

CONCEPCIONES Y RAZONAMIENTOS DE EXPERTOS Y APRENDICES SOBRE ELECTRODINÁMICA: CONSECUENCIAS PARA LA ENSEÑANZA Y LA FORMACIÓN DE PROFESORES

PONTES, ALFONSO¹ y DE PRO, ANTONIO²

¹ Departamento de Física de la Universidad de Córdoba

² Departamento de Didáctica de las Ciencias de la Universidad de Murcia

SUMMARY

In this work we analyse the conceptions that the students of different degree of instruction use when they interpret and make predictions on the functioning of the electrical circuits, in various problematic situations. For this reason we have studied the evolution of such ideas, in different educational levels, from high school until the end their university studies. The obtained results have shown the existence of important differences of conceptual type between apprentices and experts and the persistence of numerous alternative conceptions in all the teaching levels, even in individuals who have finished their studies in the university and aspire to be physics teachers. Also we have observed that the students maintain a considerable degree of confidence in their personal conceptions and that this safety increases with the instruction level. On this base we have formulated, finally, some interesting implications for the teaching of the electrical circuits and the initial training of the secondary education teachers.

INTRODUCCIÓN

Los resultados de muchas investigaciones ponen de manifiesto que existe un bajo rendimiento de los estudiantes en física. Son muchos los factores que explican esta circunstancia: las dificultades que presenta el aprendizaje de los conocimientos conceptuales, la existencia de un fracaso bastante generalizado en la resolución de problemas, la ineficacia de los trabajos prácticos (cuando se realizan...) comprobatorios o descontextualizados «de la teoría», la existencia de actitudes negativas hacia las clases de esta disciplina, etc. (Gil et al., 1991; Solbes et al., 1994; Afonso et al., 1998...).

Conscientes de esta problemática, hemos realizado una investigación sobre el aprendizaje de los alumnos en el dominio del electromagnetismo (Pontes, 1999). En ella, realizamos un estudio completo de los conocimientos de estudiantes de 3º de BUP, de COU y de 2º curso de ingeniería técnica, y de titulados universitarios (análisis semántico; estudio de la consistencia, persistencia y

seguridad; relaciones entre las concepciones...). A partir de los resultados encontrados, diseñamos una propuesta de enseñanza para el bachillerato, con sus materiales correspondientes, para paliar las dificultades detectadas y aprovechar los logros que indudablemente también tienen los alumnos. Por último, se ha analizado críticamente su puesta en práctica por varios profesores, estudiando sus efectos en el aprendizaje de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, a corto plazo y una vez transcurridos unos meses desde las intervenciones en el aula.

No obstante, en este artículo, sólo nos centraremos en las características de los conocimientos conceptuales sobre electrodinámica, analizando las explicaciones que dan alumnos de diferentes niveles educativos al funcionamiento de circuitos eléctricos de corriente continua. Además, al incluir a titulados universitarios que pueden ser profesores de física de educación secundaria, hemos

realizado algunas reflexiones sobre la formación científica inicial del profesorado. Somos conscientes de que el estudio de las concepciones de los estudiantes no es muy novedoso, porque se han realizado muchos estudios sobre este tema y diversas revisiones bibliográficas (Closset, 1983; Shipstone, 1989; Manrique et al., 1989; Hierrezuelo y Montero, 1990). Pero este tema sigue interesando todavía a los investigadores (Metioui et al., 1996; Koumaras et al., 1997) y, por otra parte, nuestra intención es abordar este problema desde perspectivas diferentes a las que se han realizado hasta ahora, como la que se apunta en el trabajo de Stocklmayer y Treagust (1996).

MARCO TEÓRICO

Las dificultades de aprendizaje significativo de conceptos constituyen un problema central de la didáctica de la física (Carmichael et al., 1990; Duit, 1993). Probablemente por ello, ha habido en la última década una gran producción en esta línea de trabajo, lo que nos ha permitido detectar que:

a) existen factores psicológicos y sociológicos que influyen en la construcción de concepciones alternativas (Driver et al., 1989);

b) hay otros aspectos de carácter pedagógico y epistemológico (la inadecuada selección de objetivos y contenidos, las metodologías habituales de enseñanza, los materiales didácticos, los criterios de evaluación, la formación del profesorado...) que condicionan el aprendizaje (Del Carmen et al., 1997).

La necesidad de prestar una atención especial al estudio de las concepciones de los estudiantes y a la función que desempeñan en los procesos de aprendizaje de la ciencia ha posibilitado que, desde finales de los años setenta, se haya investigado en casi todas las áreas de contenidos científicos del currículo, con alumnos de todos los niveles y en diferentes países. De hecho, en la actualidad se dispone de trabajos que han recopilado y clasificado una parte importante de las investigaciones realizadas específicamente en el tema de electrocinética (Manrique et al., 1989; Hierrezuelo y Montero, 1990; Carmichael et al., 1990; Duit, 1993...), o referidas a la problemática didáctica general del electromagnetismo (Cudmani y Fontdevilla, 1990; Greca y Moreira, 1998; Pontes, 1999), y otros cuyo objetivo ha sido analizar las características de estas concepciones y su influencia en el proceso de aprendizaje (Pozo, 1992; Oliva, 1996; Pintó et al., 1996...). Sin duda, este amplio conjunto de aportaciones ha permitido adquirir un conocimiento valioso y necesario, aunque no suficiente, para mejorar la enseñanza de la física.

