorístico de los conceptos. Así pues, no se familiarizará al estudiante con aspectos fundamentales de la metodología científica como los acabados de mencionar.

B.4. No prestar atención a aquellos aspectos motivacionales (interacción C/T/S) que permitan despertar el interés hacia esta temática, y caracterizándose, por lo tanto, por una *visión socialmente descontextualizada* de la Ciencia.

B.5. Obviar aquellos aspectos de carácter ontológico de las diversas teorías que permiten dar una idea cualitativa, y con contenido físico, del modelo a estudiar.

B.6. Atención exclusiva a los contenidos de tipo conceptual, olvidando los contenidos procedimentales y actitudinales y, por tanto, se evaluarán fundamentalmente objetivos de tipo conceptual.

C. Como consecuencia de lo anterior, los estudiantes del primer ciclo de Universidad tendrán concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje, alguna de las cuales se asemejarán a las que se presentaron en la construcción del magnetismo como ciencia (Guisasola et al. 2003 y 2004).

De acuerdo con la tercera hipótesis derivada (C), se intenta contrastar que los estudiantes van a encontrar serias dificultades en la comprensión de los conceptos básicos del Campo Magnético estacionario. En particular se persigue contrastar las siguientes consecuencias:

C.1. Los estudiantes no identificarán correctamente las fuentes del Campo Magnético estacionario

C.2. Así mismo la gran mayoría de los estudiantes conoce que el imán es fuente del Campo Magnético, pero no sabrán justificarlo de forma coherente con el marco teórico de la Física, (no relacionan el imán con el movimiento de cargas, a nivel microscópico, en su interior, llegando por lo menos al modelo de Ampère). En definitiva no tienen modelo científico del imán.

C.3. Si es cierto que no saben explicar por qué el imán crea un Campo Magnético, no establecerán una relación de equivalencia, en el ámbito del electromagnetismo, entre una espira de corriente y un imán. Es decir, los estudiantes no vincularán entre sí los campos magnéticos de espiras de corrientes e imanes.

C.4. Al no establecer con precisión las fuentes del Campo Magnético estacionario, no reconocerán que dicho campo actúa sólo sobre su fuente. Por lo tanto no comprenderán que el campo magnético sólo actúa sobre cargas en movimiento.

C.5. Los estudiantes confundirán entre sí las causas (campo) y los efectos (fuerza) de un Campo Magnético estacionario.

C.6. Los estudiantes no comprenderán las diferencias entre Campo Eléctrico estacionario y Campo Magnético estacionario, fundamentalmente en lo que se refiere a sus efectos. Así por ejemplo, atribuirán efectos eléctricos a un campo magnético estacionario

C.7. A diferencia de los campos gravitatorio y electrostático, que dependen exclusivamente de la materia, a través de la masa y de la carga de los cuerpos respectivamente, el campo magnético, además, depende del sistema de referencia elegido, a través de la velocidad de las cargas que crean ese campo. En relación con lo anterior, los estudiantes no tendrán en cuenta la dependencia de un campo magnético estacionario con el ya citado sistema de referencia.

C.8. Los estudiantes encontrarán grandes dificultades a la hora de explicar el concepto del Campo Magnético, en lo que se refiere a establecer una relación cuantitativa entre el patrón de dicho campo a lo largo de una trayectoria cerrada y la cantidad de corriente, (fuente de dicho campo), que atraviesa la región limitada por la citada trayectoria.

Por otro lado, los problemas epistemológicos que tuvo que superar la Ciencia para llegar a construir la teoría del Campo Magnético estacionario que hoy conocemos, implican una síntesis de conocimientos, y en ocasiones un cambio ontológico que podría permitir explicar las grandes dificultades que tienen los estudiantes en estas teorías; en concreto se encontrará que:

C.9. Los problemas históricos, (diferentes modelos de explicar el Magnetismo a lo largo de la Historia, con todo lo que ello conlleva), pueden ayudar a comprender algunos de los principales obstáculos encontrados en los estudiantes.

No obstante, la aceptación de un punto de vista evolutivo sobre el desarrollo del conocimiento conceptual de los estudiantes, nos permiten afirmar que el conocimiento anterior de los alumnos interacciona con el que se presenta en el aula y es de esperar una mayor riqueza de combinación entre los componentes conceptuales y epistemológicos de las ecologías cognitivas personales; por tanto:

C.10. Se encontrarán opiniones o ideas explicativas de los estudiantes que no fueron asumidas por la comunidad científica.

C.11. La existencia de las dificultades conceptuales indicadas anteriormente irán acompañadas de nuevas dificultades procedimentales, (razonamientos de “sentido común”, causalidad simple, inversión de la implicación causa-efecto), dado que no se ha familiarizado a los estudiantes con la metodología científica.

Diseños experimentales

Las 22 consecuencias contrastables que hemos derivado de la primera hipótesis, se refieren a aspectos fuertemente interrelacionados y, por tanto, susceptibles de ser estudiados, tanto por separado como de forma agrupada; por lo tanto, para algunas consecuencias se han realizado cuestionarios y estadillos individuales, mientras que para otras se ha creído más adecuado realizar un diseño común.

