

LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO BASADA EN UN MODELO DE APRENDIZAJE COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

FURIÓ C.¹ y GUIASOLA J.²

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Valencia

² Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco

SUMMARY

This work is grounded on a constructivistic conception of the learning of Sciences, more particularly on the model known as teaching-learning as oriented research. In accordance with this theoretical basis we have developed an empirical research framed within the teaching of Electrostatics in Higher Education. The designs developed have enabled us to assess the learning achieved by the students. According to our findings we could say that the materials developed and the way we have worked with them have contributed to a more significant learning and favoured a more positive attitude toward the teaching of the subject.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo parte de reconocer una preocupación en el profesorado de bachillerato por los resultados de la enseñanza que se imparte en el área de electricidad en general y de la electrostática en particular. A pesar de los esfuerzos y del tiempo que se invierten en este campo de la física, los resultados que se obtienen son poco satisfactorios, como lo muestra el alto índice de fracaso escolar que se produce y la bibliografía sobre dificultades de aprendizaje (Carmichael et al., 1990).

Los estudios que tratan sobre las dificultades de aprendizaje en electricidad están enfocados principalmente hacia los circuitos de corriente continua (Duit, 1993) sin relacionarlas con los conceptos de electrostática. Sin embargo, el concepto de *diferencia de potencial*, que es uno de los que presenta mayores dificultades de aprendizaje en el estudio elemental de los circuitos eléctricos (Eylon y Ganiel, 1990; Steinberg, 1992), está directamente relacionado con los conceptos de *campo y potencial eléctricos* que se enseñan en electrostática

(Benseghir y Closset, 1996; Furió y Guisasola, 1998a). Así mismo, los trabajos que tratan sobre las dificultades de aprendizaje del concepto de *campo* muestran que los estudiantes presentan fijaciones funcionales derivadas de informaciones recibidas a lo largo de la instrucción. Es decir, los razonamientos de la mayoría de los estudiantes se caracterizan por emplear una única estrategia que consiste, por lo general, en la aplicación de una «receta» que va de la teoría a la situación problemática (Viennot y Rainson, 1992; Rainsson et al., 1994). Por otra parte, cuando los estudiantes interpretan las interacciones electrostáticas, utilizan preferentemente el perfil conceptual coulombiano (Furió y Guisasola, 1998b).

Cuando se pregunta al profesorado en activo cuáles pueden ser las causas del fracaso generalizado en el aprendizaje significativo del concepto de *campo eléctrico*, la mayoría de las explicaciones atribuyen el fracaso a las carencias de los estudiantes (Furió y Guisasola, 1997), lo que sin duda constituye una de las ideas claves

en el «pensamiento espontáneo» de los profesores (Hewson y Hewson 1988). Sin embargo, resulta, como mínimo, sorprendente que el fracaso en el aprendizaje significativo de un concepto se atribuya casi exclusivamente a estas deficiencias. Como profesores, también podemos preguntarnos: ¿qué tipo de enseñanza impartimos para que la mayoría de los estudiantes sea incapaz de aprender de forma significativa el concepto de *campo eléctrico*? No podemos olvidar que una de las variables que más influye en el aprendizaje de conceptos es la forma de enseñarlos.

A la hora de analizar la enseñanza habitual, es necesario tener en cuenta que la introducción de un concepto responde a un proceso de discusión y reelaboración a partir de una problemática concreta (Lakatos, 1970; Kuhn, 1970, Jiménez y Otero, 1990; Solbes y Vilches, 1997; McComas, 1998). En este sentido, una de las principales características de la naturaleza de la ciencia es el papel protagonista de los problemas como motor del desarrollo de las teorías, que permiten pasar a otras nuevas de mayor poder explicativo de los fenómenos considerados (Laudan, 1984). Frente a esta concepción de la ciencia, las programaciones de electricidad en los libros de texto y las utilizadas por los profesores en la enseñanza habitual, frecuentemente, presentan una visión aproblemática y acumulativa lineal (Strube, 1988; Stocklmayer y Treagust, 1994; Guisasola, 1997) que no tiene en cuenta las diferentes formulaciones y los saltos cualitativos que se dieron en el desarrollo de las teorías como, por ejemplo, el pasar directamente de una visión newtoniana de la electricidad (Coulomb) a una visión energética (campo eléctrico) sin explicar la necesidad de este cambio cualitativo (Solbes y Martín, 1991; Furió y Guisasola, 1997).

La no-consideración de la introducción de un nuevo concepto, como *hipótesis*, que tiene su fundamento en el cuerpo teórico, lleva a que la mayoría del profesorado no tenga en cuenta el cambio ontológico que se produce al pasar de una visión coulombiana a otra de campo eléctrico en la forma de concebir la interacción eléctrica (Furió y Guisasola, 1998b). La carencia de esta nueva visión ontológica lleva a considerar la teoría de campo como una forma muy «abstracta» de justificar las interacciones eléctricas y, en consecuencia, a no enfatizar la necesidad de su introducción en la propia enseñanza.

Si, a todo lo anterior, añadimos que la mayor parte de estas enseñanzas se basan en la transmisión verbal de los conocimientos que no familiariza a los estudiantes con las principales características de la metodología científica (como, p.e., el tratamiento cualitativo de las situaciones problemáticas, la emisión de hipótesis o el diseño y realización de experimentos para contrastar las hipótesis emitidas...), podemos explicar las grandes dificultades que tienen los estudiantes en el aprendizaje de la teoría del campo eléctrico.

De acuerdo con todo lo anterior, el propósito del trabajo que aquí presentamos es exponer el tratamiento realizado para superar las dificultades de enseñanza-aprendizaje en la introducción del concepto de *campo*

eléctrico. Hemos establecido como hipótesis que es posible transformar la enseñanza habitual de la electricidad en el bachillerato en otra basada en el *modelo de aprendizaje como investigación orientada* (Furió y Gil, 1978; Furió, 1994a; Gil, 1994; Gil et al., 1999) que, al aplicarlo a grupos aleatorios de estudiantes, favorezca un aprendizaje más significativo de los conceptos y un mayor interés hacia el aprendizaje de la electricidad. Para ello, hemos desarrollado un hilo conductor con su secuenciación de contenidos y su correspondiente programa de actividades; así mismo, se ha aplicado este programa a dos grupos de estudiantes de diferentes centros y se ha evaluado el aprendizaje logrado.

El modelo de *enseñanza-aprendizaje como investigación* en el que hemos fundamentado nuestras estrategias de enseñanza ha sido ampliamente recogido en *Enseñanza de las Ciencias*. Sin embargo, nos ha parecido oportuno realizar una breve exposición del modelo para no dejar sin fundamentación teórica las estrategias didácticas que luego se desarrollarán en el aula (Moreira, 1994). Éste será el objetivo de la primera parte del siguiente apartado.

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA Y SECUENCIACIÓN DE CONTENIDOS

Las dificultades puestas de manifiesto por la línea de investigación de las concepciones alternativas de los estudiantes, que tan prolífica está resultando desde hace más de dos décadas (Wandersee et al., 1994), han servido y están sirviendo para plantear la necesidad de nuevas estrategias de enseñanza que sustituyan una enseñanza transmisiva de los conceptos científicos ya construidos –muy poco eficaz– por una nueva enseñanza que tenga éxito en la aproximación de los esquemas conceptuales de los estudiantes hacia las concepciones científicas que actualmente se aceptan como correctas. Esto ha dado lugar a propuestas que –al margen de pequeñas diferencias– coinciden básicamente en asumir una concepción del aprendizaje como *construcción activa* de nuevo conocimiento por parte del propio aprendiz que, necesariamente, ha de partir de su conocimiento anterior. Estas concepciones constructivistas de la enseñanza han conducido al diseño de diversos modelos de instrucción que tienen en común el promover el *cambio conceptual* (Pozo, 1989). Así mismo, recientes investigaciones (Whittaker, 1983; White y Gunstone, 1989; Gil, 1993; Viennot, 1996; Duschl y Hamilton, 1998) indican que, si el aprendizaje por construcción de conocimientos se basa en la existencia de cierto isomorfismo entre este aprendizaje del alumno a partir de sus preconcepciones y la investigación como construcción de conocimientos científicos por la comunidad científica, a partir del paradigma teórico vigente, será necesario extender este paralelismo también hacia sus *aspectos metodológico y sociológico*.