En nuestra opinión, uno de los mayores obstáculos de la investigación sobre las concepciones de los alumnos es la comprensión del auténtico significado que tienen las expresiones y términos que utilizan en la comunicación de sus ideas. La imprecisión en el lenguaje, la utilización

indiferenciada del mismo y la escasa implicación en las respuestas de los estudiantes condicionan algunos de los resultados que aparecen en los trabajos publicados. Pero, incluso con estas limitaciones, parece existir consenso en admitir que hay ideas bastante arraigadas en la estructura cognitiva de las personas y que son resistentes a un «cambio fácil» con la enseñanza. Tales ideas, a pesar de la instrucción, persisten en sucesivos niveles educativos como concepciones incorrectas o alternativas, desde una perspectiva científica, ante las que los profesores parecemos incapaces de encontrar alguna alternativa didáctica.

Aunque algunos trabajos han reflejado el interés de las investigaciones descriptivas sobre las ideas de los alumnos, también se resalta la necesidad de avanzar hacia investigaciones de carácter explicativo en las que se analicen las causas que contribuyen a la construcción de nociones alternativas (Hashweh, 1988) y a la utilización de técnicas, con suficiente grado de validación, que permitan determinar cuáles son las concepciones intuitivas que obstaculizan en mayor grado el proceso de cambio conceptual en cada tema. En esta perspectiva se ha apuntado también la necesidad de profundizar en nuevas líneas de trabajo, dentro de este campo, que permitan la superación de los estudios puramente descriptivos (Oliva, 1994), entre las que podemos resaltar: la identificación de los esquemas de razonamiento y de acción que utilizan los alumnos, el estudio de los elementos que facilitan la evolución de los mismos, las diferencias entre las concepciones de los expertos y novatos, la consistencia y estabilidad de tales concepciones en diferentes contextos y etapas del proceso educativo, la influencia de los conocimientos del profesor en el aprendizaje de los estudiantes...

Centrándose en uno de estos aspectos, Kempa (1991) manifiesta que las investigaciones sobre las diferencias entre expertos y novatos constituyen uno de los temas en los que la ciencia cognitiva y la inteligencia artificial pueden aportar mayor ayuda a la enseñanza de las ciencias. En esta perspectiva se considera que el estudio de los procesos cognitivos desarrollados por los estudiantes en la interpretación de fenómenos físicos y en la resolución de problemas ayuda a mejorar la comprensión sobre los razonamientos espontáneos, las dificultades de aprendizaje y los obstáculos en la utilización del conocimiento (Gutiérrez, 1990).

En un principio, los trabajos en este ámbito se centraron en analizar el conocimiento del experto, en un dominio concreto, para elaborar una representación computacional del mismo que después se utilizaba como referencia para analizar y representar las diferencias del novato. Pero más tarde ha crecido el interés por modelizar al aprendiz de forma independiente al primero (Bajo y Cañas, 1991). A esta línea, que parece recibir ciertas influencias procedentes de las investigaciones sobre las concepciones de los alumnos, se incorporan las aportaciones realizadas desde la teoría de los esquemas y desde los estudios sobre la representación del conocimiento físico mediante modelos mentales (Gentner y Stevens, 1983; Gutiérrez, 1996...).

Por otra parte, la generalización de las concepciones alternativas en diferentes niveles de enseñanza ha llevado a algunos investigadores a indagar en el conocimiento científico de los profesores en ejercicio (Viennot y Kaminski, 1991; Lee, 1995; Tobin et al., 1994...) y de los futuros profesores de educación secundaria, en su periodo de formación inicial (Pozo 1987; Calvo et al., 1992; Gunstone et al., 1993; Vázquez, 1994...).

En lo que respecta al tema de los circuitos eléctricos o electrocinética podemos citar algunos trabajos (Cohen et al., 1983; Weeb, 1992; Heywood y Parker, 1997...) en los que se aprecia que los profesores participan de las mismas ideas alternativas de los estudiantes, ampliamente investigadas en otros estudios (Varela et al., 1988; Licht, 1991; Sebastiá, 1993; Metioui et al., 1996; Salinas et al., 1996...).