Al presentar una panorámica general del diseño experimental para contrastar las hipótesis emitidas queremos advertir contra el error, en el que en ocasiones se ha incurrido, de confundir la investigación didáctica con trabajos de tipo sociológico. En la investigación educativa no es lo más relevante, en general, el tamaño de la muestra, y en este sentido se ha tenido en cuenta que según Larkin y Rainard (1984), de la Carnegie-Mellon University (EEUU), uno de los centros más importantes del mundo en la psicología del procesado de la información, encuestar a 500 en vez de a 10 individuos de una población de 5000, para contrastar si presentan o no determinada característica, sólo disminuye en un factor de 1.1 la desviación típica. Así pues, en la mayoría de las investigaciones educativas se valora la riqueza del diseño en la medida en que es capaz de explorar una diversidad de facetas e implicaciones de las hipótesis. *Nuestra intención no es, pues, utilizar grandes muestras, sino buscar grandes diferencias (en sentido estadístico) entre las muestras utilizadas, de acuerdo con la hipótesis a contrastar, y a ser posible de muy diferentes maneras experimentalmente.*

Para la comprobación de las consecuencias enunciadas proponemos un diseño múltiple y convergente, ya que el proceso de enseñanza-aprendizaje en el contexto escolar es tan complejo que el trabajar con un único método sólo produce datos limitados y a veces

engañosos (Carr, 1989; Cohen y Manion, 1990). Así pues, se utilizarán métodos cuantitativos (Cook y Reichardt, 1986): Cuestionarios en los que se plantean ítems que han de ser valorados numéricamente por el entrevistado. También se han utilizado técnicas semicuantitativas como *estadillos* para el análisis de respuestas escritas o de libros de textos, y técnicas cualitativas como entrevistas con los estudiantes donde "explican en voz alta" el razonamiento seguido ante una situación problemática o grabaciones a grupos de trabajo que analizan un determinado problema (Jong, 1990).

Un resumen de los diseños realizados para el ejemplo que estamos exponiendo aparece en la tabla 1:

Instrumento de análisis	Documento
Estadillo para análisis de secuenciaciones de libros de texto sobre las visiones deformadas de la Ciencia en la introducción de los contenidos	1
Estadillo para análisis de libros de texto sobre las deficiencias didácticas en la introducción de los contenidos	2
Cuestionario para análisis de programas de profesores sobre las deficiencias epistemológicas en la introducción de los contenidos de probabilidad	3
Guión de entrevista semiestructurada para contrastar que la organización y secuenciación de contenidos realizada por los profesores presentan deficiencias epistemológicas	4
Guión de entrevista semiestructurada para contrastar que las estrategias de aprendizaje y forma de evaluación terminal que utilizan los profesores en el tema de probabilidad presentan deficiencias didácticas	5
Cuestionario para detectar en los estudiantes concepciones alternativas acerca de las fuentes del campo magnético	6
Cuestionario para detectar en los estudiantes concepciones sobre las relaciones de equivalencia entre imanes y espiras de corriente	7
Cuestionario para detectar en los estudiantes que confunden las causas (campo) y los efectos (fuerza) en el campo magnético estacionario	8
Cuestionario para detectar en los estudiantes problemas relacionados con la naturaleza relativista del campo magnético y la ley de Ampère	9
Guión de entrevista semiestructurada para contrastar el poco aprendizaje significativo logrado por los estudiantes en el concepto de campo magnético estacionario	10

Tabla 1. Instrumentos experimentales elaborados para la contrastación de la primera hipótesis

Como se observa en la tabla 1 los diseños son tanto de tipo cuantitativo (cuestionarios) como semicuantitativo (análisis de libros de texto o programas) y cualitativos (entrevistas). Los diferentes resultados se apoyan los unos en los otros para converger y dar verosimilitud a la hipótesis. A modo de ejemplo vamos a describir dos de los documentos y sus resultados correspondientes.

? El documento 1 consiste en un estadillo para el análisis de libros de texto sobre la detección de posibles carencias epistemológicas en la organización y secuenciación de los contenidos. Este estadillo se ha confeccionado a partir de la revisión histórica que se ha realizado sobre la progresión de las teorías científicas del magnetismos. Las características principales de esta revisión se reflejan en los criterios de corrección de cada uno de los ítems como se indica a continuación:

documento 1. estadillo para el análisis de libros de texto sobre las posibles carencias epistemológicas en la organización y secuenciación de los contenidos

1) ¿Hay en el tema introductorio del campo magnético, y a lo largo del mismo, algún contenido explícito, de forma declarativa o interrogativa, relativo a la problemática que se va a abordar, (que pueda dar una concepción preliminar del problema que se va a estudiar)?..... SÍ/NO

2) ¿Se presentan situaciones problemáticas con objeto de hacer ver cuáles son las diferentes, en apariencia, fuentes del campo magnético estacionario?..... SÍ/NO

3) ¿Se presentan situaciones problemáticas en las que se pone de manifiesto, en el fondo, la unicidad de las fuentes del campo magnético estacionario, (modelo amperiano)?.....SÍ/NO

4) ¿Se hace algún comentario histórico sobre el desarrollo de los conceptos básicos del campo magnético, considerando en particular, algunas de las diferentes explicaciones que se dieron a lo largo de la Historia del Magnetismo, como por ejemplo: su unificación con el campo eléctrico hasta el siglo XVII, su separación después, siglos XVII y XVIII, para posteriormente volver a su unificación, a partir del siglo XIX, hasta llegar al modelo actual?...En definitiva, ¿se pone de relieve el carácter dinámico vs. el carácter acumulativo lineal del proceso de instrucción del conocimiento?..... SÍ/NO

