

# PROPUESTA DE ENSEÑANZA EN CURSOS INTRODUCTORIOS DE FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD, BASADA EN LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA: SIETE AÑOS DE EXPERIENCIA Y RESULTADOS

**GUISASOLA, JENARO, ZUBIMENDI, JOSÉ LUÍS, ALMUDÍ, JOSÉ MANUEL y CEBERIO, MIKEL**

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

jenaro.guisasola@ehu.es

jl.zubimendi@ehu.es

josemanuel.almudi@ehu.es

wupcegam@lg.ehu.es

---

**Resumen.** El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de una innovación educativa en primer curso de física basada en un modelo de enseñanza como investigación orientada. Este modelo ha sido presentado en diferentes trabajos anteriores y se articula en la idea de que el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias pueden desarrollarse como un proceso de (re)construcción de conocimientos en un contexto inspirado en el propio de la investigación científica y guiado por el profesorado. La propuesta se ha llevado a cabo en dos escuelas de ingeniería de la Universidad del País Vasco. Se presentan los resultados conseguidos durante varios años y se comparan con los obtenidos en la enseñanza habitual de las mismas escuelas. La innovación realizada aporta evidencias de que una enseñanza que engloba los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales hace posible obtener resultados mejores en el aprendizaje de la física en primer curso de universidad.

**Palabras clave.** Física en primeros cursos universitarios, estrategias de enseñanza, investigación en enseñanza de la física.

---

## Research based teaching approach in introductory physics courses at university: seven years of experience and results

**Summary.** The objective of this work is to present the results of an educational innovation in first year physics based on a oriented research teaching approach. This model has been presented in different previous works and is based on the idea that learning and teaching of sciences can be developed as a process of (re)constructing knowledge in a context which is inspired by scientific research and guided by the teaching staff. This innovation has been done in two Engineering Schools in the University of the Basque Country. The results from several years of didactic innovation are presented and compared with those obtained from the usual teaching style in the same Schools. The innovation provides evidence that a teaching method which encompasses concepts, procedures and attitudes can produce better results in learning physics in the first year at university.

**Keywords.** Physics introductory courses at university, teaching strategies, research in physics education.

---

## INTRODUCCIÓN

Mucha gente estaría de acuerdo en que la física es una asignatura difícil. Esta impresión no aparece solamente entre la opinión pública, sino que refleja el escaso aprendizaje académico logrado por los estudiantes y los altos porcentajes de suspensos de esta asignatura en la enseñanza secundaria y en la universidad (Rowell, Dawson y Pollard, 1993). La mayoría del profesorado atribuye

las dificultades de enseñanza de la física a la mala preparación de los estudiantes en el área de matemáticas, a su falta de conocimiento de prerrequisitos conceptuales en física y a que los contenidos son muy abstractos y difíciles de entender, minusvalorando otros aspectos metodológicos o actitudinales (Jaque, 1995; Kurz, 1997; Black et al., 1997).

Sin embargo, los resultados obtenidos en el aprendizaje de la física no se pueden atribuir exclusivamente a dificultades de tipo conceptual sino que además es necesario considerar las necesarias habilidades científicas (plantear problemas y discutir su relevancia, formular hipótesis y ponerlas a prueba, obtener evidencias para apoyar las explicaciones, utilizar criterios de coherencia y universalidad...) que se deben enseñar para posibilitar que los estudiantes *hagan ciencia*. Entre otros factores, esta falta de familiarización con la metodología científica suele producir actitudes negativas hacia el estudio de la física y hace que el número de estudiantes en los cursos de dicha disciplina esté descendiendo drásticamente. La investigación didáctica ha mostrado la gran relevancia que tiene la enseñanza impartida en el proceso de formación procedimental y actitudinal de los estudiantes (Myers y Fouts, 1992; Gil y Carrascosa, 1993; Dulsky et al., 1995). Así pues, convendrá tener en cuenta la forma de impartir la clase a la hora de evaluar los conocimientos de los estudiantes y sus actitudes hacia la asignatura.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de diferentes innovaciones educativas en primer curso de física (Guisasola, 1996; Almudí, 2002; Ceberio, 2004; Zubimendi, 2004), basadas en proponer y resolver situaciones problemáticas de interés, llevadas a cabo en dos Escuelas de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU) y compararlas con los resultados obtenidos en los cursos habituales de física en las mismas Escuelas.

Existen diferentes motivos que nos llevaron a diseñar y, posteriormente, aplicar en el aula una propuesta de enseñanza innovadora en los cursos de física de primer año de universidad. Aquí expondremos dos de las razones principales. En primer lugar, la investigación en enseñanza de las ciencias sugiere que el éxito de los estudiantes en la resolución de ejercicios sencillos de aplicación directa de la teoría no garantiza la adquisición de procedimientos que les permita enfrentarse con seguridad y éxito a problemas que presentan contextos algo diferentes a los explicados en clase (Hegarty, 1991; Maloney, 1994; Guisasola et al., 2003). La investigación didáctica ha mostrado que los procesos de producción y aceptación de conocimientos científicos tienen características propias que son diferentes de las empleadas en la vida cotidiana, como por ejemplo la utilización de modelos para abordar problemas, la búsqueda de coherencia en las respuestas, etc. (Bandiera et al., 1995; Salinas et al., 1996; Viennot, 1996). La separación existente entre los contenidos de las explicaciones cotidianas y las científicas ha sido constatada en numerosos trabajos (Duit, 2004), y la labor educativa de ayudar a los estudiantes a construir puentes que disminuyan esta separación no es sencilla (Klahr y Simon, 1999). La construcción del conocimiento que se pretende enseñar en un curso de física en primero de universidad requiere procedimientos propios de la investigación científica.

En segundo lugar, aspectos actitudinales tales como los objetivos, intenciones y expectativas de los estudiantes influyen en el interés por realizar los trabajos de clase (Pintrich, Marx y Boyle, 1993; Furió y Vilches, 1997; Romo, 1998). No podemos olvidar que el currículo también tiene una dimensión afectiva que se concreta en objetivos actitudinales destinados a promover un interés crítico de los estudiantes por la actividad científica. Resulta paradójico que en todos los currículos de las carreras de ciencias e ingeniería se considere a la física como una asignatura fundamental y que, sin embargo, la enseñanza de esta disciplina no haya conseguido interesar a los estudiantes (Black et al., 1997).

En resumen, la investigación en enseñanza de las ciencias crítica como inapropiada la enseñanza habitual de la física en los cursos universitarios y sugiere modificaciones en las estrategias de enseñanza para lograr una enseñanza más eficaz y motivadora. Además, resalta el importante papel de adoptar estrategias de resolución de situaciones problemáticas para ayudar a los estudiantes a aprender con comprensión y a favorecer una actitud positiva hacia el aprendizaje. A continuación, presentaremos el diseño y desarrollo de estrategias de enseñanza, basadas en las recomendaciones proporcionadas por la investigación en enseñanza de las ciencias, y que hemos realizado para la asignatura de física en primer curso de Ingeniería Técnica Industrial.

## LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA FÍSICA COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

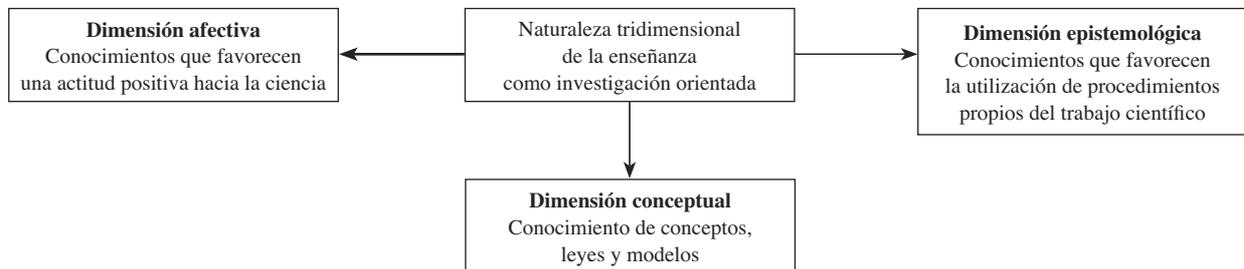
El modelo de aprendizaje como «investigación orientada» es un modelo coherente con la investigación en didáctica actual, que se basa en la idea de que el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias puede desarrollarse como un proceso de (re)construcción de conocimientos en un contexto inspirado en el propio de la investigación científica (Gil et al., 2002; Verdú, Martínez-Torregrosa y Osuna, 2002; Furió et al., 2003). Enfrentarse a situaciones problemáticas y elaborar posibles soluciones exige el desarrollo de procesos de justificación personales y colectivos, que forman parte de las estrategias científicas, lo que constituye una forma de aprendizaje profundo.

Nuestra propuesta de enseñanza basada en el aprendizaje como «investigación orientada» es similar a otras propuestas, ya mencionadas, y que utilizan terminologías próximas como «indagar», «learning by inquiry» o «construir modelos» (Millar, 1989; Mc Dermott, 1996; Duschl y Hamilton, 1998; Jiménez-Aleixandre, 1998; Viennot y Rainson, 1999; Pozo, 1999; Oliva, 1999; Driver, Newton y Osborne, 2000; Stinner, 2003).

Las estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje como investigación orientada presentan tres dimensiones interrelacionadas entre sí y que pueden ayudar a un mayor y mejor aprendizaje (Fig. 1).

Figura 1

Las tres dimensiones de la propuesta de enseñanza como investigación orientada.



En este contexto, diseñar una secuencia de aprendizaje consiste en graduar la dificultad de la tarea y organizar la ayuda en función de las dificultades del estudiante para enfrentarse a ella. A medida que el estudiante se vaya haciendo capaz por sí mismo de afrontarla, las ayudas recibidas se deben ir desvaneciendo. Por tanto la elección de los modelos y situaciones problemáticas alcanzables debe hacerse de modo que representen un reto abordable por los alumnos dentro de la zona de desarrollo potencial próximo, en la idea de Vygotsky (1978), de tal forma que mediante la interacción y la ayuda de los demás, el alumno pueda participar en el proceso de construcción, modificación y enriquecimiento de los modelos, que es lo que define el aprendizaje significativo. Todo ello implica una serie de cambios a tres niveles: *a*) cambios en la tarea encomendada, *b*) cambios en la estructura de la clase, *c*) cambios en su funcionamiento. Vamos a comentar muy brevemente cada uno de ellos:

### Cambios en la tarea

El «plan de investigación» –secuenciación de tareas– que se propone a los estudiantes debe permitirles avanzar en la solución de los problemas y, de manera simultánea, suministrar oportunidades para apropiarse de la epistemología científica. Diseñar este plan (programa de actividades) supone emplear estrategias de actuación que incluyan aspectos como: 1) actividades iniciales que permitan situar el tema a estudiar y establecer una aproximación cualitativa en la que los estudiantes expliciten sus esquemas conceptuales; 2) actividades que permitan introducir nuevos conceptos de manera funcional, constituyendo parte del proceso de tratamiento de problemas; 3) actividades que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades propias de la metodología científica; 4) actividades que permitan utilizar los nuevos conocimientos en situaciones diversas y, en particular, dando especial importancia a las relaciones ciencia-tecnología-sociedad; 5) actividades que propongan nuevas situaciones problemáticas para continuar la reconstrucción de conocimientos a nivel más profundo (Furió, 2001).

### Cambios en la estructura

Una estructura de la clase basado en la formación de pequeños grupos como «equipos de investigación no-

veles», que trabajan las actividades bajo la dirección y guía del profesor, puede fomentar la construcción de conocimientos. A través del trabajo en grupo, se pretende que los estudiantes resuelvan las actividades, a fin de que todos los miembros del grupo consigan alcanzar colectivamente el objetivo deseado (Cordero, Colinvaux y Dumrauf, 2002).

### Cambios en el funcionamiento de la clase

El funcionamiento de los grupos de estudiantes no es autónomo sino que se deben favorecer de manera ordenada y diversa las interacciones de los grupos entre sí y con la comunidad científica representada por el profesor, los libros de texto, etc., de manera que se puedan retroalimentar, completar, validar y refutar las soluciones propuestas a las situaciones problemáticas planteadas. Asimismo, consideramos importante realizar recapitulaciones periódicas sobre lo avanzado al intentar dar solución a los problemas planteados, los obstáculos superados y lo que queda por hacer, prestando así atención a la autorregulación (identificar sus propias dificultades y revisarlas) en el desarrollo de la realización de las actividades.

### DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA

Los cuatro autores del trabajo somos profesores de la Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Impartimos clase de Fundamentos Físicos de la Ingeniería en primer curso de las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial, y desarrollamos en nuestras clases la propuesta innovadora que aquí se presenta (Guisasola et al., 2001).

Los estudiantes de las clases experimentales y de control que se mencionan en este trabajo han tenido formación en física durante al menos dos años en Enseñanza Secundaria. Han superado un examen de entrada a la universidad y tienen una media de edad de 19 años. Su conocimiento de la disciplina está basado en un aprendizaje memorístico de leyes y de los procedimientos necesarios para resolver ejercicios estándar de examen, pero no tienen un aprendizaje comprensivo de los conceptos físicos (Furió y Guisasola, 1997; Guisasola et al., 2002a; Furió,

Guisasola y Almu di, 2004; Guisasola, Almu di y Zubimendi, 2004). Los estudiantes de control han seguido el programa de la asignatura impartido de forma tradicional (clase magistral), por profesores con amplia experiencia docente del mismo departamento de Física Aplicada. Los estudiantes experimentales han seguido el mismo programa con las estrategias de enseñanza diseñadas en la propuesta innovadora.

El desarrollo de la propuesta, que se ofrece como alternativa a las habituales, se ha realizado durante dos períodos diferentes. Una condición previa para desarrollar una propuesta innovadora es disponer de los materiales necesarios para aplicarla en el aula. Por ello, el primer período, los cursos académicos 1998-1999, 1999-2000 y 2000-2001, se dedicó a dise nar los materiales did c ticos y a realizar experiencias parciales en el aula. Los resultados de este período de experimentación han sido expuestos en trabajos anteriores ya citados. En el segundo período, cursos 2001-2002 y 2002-2003, se desarrolló en clase el dise no completo de la propuesta alternativa. Algunos de los resultados de este período se describen en este trabajo.

Es preciso indicar que esta propuesta se desarrolló dentro de un contexto rígido de horario y programa básico establecidos por el departamento para la asignatura de Fundamentos Físicos de la Ingenier ia; idénticos para todos los grupos experimentales y de control. Esta condición nos parece necesaria para la evaluación de la propuesta y para su viabilidad en cualquier curso de física en primer curso de universidad. Se buscó un equilibrio entre los temas a impartir durante el curso, el programa alternativo y el tiempo de docencia disponible. Esto significa que la nueva propuesta no se caracteriza por cambios espectaculares en el sistema educativo sino por cambios cualitativos en las estrategias de enseñanza empleadas en el aula, por las actividades propuestas a los estudiantes en el programa y por la secuenciación de los contenidos conceptuales y metodológicos.

Durante la puesta en práctica en el aula, los cuatro profesores cumplimentamos un diario de clase con el fin de poder comentar y reflexionar sobre las incidencias surgidas. Para facilitar la estructuración del diario se realizó un protocolo de incidencias de clase para todas las actividades realizadas, como el que se muestra en la figura 2.

Una vez a la semana los profesores nos reuníamos para comentar las incidencias de la puesta en práctica y reformular o suprimir, para otros cursos, algunas actividades. Asimismo, se comentaron dificultades y virtudes de las estrategias de enseñanza del programa innovador, cuestiones relacio-

nadas con el tiempo de docencia disponible para cada tema, sistema de evaluación...