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

A la vista de los argumentos que se han desarrollado en la revisión anterior creemos que existen suficientes razones para desarrollar un estudio específico centrado en los siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las concepciones personales sobre electrocinética, de los estudiantes de diversos niveles educativos, que presentan mayor grado de resistencia al cambio en la enseñanza habitual y cuál es el origen de tales ideas?
- ¿Tienen alguna relación interna las ideas intuitivas de los alumnos en este dominio o se trata de concepciones aisladas?
- ¿Cuál es el grado de confianza o seguridad de los estudiantes en sus concepciones sobre los circuitos de corriente eléctrica?
- ¿Existen diferencias en las concepciones sobre electrocinética entre los estudiantes de bachillerato y de la universidad, y de futuros profesores de tales niveles educativos?
- ¿Cuáles son los razonamientos que utilizan los expertos en el dominio investigado, y en qué medida participan los futuros profesores de física de las ideas alternativas de sus alumnos?
- ¿Qué implicaciones se derivan del estudio de las concepciones de los estudiantes para la enseñanza de la electricidad y para la formación científica inicial de los profesores de secundaria?

Los objetivos concretos de este estudio consistirán, por tanto, en la búsqueda de respuestas a tales cuestiones. En este trabajo nos hemos limitado al estudio de las concepciones en electrocinética y al análisis de algunas de sus características más relevantes como son la persistencia y la seguridad de tales ideas o las diferencias entre exper-

tos y novatos, sin desdeñar la posibilidad de validar o verificar en nuestro país algunos resultados ya recogidos en anteriores investigaciones. No obstante, hay que recordar que este trabajo se inscribe en un proyecto de investigación más amplio en el se aborda el estudio de las dificultades de aprendizaje en electricidad y magnetismo, tratando de profundizar en el estudio de las características generales de las concepciones personales que permiten identificar la existencia de verdaderos esquemas conceptuales para favorecer su evolución (Pontes, 1999).

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para el desarrollo de este estudio específico hemos seleccionado seis cuestiones de otros trabajos realizados en este ámbito (Evans, 1978; Closset, 1983; Cohen et al., 1983; Acevedo, 1989; Shipstone et al., 1988). Corresponden a situaciones problemáticas que se centran en el estudio de circuitos simples de corriente continua, formados por lámparas o resistencias y generadores ideales, conectados en serie o en paralelo y que resultan útiles para detectar ideas alternativas bien definidas.

En un estudio piloto de carácter exploratorio, realizado con una muestra de estudiantes de primer curso de carrera, se utilizaron cuestiones abiertas y se catalogaron los principales tipos de respuestas, diferenciando entre explicaciones acordes con los conocimientos científicos, razonamientos de carácter alternativo y otras contestaciones. A partir de tales resultados se modificaron los enunciados y se plantearon como preguntas de opción múltiple con justificación de respuesta para que los ítems tuvieran una estructura común, que permitiera identificar fácilmente las concepciones de los alumnos sin perder información sobre sus conocimientos y razonamientos. En el anexo de este trabajo se expone el cuestionario definitivo, aunque los tópicos científicos más importantes de las diversas cuestiones aparecen en el cuadro I.

El cuestionario se aplicó, al comienzo del curso académico, a tres grupos de alumnos de diferentes niveles a los que hemos denominado G1 (143 de 3º de BUP con 16,3 años de edad media), G2 (138 de COU con edad media de 17,6 años) y G3 (81 de 2º de ingeniería técnica mecánica con 20'8 años de edad media). Los sujetos de los grupos G1 y G2 pertenecían a centros públicos de varias localidades andaluzas y los del G3 a la Universidad de Córdoba.

Para analizar los conocimientos de los futuros profesores e identificar los razonamientos de los expertos en este dominio, se aplicó el cuestionario al grupo G4, integrado por 76 licenciados y diplomados en carreras científico-técnicas (químicos, físicos, ingenieros técnicos y superiores...), con una edad media de 24,5 años, que participaban en el curso de formación inicial de profesores de secundaria para la obtención del certificado de aptitud pedagógica (CAP).

Tras aplicarse el cuestionario en los citados grupos se procedió al análisis de los datos obtenidos. En la categorización de respuestas, hemos considerado los conocimientos básicos y deseables –desde la ciencia escolar– en el nivel educativo más bajo, que en nuestro caso es el bachillerato.

Al realizar el estudio cualitativo, se clasificaron las respuestas de los encuestados en tres categorías para cada uno de los ítems de la prueba:

I) respuestas en blanco y explicaciones basadas en ideas confusas o ambiguas;

II) concepciones alternativas suficientemente explicitadas;

III) elección de la opción correcta, incluyendo explicaciones más o menos razonables.

Posteriormente se ha realizado un estudio cuantitativo con el fin de poder comparar los resultados de las diferentes muestras utilizadas. Para ello, en función de la categorización de tipo cualitativo, se han procesado las respuestas y se han realizado diversos tratamientos estadísticos, con el paquete informático SPSS: estudio descriptivo de frecuencias y porcentajes de cada categoría de respuesta, recodificación de los datos de cada ítem, inferencia de los principales valores estadísticos (media, desviación típica, rango, etc.) para cada variable.