5) Hay alguna conexión explícita, de cualquier tipo, (quizá haciendo especial hincapié en: a) analogías y sobre todo diferencias con el campo eléctrico, b) relacionar la unicidad de las fuentes del magnetismo con el estudio de la magnetización de la materia), entre la introducción del tema del campo magnético y algún capítulo anterior y/o posterior?..... SÍ/NO

6) ¿Se pone de manifiesto las posibles limitaciones de la validez de leyes y conceptos, (relatividad del campo magnético, ley de Biot y Savart, ley de Ampère, la equivalencia entre esas dos leyes, el modelo de Ampère de magnetización de la materia, etc.), que se proponen?.....SÍ/NO

Criterios de valoración del estadillo

El estadillo prevé la ausencia, en la organización y secuenciación de los contenidos en los libros de texto, de aspectos esenciales de la epistemología científica que fueron descritos en la fundamentación teórica de las hipótesis de este trabajo y explicitados más detalladamente en las consecuencias contrastables A.1., A.2., A.3., A.4. y A.5. A continuación presentamos los criterios que se han utilizado para corregir este estadillo.

En el **ítem 1**, se valorará positivamente la presentación de problemas en forma interrogativa o declarativa, bien para resolverlos al estudiar el tema, bien para hacer ver la necesidad de introducir nuevos conceptos. En caso de una valoración negativa, se diagnosticará una **visión apblemática** de la Ciencia.

En el **ítem 2**, se valorará el número de situaciones problemáticas que se presenten, así como su diversidad, (como por ejemplo comentarios declarativos respecto a la necesidad de introducir nuevas fuentes para este campo y diferenciarlas de las del ámbito de la gravitación y electrostática). Este ítem es convergente con el anterior, y en caso de valoración negativa nos mostraría una **introducción arbitraria de los conceptos**.

En el **ítem 3**, se valorará positivamente la realización de actividades encaminadas a establecer la unicidad de las dos fuentes del campo magnético estacionario conocidas (imanes y cargas en movimiento). Una valoración negativa de este ítem, que es convergente con la anterior, nos mostraría una **introducción arbitraria de los conceptos**.

En el **ítem 4** se tendrá en cuenta que la referencia histórica no sea sólo nominal (nombres de científicos, biografías...) sino que se haga referencia al contenido impartido. En ese sentido, se valorarían positivamente las explicaciones sobre las tres etapas, (como mínimo dos), enunciadas anteriormente (Aristóteles, Descartes, Gilbert, Coulomb, Oersted, Ampère, Faraday, Maxwell...), en el desarrollo histórico del magnetismo; en caso contrario se encontraría una **visión acumulativa** de la Ciencia.

En el **ítem 5**, se valorará positivamente que en la presentación y/o a lo largo del tema del campo magnético se aborde una visión contextualizada del estudio a realizar, considerando los comentarios, explicaciones y proposiciones inquisitivas que muestren la relación entre lo anterior y posterior. La valoración negativa de este ítem significaría una visión compartimentada e inconexa que está sesgada en exceso hacia **una visión analítica** del trabajo científico, sin mostrar la profunda interrelación entre los conceptos.

En el **ítem 6**, se valorará positivamente los comentarios que se hagan en los textos, así como los ejercicios diseñados al efecto, el grado de aplicabilidad de conceptos y leyes, de manera que no se conviertan en una “receta mágica” utilizable en cualquier circunstancia. Este ítem, en caso de ser valorado negativamente, implicaría una **visión acrítica** de la Ciencia.

Se ha pasado el estadillo a una muestra de 31 libros frecuentemente utilizados por el profesorado universitario en primer ciclo. De esos libros, 25 son textos de Física General de 1º de Universidad y 6 son de Electromagnetismo de 3º de Universidad. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Nº de ítem	1	2	3	4	5	6
No menciona el aspecto	84%	94%	84%	87%	52%	42%

? El documento 5 trata de un guión de entrevista semiestructurada para detectar posibles deficiencias didácticas en las programaciones y secuenciaciones de contenidos realizadas por los profesores. Se presenta continuación el documento:

Documento 5. Entrevista a profesores

1) El profesor entrevistado explica las dificultades que encuentra cuando explica los conceptos básicos del tema del Campo Magnético estacionario, de acuerdo con lo que ha escrito previamente en el cuestionario. El entrevistador precisa algunos puntos a través de las siguientes preguntas:

1.1) ¿Conoces o has leído algo sobre preconcepciones de los alumnos de este tema? y ¿sobre otros temas? ¿cuáles?

1.2) ¿Cuáles son en tu opinión las dificultades procedimentales, (razonamiento de “sentido común”, manejo de variables, gráficas, etc.), más importantes?

2) El profesor entrevistado explica cómo introduce los aspectos básicos del Campo Magnético estacionario. El entrevistador le plantea las siguientes preguntas complementarias:

2.1) ¿Utilizas alguna metáfora o analogía para introducir esos conceptos?

2.2) ¿Haces ver la necesidad o en su caso la utilidad de introducir esos nuevos conceptos?

3) El entrevistado expone las estrategias que utiliza en las llamadas “clases de problemas”

4) El profesor entrevistado propone cuestiones que le parecen fundamentales para conocer si el estudiante conoce significativamente el tema de magnetismo. el entrevistador precisa algún aspecto con las siguientes cuestiones:

4.1) ¿Son cuestiones que has puesto o que estarías dispuesto a poner en algún examen?