De acuerdo con la interdependencia entre los objetivos de tipo conceptual y metodológico del aprendizaje que se han expuesto anteriormente, para evaluar la viabilidad y posibilidades de la nueva propuesta, se han diseñado herramientas que valoren ambos tipos de contenidos de forma variada y convergente. Se han utilizado cuestionarios de respuesta abierta y entrevistas ante situaciones problemáticas (Cook y Reichardt, 1986; White y Gunstone, 1992).

La elaboración de los cuestionarios ha seguido las pautas estándar recomendadas por la investigación did c tica. Se han elaborado cuestionarios para cada lección del curso y algunas de estas cuestiones se present ran en el apartado de resultados. Las cuestiones fueron validadas respecto a su contenido mediante el «juicio de expertos» –dos profesores de nuestro departamento de Física Aplicada y dos investigadores en Enseñanza de la Física–, de modo que los contenidos respondieran de manera efectiva a los objetivos que se perseguían.

En el análisis de las entrevistas se ha 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. Las entrevistas han sido literalmente transcritas a un protocolo y a lo largo del análisis las categorías previas fueron matizadas de acuerdo con los resultados obtenidos (De Jong, 1995). En definitiva, se ha intentado que los resultados de esta aproximación cualitativa al razonamiento de los estudiantes sean lo más fiables posibles (Ericsson y Simon, 1984).

Como ya hemos comentado, otro de los aspectos en los que incide la propuesta innovadora es el actitudinal, que trata de favorecer que los estudiantes no sólo aprendan más, sino que tengan una mejor actitud hacia el aprendizaje de la física. Con el objeto de evaluar este aspecto se han usado dos tipos de pruebas. Un cuestionario de escala Likert para medir la actitud y valoración de los estudiantes de la clase experimental hacia la nueva propuesta. El otro instrumento lo constituyen varios indicadores extra idos de la encuesta donde se eval  la enseñanza de física recibida, que los alumnos cumplimentan anualmente y es llevada a cabo por el ICE (Instituto de Ciencias de la Educación); en ese sentido hemos comparado la valoración efectuada por los estudiantes de las clases experimentales con la media de todos los grupos de estudiantes del departamento de Física que, habitualmente, siguen clases magistrales.

Figura 2  
Hoja de incidencias en el aula.

	Dificultades de comprensi <span>�</span> n en el enunciado	Concepciones alternativas de los estudiantes	Dificultades de comprensi <span>�</span> n del contenido procedimental	Comentarios
Actividad 1				
Actividad 2				

A continuación vamos a mostrar, a modo de ejemplo, algunos tipos de actividades y su tratamiento en clase.

**Actividad.** ¿Qué interés puede tener la acumulación de cargas en un cuerpo? Describe, hasta donde tú conozcas, algún aparato en el que sepas que una parte básica del mismo es un condensador.

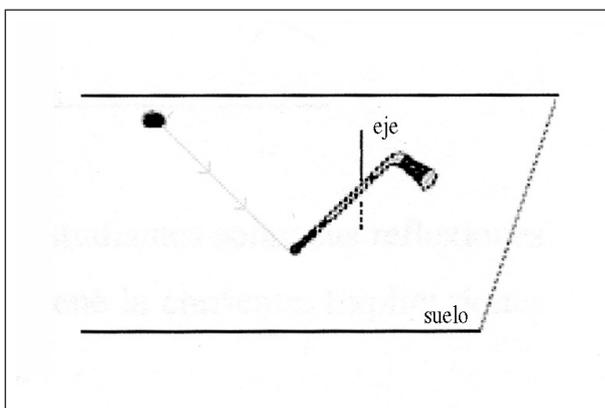
**Actividad.** Frecuentemente habrás visto sacar fotos con *flash* que proporcionan un destello súbito de luz al sacar la foto. ¿Podrías explicar el fundamento físico de este mecanismo?

Son *actividades de introducción* a la lección de «Capacidad eléctrica» que tratan de interesar a los estudiantes y justificar la necesidad de su estudio desde dos perspectivas. Por un lado, la necesidad como ingenieros de analizar aplicaciones tecnológicas conocidas en nuestra sociedad y por otro, la necesidad de introducir nuevos conceptos que permitan dicho análisis. Al mismo tiempo, en estas actividades de introducción los estudiantes tienen oportunidad de explicitar los conocimientos previos que poseen sobre este tema y sobre conceptos ya estudiados en los temas anteriores, proporcionando al profesor valiosa información sobre los conocimientos que poseen. En esta fase de introducción del tema el profesor no trata de corregir errores, sino de anotarlos para su futuro tratamiento en actividades posteriores.

Otro tipo de actividades incluyen *situaciones problemáticas* que los estudiantes tienen que analizar y resolver utilizando sus esquemas de conocimiento y las habilidades propias de la metodología científica. Un ejemplo de este tipo de actividades para el tema de «Rotación de un sólido» serían los siguientes:

**Actividad.** En el suelo de una pista de patinaje sobre hielo se encuentra tirado un *stick* que está atravesado en su centro por un eje fijo y perpendicular al suelo en torno al cual puede girar libremente. Un jugador lanza la pastilla y ésta golpea perpendicularmente en uno de los extremos del *stick*.

Si quisiéramos conocer la velocidad de giro del *stick* tras el choque: ¿Qué aproximaciones tendríamos que realizar para modelizar el sistema? ¿Cómo describiríamos el movimiento tras el choque? ¿De qué variables dependería (y cómo sería esta dependencia), la velocidad de giro del *stick* tras la colisión? ¿Cómo podríamos obtener esta velocidad?

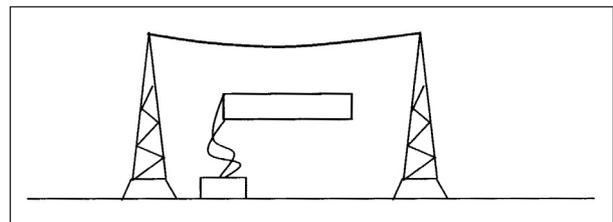


Esta actividad se plantea después de que se ha impartido en clase «Dinámica de traslación» y al comenzar el estudio de «Dinámica de rotación». Se comienza por modelar el sistema como el choque entre una partícula puntual y una varilla homogénea inicialmente en reposo sobre una superficie horizontal sin rozamiento. Al comienzo del análisis los estudiantes suelen asociar, de forma muchas veces irreflexiva, el estudio de una colisión con la conservación del momento lineal. Sin embargo, en esta situación la conservación del momento lineal no se cumple al no estar aislado el sistema durante la colisión, puesto que el eje fijo impide la traslación por efecto de fuerzas exteriores, en ningún caso despreciables. Esto hace surgir la necesidad de definir nuevos conceptos que nos permitan resolver el problema planteado. El profesor realizará las sugerencias oportunas mediante otras actividades para ayudar a los estudiantes en la tarea.

Vamos a mostrar otro ejemplo de desarrollo en el aula para una *actividad de aplicación* de los conceptos aprendidos a un contexto diferente al trabajado en clase. El problema que se presenta a continuación se muestra a los estudiantes en la lección de «Inducción electromagnética», después de haber trabajado los conceptos más importantes relativos a dicha lección. Los grupos de estudiantes, previamente a la clase, han intentado responder a la primera pregunta que plantea el problema sobre la forma en que el campesino consigue la corriente. Veamos el ejemplo y su desarrollo en el aula:

**Problema.** Un campesino avisado ha sido descubierto robando corriente de las líneas de alta tensión que pasan por sus tierras y por las que circula corriente alterna según la expresión  $I=I_0 \sin \omega t$ . Para ello utilizaba un dispositivo como el que se esquematiza en la figura 3. ¿Cómo extrae el campesino corriente de las líneas de alta tensión? ¿Cuál es la *fem* extraída?