Los contrastes de diferencias se han realizado mediante el análisis de la varianza por rangos de Kruskal-Wallis y la prueba U de Mann-Whitney, ya que en general no existían garantías para aplicar pruebas de tipo paramétrico (Bisquerria, 1987).

Cuadro I

Principales contenidos conceptuales implícitos en la prueba.

ÍTEMS	NOCIONES CIENTÍFICAS IMPLICADAS
1	Modelo de corriente eléctrica, concepto de intensidad de corriente.
2	Asociación de elementos en serie y paralelo, resistencia equivalente, ley de Ohm y noción de potencia eléctrica en lámparas.
3	Reestructuración de un circuito, intensidad de corriente, resistencia en paralelo y noción de <i>cortocircuito</i> .
4	Resistencia eléctrica y diferencia de potencial en circuito abierto.
5	Asociación de elementos en montaje mixto, resistencia equivalente, ley de Ohm y primera ley de Kirchoff.
6	Asociación de elementos en serie, ley de Ohm, diferencia de potencial, segunda ley de Kirchoff y reestructuración de un circuito.

El tratamiento de los datos de seguridad de respuesta, dado que corresponden a una escala de Likert –con las limitaciones de falta de unidad de criterios en las puntuaciones de los encuestados que conlleva el uso de dicha escala– sólo ha consistido en el análisis descriptivo de tales índices, para cada grupo y para cada ítem.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

A la hora de presentar y comentar los resultados obtenidos vamos a mantener la secuencia de interrogantes que anteriormente apuntábamos. Así, en primer lugar, analizaremos cuáles son las concepciones que utilizan los estudiantes y futuros profesores que participan en la investigación. Posteriormente discutiremos cuál es el grado de confianza que presentan los alumnos en tales concepciones. Más tarde, contrastaremos y comentaremos las diferencias que se aprecian en función del nivel de instrucción. Por último, trataremos de caracterizar los modelos explicativos de los expertos en este dominio, con objeto de extraer consecuencias que puedan ser útiles para la enseñanza de la electrocinética y para la formación inicial del profesorado.

Estructura y evolución de las ideas de los estudiantes en diversos niveles educativos

Para la descripción de los resultados en cada ítem hemos realizado unas tablas, en las que se indica la opción de respuesta correcta (III), los distintos tipos de opciones utilizadas como concepciones alternativas incluidas en la categoría II (IIa, IIb...) y las respuestas del tipo Ia y Ib, categorizadas como concepciones indefinidas (I); en cada caso se adjuntan los porcentajes correspondientes. También se incluyen algunos ejemplos de explicaciones utilizadas por los estudiantes como justificaciones de cada una de las opciones de respuesta.

La *primera cuestión*, utilizada en otras investigaciones (Carrascosa, 1987; Shipstone, 1989...) para identificar los «modelos de los niños y adolescentes sobre la corriente eléctrica», nos ha parecido conveniente incluirla en nuestro estudio para ver en qué medida persisten tales ideas en estudiantes universitarios y postgraduados. Los resultados que hemos obtenido aparecen en la tabla I.

Se puede observar que más de la mitad de los estudiantes de todos los niveles y casi la mitad de los titulados universitarios asumen el llamado «modelo de consumo o atenuación»; mantienen la idea de que la corriente eléctrica se debilita o se gasta al pasar por la bombilla, aunque admiten el sentido convencional de circulación de la corriente continua (IIa); y de forma esporádica se aprecian explicaciones relacionadas con el llamado *modelo de reparto* (Shipstone, 1989).

Otra concepción alternativa, menos frecuente pero también relacionada con la idea de *flujo*, es la identificada como «modelo concurrente o modelo de corrientes antagónicas» (IIb). En nuestro estudio, el modelo de corrien-

Tabla I
Resultados del primer ítem.