Las consideraciones anteriores implican que sólo haciendo que los estudiantes practiquen –ayudados por el profesor– aspectos esenciales de la metodología científica, como imaginar soluciones a problemas en forma de hipótesis, diseñar experimentos de contrastación de las hipótesis, etc., podrán superar su metodología de la superficialidad y, consecuentemente, construir conocimientos. Estas consideraciones han originado la necesidad de incorporar de forma no autónoma el mencionado cambio metodológico dentro de las estrategias de cambio conceptual. Esta idea de aproximar el aprendizaje de las ciencias a un trabajo científico es una vieja intuición. En el movimiento de renovación de enseñanza de las ciencias en los años cincuenta y sesenta ya se hablaba de *learning by inquiry* (Schwab, 1962). No obstante, las propuestas que aquí sugerimos difieren de aquellos intentos en que la indagación no se limita a aprender cómo comprobar enunciados y en que no se concibe a los estudiantes como investigadores autónomos que trabajan haciendo ciencia. En nuestra propuesta se utiliza la metáfora de los estudiantes como «investigadores noveles» que trabajan en equipos cooperativos replicando investigaciones ya realizadas, dirigidos por el profesor como experto conocedor de las investigaciones. Sería un proceso de formación en investigación análogo a la formación inicial de futuros investigadores y, por ello, el modelo de aprendizaje se denomina de *investigación orientada*. Así pues, la estructura de la clase se dividirá en pequeños grupos de trabajo en cuyo desarrollo se obtienen unos primeros resultados mediante *el esfuerzo cooperativo* de aquéllos y que, como tales equipos de investigación, interaccionan entre ellos y con la comunidad científica representada por el profesor (y por los libros de texto), que matizará, cuestionará y reformulará los resultados parciales obtenidos por los propios equipos. Por otra parte, estas estrategias tratan de mejorar las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y su aprendizaje, integrando al estudiante en un proceso que quiere abordar la solución de un problema a través de la búsqueda de soluciones –siempre hipotéticas– que servirán para explicar mejor el mundo natural (Gil et al., 1991; Gil y Carrascosa, 1994; McDermott, 1996; Anderson et al., 1996; Duschl, 1998).

Las estrategias didácticas del plan de instrucción deben ser coherentes con la familiarización de los estudiantes con las características de la actividad científica

Aunque las recientes aportaciones de la filosofía de la ciencia indican que no se puede hablar de «un método científico» como conjunto de normas procedimentales a seguir para llegar con éxito a la solución de los problemas científicos, sí es posible hacer un análisis (nunca exhaustivo) que permita extraer las características esenciales del trabajo científico y así poder perfilar mejor el objetivo de cambio epistemológico perseguido en el aprendizaje de las ciencias como investigación (McComas, 1998). A partir de dicho análisis se pueden extraer estrategias procedimentales utilizadas por los científicos que permitan fundamentar teóricamente una enseñanza que favo-

rezca la construcción de conocimientos científicos (Gil et al., 1999).

Así pues, la tarea a realizar en clase se prepara antes de la interacción educativa por el profesor o grupo de profesores en forma de *programas de investigación orientada*, es decir, en forma de actividades que tratan de desarrollar el currículo (Furió y Gil, 1978; Gil y Martínez-Torregrosa, 1987; Millar y Driver, 1987; Guisasola y De la Iglesia, 1997).

Una secuenciación de contenidos que tenga presente las dificultades epistemológicas en la construcción del concepto de campo eléctrico

La elaboración del hilo conductor para el desarrollo de los contenidos de la electrostática en la etapa de bachillerato ha tenido en cuenta tanto la evolución histórica de los grandes problemas habidos como las soluciones dadas a los mismos y que, a finales del siglo XIX, dieron lugar al cuerpo teórico del electromagnetismo maxwelliano. En una enseñanza como la aquí expuesta cobra especial interés el conocimiento por parte del profesor de estas dificultades epistemológicas que tuvo que superar la comunidad científica hasta llegar a la construcción del concepto de *campo electromagnético*. En efecto, la epistemología de la física, más preocupada por la historia de los problemas que por la de sus resultados (Fillon, 1991; Furió et al., 1998), se convierte así en herramienta imprescindible y eficaz a la hora de que el profesor pueda planificar una secuencia coherente de situaciones problemáticas de interés a proponer en clase para la (re)construcción de los conocimientos electromagnéticos.

A modo de síntesis epistemológica general (Heilbron, 1982; Whittaker, 1987; Taton, 1985), se puede afirmar que los principales problemas cuya solución supuso un avance significativo en la construcción de la electricidad como ciencia fueron los siguientes:

- a) La búsqueda de explicación de los fenómenos triboeléctricos (electrización de los cuerpos por frotamiento) condujo a la hipótesis general de que la *materia es eléctrica* (es decir, posee *cargas*) aunque aparentemente se presente como *neutra* (igual cantidad de cargas positivas y negativas). La representación mental de la «propiedad eléctrica» (que manifiestan los cuerpos frotados), como una especie de «halo» (Gilbert, 1600), fue superada por otra imagen mecanicista, donde la carga era considerada como un (dos) fluido(s) especial(es) que poseían todos los cuerpos (Franklin, 1747).
- b) La profundización en el estudio cuantitativo de las interacciones que se ejercen entre las cargas eléctricas y su fundamentación analógica en la mecánica newtoniana permitió consolidar aquella hipótesis general y definir operativamente el concepto de *carga eléctrica* (Coulomb, 1785).
- c) Finalmente, el problema de la transmisión de la interacción eléctrica a través de un medio, junto al de la unifica-

ción de las diferentes electricidades y del magnetismo, mostró las insuficiencias del modelo anterior y permitió un salto cualitativo importante, que condujo a la introducción de la teoría del *campo de fuerzas electromagnéticas* (Faraday, 1846) y, posteriormente, a la síntesis representada por las ecuaciones de Maxwell (Maxwell, 1864).

Sin embargo, una visión reduccionista de la naturaleza de la ciencia más preocupada por los resultados de la investigación científica que por sus problemas y métodos, que está ampliamente asumida entre el profesorado (Orlandi, 1991), se olvida de la existencia de estas barreras epistemológicas que se han superado en el devenir histórico para poder avanzar en los conocimientos. Con ello, probablemente, se dejan de lado dificultades que también pueden darse en los estudiantes (Astolfi, 1994). Por ejemplo, el programa de investigación que unificó las explicaciones de las diferentes interacciones eléctricas y magnéticas conocidas (Berkson, 1981), supuso un cambio ontológico radical respecto a la manera coulombiana de concebir la carga y la interacción eléctrica y, paralelamente, la investigación didáctica ha mostrado la resistencia que los actuales estudiantes de bachillerato y universidad tienen a la hora de diferenciar fuerza eléctrica en un modelo coulombiano e intensidad de campo eléctrico en la teoría de campos (Rainson, 1995; Furió y Guisasola, 1998b).

Por otra parte, también se olvida el contexto de investigación en el que surge un problema científico, entendido como marco referencial que pone en evidencia un problema epistemológico. De ahí que sea frecuente, desafortunadamente, observar en los libros de texto distorsiones en los significados atribuidos a conceptos por no tener en cuenta ni los contextos de indagación en los que originalmente se construyeron ni su evolución en los cambios contextuales teóricos que suceden en la historia. En el caso de la introducción del concepto de *campo eléctrico* se olvida enfatizar el salto cualitativo que supuso pasar de una visión ontológica de la interacción eléctrica confinada en la materia electrificada, sin tener en cuenta el medio, a otra más compleja donde se sigue admitiendo que la interacción existe entre los cuerpos cargados pero cuya existencia se imagina que va más allá de los límites de los mismos. En efecto, este cambio que se inicia con Faraday logra complementar la visión cosmológica newtoniana (donde la materia y el espacio se consideran entidades separadas, absolutas e independientes), que había servido de marco filosófico en la definición coulombiana de interacción eléctrica, con la visión cosmológica de tradición cartesiana donde la materia y el espacio se presentan como inseparables (Furió y Guisasola, 1997). El esfuerzo de imaginación puesto de manifiesto al visualizar la interacción eléctrica en el medio (apoyada en la incipiente filosofía kantiana de fines del XVIII, superadora del empirismo y del racionalismo) facilitó la construcción de una teoría que pudiera explicar de manera unitaria las interacciones electromagnéticas (Thuillier, 1989), teoría que se concretó en la introducción del concepto estructurante de *campo de fuerzas*. Solamente desde este punto de vista se puede comprender la necesidad de introducir el campo eléctrico para solucionar los proble-

mas no resueltos por la teoría newtoniana de acción a distancia.