4.2) En el supuesto que 4.1 haya sido respondido afirmativamente, ¿cuáles son los resultados que sueles obtener?

Criterios de valoración de las respuestas de la entrevista

Se ha utilizado los criterios que hemos definido al explicitar las deficiencias didácticas que eran:

- Tienen en cuenta las ideas de los estudiantes (como por ejemplo las preconcepciones de los estudiantes referentes a: comportamiento de un imán, unicidad de fuentes, Ley de Ampère, relatividad del campo, etc.) al analizar las dificultades de los mismos.
- Hacen referencia a que los estudiantes presentan dificultades procedimentales (razonamiento de “sentido común”, inversión causa-efecto, causalidad simple, etc.) que también actúan como verdaderas dificultades de aprendizaje.
- Hacen referencia a relaciones C/T/S que permiten despertar el interés hacia el Magnetismo y atender aspectos motivacionales de los estudiantes.
- Proponen o comentan explícitamente actividades que favorecen la familiarización con aspectos fundamentales de la metodología científica (tratamiento cualitativo de los problemas, emisión de hipótesis, diseño y realización de experimentos, análisis de resultados, contrastación de las hipótesis, aplicación de los resultados obtenidos en otros contextos, etc.).
- Hacen referencia a que existen dificultades de tipo ontológico derivadas de las diferentes visiones existentes del Magnetismo.
- Evalúan no sólo los aspectos conceptuales, sino también los procedimentales y actitudinales

Se entrevistó a 8 profesores que impartían clase de Física General en primer curso de Facultad de Físicas o de Escuela de Ingeniería. Se procedió a grabar la discusión realizada con

el profesor. En este sentido, hemos tenido en cuenta que el lenguaje no es un mero medio para expresar los conceptos sino que “da forma” a lo que el individuo conoce y que ciertos cambios en el discurso al describir y explicar sus experiencias relacionadas con la ciencia pueden suponer un avance en el aprendizaje (Roschelle 1996). Las conversaciones han sido literalmente transcritas a un protocolo y el análisis del mismo se realizará tomando como referentes los criterios ya indicados. A lo largo del análisis las categorías previas fueron matizadas de acuerdo con los resultados obtenidos (Jong 1995). En definitiva, se intentó que los resultados de esta aproximación cualitativa al pensamiento del profesorado fuera lo más fiable posible (Ericsson y Simon, 1984). Los resultados obtenidos respecto de las estrategias de enseñanza utilizadas, se indican a continuación:

1. La mayoría de los profesores (88 %) atribuyen las dificultades de los estudiantes, en este tema, a dificultades de tipo geométrico-matemático (producto vectorial, dirección de los vectores, integrales complicadas, visión espacial...) y también (50 %) a la alta abstracción de los conceptos a estudiar. Sin embargo en ninguna de las respuestas aparecen de forma espontánea dificultades de tipo procedimental o actitudinal; sólo cuando se les menciona alguno de ellos reconoce que también pudieran tener una cierta importancia, la mayoría, no obstante, sigue creyendo que las dificultades básicas estriban en lo que han contestado en primera instancia.

Ninguna de las respuestas de los profesores considera las ideas previas de los estudiantes; sólo al ser preguntados por éstas dos profesores reconocen haber leído algo de ese tema, sobre todo en el ámbito de la Mecánica.

Veamos algunos ejemplos que reflejan las características comentadas:

Ejemplo (Dificultades de los estudiantes por la alta abstracción de los conceptos)

Entrevistador: Hablemos sobre las dificultades que pueden los estudiantes en este tema.

Profesor: El campo magnético el alumno normalmente no lo ve, no lo entiende. El eléctrico si ve que el conductor va allí y si lo ve, el campo magnético hasta que ellos ven que se pueden aplicar leyes les cuesta mucho y no acaban de cogerlo. En definitiva que los circuitos eléctricos los ven con mayor facilidad que en este caso del campo magnético, y por otro lado, el asunto del campo magnético al no ver un medio material, la verdad es que no lo entienden.

E: ¿Conoces o has leído algo sobre preconcepciones de los alumnos de este tema? u ¿sobre otros temas? ¿cuáles?

P: Algo he oído pero no mucho, ¿predisposición decías?

E: Predisposición no, preconcepción, es decir, ideas previas que los estudiantes tienen.

P: Si, algo si, pero no lo planteo desde ese punto de vista, pienso como que van un poco “blancos” y a lo mejor según van entrando ellos pueden ir recordando o asimilando cosas que pueden tener de ideas anteriores.

E: Has mencionado las dificultades de los conceptos teóricos, pero ¿tú crees que puede haber también dificultades de procedimiento?, es decir, dificultades de análisis de variables, o para realizar el trasvase del lenguaje matemático al gráfico, razonamientos de “sentido común”, etc.?

P: Pudiera ser pero creo que las dificultades fundamentales provienen que el campo magnético no es algo tangible a diferencia de los circuitos eléctricos, por ejemplo.