CATEGORÍAS DE RESPUESTA	GRUPOS (%)			
	G1	G2	G3	G4
III. Hay igual corriente y circula en el mismo sentido en ambos cables.	29,4	36,2	46,9	52,6
Ia. La corriente circula en igual sentido por ambos cables, pero es mayor en el primer cable que en el segundo.	32,9	35,5	40,8	47,4
Ib. Las corrientes en ambos cables son iguales pero van en sentido opuesto.	20,3	15,2	3,7	0,0
Ic. Sólo circula corriente por el primer cable.	4,8	2,2	0,0	0,0
Ia. Presentan explicaciones confusas e ininteligibles.	3,5	3,6	3,7	0,0
Ib. No contestan o no explican la opción de respuesta elegida.	9,1	7,3	4,9	0,0
MODELOS EXPLICATIVOS				
III. «La corriente de este circuito siempre va con igual intensidad.» «Pasan todos los electrones por la bombilla pero sólo gastan energía.» «En un circuito cerrado, las cargas van del polo positivo al negativo.»				
Ia. «Una parte de la corriente se gasta en encender la bombilla.» «La intensidad de la corriente se transforma en energía luminosa.» «La corriente se disipa en forma de calor.» «Si no se consume corriente, las pilas no se gastarían nunca.» «Los contadores de las casas miden la corriente que se gasta en el alumbrado eléctrico.»				
Ib. «Los polos de la pila producen una corriente positiva y otra negativa en cada cable.» «La pila da igual corriente por los dos polos.» «Para que brille la bombilla le tiene que llegar la corriente desde los dos polos.» «Las cargas positivas y negativas chocan en la bombilla y producen luz.»				
Ic. «Solamente es necesario un cable para que llegue electricidad hasta la bombilla.» «En el segundo cable no queda nada, pues la corriente se transforma en luz y calor.»				
Ia. «La corriente es igual en ambos cables porque así se aprovecha mejor toda su potencia.» «Algo se gasta en la bombilla pero no se bien lo que es.»				

Tabla II
Resultados del segundo ítem.

CATEGORÍAS DE RESPUESTA	GRUPOS (%)			
	G1	G2	G3	G4
III. Las lámparas brillan más en el segundo montaje (en paralelo).	14,7	21,0	37,0	60,5
Ia. Las lámparas brillan igual en ambos montajes.	31,5	24,6	14,8	7,8
Ib. Las lámparas brillan más en el primer montaje (en serie).	17,5	26,1	19,8	15,8
Ic. Las lámparas (todas o algunas) brillan de forma diferente.	11,2	8,0	11,1	6,6
Ia. Presentan explicaciones confusas e ininteligibles.	10,5	9,4	6,1	0,6
Ib. No contestan o no explican la opción de respuesta elegida.	14,7	10,9	11,2	8,6
MODELOS EXPLICATIVOS				
III. «En paralelo, el voltaje de cada resistencia es el de la pila y, en serie, el voltaje se reparte.» «La resistencia total es mayor en serie y la intensidad de corriente es menor.» «Las bombillas de las casas se ponen en paralelo porque así brillan más.»				
Ia. «Hay dos lámparas iguales conectadas a la pila en ambos casos.» «Lo que importa es el número de bombillas conectadas y el voltaje de la pila, que es igual en ambos.» «La energía de la pila se reparte por la mitad en los dos casos.»				
Ib. «En el montaje 1, las dos lámparas reciben la misma corriente del generador, pero en 2 la corriente se divide.» «En el segundo caso se reparte la energía por la mitad.» «En el montaje 1 les llega el mismo número de voltios a las dos.»				
Ic. «En el montaje 2 brillan igual pero en 1 brilla más la primera.» «En ambos casos brilla más la lámpara que está en el primer lugar.» «Brillará más la bombilla por donde pasa antes la corriente.» «A la bombilla más alejada (en 2) le llega una corriente más débil.»				
Ia. «En el segundo montaje les llega corriente por ambos lados a las dos lámparas.»				

tes opuestas que chocan en la bombilla para encenderla sólo es asumido por una quinta parte de los alumnos de G1 y un 15% del grupo G2, pero prácticamente desaparece en G3 y G4.

Por otra parte, el denominado «modelo unipolar» (IIc) sólo aparece circunstancialmente en los estudiantes de bachillerato y COU pero no es utilizado en los niveles universitarios.

En la *segunda cuestión*, cuyos resultados se describen en la tabla II, presentábamos dos circuitos con dos bombillas iguales –en serie y en paralelo– y pedíamos que predijeran cómo sería la iluminación en ambos montajes.

Entre los estudiantes cuyas respuestas se han incluido en la categoría III hay pocos que razonan en términos de diferencia de potencial, ya que utilizan con mayor frecuencia el concepto de *intensidad de corriente*, unas veces aplicando la ley de Ohm y otras la noción de *resistencia equivalente*.

La concepción alternativa IIa es mayoritaria en el grupo G1 y afecta a una cuarta parte de G2, pero aparece con menor frecuencia en G3 y G4. En las respuestas se mezclan concepciones de diferente origen: el modelo de corrientes antagónicas o concurrentes (Shipstone, 1989),

las interpretaciones de los esquemas simbólicos de los circuitos (Joshua, 1984) o el «efecto topológico» en el que sólo importa el número de elementos y no la forma en que se asocian (Hierrezuelo y Montero, 1990).

La concepción IIb resulta mayoritaria en el grupo G2 y afecta a un porcentaje importante de G3. Los estudiantes centran sus argumentos en el reparto de «una intensidad de corriente fija que sale del generador», sin considerar la diferencia de potencial en las lámparas o la resistencia equivalente de cada asociación de bombillas.

La concepción IIc parece estar muy influenciada por el modelo de consumo: la corriente se va gastando en el circuito; cuánto más lejos esté la bombilla, menos se enciende...