Figura 3



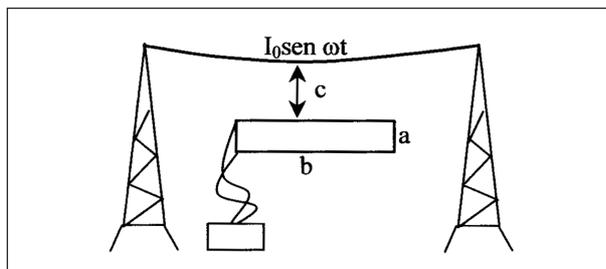
Al comienzo de la clase el profesor pregunta a los grupos de estudiantes acerca de sus reflexiones previas para explicar sobre la forma en que el campesino obtiene la corriente. Explicaciones estándar de la mayoría de los grupos son como las siguientes:

*Representante del grupo 1:* la corriente que circula por el cable es alterna. Esto implica que su intensidad es variable con el tiempo y esto hace que el flujo del campo magnético que esta corriente crea en su entorno, a través de cualquier superficie delimitada por una espira conductora, sea también variable con el tiempo. Este flujo variable da lugar a una *fem* inducida en la espira que es la que, a través de las conexiones pertinentes, el campesino extrae para su beneficio.

Representante del grupo 3: una corriente de intensidad variable al atravesar una espira de dimensiones a, b y c (Figura 4) crea un flujo variable, y un flujo variable induce una fem, de acuerdo con la ecuación:

$$\epsilon = - d\Phi/dt$$

Figura 4  
Modelización gráfica del problema.



El profesor puntualiza que se utiliza una espira rectangular próxima a los hilos de alta tensión, que no son rectilíneos, aunque si consideramos la espira lo suficientemente próxima a ellos, podremos actuar como si lo fueran y simplificar así los posteriores cálculos. A continuación pregunta a los grupos de qué factores depende que el campesino extraiga mucha o poca fem.

Representante grupo 5: la fem inducida dependerá de la variación de la intensidad de la línea de alta tensión ( $I=I_0 \text{ sen}\omega t$ ).

Representante grupo 9: la fem extraída depende del flujo magnético que pasa por la espira, por tanto depende de las dimensiones de la espira.

Representante grupo 6: la fem extraída depende de la intensidad de la corriente del cable ( $I=I_0 \text{ sen}\omega t$ ) y de la posición y dimensiones de la propia espira (en la gráfica, las variables a, b y c).

Representante grupo 11: Sí de acuerdo, pero la intensidad de la línea de alta tensión no la puede cambiar el campesino y, por tanto, será un dato no sometido a variación. Es decir, tendremos que variar a, b y c para ver cuándo extrae más o menos fem inducida.

Al final los grupos llegan a un consenso similar a las conclusiones del grupo 11. El profesor les indica que las relaciones cualitativas consideradas deben profundizarse estableciendo, a su vez, relaciones cuantitativas. Después de reflexionar y tras una puesta en común, se obtienen conclusiones similares a la siguiente:

Representante grupo 10: los parámetros que pueden influir debido al tipo de intensidad que circula por la línea de alta tensión son la intensidad  $I_0$  que circula por la línea, que cuanto mayor sea, mayor campo creará en su entorno dando lugar a una mayor variación temporal del flujo. También influirá la frecuencia angular  $\omega=2\pi f$ , que cuanto mayor sea, mayor será el ritmo de cambio de la intensidad que circula por los cables y mayor la variación temporal del flujo magnético que crea a través de la espira.

Representante del grupo 4: Los parámetros sobre los que el aldeano puede influir son la distancia c de la espira al hilo que cuanto mayor sea, menor será el campo magnético en la región ocupada por la espira,

y menor el flujo a través suyo. Además, si pretendemos considerar el hilo como rectilíneo e infinito no deberíamos alejar mucho la espira de él. También las propias dimensiones a y b de la espira que cuanto mayores sean, mayor será el flujo a través suyo.

Los grupos de estudiantes no hacen ninguna observación sobre la orientación de la espira respecto al cable de alta tensión y el profesor tiene que señalar que, en este caso, la orientación de la espira la hemos dibujado de una determinada manera en la figura 4, que se corresponde con la orientación de máximo flujo y, por tanto, la más favorable. También indica que otro factor que podría incidir, distinto de los antes citados, es la permeabilidad del medio que altera el campo. En nuestro caso consideraremos el aire y, por tanto, constante. Para finalizar resumiremos los factores de que depende la fem inducida:  $\epsilon = \epsilon(I_0, \omega, a, b, c, \mu_0)$ .

Posteriormente el profesor orienta la resolución cuantitativa del problema con preguntas del tipo: ¿Cómo podremos obtener la expresión matemática del campo magnético creado por la lámina? ¿Es coherente el resultado con respecto a las variables que hemos considerado?

Una vez calculado el resultado y comprobada su coherencia, el profesor les formula una última pregunta: ¿Es realmente eficaz el método propuesto por el aldeano? Para valorar la respuesta obtenida, les dice: vamos a calcular la dimensión b de la espira que habría que colocar si la línea de alta tensión transportara una corriente de  $I_0=10\text{kA}$  y  $f=60\text{Hz}$ , y si el campesino pretendiera obtener una fem de valor máximo de 170V (estándar para una corriente alterna de 120V), y si suponemos que coloca una espira, de ancho  $a=0,5\text{m}$ , a una distancia  $c=5\text{m}$  de la línea. Una de las respuestas de consenso, en la puesta en común de los grupos, es la siguiente:

Representante del grupo 9: El resultado que hemos obtenido para la fem máxima ha sido:

$$\epsilon_0 = \frac{\mu_0 I_0 b \omega}{2\pi} \ln \left( \frac{c+a}{c} \right)$$

Despejando la dimensión que queremos obtener, queda:

$$b = \frac{\epsilon_0 2\pi}{\mu_0 I_0 \omega \ln \left( \frac{c+a}{c} \right)}$$

Sustituyendo valores, se tiene que sería necesaria una espira de ¡2,7 km de largo!, ¡este método es una ruina!

## RESULTADOS

Vamos a presentar sólo algunos de los resultados (cursos 2001-2002 y 2002-2003) de la aplicación en clase del programa innovador. Estos resultados se van a presentar en tres secciones de acuerdo con las tres dimensiones (afectiva, epistemológica y conceptual) de la propuesta de enseñanza desarrollada, que aparecen en la figura 2. Recordemos que son las siguientes:

a) Sobre las expectativas de los estudiantes respecto a la asignatura y sobre sus actitudes hacia el aprendizaje de la física. b) Respecto al aprendizaje de la epistemología científica. c) Sobre el aprendizaje de conceptos y modelos.

**Efecto sobre las expectativas de los estudiantes respecto a la asignatura y sobre sus actitudes hacia el aprendizaje de la física**

La respuesta de los estudiantes a la nueva metodología desarrollada en clase tiene su primer efecto en el aumento notable de estudiantes que no abandonan la asignatura y se presentan a los exámenes, como se puede ver en la tabla 1. Los grupos 1, 2 y 3 incluyen a los estudiantes de clases experimentales en la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao, mientras que el grupo 4 son los estudiantes experimentales en la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián. El grupo C es la media de tres grupos de estudiantes de las clases de control, elegidos de manera aleatoria.

Es de destacar que la tasa media de estudiantes no presentados a examen final es más del doble en los estudiantes de control (27%) que en los estudiantes de los grupos experimentales (12,4%).

La tabla 2 recoge algunas de las preguntas efectuadas a los estudiantes de los cuatro grupos experimentales, durante el curso 2002-2003.