2. La totalidad de las respuestas de los profesores no tienen en cuenta aspectos fundamentales de la metodología científica a la hora de trabajar los conceptos fundamentales del campo magnético estacionario. Así, todos los profesores introducen los conceptos a través de definiciones operativas sin realizar un análisis cualitativo previo haciendo ver, entre otras cosas la utilidad y, en su caso, la necesidad de introducir esos nuevos conceptos. Tampoco se trabajan aspectos como la emisión de hipótesis o análisis de variables. Así mismo tampoco tienen en cuenta las aplicaciones más familiares del tema y, en consecuencia, las posibles aplicaciones sociales del mismo. Coherentemente con esto, en las llamadas clases de problemas la metodología utilizada presenta las mismas carencias. Veamos un ejemplo:

Entrevistador: ¿Cómo sueles introducir los nuevos conceptos?, ¿haces ver la necesidad y/o utilidad de introducirlos?

Profesora: Normalmente voy directa al concepto; en todo caso al principio sí les comento, el índice de un tema, cuando empiezo, vamos a ver esto y esto y esto lo vamos a ver porque aquí nos va a salir tal problema, simplemente un poco unir unas cosas con otras, si que es verdad que a veces les digo ahora vamos a definir tal magnitud y a cuenta de que viene esto, a veces sí, ahora no se me ocurren casos pero si que hay veces que digo, bueno no se me ocurre ahora no me acuerdo, pero sí me acuerdo del detalle de decirles ahora vamos a definir tal magnitud que luego vais a usar, ya veremos para qué.

E: En todo caso cuando me decías que sí hacías ver la necesidad y la utilidad de algún concepto me parece que he llegado a la conclusión que lo haces fundamentalmente cuando vas a empezar un tema; mientras estás viendo el temario que les planteas y en esa primera parte de la lección les vas comentando.

P: Eso, pero muy, muy por encima. Les va a salir un problema y lo vamos a solucionar con el punto siguiente que lo tenemos en el punto tres.

E: ¿Eso sólo lo haces cuando comentas el índice?

P: Sí, efectivamente.

3. La práctica totalidad de las respuestas de los profesores sobre la evaluación del tema del Campo Magnético Estacionario, centran su atención y su preocupación en los *contenidos conceptuales*, sin tener en cuenta las exigencias de tipo procedimental.

Propuesta alternativa

No queremos terminar este apartado sin hacer referencia a la segunda hipótesis. Una vez analizada la enseñanza habitual del Campo Magnético estacionario y visto que no favorece un aprendizaje significativo del mismo, queda pendiente la cuestión de ver en qué medida es posible mejorar estos resultados desde un modelo de enseñanza/aprendizaje del Campo magnético como investigación orientada. Serán los resultados de la segunda hipótesis que expondremos los que nos den una respuesta a esta cuestión.

La segunda hipótesis, al igual que en la anterior, se ha dividido en concreciones a modo de hipótesis derivadas o consecuencias encaminadas a realizar contrastaciones directas de las mismas. Así mismo, conviene resaltar que cuando se realicen comparaciones entre muestras de estudiantes de grupos experimentales y de control, se buscarán grandes diferencias estadísticas entre las mismas de acuerdo con la hipótesis a contrastar, y a ser posible, de maneras diferentes. Así pues, se establecen cuatro consecuencias de la segunda hipótesis:

- A. Elaborar un programa de actividades del tema que tenga en cuenta las deficiencias detectadas.
- B. Presentación, discusión y valoración del programa por parte de un grupo de profesores que imparte Física General en primer ciclo.
- C. Tutorización de un grupo de profesores para la puesta en práctica en el aula del programa.
- D. Diseños post-test para comparar el aprendizaje en los grupos experimentales y de control.

Aquí también se realizan diversos diseños cuantitativos y cualitativos cuya convergencia nos permitirán asegurar la validez de la hipótesis. Los diseños realizados se muestran en la tabla 2:

Instrumento de análisis	Documento
Diseño de un hilo conductor y su correspondiente programa de actividades para el tema de campo magnético estacionario	11
Diseño de un curso para profesores que permita contrastar que debidamente tutorizados pueden implementar en sus clases el programa de actividades realizado	12
Guión de entrevista a grupos experimentales para detectar formas de razonamiento y procedimientos empleados al analizar situaciones problemáticas	13
Cuestionario para comparar el aprendizaje logrado por los grupos experimentales y de control	14
Cuestionario para medir la actitud de los estudiantes de las clases experimentales hacia el aprendizaje de la Física y, en particular, del campo magnético estacionario	15

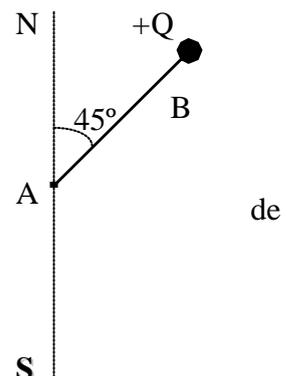
Tabla 2. Instrumentos experimentales elaborados para la contrastación de la segunda hipótesis

A modo de ejemplo mostraremos uno de los instrumentos utilizados para comparar el aprendizaje entre los grupos de control y experimentales.

Documento 14. cuestionario para comparar el aprendizaje de los grupos experimentales y de control

1. La línea de trazos de la figura representa la dirección del campo magnético terrestre. En el punto A hay una brújula y en el punto B se encuentra una partícula en reposo cargada con una carga Q positiva.

a) Dibuja sobre A una flecha que represente la orientación de la aguja la brújula.