Todo lo anterior sirve para fundamentar una secuenciación de contenidos de un curso introductorio de electrostática estructurado en dos partes (Guisasola, 1996) y que se presenta a continuación:

Programa para la iniciación al estudio de la electricidad en 1r. curso de bachillerato (16-17 años)

Introducción

¿Por qué es útil el estudio de la electricidad y cómo sabemos que la materia es eléctrica?

¿Por qué puede ser útil comenzar el estudio de la electricidad a partir del comportamiento de las cargas en reposo?

Primera parte: Nuevas fuerzas invisibles de extraordinario poder

- 1) Naturaleza eléctrica de la materia
- 2) Estudio cuantitativo de las fuerzas entre cargas eléctricas en reposo
- 3) Nuevos interrogantes que plantean los conocimientos eléctricos alcanzados.

Segunda parte: Hacia una interpretación general de las interacciones eléctricas, el campo eléctrico.

- 4) El campo eléctrico. ¿Por qué es necesario introducir el campo E como nueva magnitud?
- 5) Problemas prácticos que puede resolver el concepto de *campo eléctrico*
- 6) Una interpretación energética del campo eléctrico
- 7) Nuevos interrogantes que plantean los conocimientos alcanzados y que darán lugar a nuevos estudios.

Debido a la necesaria brevedad de este artículo no es posible reproducir todas las actividades realizadas ni analizar todos los resultados obtenidos en este programa. Por ello, vamos a partir de la hipótesis según la cual los estudiantes que han participado en este curso han adquirido los conocimientos y habilidades necesarios para aprender significativamente la primera parte del programa (Guisasola, 1999) y limitaremos el contenido de este artículo a analizar los logros del aprendizaje del concepto de *campo eléctrico* (Pregunta 4 del programa).

¿QUÉ SUPONE TENER UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO?

Averiguar el nivel de aprendizaje que tienen los estudiantes respecto del concepto de *campo eléctrico* requiere explicitar, en primer lugar, de manera sintética, cuáles son los conocimientos conceptuales (ideas y relaciones

Cuadro I

Esquema interpretativo de campo eléctrico de las interacciones entre cargas en reposo.

Referente macroscópico	Explicación según la teoría de campo
1) Las fuerzas eléctricas no se transmiten simultáneamente.	1) Las interacciones entre cargas consisten en una acción paso a paso a través del medio con una velocidad igual a la de la luz.
2) No hay interacciones eléctricas en el interior de un conductor.	2 y 3) En los conductores en equilibrio electrostático, la carga se sitúa en la superficie, de forma que el campo, en su interior, es cero, no produciéndose ninguna interacción en su interior.
3) La interacción eléctrica resultante es nula en el interior de una «jaula de Faraday».	Así pues, se puede interpretar que la fuerza ejercida por un cuerpo cargado sobre una «carga prueba cercana» es debida a la existencia de una «perturbación» creada por el cuerpo cargado (campo eléctrico). Este campo eléctrico es independiente de la «carga prueba utilizada».

entre ellas) y procedimentales básicos que, a juicio de un currículo estándar, conformarían un *esquema interpretativo de este concepto* en el marco referencial indicado en el apartado anterior y, en segundo lugar, seleccionar aquellos *objetivos* que, traducidos en preguntas, permitan averiguar cómo piensan los estudiantes. En este último dominio conviene tener muy presente las dificultades de aprendizaje que se van a presentar así como la ausencia de los prerequisites conceptuales y procedimentales necesarios para la construcción de un esquema interpretativo de la teoría de campo.

En el cuadro I se han esquematizado los aspectos esenciales de cómo se interpretan las interacciones entre

cargas en reposo, bien dentro del mismo conductor o entre dos conductores, de acuerdo con la teoría de campo eléctrico.

A partir de este esquema interpretativo se ha diseñado una red de objetivos y posibles dificultades de aprendizaje del campo eléctrico que pueden presentarse a los estudiantes (Cuadro II).

Así mismo, y de acuerdo con las características de la naturaleza de la ciencia indicadas anteriormente, tenemos en cuenta que el aprendizaje del cuerpo de conocimientos indicado supone mucho más que aprender un conjunto de conceptos; «hacer ciencia» en el aula supo-

Cuadro II

Relación de objetivos y dificultades de aprendizaje en la interpretación de las interacciones eléctricas de acuerdo con la teoría de campo eléctrico.

Relación de objetivos	Dificultades de aprendizaje
1) Comprender las limitaciones del modelo coulombiano para interpretar las interacciones eléctricas.	1) La interacción eléctrica es una interacción entre cargas, siendo el campo eléctrico el vehículo de esa interacción.
2) Comprender el papel que juega el campo eléctrico como nueva interpretación de la interacción eléctrica.	2) Ontológica: Comprensión cualitativa del campo eléctrico. Pensar que la perturbación en un punto del espacio sólo existe cuando está «visible» allí la carga testigo.
3) Entender que la magnitud «intensidad de campo» sólo depende de la distancia y de la carga creadora del campo.	3) Conceptual: Confusión entre la intensidad de campo y la fuerza eléctrica.
4) Aplicar el modelo en el cálculo de la «intensidad de campo» para una carga puntual y distribuciones de carga puntuales.	4) Procedimental: Caer en el puro operativismo. No tener en cuenta el carácter vectorial de E.
5) Comprender la representación gráfica del campo eléctrico a través de las líneas de campo y aplicarlo al estudio cuantitativo del campo eléctrico, definiendo el concepto de flujo eléctrico.	5) Caer en un operativismo del concepto de <i>flujo</i> y en dar un sentido «real» a las líneas de campo.
6) Explicar con el nuevo modelo: a) la propagación de la interacción eléctrica; b) el fenómeno de «la jaula de Faraday».	6) Fijación funcional del modelo de «acción a distancia».
7) Aplicaciones ciencia-técnica-sociedad.	7) Explicaciones simples basadas en evidencias de «sentido común».

ne un proceso de culturización en una comunidad que tiene sus propias vías de conocer, hablar y valorar. Así pues, el aprendizaje de los contenidos conceptuales mencionados llevará consigo cambios ontológicos en los estudiantes cuando interactúan con el material y el grupo, así como cambios en el discurso de los individuos y del grupo (Roth, 1996).

DISEÑOS EXPERIMENTALES

En este apartado se mostrará cómo se han desarrollado los objetivos y contenidos del programa en las clases experimentales y qué resultados se ha obtenido comparándolos con muestras de grupos de control en un diseño posttest.

Plan de instrucción empleado con el grupo experimental

Para la instrucción de los estudiantes de los grupos experimentales se ha seguido una enseñanza como investigación de acuerdo con lo que se ha descrito anteriormente, y mediante un programa de actividades que desarrolla el programa de introducción a la electricidad en el bachillerato diseñado siguiendo las orientaciones del modelo (Guisasola, 1996).

El desarrollo en el aula fue realizado por dos profesores externos a la investigación pero expertos en la aplicación de programa de actividades. En este sentido la clase se organizó en pequeños grupos de 4 o 5 estudiantes que debaten y realizan las actividades propuestas mediante puestas en común de toda la clase bajo la dirección y orientación del profesor. En una clase, el número de estudiantes era de 30 (siete grupos de trabajo) y en la otra, de 28 (siete grupos de trabajo). Los estudiantes han seguido durante todo el curso la misma metodología de trabajo, por lo que no representaba para ellos ninguna novedad en la forma de trabajar la unidad «Introducción a la Electricidad». Esta unidad se desarrolló durante un período de cinco semanas (20 horas) dentro de un programa habitual de física y química consensuado en el seminario y similar en contenidos al estándar de otros institutos de la zona.