Teniendo en cuenta que la puntuación 5 indicaría neutralidad respecto al contenido de la pregunta, los estudiantes experimentales muestran una actitud positiva hacia los contenidos trabajados (ítems 1, 2, 3 y 4). En particular, obtienen puntuaciones entre 7 y 8 el grado de accesibilidad de los contenidos (ítem 3) y el esfuerzo en relacionar los diferentes conceptos que forman el entramado de las teorías físicas (ítem 4). También están de acuerdo en que el método empleado en clase (ítems 5 y 6) es adecuado y las puestas en común resultan útiles para aprender (ítem 7). Indican que han trabajado en un buen clima (ítem 9). No es menos importante que los estudiantes se han sentido apoyados por sus profesores durante el proceso de aprendizaje de esta asignatura (ítem 8).

Otro referente utilizado han sido los indicadores de la encuesta externa realizada entre los estudiantes, por el Instituto de Ciencias de la Educación sobre algunos aspectos relativos a la enseñanza de la asignatura de Física. En relación con ello nos ha parecido que los resultados de esta encuesta, realizada sin la presencia del profesor de la asignatura, pueden complementar los resultados anteriores. Algunos de los ítems que hemos seleccionado son los expuestos en la página siguiente.

Tabla 1  
Expectativas: Porcentajes de estudiantes de las clases experimentales y de control que se presentan a examen durante los cursos 2001-2002 y 2002-2003.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo C	
	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03
<b>Número de estudiantes matriculados</b>	45	37	31	39	56	39	54	42	342	288
<b>Porcentaje de estudiantes presentados</b>	82%	86%	77%	100%	91%	89%	88%	88%	70%	76%

Tabla 2  
Actitudes: Resultados obtenidos en la valoración (sobre 10 puntos máximo) efectuada por los estudiantes experimentales acerca de la enseñanza recibida.

ASPECTO ANALIZADO	GRUPO 1 MEDIA (desviación estándar)	GRUPO 2 MEDIA (desviación estándar)	GRUPO 3 MEDIA (desviación estándar)	GRUPO 4 MEDIA (desviación estándar)
1. Los objetivos estaban claros	7,1 (0,4)	6,7 (0,4)	6,9 (0,4)	6,6 (0,5)
2. Los objetivos son interesantes	7,2 (0,3)	7,1 (0,4)	7,1 (0,3)	6,9( 1,2)
3. Dificultad adecuada	7,5 (0,4)	7,3 (0,4)	7,5 (0,4)	7,2 (0,6)
4. Se relacionan los conceptos y temas	8,3 (0,4)	8,0 (0,4)	8,0 (0,4)	7,0 (0,6)
5. Actividades adecuadas a contenidos	7,2 (0,4)	7,6 (0,4)	7,8 (0,4)	7,2 (1,0)
6. Metodología de trabajo adecuada	7,5 (0,5)	7,4 (0,6)	8,2 (0,3)	7,2 (0,6)
7. Puestas en común	8,0 (0,5)	7,4 (0,6)	7,6 (0,4)	7,1 (0,4)
8. Apoyo del profesor	7,7 (0,4)	8,1 (0,5)	8,1 (0,4)	7,6 (0,5)
9. Buen clima de cooperación	7,4 (0,4)	7,5 (0,5)	7,7 (0,4)	7,5 (0,3)

- Ítem 2. Establece al inicio del curso los criterios y actividades de evaluación de la asignatura
- Ítem 5. Explica con claridad
- Ítem 8. Intenta que el alumnado participe en las clases
- Ítem 13. Los ejemplos, prácticas, ejercicios, problemas... que plantea son adecuados en el contexto de la asignatura
- Ítem 14. El sistema de evaluación es adecuado
- Ítem 15. Pienso que es un buen profesor
- Ítem 16. Me siento satisfecho asistiendo a sus clases

Los estudiantes valoran las afirmaciones propuestas en una escala Likert de 0 a 5 puntos respecto a su conformidad (5 puntos) o desacuerdo (0 puntos). En la tabla 3 se indican los resultados obtenidos para los cuatro grupos de clases experimentales y el valor medio de todos los grupos (Grupo C) que forman parte del departamento al que se encuentra adscrita la asignatura de Física.

En resumen, los estudiantes de las clases experimentales expresan valoraciones positivas hacia los objetivos del curso y están informados del interés de los objetivos. Además, ven la necesidad de trabajar en el aula para comprender unos contenidos complejos pero que son asequibles. Asimismo, valoran positivamente el apoyo del profesor en el proceso de aprendizaje.

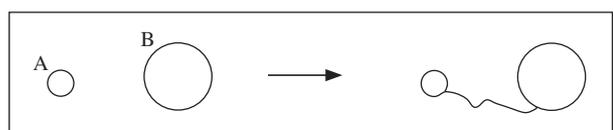
**Efecto sobre el aprendizaje de la epistemología científica**

Durante diferentes partes del curso, se realizaron grabaciones de las discusiones que mantenían los grupos de estudiantes, bien en clase o bien en el laboratorio, cuando resolvían las tareas. A continuación, vamos a presentar diferentes fragmentos de la discusión mantenida por varios grupos de estudiantes cuando resolvían una situación problemática planteada al inicio de la lección

de «Circuitos de corriente continua» inmediatamente después de haber estudiado los temas de electrostática.

La actividad planteada es la siguiente:

**Actividad.** Tenemos dos esferas A y B situadas como indica la figura. La esfera A tiene la mitad de diámetro que la esfera B. Se conectan entre sí mediante un hilo conductor largo y delgado. Explica si habrá movimiento de cargas en cada uno de los siguientes casos y calcula la carga final de cada esfera: a) La esfera A tiene +6C y la esfera B también +6C. b) La esfera A tiene +6C y la esfera B tiene +12C. c) La esfera A tiene +6C y la esfera B tiene +4C.



La actividad tiene como objetivos plantearse preguntas como las siguientes: ¿por qué se intercambian cargas dos cuerpos cargados en contacto?, ¿por qué, en ocasiones, a pesar de estar cargados no se intercambian cargas?, ¿qué magnitudes físicas se utilizan para analizar y predecir el intercambio de cargas entre cuerpos cargados?

Una respuesta adecuada se basa en analizar la situación con respecto a los potenciales eléctricos de ambas esferas y utilizar el criterio de que las cargas negativas se desplazan (si son trasladadas sólo por la fuerza eléctrica) de potenciales menores a mayores o, lo que es lo mismo, las cargas positivas se desplazan hacia potenciales decrecientes. Todo lo anterior ya ha sido estudiado en las lecciones de electrostática y aquí se trata de aplicarlos a un contexto electrocinético. En la página siguiente veamos algunas de las explicaciones de los grupos de estudiantes experimentales.

Tabla 3

Resultados obtenidos en la valoración efectuada por estudiantes experimentales (1, 2, 3 y 4) y de control (C) respecto a la docencia recibida.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo C	
	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03
Ítem 2	4,4	4,3	4,6	4,7	4,9	4,8	4,6	4,3	3,9	3,9
Ítem 5	4,2	4,2	4,1	4,1	4,6	4,5	3,6	3,5	3,5	3,6
Ítem 8	4,7	4,6	4,7	4,8	4,7	4,4	4,7	4,2	3,5	3,3
Item 13	4,3	4,0	4,5	4,5	4,4	4,3	4,3	4,2	3,9	3,9
Item 14	4,3	4,3	4,5	4,7	4,6	4,5	4,3	4,1	3,6	3,7
Item 15	4,4	4,2	4,3	4,2	4,6	4,5	4,0	3,9	3,7	3,6
Item 16	4,3	4,1	4,2	4,1	4,6	4,3	3,6	3,7	3,5	3,3

Protocolo 1. Registro de la discusión inicial de un grupo de estudiantes en la que se propone la densidad de carga como la variable que explica el movimiento de cargas entre las dos esferas.