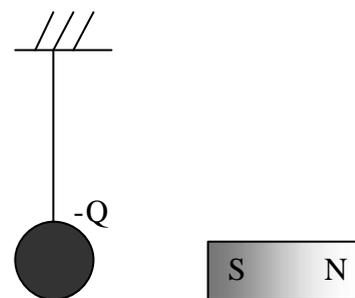


b) Explica las razones de tu respuesta

2. ¿Por qué crees que un imán como el de la figura atraerá a un material de hierro como por ejemplo un “clip”?



3. Un estudiante afirma que en la situación de la figura, el imán y la bolita de poliestireno, cargada con una carga Q negativa, se repelerán mutuamente. ¿Estás de acuerdo con dicha afirmación? Explícalo detalladamente



4. ¿ Crea un campo magnético una carga $+Q$ en reposo, en un lugar situado a una distancia d de ella, si en ese sitio:

- a) Se encuentra una carga en reposo $+q$
- b) No hay carga alguna
- c) Existe una carga $-q$ moviéndose con velocidad v

5. Por un hilo rectilíneo pasa una intensidad de corriente constante I . A una distancia d de dicho hilo se encuentra una carga puntual q moviéndose con velocidad v , paralelamente a I . Explica razonadamente con cual de las siguientes afirmaciones estás de acuerdo:

- a) La fuerza que soportaría la carga sería sólo eléctrica, debida al campo eléctrico que crea la corriente.
- b) La fuerza que soportaría la carga sería sólo magnética, debida al campo magnético que crea la corriente.
- c) La fuerza que soportaría la carga sería la resultante de las fuerzas eléctrica y magnética, debidas a los campos eléctrico y magnético que crea la corriente.

6. Un alumno, A1, calcula el campo magnético total creado por dos partículas cargadas que se aproximan entre sí. Otro alumno, A2, calcula el campo magnético creado por el mismo par de

cargas, (en el mismo lugar y en el mismo instante que el calculado por el alumno A1), y obtiene un resultado diferente. ¿Podría ser que los dos alumnos tuvieran razón? Explica detalladamente tu respuesta.

El cuestionario se pasó a una muestra constituida dos grupos de control formados por 65 estudiantes de primer curso de Ingeniería Técnica en Electricidad y Electrónica Industrial de la UPV-EHU (Escuela de Ingenieros San Sebastián y Bilbao) y los tres grupos experimentales por estudiantes de primer curso de las mismas especialidades (Escuela de Ingenieros de Bilbao y San Sebastián). Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla3. Resultados obtenidos en el cuestionario del documento 17

Nº de ítem	Porcentaje de respuestas correctas (%)					Chi Cuadrado
	<i>Grupo 1</i> N= 35	Grupo 2 N= 35	Grupo 3 N= 50	Grupo M* N= 120	Grupo C** N= 65	
1	97	97	71	86	21	P<0,001
2	70	66	41	57	4	P<0,001
3	80	70	65	71	4	P<0,001
4	84	94	63	78	20	P<0,001
5	56	57	60	58	19	P<0,001
6	80	74	70	74	11	P<0,001

* Grupo M representa los resultados de la media ponderada de los tres grupos experimentales

** Grupo C representa los grupos de control.

Otro de los aspectos en los que incide nuestra propuesta es el actitudinal, tratando de favorecer que los estudiantes no sólo aprendan más, sino mejor. Con este fin se elaboró un cuestionario de tipo actitudinal (Thurstone 1982) que consta de tres partes, en las que se valorará el interés y dificultad de los contenidos desarrollados, la adecuación del método y las actividades y, la satisfacción por asistir a estas clases así como el clima de cooperación que se respira en las mismas. El alumno debe elegir en una escala de valores o escala Likert que va de 0 a 10 según su acuerdo o desacuerdo con las sentencias del cuestionario. Algunos de los resultados obtenidos se pueden consultar en Almudi 2002 o en otros trabajos de nuestro grupo como Guisasola et al. 2002. Estos resultados son significativamente mejores en los grupos experimentales que en los de control y, aunque no se puede hablar de que el problema está totalmente solucionado, sí invitan a un moderado optimismo.

Conclusiones provisionales: Didáctica de las Ciencias ¿Para qué?

La definición de lo que es Didáctica de la Ciencias y, en concreto de la Física, así como sus objetivos y metodología han constituido el tema de este trabajo. Los elementos apuntados se sitúan básicamente en tres dimensiones que configuran el área del saber didáctico: la naturaleza y las características de la materia a enseñar, es decir, sus características epistemológicas, metodológicas y conceptuales; los procesos de enseñanza y aprendizaje, es decir, los procesos implicados en la asimilación por los estudiantes de la materia y los procesos implicados en la ayuda a los estudiantes para que realicen esa asimilación; la práctica docente en la materia, es decir, la reflexión crítica sobre la práctica.

Si se acepta esta simplificación, dejando de lado las consideraciones institucionales y sociales externas al aula, probablemente esquemática pero a la vez capaz de hacer un análisis en un entorno muy complejo aparece la Didáctica de las Ciencias como un saber integrador de saberes de naturaleza y orígenes diferentes y, encaminado a la acción en el aula. Sin embargo existen dos actitudes extremas que creemos conveniente evitar.

Por un lado, aquellos planteamientos ‘puristas’ que excluyen cualquier tratamiento que no se ajuste íntegramente a los criterios comentados en los apartados anteriores, actitudes de este tipo podrían excluir problemáticas en áreas educativas emergentes, como p.e. el nivel universitario, que a veces adolecen de tratamientos poco rigurosos pero esperanzadores.