Por otra parte, aunque los profesores que realizaron la aplicación en el aula tenían experiencia en la utilización de las estrategias de enseñanza-aprendizaje como investigación y pertenecían a un mismo equipo docente que venía trabajando con esta metodología, fueron tutorizados por uno de los autores de este trabajo con el fin de familiarizarlos con los objetivos y contenidos del programa y con las dificultades de aprendizaje para conseguirlos. La tutoría consistió en 6 sesiones de 2,30 horas con el fin de discutir las actividades y evaluar el material didáctico. Se empezó con una sesión preliminar donde se presentaron los objetivos del trabajo y se dio a los profesores el material para su lectura y crítica. En las dos sesiones siguientes se realizó una discusión crítica de la primera parte del programa, analizándose el hilo con-

ductor y clarificándose aspectos del cuerpo teórico y de las estrategias metodológicas. Se discutieron los objetivos de cada actividad así como la forma de evaluación de los objetivos generales, introduciéndose las modificaciones que se consideraban oportunas. Las sesiones tercera y cuarta se dedicaron a realizar el mismo trabajo que en las anteriores pero con la segunda parte del programa. Las dos últimas sesiones se realizaron a lo largo de la puesta en práctica del programa, en las que se trataron las dificultades en el aula y las valoraciones de los profesores sobre el desarrollo de la clase.

Pruebas para evaluar el resultado del aprendizaje

De acuerdo con el modelo de enseñanza-aprendizaje expuesto, en los diseños realizados se trataba de analizar los procesos de aprendizaje tanto a lo largo de la instrucción como en situaciones concretas donde los estudiantes «hacen ciencia». En este sentido, parece claro que los posibles aspectos positivos del *aprendizaje de la electrostática como investigación orientada* no pueden mostrarse únicamente a través del mejor aprendizaje de los contenidos conceptuales. Así mismo, dada la interdependencia entre los objetivos de tipo conceptual y metodológico del aprendizaje que se han expuesto anteriormente, consideramos que otra forma distinta de mostrar la plausibilidad y las posibilidades del modelo es poner a prueba, al mismo tiempo, las mejoras que se logran también en los contenidos de tipo metodológico, como por ejemplo, en las formas de razonamiento empleadas. Para ello se han diseñado dos tipos de pruebas.

La primera prueba consiste en proponer una situación problemática a interpretar por los alumnos en el desarrollo de la clase experimental, dentro de su actividad de trabajo en grupo. Al finalizar la discusión, cada grupo de estudiantes debía presentar un informe explicando sus conclusiones y justificándolas. Estos registros nos van a permitir analizar las formas de razonamiento empleadas por los estudiantes al enfrentarse a la situación problemática.

Para complementar esta aproximación cualitativa a la forma de razonar de los estudiantes del grupo experimental, se procedió a grabar la discusión realizada por los estudiantes en dos grupos de cada clase. 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). Así pues, las discusiones han sido literalmente transcritas a un protocolo y el análisis del mismo se ha realizado tomando como referentes las categorías de respuesta que se encontraron en un trabajo anterior sobre dificultades de aprendizaje del concepto de *campo eléctrico* (Furió y Guisasola, 1998b). 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). Las situaciones problemáticas planteadas se encuentran en el apéndice I.

La segunda prueba ha consistido en un cuestionario de 4 ítems que recoge los objetivos de aprendizaje del cuadro III y algunos de los cuales habían sido utilizados en un trabajo anterior para encontrar posibles dificultades de aprendizaje del concepto de *campo eléctrico* (Furió y Guisasola, 1998b) y cuyo contenido se puede ver en el apéndice II.

Los diseños presentados hasta ahora tratan de evaluar la mejora del aprendizaje en los aspectos conceptuales y metodológicos, tanto en su estado final (segunda prueba) como a lo largo del proceso de aprendizaje (primera prueba). Sin embargo, otro de los aspectos en los que incide el modelo de aprendizaje como investigación es el actitudinal, tratando de favorecer que los estudiantes no sólo aprendan más, sino mejor. Con este fin se ha elaborado un cuestionario de tipo actitudinal que consta de tres partes. En la primera, los estudiantes valorarán el interés y dificultad de los contenidos desarrollados a través de 5 proposiciones. La segunda parte se destina a valorar la adecuación del método y las actividades mediante otras 5 proposiciones. La última parte de este cuestionario tiene por objeto la valoración de la satisfacción por asistir a estas clases así como el clima de cooperación que se respiraba en las mismas. El alumno debe elegir en una escala que va de 0 a 10 según su acuerdo o desacuerdo con las sentencias del cuestionario.

Los cuestionarios aquí expuestos han sido analizados por los autores de este trabajo y otros dos expertos a partir de protocolos de corrección cuyos criterios y objetivos han sido previamente discutidos, de forma que la coincidencia en las interpretaciones ha sido prácticamente total. Así mismo el análisis de las explicaciones escritas y de las grabaciones en casete de los grupos de las clases experimentales nos han ayudado a profundizar en el conocimiento del aprendizaje realizado por los estudiantes.

Muestras elegidas y administración de los cuestionarios

Como muestras experimentales se han tomado dos grupos de estudiantes que cursaban la asignatura de física y química de 1º de bachillerato (17 años) en sendos centros de bachillerato (instituto de Hondarribia y liceo Pasaia) de dos localidades próximas a San Sebastián. Ambos centros tienen financiación pública y el alumnado se puede considerar de clase media y media baja. Por otra parte, y con la finalidad de extremar las condiciones desfavorables del experimento, se han seleccionado dos grupos de control (64 estudiantes en total) que realizaban el mismo curso en sendos colegios privados de reconocido prestigio de San Sebastián. Este último alumnado se puede considerar de clase media y media-alta. La enseñanza en estos colegios privados viene caracterizada por la hegemonía de la transmisión verbal de los conocimientos elaborados en las clases. Éstas han sido impartidas por profesores con una larga experiencia

docente. Así mismo, el programa desarrollado incluía los mismos contenidos conceptuales que el del grupo experimental y se dedicó aproximadamente el mismo tiempo a la impartición de la electricidad. Sin embargo, los materiales didácticos utilizados fueron diferentes, en el grupo de control, se utilizó el libro de texto habitual y, en el grupo experimental, el programa de actividades.

Los cuestionarios han sido administrados a las muestras de la población de control y experimental después de haberse impartido el tema en cuestión con la pretensión de comprobar el aprendizaje logrado. El cuestionario para medir las actitudes de los estudiantes se pasó solamente a los grupos de las clases experimentales, ya que el tipo de preguntas no respondía a la dinámica de clase seguida por los estudiantes de los grupos de control. Así mismo, el cuestionario actitudinal fue contestado por los estudiantes experimentales en el último mes del curso de forma que pudieran hacerlo conociendo suficientemente la metodología de trabajo y poniéndonos en las condiciones más desfavorables para la contrastación de la hipótesis. Es bien sabido en la investigación que al final del curso es cuando el nivel de las actitudes de los estudiantes hacia la enseñanza-aprendizaje de las ciencias es mínimo. Lo contrario ocurre respecto a las expectativas y actitud al comienzo del curso académico.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A la hora de intentar valorar el conocimiento explicativo y declarativo de los estudiantes, así como las actitudes hacia aspectos determinados del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física y química, se han utilizado metodologías cuantitativas y cualitativas. Así, para el análisis de las formas de razonamiento (contenidos procedimentales y explicativos) de los estudiantes ante situaciones problemáticas, se ha utilizado un diseño cualitativo. Se han utilizado también metodologías cuantitativas para comparar los aprendizajes logrados en los grupos experimentales y de control. Finalmente se presenta el análisis y resultados de las actitudes de los estudiantes hacia aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Resultados del análisis de las pruebas escritas y de las transcripciones grabadas sobre las interpretaciones a diferentes situaciones problemáticas

Pasaremos a continuación a exponer los resultados de las situaciones problemáticas (Apéndice I). Debido a la necesaria brevedad de este artículo, sólo expondremos los resultados obtenidos en las respuestas dadas por los estudiantes a la primera cuestión problemática.