- 01 Carlos: En el primer caso las dos esferas tienen la misma cantidad de carga, pero el diámetro es la mitad. Por tanto, las superficies son distintas. Si hacemos los cálculos ( $S_B = \pi D^2$  y  $S_A = \pi D^2/4$ ), la superficie de A es cuatro veces menor que la de B.
- 04 Manuel: Esto tiene que influir, la densidad de carga es diferente. No puede ser igual que el segundo caso, donde la esfera B tiene el doble de carga que la esfera A.
- 06 Belén: Sí, de acuerdo, pero hay que dar una razón. Tenemos que justificar la respuesta con la teoría que sabemos. No podemos poner sólo si pasa o no pasa corriente.
- 08 Manuel: Ponemos que si haces la experiencia en el primer caso pasan cargas y en el segundo no pasan. Esto pone en el libro.
- 10 María: Sí, pero no vale hacer referencia sólo a la experiencia. Imagínate que no miramos el libro, ¿cómo sabemos lo que pasa?
- 12 Carlos: Bueno podemos relacionar la carga con el tamaño de la esfera. En el segundo ejemplo no pasará ya que la relación entre carga y tamaño se compensa. En la esfera B hay doble cantidad de carga pero tiene el doble de tamaño, por tanto es la misma relación que tiene la esfera A. Luego no pasa carga.
- 15 Belén: No es estoy muy de acuerdo. ¿Qué es eso del tamaño?, ¿la superficie?
- 16 Manuel: Yo tampoco veo clara esta relación. Si comparamos carga y superficie no sale que la densidad de carga en las esferas del segundo caso salgan iguales. [...] vamos a calcular [...]
- 18 María: No sale la misma densidad de carga en el segundo caso. Para la esfera A sale  $\sigma_A = 24/\pi D^2$  y para la esfera B sale  $\sigma_B = 12/\pi D^2$ .
- 20 Carlos: Tendremos que cambiar de explicación. Tiene que haber alguna otra teoría que explique esto.

Protocolo 2. Registro de la discusión del mismo grupo de estudiantes que finalmente utiliza el concepto de *potencial* para explicar el movimiento de cargas entre las dos esferas.

- 21 María: En la lección de campo eléctrico hemos visto que las cargas se mueven si hay diferencia de potencial. Hemos visto que las cargas positivas se mueven hacia potenciales decrecientes y las negativas al revés.
- 24 Carlos: Podemos utilizar aquí lo mismo [...].
- 25 Belén: Sí, se pueden calcular los potenciales de las dos esferas y si son diferentes se moverán las cargas. En caso contrario no habrá paso de cargas de una esfera a otra.
- 27 Manuel: ¿Estamos seguros de esto?, no vayamos a volver a equivocarnos como antes. Nos quedan 10 minutos para la puesta en común.
- 29 María: La teoría que hemos estudiado dice eso. Para este caso creo que sí.
- 30 Belén: Yo estoy de acuerdo, vamos a calcular.
- 31 Carlos: Vale, calculamos [...].  
.....
- 32 Carlos: Me sale que en el primer caso y el tercero los potenciales de las esferas son distintos, luego pasará carga. Podemos calcular la carga final de las dos esferas igualando los potenciales.
- 34 Belén: Estoy de acuerdo y en el segundo caso los potenciales son iguales, luego no hay paso de cargas.
- 35 Manuel: Sí, estos resultados coinciden con la experiencia que pone el libro.
- 36 María: Además, creo que es lo que hemos dado en teoría.
- 37 Carlos: Ponemos todo esto en el informe para la puesta en común. Yo creo que las explicaciones están bien. Tener en cuenta que nos va a preguntar sobre cómo justificamos las soluciones y si está de acuerdo con la teoría eléctrica.

Los estudiantes siguen argumentando y presentando diferentes propuestas. Presentamos el protocolo 2 correspondiente a la parte final de la discusión del mismo grupo de trabajo.

La mayoría de los grupos de estudiantes a los que se les ha implementado el tratamiento científico de situaciones problemáticas siguen razonamientos similares, apoyán-

dose en la teoría de potencial eléctrico para justificar el movimiento de las cargas entre las esferas, a pesar de que estas cuestiones están señaladas en la investigación didáctica como de especial dificultad (Guruswamy, Somers y Hussey, 1997; Furió y Guisasola, 1998). Los estudiantes emiten hipótesis explicativas (Carlos 12, 13 y 14; María 21, 22 y 23; Belén 25 y 26) y tratan de fundamentarlas estableciendo argumentos justificativos (Ma-

ría 29). Estos argumentos son de diferente origen: algunos se basan en justificaciones de tipo académico (Manuel 8 y 9) y otros buscan la coherencia con el marco teórico de la física (María 21, 22 y 23). Así, los estudiantes rechazan (María 18 y 19; Carlos 20) o aceptan las hipótesis (Carlos 32 y 33; Belén 34; Manuel 35) según su validez con la teoría estudiada. En resumen, la mayoría de los grupos de estudiantes al analizar un problema utilizan características propias de la epistemología científica como emitir hipótesis, elaborar estrategias de resolución, realizar cálculos para contrastarlas, imaginar casos particulares que comprueben los resultados y contrastar la coherencia de sus conclusiones con el marco teórico.

**Efecto sobre el aprendizaje de conceptos y modelos**

Los resultados obtenidos en el aprendizaje de conceptos y teorías físicas por los estudiantes de las clases experimentales son significativamente mejores que los obtenidos por otros estudiantes.

Los estudiantes de las clases experimentales y de control realizaron varias pruebas de evaluación a través de diversos cuestionarios con preguntas abiertas. En ellos, se utilizaron preguntas mencionadas en la investigación sobre concepciones alternativas (Duit, 2004) y otras diseñadas por nosotros para esta investigación. Estos cuestionarios son similares a otros como el Force Concept Inventory (Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992) o el Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (Maloney et al., 2001) que tratan de evaluar los conocimientos

conceptuales de los estudiantes en el área de mecánica o electromagnetismo durante el primer curso de universidad. En el anexo se muestran algunas de las cuestiones que hemos utilizado con los estudiantes en el área del electromagnetismo y, en la tabla 4, podemos observar los porcentajes de respuestas correctas obtenidos para los estudiantes de las clases experimentales (1, 2, 3 y 4) y de control (C) durante el curso 2002-2003.

El estadístico  $\chi^2$  ha sido calculado para el grupo de control y con el resultado más desfavorable de los grupos experimentales, obteniéndose en todos los casos que las diferencias son significativas con un nivel de confianza menor al 1%. El comentario y dificultades de los estudiantes a las cuestiones del anexo ya han sido comentadas en diferentes investigaciones que se encuentran en la bibliografía de este artículo. Sólo queremos resaltar que los resultados obtenidos en las clases experimentales apoyan las posibilidades de mejora del aprendizaje de la física en primer curso de universidad. Sin embargo, es preciso indicar que varias de las cuestiones presentadas [C4 b) y c) además de C7] obtienen, para los alumnos experimentales, un porcentaje de respuestas correctas de alrededor de la mitad de los estudiantes, lo que no nos deja del todo satisfechos. Será necesario analizarlo en profundidad y tratar, en consecuencia, de perfeccionar aspectos relacionados con el programa de actividades propuesto y su forma de llevarlo al aula.

Para finalizar, mostraremos el porcentaje de estudiantes, sobre los presentados a examen final, que superó la asignatura tanto para las clases experimentales como para las de control (Tabla 5).

Tabla 4  
Porcentaje de respuestas correctas a algunas preguntas de los cuestionarios.