Por último, hay que indicar que en esta cuestión se producen los mejores resultados en el grupo G4, lo cual indica que la dificultad de la pregunta no es muy grande y que las concepciones alternativas detectadas son menos persistentes.

En la *tercera cuestión*, cuyos resultados se recogen en la tabla III, se trata de predecir las variaciones que se producen en la intensidad y en el brillo de la lámpara, cuando se conecta un cable (sin resistencia) en paralelo con la bombilla.

Tabla III
Resultados del tercer ítem.

CATEGORÍAS DE RESPUESTA	GRUPOS (%)			
	G1	G2	G3	G4
III. La corriente del amperímetro aumenta mucho y la bombilla no brillará.	14,0	22,5	29,6	38,1
IIa. La corriente del amperímetro no cambia pero circula casi toda por el cable situado entre los puntos X-Y.	40,6	36,3	26,0	28,9
IIb. La bombilla dejará de brillar.	16,8	15,2	21,0	23,7
IIc. El brillo de la bombilla no cambia.	10,5	12,3	6,2	4,0
Ia. Presentan explicaciones confusas e ininteligibles.	5,6	5,0	7,4	0,0
Ib. No contestan o no explican la opción de respuesta elegida.	12,6	8,8	9,9	5,3
MODELOS EXPLICATIVOS				
III. «El amperímetro marcará mas corriente, pues el cable anula la resistencia de la lámpara.» «El cortocircuito (XY) produce aumento de la corriente y disminución del brillo.»				
IIa. «El amperímetro está antes y no le afecta al poner el cable XY, pero a la bombilla le resta corriente.» «La corriente del generador es constante pero su energía se va por el cable.» «La corriente del generador se divide por la mitad al llegar al cable y la bombilla brilla menos.»				
IIb. «Al colocar así el cable, la bombilla no recibe energía eléctrica.» «La corriente se va por el camino más fácil y no pasa por la bombilla.» «En el cable XY no hay gasto de energía y toda la corriente se va por él»				
IIc. «La bombilla brilla igual porque sigue conectada a la pila.» «Un cable sin nada más no afecta al resto del circuito.» «La bombilla sigue recibiendo el voltaje que manda la pila.» «Le sigue llegando corriente de ambos polos de la pila.»				
Ia. «Disminuye la fuerza del generador y la bombilla brilla menos.» «A causa del cable sin resistencia aumenta la corriente del circuito y la bombilla brilla más que antes.»				

En este tópico hemos encontrado numerosas dificultades, en todos los niveles de enseñanza. Las principales deficiencias observadas en las respuestas de muchos sujetos son las siguientes:

- a) mantienen ideas equivocadas o confusas sobre la resistencia de un cable;
- b) desconocen la función del cortocircuito;
- c) confunden el voltaje del generador con la intensidad de corriente y estiman que esta magnitud permanece constante en cualquier situación;
- d) ignoran o no aplican la ley de Ohm generalizada del circuito;
- e) utilizan mecanismos de razonamiento local o secuencial e ignoran la reestructuración que se produce en un circuito ante cualquier modificación.

En realidad estas ideas no aparecen en solitario, sino que suelen combinarse y llegan a producir esquemas conceptuales más complejos, tal como se han detectado en otros trabajos (Cohen et al., 1983; Arnold y Millar, 1987; Shipstone et al., 1988).

De las opciones que se presentaban, la respuesta correcta (III) sólo es mayoritaria en los estudiantes y titulados universitarios (G3 y G4). El porcentaje de respuestas

adecuadas no llega en ningún caso al 40%, mientras que las concepciones alternativas superan el 50% en todos los grupos.

Globalmente, la idea más extendida es la concepción alternativa IIa, en la que prevalecen los tres últimos tipos de dificultades que hemos señalado: generador como fuente de intensidad, inadecuada aplicación de la ley de Ohm y razonamiento local. La presencia de respuestas oscila entre una cuarta parte del G3 y un 40% de G1, y es la más significativa en tres de los grupos.

Un porcentaje apreciable de los estudiantes y titulados universitarios (G3 y G4) manifiesta la concepción IIb. Parecen comprender la función del cortocircuito pero no indican nada acerca de lo que ocurre en el amperímetro o consideran que no experimenta ningún cambio.

La concepción IIc sólo tiene cierto peso en los grupos G1 y G2, pero no es frecuente en G3 y G4. Se ponen de manifiesto las dificultades ya citadas: resistencia de un cable y desconocimiento de un cortocircuito. También es posible que, en algún caso, la justificación esté muy condicionada por el modelo de corriente que sistemáticamente utilizan en sus razonamientos.

En la *cuarta cuestión* se analiza cómo utilizan los estudiantes el concepto de *voltaje o diferencia de potencial*, que es uno de los que presentan mayores dificultades de aprendizaje en todo el dominio de la electricidad, a la

Tabla IV
Resultados del cuarto ítem.