El otro extremo, radica en querer responsabilizar a la investigación en Didáctica de las Ciencias de todos los problemas que surgen ante el profesor. Esta actitud ingenua no puede sino engendrar frustración. Es necesario tener en cuenta que la enseñanza constituye un hecho global en el que intervienen numerosos aspectos relacionados entre sí. Entre otras cosas, se trata de elección de objetivos, de estrategias de enseñanza, de motivación de alumnos, de formación de profesores. En estas condiciones la didáctica puede aclarar las elecciones, no dictarlas.

La investigación en Didáctica de las Ciencias puede ayudar en la toma de decisiones sobre programas a impartir y materiales a redactar. De hecho, ya sucede en la enseñanza Secundaria que los redactores de libros de Ciencias Experimentales consultan, seleccionan y tienen en cuenta los resultados de la investigación en didáctica.

Aceptar participar de los resultados de la investigación en didáctica de las Ciencias implica una actitud abierta que lleva a criticar tópicos y *a saber distinguir entre convicción compartida y resultado demostrado*. Este aspecto sea quizás una de las mayores contribuciones de la didáctica de las ciencias; el haber contribuido a que muchos nos planteemos los problemas de su enseñanza/aprendizaje de forma diferente, sin dar por sentado tópicos no demostrados y certezas no fundadas, al igual que los científicos lo vienen haciendo durante siglos en el campo de la Ciencias Experimentales. Efectivamente la crítica de los que parece ‘obvio’, de ‘sentido común’, ha sido una de las características que han hecho evolucionar la ciencia y que distingue la forma de pensar de los científicos.

En definitiva, los resultados de la Investigación en Didáctica de las Ciencias nos permiten contemplar la docencia como una actividad abierta y creativa. Nos indica que las deficiencias de nuestra preparación docente no suponen ningún obstáculo insalvable y que los distintos problemas pueden ser abordados por equipos de docentes, en un proceso creativo y satisfactorio.

Bibliografía

- ALIBERAS, J. GUTIÉRREZ, R. y IZQUIERDO, M., 1989, La didáctica de las Ciencias una empresa racional, *Enseñanza de las Ciencias* 7 (3), 277-284.
- ALMUDÍ, J.M., 2002, *introducción del concepto de campo magnético en primer ciclo de universidad: dificultades de aprendizaje y propuesta de enseñanza alternativa de orientación constructivista*. Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco- Euskal Herriko Unibertsitatea.

- BAGNO, E. y EYLON, B., 1997. From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism, *American Journal of Physics*, 65 (8), pp. 726-736
- BAR, V., ZINN, B. y RUBIN, E., 1997. Children's ideas about action a distance, *International Journal of Science Education*, 19 (10), pp. 1137-1157
- BORGES, A.T. y GILBERT, J.K. 1998. Models of Magnetism, *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 361-378
- BURBULES, N. y LINN, M. , 1991, Science education and phylosophy of science:congruence or contradiction?. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241.
- CARR, W., 1989, ¿Puede ser ciencia la investigación educativa?, *Investigación en la Escuela*, 7, 37-47.
- CLEMINSON, A. ,1990, Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science an of how children learns science. *Journal of Research in Science Teaching* , 27 (5), 429-455.
- COHEN, L. y MANION, L., 1990, *Métodos de investigación educativa*, La Muralla (Madrid). [127].
- COLL, C. 1988, *Conocimiento psicológico y práctica educativa*, Barcanova: Barcelona.
- COOK, TH. y REICHARDT, CH., 1986, *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación educativa* , Morata. Madrid.
- DE MIGUEL, 2001, Evaluación del rendimiento en la enseñanza superior. Comparación entre alumnos de COU y LOGSE. Madrid: MEC. *Colección Investigación*, nº 153.
- DRIVER, R., 1983, *Pupils as Scientist?*, Opern University Press, Milton Keines.
- ERICKSON, G., 1994. *Pupils' understanding magnetism in a practical assesment context: the relationship between content, process and progression*. En Fensham P, Gunstone R. y White R (Ed.) *The content of Science* . London
- ERICSSON K.A. y SIMON H.A., 1984. *Protocol analysis : verbal reports as data* . Cambridge, the MIT Press.
- FRASER B.J. y TOBIN K.G., (editores), 1998, *International Handbook of Science Education* (Kluwer Academic Publishers. London)
- FURIÓ C., 1994, Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias* 12(2), 188-199
- GABEL D.L., (editor), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. (MacMillan Pub, Co.:New York).
- GALILI, I.,1995. Mechanics background influences students'conceptions in electromagnetism, *International Journal of Science Education*, 17(3), pp. 371-387. [4, 19, 20, 62, 118
- GALILI, I. and KAPLAN, D., 1997. Changing approach to teaching electromagnetism in a conceptually oriented introductory physics course, *American Journal of Physics*, 65 (7), pp. 657-667
- GIL D., 1994, Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas, *Enseñanza de las Ciencias* 12(2), 154-164