En relación con el análisis de las respuestas escritas de los grupos de trabajo en las clases experimentales a la situación problemática 1, tres de cada cuatro grupos de trabajo interpretaron correctamente la situación, en co-

herencia con el modelo teórico estudiado. En las respuestas correctas, el razonamiento empleado para interpretar la situación coincide básicamente con los criterios de corrección acordados por los autores del trabajo y los dos asesores externos. Un ejemplo de razonamiento considerado correcto es el siguiente:

a) Al acercar la pajita cargada negativamente a las superficies neutras (que son consideradas como un solo cuerpo o superficie) se produce un fenómeno de inducción cuyo mecanismo consiste en que las cargas positivas de las superficies se ven atraídas hacia la pajita cargada negativamente y las cargas negativas se ven repelidas debido a la existencia de campo eléctrico (7 grupos) o de fuerzas de acción a distancia (2 grupos).

b) De esta forma se produce una redistribución de cargas, produciéndose un traslado de cargas positivas hacia la derecha y negativas hacia la izquierda debido a que las superficies son metálicas y las cargas se pueden mover. Ya que en el programa de la asignatura, la parte de química y, en concreto, la estructura atómica de la materia se impartía después de la física, no se demuestra formalmente que las únicas cargas que se mueven en un metal son las negativas, ya que implicaría hablar de efectos electromagnéticos (efecto Hall) que no son adecuados a este nivel. Por tanto, en los criterios de evaluación de las explicaciones, hemos considerado como «correctas» aquéllas que hablaban tanto de cargas positivas como negativas en movimiento a través del metal, no haciendo de ello un criterio fundamental de la evaluación.

c) Al separar ambas superficies quedarán cargadas y de signo contrario. La de la derecha, con carga de signo positivo, y la de la izquierda, con signo negativo. Esto es, al alejar la pajita de las dos superficies, quedan cargadas permanentemente.

Algunos ejemplos que ilustran los razonamientos descritos son los siguientes:

1) *Ejemplo de respuesta clasificada como correcta y que utiliza el modelo de acción a distancia para describir la inducción eléctrica (INB Hondarribia)*

«Al acercar la pajita (cargada negativamente) a las superficies de aluminio (neutras), las cargas positivas de las placas son atraídas por las negativas de la pajita, por inducción.

Así la mayor parte de la carga positiva se va a la placa B, mientras que la mayor parte de la negativa se va a la placa A.

Al separar las placas, la placa A se queda cargada negativamente y la placa B, positivamente.»

2) *Ejemplo de respuesta clasificada como correcta y que utiliza el modelo de campo eléctrico para describir la inducción eléctrica (Liceo Pasaia)*

Al acercar la pajita de plástico cargada negativamente a dos superficies de aluminio en contacto, hacen una sola masa, como si las dos superficies de aluminio fueran una solamente. Entonces, al acercar la pajita, por inducción, las cargas positivas del aluminio se acercan al lado de la pajita, porque son atraídas por el campo eléctrico generado por las cargas negativas de la pajita, y las cargas negativas de las superficies de aluminio son

repelidas por el campo eléctrico generado por las cargas negativas de la pajita de plástico y desplazándose al lado opuesto del que se encuentra la pajita; así, la masa de aluminio tiene dos partes cargadas con distinto signo.

Al separarlas, la superficie más alejada de la pajita queda cargada negativamente y la superficie de aluminio más cercana queda cargada positivamente.

Respecto de las respuestas incorrectas, 3 de los grupos de trabajo razonan la situación planteada como una electrización por contacto aunque utilicen la palabra *inducción*; la secuencia del razonamiento siempre implica un «trasvase de cargas» de la pajita a la superficie de aluminio.

Veamos algunos ejemplos de respuestas que siguen los razonamientos indicados:

1) *Ejemplo de respuesta clasificada como incorrecta respecto al marco teórico actual (INB Hondarribia)*

«Al acercar la pajita cargada negativamente a la superficie de aluminio de la derecha, quedará ésta cargada negativamente por inducción debido a que las cargas negativas de la pajita pasan a la superficie de aluminio, ya que el aire (aunque malo) es conductor. En cuanto a la pajita, quedará con carga positiva, ya que ha cedido cargas negativas a la superficie de aluminio.»

2) *Ejemplo de respuesta clasificada como incorrecta respecto al marco teórico actual (Liceo Pasaia)*

«Al estar la pajita cargada negativamente, se produce un fenómeno de inducción; de esta forma algunas cargas negativas de la pajita pasarán a la superficie de aluminio que está más próxima. Entonces, la carga negativa se repartirá por las dos superficies de aluminio, quedando ambas cargadas negativamente.»

Existen otros tipos de respuesta que en realidad contestan ambiguamente a la cuestión planteada, ya que no especifican el mecanismo por el cual se produce el proceso, indicando solamente que, al acercar la pajita cargada negativamente, la superficie más cercana queda «cargada por inducción.»

Ejemplo de respuesta que no explicita el mecanismo de la inducción (Liceo Pasaia)

«Al acercar la pajita cargada a la superficie de aluminio ésta queda cargada por inducción. Después la superficie de la derecha cede parte de su carga a la otra superficie de aluminio. Así, ambas superficies quedan cargadas pero de signo contrario.»

A continuación se procedió al análisis de las transcripciones de las grabaciones realizadas a dos grupos de trabajo de cada una de las clases experimentales para esta primera cuestión. Veamos el análisis de los comentarios de uno de los grupos que razona de forma correcta:

• *Protocolo 1. Seguimiento de la discusión de un grupo de alumnos sobre el fenómeno de inducción eléctrica en dos superficies de aluminio producido por una pajita de plástico cargada*

- 1 Ana: –Al acercar la pajita cargada negativamente a la superficie
- 2 de la derecha, ésta se electriza por inducción. Las cargas se
- 3 reordenan por la atracción entre ellas. No sé si estará bien
- 4 dicho porque el campo eléctrico generado por cargas negativas...
- 5 atrae a las positivas.

6 *Itziar*: –Las cargas se reordenan debido a la atracción entre
7 el campo eléctrico y las cargas del aluminio y lo mejor es,
8 a cada paso, hacer un dibujo; así se explica mejor... por lo
9 que quedan las cargas positivas en la parte derecha, en la
10 parte cercana a la pajita, y luego, en la otra, en la izquierda,
11 quedarán las negativas. Eso pasa por la inducción.

12 *Ana*: –Claro.

13 *Paula*: –A ver, debido a la atracción entre el campo
14 eléctrico y las cargas de distinto signo del aluminio... por
15 lo tanto, no sé.

16 *Ana*: –Por lo tanto, las cargas positivas se van hacia el lado
17 de la pajita... las cargas positivas se van hacia el lado donde
18 se encuentra la pajita cargada negativamente.

19 *Itziar*: –Entonces, ahora, dibujamos las cargas en la superficie
20 de la derecha electrizada por inducción.

21 *Paula*: –¿Y añadimos cargas positivas?

22 *Ana*: –Esto está neutro todavía.

23 *Paula*: –No, no, ahora hay más cargas positivas aquí.

24 *Ana*: –No, lo que ocurre es que luego, al retirar la superficie
25 de la izquierda, sí queda con cargas positivas.

26 *Paula*: –Claro en contacto con la otra superficie.

27 *Itziar*: –Ahora, pongo el mismo número de cargas positivas
28 y negativas.

29 *Itziar*: –Ahora la superficie de la izquierda. Podemos
30 poner que, como está en contacto con el de la derecha, se
31 electriza por contacto de la siguiente manera: cuando la
32 otrase ha ordenado, nos habían quedado las cargas positivas
33 a la derecha y las negativa a la izquierda. Entonces,
34 tenemos el otro cuerpo, y debido al contacto...

35 *Ana*: –Las cargas negativas pasan de la superficie de la
36 derecha a la de la izquierda. Y la primera, al perder cargas
37 negativas, se carga positivamente.

El protocolo 1 corresponde a la mitad de la discusión. Durante la misma, las estudiantes Ana e Itziar explican correctamente el fenómeno de inducción mediante la influencia del campo eléctrico generado por las cargas negativas de la pajita (líneas 1 a 5 de Ana y 6 a 11 de Itziar) entre la pajita y la superficie de la derecha. De la misma manera explican correctamente la carga de las superficies de aluminio (líneas 24, 25 y 34 a 36 de Ana; y 28 a 33 de Itziar). Sin embargo, las opiniones de Paula (líneas 13, 14, 15 y 23) indican que no entiende bien el razonamiento de sus compañeras. Esto queda ratificado en el protocolo 2 que indicamos a continuación.