	Grupo 1 N = 37	Grupo 2 N=39	Grupo 3 N = 39	Grupo 4 N = 42	Grupo C N = 65	$\chi^2$
C2	78	69	75	72	3	P<< 0,01
C3	62	69	66	64	13	P<< 0,01
C4 a)	82	93	88	87	32	P<< 0,01
C4 b) y c)	57	61	56	53	11	P<< 0,01
C5	56	57	60	62	7	P<< 0,01
C7	55	57	52	53	3	P<< 0,01
C8	62	67	55	64	20	P<< 0,01
C9	80	74	70	76	11	P<< 0,01

Tabla 5  
Porcentajes de estudiantes de las clases experimentales y de control que superaron el examen final durante los cursos 2001-2002 y 2002-2003.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo C	
	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03
Porcentaje de estudiantes que aprueban la asignatura respecto a los presentados	65%	57%	71%	67%	72%	68%	58%	62%	43%	46%

Si tenemos en cuenta los resultados de estudiantes presentados a examen respecto a matriculados de la tabla 1 y los resultados de estudiantes aprobados respecto a presentados de la tabla 5, podemos considerar la tasa media de éxito global estudiantil como la media de la tabla 1 y la media de la tabla 5 ( $\bar{x}_{11}$ ,  $\bar{x}_{15}$  = tasa media de éxito global). El resultado para los grupos experimentales es de 57,2% ( $0,876 \times 0,65 = 0,572$ ) que casi duplica el resultado de los grupos de control 32,9% ( $0,73 \times 0,445 = 0,329$ ).

### CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Las modificaciones que hemos introducido en la enseñanza de la física en primer curso de universidad se han visto restringidas por un horario predeterminado y un programa básico diseñado por el ordenamiento académico oficial y por nuestro propio departamento de Física Aplicada. Así pues, los cambios introducidos se han referido fundamentalmente a las estrategias de enseñanza utilizadas que tratan de estimular a los estudiantes a que se planteen problemas, adelanten hipótesis y traten de argumentar la validez de sus soluciones. También se ha insistido en diseñar cuestionarios de evaluación con preguntas cualitativas y cuantitativas cuya respuesta exige un conocimiento profundo de los conceptos y teorías científicas, más allá de una simple y mera utilización de ecuaciones matemáticas.

Es necesario señalar que hemos tenido básicamente dos preocupaciones que han surgido de forma periódica a lo largo de las reuniones semanales que hemos realizado para analizar la aplicación del programa en el aula. Por un lado, si nuestros estudiantes del programa innovador eran capaces de mostrar en los contenidos estándar del currículo el mismo o mejor aprendizaje que los estudian-

tes de las clases de control. La inquietud fue decreciendo paulatinamente en vista de los resultados obtenidos en los exámenes comunes a todos los grupos. La otra gran preocupación fue el tiempo necesario para que los estudiantes se familiarizaran con las habilidades de producción y validación de los conocimientos científicos. Aquí se ha mantenido un difícil equilibrio entre los estándares del currículo y los contenidos metodológicos suplementarios que deben adquirir los estudiantes experimentales. Se ha tratado de aumentar al máximo las clases prácticas y las tareas tanto individuales como en grupo fuera del horario lectivo. Fue necesario que los estudiantes comprendieran que no venían a clase a mirar y a tomar apuntes sino a participar. Esto implicaba que debían reflexionar antes sobre las cuestiones que se discutirían en clase. De acuerdo con los resultados de opinión de los estudiantes sobre la propuesta innovadora, parece que esta nueva manera de enfocar la clase ha sido acogida favorablemente por una gran mayoría de estudiantes. Pensamos que en un futuro será necesario complementar la preparación de las clases por parte de los estudiantes a través de programas de actividades, notas de reflexión del profesor, test de autoevaluación *on line* en la hoja *web* del profesor que imparte la asignatura.

Las preocupaciones mencionadas pueden ser vistas como consideraciones menores, pero creemos que son compartidas por la mayoría de profesores que intentamos realizar innovaciones en entornos no propicios a los cambios didácticos, y pensamos que deben ser mencionadas cuando se evalúan nuevas propuestas de enseñanza. Asimismo, pensamos que los datos aportados en esta innovación educativa vienen a converger con otras experiencias de nuestro entorno y del ámbito internacional (Powell, 2003). Creemos que este tipo de propuestas que usan estrategias de enseñanza que buscan un aprendizaje más profundo y gratificante deberían ser discutidas, evaluadas y más utilizadas por grupos de profesores universitarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMUDÍ, J.M. (2002). «Campos magnéticos producidos por cargas móviles: dificultades de aprendizaje y propuesta constructivista de enseñanza en primer curso universitario de física general». Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco.
- BANDIERA, M., DUPRE, F., IANNIELLO, M.G. y VICENTINI, M. (1995). Una investigación sobre habilidades para el aprendizaje científico. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 46-54.
- BLACK, P., HOLCOMB, D.F., JODL, H.J., JOSSEM, L., LÓPEZ, R., MATAR, F., RIGDEN, J.S., SMIT, J., STITH, J. y YUN YING. (1997). A call for changes in undergraduate physics education, en Redish, R. y Rigden, R. (eds.). *The changing role of Physics departments in modern universities*. American Institute of Physics.
- CEBERIO, M. (2004). «La resolución de problemas de física general en la universidad: una propuesta didáctica basada en el planteamiento y resolución de situaciones problemáticas abiertas». Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco.
- COOK, TH. y REICHARDT, CH. (1986). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación educativa*. Madrid: Morata.
- CORDERO, S., COLINVAUX, D. y DUMRAUF, A.G. (2002). ¿Y si trabajan en grupo...? Interacciones entre alumnos, procesos sociales y cognitivos en clases universitarias de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 427-441.
- DRIVER, R., NEWTON, P. y OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classroom. *Science Education*, 84, pp. 287-312.
- DUIT, R. (2004). *Students' and teachers' conceptions and Science Education*. Disponible en <<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>>. Institute for Science Education. Alemania: University of Kiel.
- DULSKY, R.E., DULSKY, E. y RAVEN, R.J. (1995). Attitudes toward nuclear energy: one potential path for achieving scientific literacy. *Science Education*, 79(2), pp. 167-187.
- DUSCHL, R.A. y HAMILTON, R. (1998). Conceptual change in science and in the learning of science, en Frase, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*. Londres: Kluwer Academic Publisher.
- ERICSSON, K.A. y SIMON, H.A. (1984). *Protocol analysis: verbal reports as data*. Cambridge: MIT Press.
- FURIÓ, C. (2001). La enseñanza/aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente, en Guisasola, J. y Pérez de Eulate (eds.). *Investigaciones en Didáctica de las Ciencias Experimentales basadas en el modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación orientada*. Bilbao: Servicio de Publicaciones de la UPV/EHU.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 259-271.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1998). Construcción del concepto de potencial eléctrico mediante el aprendizaje por investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11(1), pp. 25-37.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y CEBERIO, M. (2003). Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87, pp. 640-662.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J. y ALMUDÍ, M. (2004). Elementary Electrostatic Phenomena: Historical hindrances and students difficulties. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technological Education*, 4(3), pp. 291-313.
- FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad, en Del Carmen, L. (coord.). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1993). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- GIL, 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. y GALLEGO, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science and Education*, 11, pp. 557-571.
- GRAS, A., GUIASOLA, J., BECERRA, C., CANO, M., ARÁNEGAS, R.G. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2002). Renovació didàctica necessària a la Universitat: la Física, per exemple. *Revista de Física*, 3(3), pp. 22-26.
- GUIASOLA, J. (1996). «Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista». Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, M., CEBERIO, M. y ZUBIMENDI, J.L. (2001). *Programa de actividades de Fundamentos Físicos de la Ingeniería en primer curso de Ingeniería Técnica Industrial*. Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. Universidad del País Vasco.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, M., CEBERIO, M. y ZUBIMENDI, J.L. (2002a). A teaching strategy for enhancement of physics learning in the first year of industrial engineering. *European Journal of Engineering Education*, 27(4), pp. 379-391.
- GUIASOLA, J., CEBERIO, M., ALMUDÍ, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2002b). La enseñanza de problemas tipo en primer curso de ingeniería y el aprendizaje significativo de los conceptos y principios fundamentales de la Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(1), pp. 7-28.
- GUIASOLA, J., FURIÓ, C., CEBERIO, M. y ZUBIMENDI, J.L. (2003). ¿Es necesaria la enseñanza de contenidos procedimentales en cursos introductorios de física en la Universidad? *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 17-28.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of university. *Science Education*, 88(3), pp. 443-464.
- GURUSWAMY, C., SOMERS, M.D. y HUSSEY, R.G. (1997). Studentes' understanding of the transfer of charge between conductors. *Physics Education*, 32(2), pp. 91-96.