CATEGORÍAS DE RESPUESTA	GRUPOS (%)			
	G1	G2	G3	G4
III. El voltaje entre M y N es el mismo del generador.	5,6	8,7	12,3	32,9
IIa. El voltímetro no marca nada. No hay voltaje entre M y N.	39,2	42,0	44,4	46,0
IIb. El voltímetro marca la mitad del voltaje del generador.	13,2	16,0	13,6	10,5
IIc. El voltaje entre M y N no varía.	16,1	11,5	4,9	2,6
Ia. Presentan explicaciones confusas e ininteligibles.	9,8	12,3	11,1	1,3
Ib. No contestan o no explican la opción de respuesta elegida.	16,1	9,4	13,6	6,6
MODELOS EXPLICATIVOS				
III. «Es como si el voltímetro quedara conectado a los polos del generador.» «Ahora no brilla la bombilla B3 y el voltímetro marca todo el voltaje del generador.»				
IIa. «La bombilla que se funde no deja pasar la corriente y el voltaje se anula.» «Según la ley de Ohm, el voltaje es cero si no hay corriente en la resistencia.» «No puede haber voltaje si no circula corriente por esa rama.»				
IIb. «La tensión que da el generador se reparte entre el voltímetro y la otra lámpara.» «El voltaje de la pila se divide por la mitad en cada rama.»				
IIc. «Al voltímetro no le afecta que se funda la bombilla.» «Sigue pasando corriente por el voltímetro, aunque se quite esa bombilla.» «El generador sigue mandando voltios al circuito.»				
Ia. «Debe aumentar el voltaje en MN porque disminuye la corriente al quitar una lámpara.»				

vista de los resultados de otras investigaciones (Psillos et al., 1988; Millar y King, 1993). En concreto se trata de predecir qué ocurre con el voltaje de los extremos de una bombilla, conectada en una rama de un circuito, cuando ésta se funde (o se rompe el filamento). Los resultados obtenidos se recogen en la tabla IV.

Podemos observar que el porcentaje de respuestas III es uno de los más bajos de la prueba; en concreto, es el menor de los grupos G2 y G3. Las diferencias de resultados con otros ítems, en los que se utiliza el concepto de *intensidad* en los razonamientos sobre la corriente eléctrica, son demasiado significativas y, por tanto, no deberían ser ignoradas en la secuenciación de contenidos o en la intervención de los profesores a la hora de explicar y desarrollar el concepto de *diferencia de potencial*.

En consonancia con otros trabajos donde se han planteado cuestiones similares (Cohen et al., 1983), la principal concepción alternativa que se manifiesta, en todos los grupos, es que no puede existir voltaje entre dos puntos si no pasa corriente eléctrica (IIa). Se basan en muchos casos en la ley de Ohm para justificar esta postura, pero olvidan o ignoran que, si el circuito está abierto entre dos puntos, la resistencia es infinita. En otros casos es posible que las predicciones incorrectas obedezcan a un desconocimiento de que el voltímetro posee una resistencia muy elevada.

Las concepciones IIb y IIc son minoritarias frente a la anterior en todos los grupos. La utilización una vez más del modelo de reparto o el desconocimiento de la gran resistencia asociada al voltímetro subyacen en las argu-

mentaciones utilizadas por los alumnos para justificar sus respuestas.

Globalmente, el análisis de los datos pone de manifiesto un aprendizaje muy limitado de la noción de *voltaje* o *diferencia de potencial*. Creemos que se trata de un concepto difícil de comprender –como vemos, incluso para los postgraduados– y que, a la vista de éste y otros resultados, está tratado insuficientemente en la enseñanza habitual.

En la *quinta cuestión*, cuyos resultados se recogen en la tabla V, los sujetos encuestados debían predecir si el brillo de una lámpara es mayor, menor o igual que el de otra, a partir de la asociación de cada una de éstas con otras bombillas en un circuito en paralelo.

Se observan grandes diferencias en el número de respuestas incluidas en la categoría III entre los diversos grupos; así, mientras en G1 no se llega al 8%, en G4 se supera el 40%. No obstante, persisten porcentajes altos de concepciones alternativas en toda la muestra. Las dificultades encontradas se pueden explicar por tres causas:

- a) no aplican las propiedades de la asociación de resistencias;
- b) utilizan con mucha frecuencia el llamado razonamiento local;
- c) ignoran o no aplican de forma adecuada la primera ley de Kirchoff.

Tabla V
Resultados del quinto ítem.