• *Protocolo 2. Seguimiento de un razonamiento incorrecto discordante con el razonamiento general empleado por el grupo en el protocolo 1.*

1 *Itziar*: –Resumiendo, al acercar una pajita cargada nega-
2 tivamente a la superficie de la derecha, ésta se electriza por
3 inducción. Las cargas se reordenan debido a la atracción
4 entre el campo eléctrico de la pajita y las cargas del
5 aluminio; por lo tanto, las positivas se van hacia la derecha
6 y además podemos indicar que el número de cargas no
7 varía.

8 *Paula*: –¡Ah!, bueno... pon: en la electrización por inducción
9 el número de cargas no varía, simplemente es una reordenación
10 de éstas. Yo creo que esto lo tenemos mal, pero bueno. Yo

11 creo que pasa algo en estos dos cuerpos al retirar la pajita.

12 *Ana*: –Pero no ves que ya tiene más cargas negativas
13 cuando la superficie de la izquierda se separa.

14 *Paula*: –Bueno, lo dejamos así.

El protocolo 2 corresponde al final de la discusión cuando las estudiantes se encuentran realizando el informe por escrito del fenómeno analizado. Queda claro (líneas 8 a 11) que Paula no comparte las explicaciones de sus compañeras y parece inclinarse por algún tipo de «trasvase de cargas» entre el aluminio y la pajita. Sin embargo, al final accede.

A continuación vamos a mostrar un ejemplo del razonamiento incorrecto que confirma el detectado en las pruebas escritas. Es el siguiente:

• *Protocolo 3. Seguimiento de la discusión de otro grupo de alumnos sobre el fenómeno de inducción eléctrica en dos superficies de aluminio producido por una pajita de plástico cargada*

1 *Nerea*: –Las superficies de aluminio tienen la misma
2 carga, o sea, están descargadas, son neutras. Entonces si
3 les añades la pajita de plástico, que está cargada, se van a
4 cargar y, como tienen la misma carga, se van a repeler y
5 se van a separar. Entonces, ¿cuál es el signo de la carga de
6 cada superficie?

7 *Maidier*: –La misma.

8 *Eduarne*: –Positiva o negativa, ¿qué carga es?

9 *Saioa*: –Negativa, porque siempre se tiende a soltar electrones,
10 no protones.

11 *Maidier*: –Además ya pone que tiene negativo.

12 *Eduarne*: –Si la pajita es negativa...

13 *Nerea*: –No, la pajita se queda con positivo y estos dos con
14 negativo.

15 *Maidier*: –Claro, ésta está negativa y pasas electrones a las
16 cajitas de aluminio, o sea, a las superficies de aluminio, y
17 la pajita se queda con positivo.

El protocolo 3 corresponde al inicio de la discusión. Durante la discusión de las estudiantes, Nerea dice que hay una transferencia de cargas entre la pajita y las superficies de aluminio (líneas 1 a 6). Esta idea se concreta cuando las estudiantes intentan definir el signo de las superficies de aluminio (Saioa, líneas 9 y 10; Nerea líneas 13 y 14). Por último, Maidier resume la idea de transferencia de cargas entre la pajita y las superficies de aluminio (líneas 15 a 17).

• *Protocolo 4. Continuación del protocolo 3*

1 *Nerea*: –Ponemos en la hoja de respuesta que la pajita está
2 cargada negativamente y carga las dos superficies por
3 inducción.

4 *Eduarne*: –¿Cómo, que ésta carga por inducción?

5 *Nerea*: –Esta carga por inducción las superficies de aluminio
6 negativamente, quedándose ella con carga positiva. Los
7 electrones son los que más facilidad tienen para saltar.

8 *Maidier*: –De la pajita cargada negativamente.

- 9 *Eduarne*: –Bueno, del contacto de la pajita pasan...
- 10 *Nerea*: –Esto se debe a que los electrones de la pajita son
- 11 las cargas que mayor movilidad tienen.
- 12 *Saioa*: –Los electrones de la pajita pasan a las placas de
- 13 aluminio.

El protocolo 4 se refiere a las conclusiones de la discusión que se ha realizado y que la van a reflejar en la hoja de respuesta. Las estudiantes concluyen que el fenómeno que han analizado es un fenómeno de carga por inducción (*Nerea*, líneas 1 a 3) que consiste en que los electrones de la pajita debido a su gran movilidad «saltan» hacia las superficies de aluminio (*Nerea*, líneas 10 y 11; *Saioa*, líneas 12 y 13).

Si tomamos en conjunto los resultados del análisis de las pruebas escritas y de las grabaciones, podemos concluir que una gran mayoría de grupos de trabajo (9 de 12 grupos) interpreta correctamente un fenómeno de electrización por inducción, que es una de las principales dificultades en una teoría elemental eléctrica. Es de resaltar que la mayoría de estas respuestas (7 grupos) utilizan el concepto de *campo eléctrico* creado por las cargas negativas de la pajita para explicar la inducción, frente a una minoría de grupos (2 grupos) que lo explica utilizando el modelo coulombiano de acción a distancia utilizado en la primera parte de la lección. Así mismo, el análisis de los protocolos 3 y 4 confirma la secuencia de razonamiento detectada en el análisis de algunas de las respuestas incorrectas e indica que persiste en los alumnos una tendencia a utilizar un modelo sobre la naturaleza eléctrica de la materia considerándola como un «fluido» que se mueve de un cuerpo cargado al otro. Este último resultado coincide con otros aportados por la investigación didáctica (*Shipstone et al., 1988; Stocklamayer y Treagust, 1996*).

Resultados del análisis de las pruebas para comparar el aprendizaje conceptual logrado por los grupos experimentales y de control

La tabla I recoge los resultados del análisis comparativo entre las respuestas dadas al cuestionario de 4 ítems del apéndice II, por sendas muestras de estudiantes sometidos a la nueva propuesta y a la enseñanza habitual de la electrostática.

Las dificultades que tienen los estudiantes que siguen una enseñanza habitual del tema de electrostática para responder a estas cuestiones ya han sido comentadas en un trabajo anterior (*Furió y Guisasaola, 1997*) y aquí sólo nos limitaremos a constatar que los resultados obtenidos en las clases experimentales apoyan las posibilidades de mejora del aprendizaje del concepto de *campo eléctrico* con la nueva propuesta de enseñanza-aprendizaje como investigación. El estadístico χ^2 ha sido calculado para el grupo de control y el resultado más desfavorable de los grupos experimentales, obteniéndose en todos los casos que las diferencias entre los grupos son significativas con un $p \ll 0,01$.

Resultados de la valoración por los estudiantes de la enseñanza recibida

Vamos a terminar esta exposición de resultados presentando los obtenidos sobre la influencia del nuevo programa de electrostática en las actitudes de los alumnos hacia el aprendizaje de la física y hacia la propia electricidad. El diseño elaborado prevé realizar un análisis de las respuestas al cuestionario cumplimentado por la muestra de alumnos de las clases experimentales. A continuación la tabla II recoge los resultados obtenidos para cada una de las partes de que consta el cuestionario.

Tabla I

Resultados obtenidos en los ítems del cuestionario por los grupos experimentales (G.1. y G.2.) y de control (G.3.).

Porcentaje de respuestas correctas y desviación estándar					
Núm. de ítem y concepto	Grupo 1 (a) N = 28	Grupo 2 (b) N = 26	Grupo E (c) N = 54	Grupo 3 (d) N = 61	²
1. Caja de Faraday	68 (8,5)	78 (9,2)	73 (6)	0	P << 0,01
2. Vectores fuerza e intensidad de campo	46,5 (9,3)	43 (9,5)	45 (6,6)	18 (4,9)	P << 0,01
3. Simultaneidad de la interacción	57 (9,4)	55 (9,7)	56 (6,7)	16,5 (4,7)	P << 0,01
4. Líneas de campo y flujo eléctrico	74 (8,2)	69,5 (9,1)	72 (6,1)	39 (6,2)	P << 0,01

a) Instituto de Hondarribia, b) Liceo Pasaia, c) Media de grupos experimentales, d) Grupos de control

Tabla II
Resultados obtenidos en la valoración por los alumnos experimentales de la enseñanza recibida.