- GIL D., CARRASCOSA J. y MARTÍNEZ-TERRADES F., 2000, Una disciplina emergente y un campo específico de investigación, en F.J. Perales y P. Cañal, *Didáctica de las ciencias experimentales*, Alcoy: ed. Marfil
- GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H., GALLEGO, R., 2002, Defending constructivism in science education, *Science and Education* 11, 557-571.
- GUILBERT L. y MELOCHE D. ,1993, L'idée de science chez des enseignants en formation: un lien entre l'histoire des sciences et hétérogénéité des visions?. *Didaskalia*, 2, 7-30.
- GUIASOLA J., GRAS A., MARTÍNEZ-TORREGROSA J., ALMUDÍ J.M. Y BECERRA C., 2004, ¿puede ayudar la investigación en enseñanza de la física a mejorar su docencia en la universidad?, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, aceptado para su publicación el 30/08/04.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y FURIÓ, C., 2004, The nature of science and its implications for physics textbooks: The case of classical magnetic field theory, *Science & Education* (aceptado para su publicación en Mayo 2004).
- GUIASOLA, J., ALMUDI J.M. y ZUBIMENDI, J.L., 2004, Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of university, *Science Education* 88, 443-464.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y ZUBIMENDI, J.L., 2003, Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias* 21(1), 79-94.
- GUIASOLA J., ALMUDI, J.M., CEBERIO, M. 2003, Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección, *Enseñanza de las Ciencias* 21 (2), 281-293.
- GUIASOLA J., ALMUDI J.M., CEBERIO M. y ZUBIMENDI J.L., 2002, A teaching strategy for enhancement of physics learning in the first year of industrial engineering, *European Journal of Engineering Education* 27(4), 379-391.
- GUIASOLA J. y PEREZ DE EULATE L.(editores),2001, *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada*, en Servicio editorial de la Universidad del País Vasco.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y CEBERIO, M., 2001. Student's mental representations and the choice of teaching goals, *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000. Selected Contributions*. En R. Pints y S. Suriqach (eds). París: Elsevier Editions
- HAKKE, R. R. 2000, Towards paradigm peace in physics-education research. Available online at: <http://www.physics.indiana.edu/~hake/>.
- HODSON, D., 1992, In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education, *International Journal of Science Education* 14(5), 541-562.
- JONG, O., 1990, Towards a more effective methodology of research on teaching and learning "chemical calculations", *Empirical research in Mathematics and Science Education* 106-121, Ed. H. J. Schmidt. Dortmund: ICASE.

- KLOPPER, L.E., 1983, Research and crisis in Science Education, *Science Education* 67(3), 283-284
- LARKIN, J. y RAINARD, B., 1984. A research methodology for studying how people think, *Journal of Research in Science Teaching*, 21 (3), pp. 235-254.
- MARTINEZ-TERRADES F., 1998, *La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. Génesis, estado actual y perspectivas*, Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Valencia.
- MAYER, R. E., 2001, What is the place of science in educational research? *Educational Researcher* 29(6): 38-39. Available online at: <http://www.aera.net/pubs/er/toc/er2906.htm>.
- MCDERMOTT, L. C. 2000, Bridging the gap between teaching and learning: the role of physics education research in the preparation of teachers and majors, *Investigações Em Ensino de Ciências* vol. 5, 157-170.
- MENESES, J.A. y CABALLERO, M.C., 1995. Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), pp. 36-45
- MOREIRA M.C., 1994, Diez años de la revista “Enseñanza de las Ciencias”: de una ilusión a una realidad.
- Moreira, M. A., 2000, *La Teoría del Aprendizaje Significativo*. Burgos: Editorial Universidad de Burgos.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996, *National Science Education Standards*, (Washington, D.C.: National Academy Press).
- NIEDDERER H., 1999, Recherche et développement en didactique de la physique à l’université; résultats et tendances, *Didaskalia* 14, 95-113.
- NOVAK, J.D., 1988, Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 213-223.
- PINTÓ R., ALIBERAS J. y GÓMEZ R., 1996, Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas, *Enseñanza de las Ciencias* 14(2), 221-232
- PFUNDT H. y DUIT R., 2004, *Bibliography “Students’ and Teachers’ conceptions and Science Education”*, Kiel, IPN, Disponible en <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html> (Septiembre 2004).
- PORLAN R., 1993, *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza/aprendizaje basado en la investigación*. Díada : Sevilla.
- POZO, J.I. 1993. Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza: ¿concepciones alternativas?, *Infancia y aprendizaje*, 62-63, pp. 187-204
- REDISH E.F. y RIGDEN J.S (editors)., 1997, *The changing role of Physics Departments in modern universities. Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics.
- ROSCHELLE, J., 1996. Designing for cognitive communication: epistemic fidelity or mediating collaborating inquiry. In D.L. Day and D.K. Kovacs (eds), *Computers, communication and mental models*.
- SEROGLOU, F., PANAGIOTIS, K. y VASSILIS, T., 1998. History of Science and instructional desing: the case of electromagnetism, *Science and Education*, 7, pp. 261-280

TIBERGHIEU A., JOSSEM E.L. y BAROJAS J., 1998, *Connecting research in physics education with teacher education*. International Commission on Physics Education of the IUPAP.

THURSTONE, L.L., 1982, Attitudes can be measured, *American Journal of Sociology* 33(4), 529-554.

TOULMIN, S., 1977, *La comprensión humana: 1. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza Universidad: Madrid.

VIENNOT L., 1996. *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. París : De Boeck Université

WANDERSEE J.H., MINTZES J.J. y NOVAK J.D., 1994, Research on alternative conceptions in Science. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*.McMillan Publishing Company. New York.

Conferencia dictada en el II Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica em Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, España, 21-24 de septiembre de 2004.