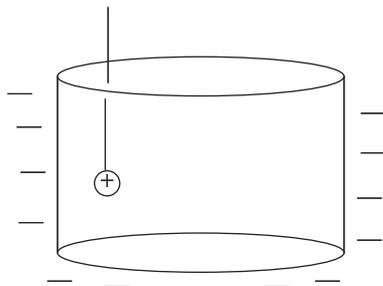
- HEGARTY, M. (1991). Knowledge and processes in mechanical problem solving, en Sternberg, R.J. y Frensch, P.A. (eds.). *Complex problem solving: Principles and mechanisms*, pp. 253-285. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- HESTENES, D., WELLS, M. y SWACKHAMER, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30, pp. 141-151.
- JAQUE, F. (1995). Deficiencias en los conocimientos de la física al llegar a la Universidad. *Tarbiya*, 10, pp. 121-126.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento en el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 203-216.
- JONG, O. de (1995). Classroom protocol analysis: A fruitful method of research in science education. *European Research in Science Education II, Proceedings of the Second Ph.D. Summer School*. Aristotle University of Thessaloniki, Grecia: Edited by D. Psillos.
- KLAHR, D. y SIMON, H.A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125, pp. 524-543.
- KURZ, G. (1997). Physics in engineering education: The situation in Germany, en Redish, R. y Rigden, R. (eds.). *The changing role of Physics departments in modern universities*. Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education, editado por American Institute of Physics.
- MALONEY, D. (1994). Research on Problem Solving: Physics. *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. Gabel, Dorothy (ed.). Mac Millan Publishing Company.
- MALONEY, D.P., O'KUMA, T.L., HIEGELKE, C.J. y HEUVELEN, A.V. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69 (S1), S12-S23.
- McDERMOTT, L. (1996). *Physics by Inquiry*. Nueva York: Jhon Wiley & Sons.
- MILLAR, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, Special issue, 11, pp. 587-596.
- MYERS, R.E. y FOUTS, J.T. (1992). A cluster analysis of High School science classroom environments and attitudes toward science. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(9), pp. 929-937.
- OLIVA, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-108.
- PINTRICH, P.R., MARX, R.W. y BOYLE, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), pp. 167-199.
- POWELL, K. (2003). Spare me the lecture. *Nature*, 425, pp. 234-236. En línea en <www.nature.com/nature>.
- POZO, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 513-520.
- ROMO, V.M. (1998). «La enseñanza de la química y su relación con las actitudes de los estudiantes hacia la química». Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.
- ROWELL, J., DAWSON, C. y POLLARD, J. (1993). First year university Physics: Who succeeds? *Research in Science and Technological Education*, 11(1), pp. 85-93.
- SALINAS, J., CUDMANI, L.C. y PESA, M. (1996). Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 209-220.
- STINNER, A. (2003). Scientific method, imagination and the teaching of Physics. *La Physique Au Canada*, 59(6), pp. 335-346.
- VERDÚ, R., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique*, 34, pp. 47-55.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. París: De Boeck & Larcier, S.A.
- VIENNOT, L. y RAINSON, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*, 21(1), pp. 1-16.
- VIGOTSKY, L.S. (1978). *Mind in Society: the development of higher psychological process*, en Cole, M., John-Steiner, V., Scribner, S. y Souberman, E. (eds.). Cambridge: Harvard University Press.
- WHITE, R. y GUNSTONE, R. (1992). *Probing Understanding*. Londres: The Palmer Press.
- ZUBIMENDI, J.L. (2004). «La enseñanza de la capacidad eléctrica en primer ciclo de universidad: análisis de dificultades y propuesta alternativa». Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco.

[Artículo recibido en febrero de 2005 y aceptado en octubre de 2005]

ANEXO

Algunas de las cuestiones pasadas a los estudiantes

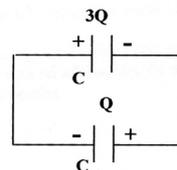
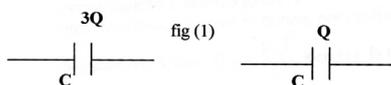
**Cuestión 2.** La figura muestra un bote metálico cargado negativamente, antes de introducir en él cualquier objeto, ¿qué sucederá al introducir un péndulo cargado positivamente dentro del mismo?



**Cuestión 3.** Dos esferas de igual radio  $R$ , una de metal y otra de plástico, se conectan por separado (ver figuras) a un generador de 15 voltios. ¿Se cargarán las esferas? ¿De qué manera? ¿Por qué?



**Cuestión 4.** Dos condensadores iguales de capacidades  $C$  se cargan bajo diferente voltaje, de tal manera que adquieren cargas  $3Q$  y  $Q$ . Ver figura 1. A continuación se conectan entre sí como muestra la figura 2:

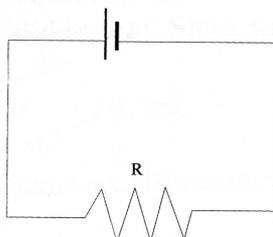


- a) ¿Existe corriente en el circuito de la figura 2?
- b) Dibuja, si la hubiere, el sentido de la corriente explicando tu proceder.
- c) ¿Cuál será la carga de cada condensador después de pasado un tiempo de la conexión?

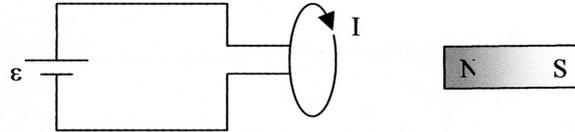
**Cuestión 5.** Para un circuito cerrado, como el de la figura en el que circula una corriente  $I$  y donde se supone despreciable la resistencia interna de la pila, se cumple:

- a)  $V = IR$
- b)  $\xi = IR$
- c) Las dos anteriores
- d) Ninguna de las dos anteriores

Justifica tu elección.



**Cuestión 7.** Tenemos una espira circular en un circuito de corriente continua y enfrente de ella un imán situado en el eje que pasa por el centro de la espira, tal como se indica en la figura. ¿Qué sucederá?



**Cuestión 8.** Sea un hilo de corriente «infinito» por la que circula una intensidad  $I$ ; dicho hilo de corriente es perpendicular al plano del papel y dirigido hacia afuera (ver figura).

Un estudiante, E1, aplica la ley de Ampère para calcular el campo magnético que crea esa corriente en el punto A, utilizando la trayectoria circular

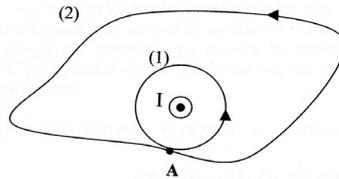
(1), por cuyo centro pasa el hilo de corriente, y llega a la conclusión de que el valor de dicho campo es:  $B_A = \frac{\mu_0 I}{\ell}$ ,

siendo la longitud de la circunferencia correspondiente a la trayectoria (1).

Otro estudiante, E2, hace lo mismo, pero utilizando la trayectoria (2) y llega a la conclusión de que el campo magnético en A vale:  $B_A = \frac{\mu_0 I}{L}$ ,

siendo L la longitud de la trayectoria (2).

Explica, razonadamente, si estás de acuerdo con el estudiante E1, con E2, con ambos o con ninguno de ellos.



**Cuestión 9.** Un estudiante afirma que: «una carga situada en una región donde existe un campo magnético siempre estará sometida a una fuerza magnética». ¿Consideras correcta tal afirmación, de acuerdo con la teoría explicada en clase? Justifica tu respuesta lo más detalladamente que puedas.