Aspecto estudiado	Grupo 1 (a) Media	Grupo 1 (b) Media	Grupo M (c) Media
1. <i>Contenidos trabajados</i>			
1.1. Cantidad de contenidos	7	6,4	6,7
1.2. Objetivos interesantes	7	6,8	6,9
1.3. Dificultad adecuada	7	7,4	7,2
1.4. Se relacionan los conceptos	7,5	7	6,9
2. <i>Forma de trabajar</i>			
2.1. Método adecuado a contenidos	7,6	6,4	7
2.2. Condiciones para aprender	7,3	6,5	6,9
2.3. Actividades adecuadas	7,4	7	7,2
2.4. Puestas en común	7	7,1	7
2.5. Buen clima de trabajo	7	6	6,5
3. <i>Satisfacción</i>			
3.1. Clases interesantes	6,6	6,6	6,6
3.2. No quiero que llegue la clase	4,5	4,8	4,6
3.3. Menos horas de clase	4	4,5	4,2
3.4. Clima de cooperación	7	6	6,5

a) Instituto de Hondarribia

b) Liceo Pasaia

c) Promedio de los dos grupos experimentales

Teniendo en cuenta que el nivel 5 indicaría indiferencia respecto al contenido de la pregunta, los alumnos experimentales muestran una actitud moderadamente positiva hacia los contenidos trabajados (primera parte). Así, todos los ítems obtienen puntuaciones entre 6 y 8. En particular, obtienen puntuaciones altas aspectos importantes como la organización (ítem 1.5), el interés de los objetivos propuestos (ítem 1.2) y su grado de accesibilidad (ítem 1.3).

Respecto de la forma de trabajar en clase, los alumnos experimentales muestran también su conformidad, ya que todos los aspectos logran una puntuación entre 6 y 8. En particular, los alumnos muestran su satisfacción con las actividades propuestas (ítem 2.3) y con el método seguido (ítem 2.1). Así mismo, están de acuerdo en la realización de puestas en común (ítem 2.4) y que se han dado condiciones adecuadas para aprender (ítem 2.2).

En la tercera parte parece que los alumnos expresan que la asignatura ha logrado captar su interés (ítem 3.1) y que han trabajado en un buen clima (ítem 3.4).

En resumen, los datos expuestos parecen indicar que los alumnos tratados experimentalmente muestran su satisfacción con los contenidos estudiados y la forma de trabajarlos. Así mismo, están de acuerdo en que el clima de aula ha sido satisfactorio y que los contenidos trabajados han tenido interés para ellos.

CONCLUSIONES

Aun cuando los resultados expuestos corresponden al segundo año de aplicación de la propuesta y son sólo parciales (está previsto ampliar las muestras experimentales con nuevos grupos y profesores preparados), muestran que la aplicación de una instrucción bajo las orientaciones del aprendizaje como actividad de investigación orientada permite a los estudiantes una mayor asimilación de ideas significativas en un porcentaje superior al de los alumnos que reciben una enseñanza transmisiva.

En este sentido, se ha comprobado que los estudiantes de los grupos experimentales presentan una mejora notable en la forma de plantear y razonar las situaciones problemáticas en base al marco teórico aprendido. Así mismo, la aplicación de un concepto clasificado por la investigación didáctica de especial dificultad, como es el de *campo eléctrico*, obtiene resultados correctos que, como mínimo, duplican a los del grupo de control, siendo en todos los casos las diferencias estadísticamente significativas.

Los resultados obtenidos en el grupo experimental, con ser muy superiores a los del grupo de control, son escasos en algunos aspectos (45%, ítem 2 y 56%, ítem 3) y ello implicará modificar ligeramente el plan de instrucción. Esta revisión de la instrucción entra den-

tro de la propia dinámica del modelo de aprendizaje que se propone. El papel de profesor cobra en este modelo una especial relevancia en cuanto a su propio desarrollo *profesional*, ya que se convierte en un investigador en la acción que, tras las interacciones educativas, efectuará su propia reflexión crítica y perfeccionará su acción educativa (Furió, 1994b). Así mismo, debe tenerse en cuenta que el modelo de aprendizaje como actividad de investigación que aquí se ha aplicado a un curso introductorio de electrostática

se ha experimentado y evaluado con resultados parecidos en otros campos de la física y química (Furió et al., 1994; Azcona, 1997; Bárcenas, 1999; Domènech, 2000). No obstante, debe tenerse en cuenta que el modelo de aprendizaje como actividad de investigación orientada, aquí aplicado, es una hipótesis de trabajo que deberá ser falsada o no por la práctica docente extendida a cursos completos y períodos suficientemente largos en el tiempo. He aquí nuevos problemas a investigar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, C.W., KURTH, L. y PALINSCAR, A.S. (1996) Designing principles for collaborative problem solving in science. Documento presentado en Meeting of the American Educational Research Association. Nueva York.
- ASTOLFI, J.P. (1994) El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 206-216.
- AZCONA, R. (1997). «Análisis crítico de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de *cantidad de sustancia* y de *mol*. Una alternativa didáctica basada en el aprendizaje por investigación». Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.
- BARCENAS, S.G. (1999). «Análisis crítico de la enseñanza-aprendizaje de las reacciones ácido-base en el bachillerato. Una propuesta alternativa basada en el aprendizaje por investigación dirigida». Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- BENSEGHIR, A. y CLOSSET, J.L. (1996). The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18(2), pp. 179-191.
- BERKSON, W. (ed.) (1974). *Fields of Force. The Development of a World View from Faraday to Einstein*, en Routledge y Kegan Paul Ltd. (eds.). Londres.
- CARMICHAEL, P., WATTS, M., DRIVER, R., HOLDING, B. y TWIGGER, D. (1990). *Research on students' conceptions in science: A bibliography*. Leeds: Children's Learning in Science Research Group. Universidad de Leeds.
- CLEMINSON, A., (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learns science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), pp. 429-455.
- DOMÈNECH, J.L. (2000). «L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora». Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- DUSCHL, R. (1998). La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 3-20.
- DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H. (1997). Strategies and challenges to changing the focus of assessment and instruction in science classrooms. *Educational Assessment*, 4(1), pp. 37-73.
- DUSCHL, R.A. y HAMILTON, R.J. (1998). Conceptual change in science and the learning of science, en *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers.
- DUIT, R. (1993). Research on student's conceptions-developments and trends. Documento presentado en *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca: Cornell University.
- ERICSSON, K.A. y SIMON, H.A. (1984). *Protocol analysis: verbal reports as data*. Cambridge: the MIT Press.
- EYLON, B.S. y GANIEL, U. (1990). Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. *International Journal of Science Education*, 12(1), pp. 79-94.
- FILLON, P. (1991). Histoire des sciences et reflexion epistemologique des élèves. *Aster*, 12, pp. 91-120.

- FURIÓ, C. (1994a). La enseñanza de las ciencias como investigación: un modelo emergente. *Proceedings International Conference «Science and Mathematics Education for the 21st. Century: Towards innovatory approaches»*. Volumen I, pp. 159-188. Concepción (Chile): Universidad de Concepción.
- FURIÓ, C. (1994b). Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 188-199.
- FURIÓ, C. y GIL, D. (1978). *El programa-guía, una propuesta para la renovación de la didáctica de la física y química en el bachillerato*. Valencia: Universitat de Valencia - ICE.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1998a). Construcción del concepto de potencial eléctrico mediante el aprendizaje por investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11(1), pp. 25-37.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1998b). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), pp. 511-526.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1997). Deficiencias epistemológicas de la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 259-271.
- FURIÓ, C., BULLEJOS, J. y DE MANUEL, E. (1994). L'apprentissage de la reaction chimique comme activité de recherche. *Aster*, 18, pp. 141-164.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J. y ZUBIMENDI, J.L. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. *Investigações em Ensino de Ciências*, 3(3).
- GIL, D. (1993). Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 197-212.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 5, pp. 70-81.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1990). What to do about science «misconceptions». *Science Education*, 74(5), pp. 531-540.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1994). Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: A permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education* 78(3), pp. 301-315.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). Los programas-guía de actividades: Una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, pp. 3-12.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, J., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A.M. (1999) ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- 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 I. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea.
- GUIASOLA, J. (1997). El trabajo científico y las tareas en la electrostática en textos de bachillerato. *Alambique*, 11, pp. 45-54.
- GUIASOLA, J. (1999). Enseñanza-aprendizaje de la teoría eléctrica que explica los fenómenos electrostáticos básicos. *Alambique*, 19, pp. 9-18.
- GUIASOLA, J. y DELA IGLESIA, R. (1997). «EreinProjektua»: Proyecto de ciencias para la ESO basado en el planteamiento de situaciones problemáticas. *Alambique*, 13, pp. 83-93.
- HASHWEH, M.Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), pp. 229-249.
- HEILBRON, J.L. (1982). *Elements of early modern Physics*. Berkeley y Los Angeles. University of California Press.
- HEWSON, P.W. y HEWSON, M.G. (1988). On appropriate conception of teaching science: a view from studies of science learning. *Science Education*, 72(5), pp. 597-614.
- 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.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. y OTERO, L. (1990). La ciencia como construcción social. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, pp. 22-20.
- JONG, O.D. (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*. Tesalónica: Aristotle University of Thessaloniki.
- KHUN, T. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2a. ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- LAKATOS, I. (1970). *Criticism and the growth of knowledge*. Londres: Cambridge University Press.
- LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in scientific debate*. Berkeley: Universidad de California Press.
- McDERMOTT, L.C. y THE PHYSICS EDUCATION GROUP AT THE UNIVERSITY OF WASHINGTON (1996). *Physics by inquiry*, I y II. Nueva York: Wiley.
- MCCOMAS, W.F. (ed.) (1998). *The nature of Science in Science Education: rationales and strategies*. Kluwer Academic Publishers.
- MILLAR, R. y DRIVER R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, pp. 33-62.
- MOREIRA, M.A. (1994). Diez años de la revista *Enseñanza de las Ciencias*: de una ilusión a una realidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 147-153.
- ORLANDI, R. (1991). Conceptions des enseignants sur la demande expérimental. *Aster*, 13, pp. 111-132.
- POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Morata. Madrid.
- RAINSON, S. (1995). «Superposition des champs électriques et causalité: étude de raisonnements, élaboration et évaluation d'une intervention pédagogique en classe de mathématiques spéciales technologiques». Tesis. París: Université Paris 7.
- RAINSON, S., TRANSTRÖMER, G. y VIENNOT, L. (1994). Students' understanding of superposition of electric fields. *American Journal of Physics*, 62(11), pp. 1026-1032.

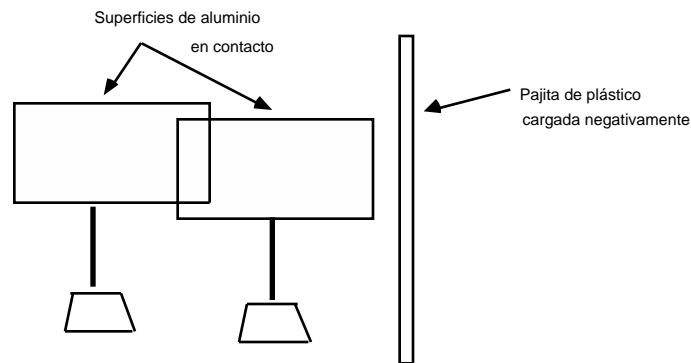
- ROSCHELLE, J. (1996). Designing for cognitive communication: epistemic fidelity or mediating collaborating inquiry, en Day, D.L. y Kovacs, D.K. (eds.). *Computers, communication and mental models*.
- ROTH, W.M. (1996). The co-evolution of situated language and physics knowing. *Journal of Science Education and Technology*.
- SHIPSTONE, D., RHONECK, C., JUNG, W., KARRQUIST, C., DUPIN, J., JHOSUA, S. y LICHT, P. (1988). A study of student's understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), pp. 303-316.
- SOLBES, J. y MARTIN, J. (1991). Análisis de la introducción del concepto de *campo*. *Revista Española de Física*, 5(3), pp. 34-39.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), pp. 377-386.
- STEINBERG, M.S. (1992). What is electric potential? Connecting Alessandro Volta and contemporary students. *Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching*, II, pp. 473-480. Kingston. Ontario.
- STOCKLMAYER, S.M. y TREAGUST, D.F. (1994). A historical analysis of electric currents in textbooks: a century of influence in physics education *Science & Education*, 3, pp. 131-154.
- STOCKLMAYER, S.M. y TREAGUST, D.F. (1996). Images of electricity: How do novices and experts model electric current? *International Journal Science Education*, 18(2), pp. 163-178.
- STRUBE, P. (1988). The presentation of energy and fields in physics texts: a case of literary inertia. *Physics Education* 23, pp. 366-371.
- TATON, R. (1988). *Historia general de las ciencias*. Madrid: Orbis.
- THUILLIER, P. (1989). De la filosofía al electromagnetismo: el caso Oersted. *Mundo Científico*, 10, p. 102.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique*. París: De Boeck Université
- VIENNOT, L. y RAINSON, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14(4), pp. 475-487.
- 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*. Nueva York: McMillan Publishing Company.
- WHITE, T.R. y GUNSTONE, F.R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 577-586.
- WHITTAKER, R.J. (1983). Aristotle is not dead: Student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, pp. 352-357.
- WHITTAKER, E. (1987). *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I. American Institute of Physics.

[Artículo recibido en diciembre de 1999 y aceptado en marzo de 2000.]

ANEXO I

Situaciones problemáticas empleadas para identificar razonamientos y procedimientos utilizados por los estudiantes de las clases experimentales al enfrentarse a ellas.

1) A dos superficies de aluminio descargadas en contacto, situadas como en la figura, se les acerca una pajita cargada. Al cabo de un tiempo se separa la superficie de la izquierda y, por último, se retira la pajita. Al acercar a cada superficie un péndulo electrostático se observa que están cargadas. Explica, de acuerdo con el modelo de carga eléctrica construido, el fenómeno descrito. ¿Cuál es el signo de la carga de cada superficie? Dibuja cómo se distribuyen las cargas en cada superficie.

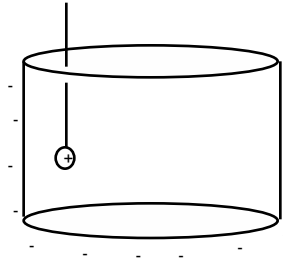


2) Un avión está situado para despegar en la pista de despegue del aeropuerto en una noche de tormenta. De repente cae un rayo sobre el fuselaje del avión impactando de lleno en el mismo. Uno de los mecánicos de pista preocupado por lo que les puede haber sucedido a la tripulación y pasajeros, se dirige hasta el avión e intenta abrir la puerta de emergencia. En el mismo momento que toca el fuselaje del avión queda electrocutado y muere. Sin embargo, los pasajeros del avión se encontraban en perfecto estado y pudieron ver el desgraciado final del mecánico. ¿Podrías explicar por qué muere electrocutado el mecánico, y los pasajeros y la tripulación no? Explícalo lo más detalladamente posible.

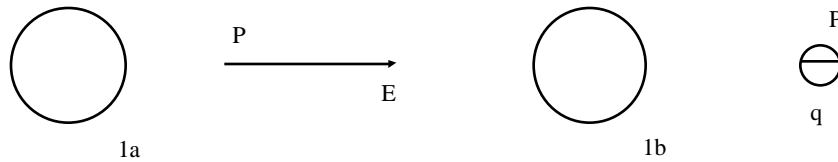
ANEXO II

Cuestionario para comparar el aprendizaje conceptual logrado en la introducción del concepto de *campo eléctrico*.

1) La figura muestra un bote metálico cargado negativamente. ¿Qué sucederá al introducir un péndulo cargado positivamente dentro del mismo? Véase figura.



2) En el punto P del espacio próximo a Q (Fig. 1a) se ha representado el valor de la intensidad del campo E en dicho punto. ¿Cuál sería la representación que le correspondería a la intensidad del campo eléctrico en ese punto si se coloca allí una carga negativa muy pequeña (Fig. 1b)? Dibújala y explica tu contestación.



3) A una cierta distancia de una carga Q se coloca otra carga q . ¿Las fuerzas que se ejercen ambas cargas serán instantáneas? Explica la respuesta.

4) La figura representa las líneas de campo eléctrico correspondientes a un conductor esférico cargado cerca de un conductor esférico sin carga. *a)* Explica la forma de las líneas de campo. *b)* Ordena los puntos A, B y C de mayor a menor intensidad de campo, razonando cómo lo haces.