CATEGORÍAS DE RESPUESTA	GRUPOS (%)			
	G1	G2	G3	G4
III. La lámpara A brilla más que B.	7,7	14,5	30,9	42,1
IIa. Las lámparas A y B brillan lo mismo.	53,1	49,3	32,1	28,9
IIb. La lámpara A brilla menos que B.	18,2	12,3	17,3	15,8
Ia. Presentan explicaciones confusas e ininteligibles.	9,8	10,1	7,4	5,3
Ib. No contestan o no explican la opción de respuesta elegida.	11,2	13,8	12,3	7,9
MODELOS EXPLICATIVOS				
III. «La intensidad de corriente debe ser mayor en la segunda rama, por tener menor resistencia.» «Las bombillas en paralelo que hay detrás de A ofrecen menos resistencia que una sola.»				
IIa. «La intensidad de corriente que sale del generador se divide por la mitad en ambas ramas del circuito.» «La corriente que pasa por B y A es igual, lo que ocurre es que después de A se vuelve a dividir.»				
IIb. «En la rama de A hay más bombillas y la corriente será menor.» «En la rama de la bombilla B hay menos gasto de corriente o de energía.»				
Ia. «No se puede saber el brillo de las lámparas sin conocer los datos del circuito.»				

La concepción alternativa más frecuente (en todos los grupos) es del tipo IIa, en la que se muestra la persistencia del razonamiento local o secuencial. Está muy extendido especialmente en los grupos G1 y G2 (aproximadamente la mitad de los alumnos en ambos casos).

La concepción del tipo IIb tiene su origen en la aplicación inadecuada de la ley de Ohm o de las leyes de asociación de resistencias. Nuevamente se pone de manifiesto la utilización del modelo de reparto en algunas explicaciones; sobre todo, en los estudiantes de bachillerato y COU.

En la *sexta cuestión*, cuyos resultados se recogen en la tabla VI, se aborda de nuevo un problema donde se debe usar la noción de *voltaje* o *diferencia de potencial*. Se trata de un circuito que se reestructura al cambiar el valor de una resistencia variable.

En otros trabajos se ha observado que los alumnos utilizan ideas personales o razonamientos espontáneos, a los que hay que añadir, como en otras cuestiones, la persistencia del razonamiento secuencial (Closset, 1983; Shipstone et al., 1988) y el hecho de que ignoran que un circuito es un sistema físico con muchas variables interrelacionadas (Hartel, 1982).

La resolución del problema resulta bastante compleja para la mayoría, especialmente para los alumnos de BUP

y COU. Esto explica el bajo nivel de respuestas del tipo III, inferior al 25% en todos los grupos; incluso, hemos observado un aumento mayor de las respuestas sin justificación o explicaciones poco claras (categoría I) que en otras cuestiones sobre circuitos.

También se observa que existen varias concepciones alternativas (IIa y IIb) con el mismo nivel de persistencia en los diversos grupos, aunque el origen de tales dificultades sea diferente. El problema del razonamiento secuencial parece mayoritario en los niveles de enseñanza no universitarias (G1 y G2), mientras que en los grupos G3 y G4 van cobrando importancia otras ideas un poco más elaboradas, como la disminución global de la intensidad de corriente (IIb) y el razonamiento «compensatorio» que usan al considerar que los voltajes no cambian (IIc).

Análisis del grado de confianza de los estudiantes en sus propias ideas

En diversas investigaciones se ha realizado un análisis de la confianza que tienen los estudiantes en la utilización de sus propias ideas (Carrascosa, 1987; Oliva, 1994). Por este motivo hemos incluido en cada ítem de la prueba un registro para que el sujeto indicara su seguridad (entre 0 y 10) en la opción de respuesta elegida.

Tabla VI
Resultados del sexto ítem.

CATEGORÍAS DE RESPUESTA	GRUPOS (%)			
	G1	G2	G3	G4
III. El voltaje en R2 aumenta y disminuye en R1.	4,2	8,7	18,5	25,0
IIa. Aumenta sólo el voltaje de R2.	26,6	27,5	21,0	19,7
IIb. Disminuye el voltaje de R1 y R2.	27,9	23,2	19,8	21,0
IIc. Los voltajes en R1 y R2 no cambian.	10,5	11,6	13,6	15,8
Ia. Presentan explicaciones confusas e ininteligibles.	10,5	13,0	9,9	7,8
Ib. No contestan o no explican la opción de respuesta elegida.	20,3	16,0	17,2	10,6
MODELOS EXPLICATIVOS				
III. «La corriente total disminuye y baja el voltaje V1, pero V2 debe subir para compensar, porque entre los dos voltímetros sumarán Vo.»				
IIa. «La corriente del generador y la resistencia R1 no cambian, de modo que sólo aumenta el valor de R2.» «Si aumenta la resistencia R2, aumenta su voltaje porque el voltaje siempre es proporcional a la resistencia.» «El voltaje cambia en el sitio donde aumenta la resistencia.»				
IIb. «Al aumentar R2, debe disminuir la corriente que da el generador y bajarán los dos voltajes.» «Ahora hay mayor dificultad para que pase la corriente por las resistencias del circuito, y descenderá el voltaje.» «Cuando sube alguna resistencia, disminuyen los voltios de la corriente en todo el circuito.»				
IIc. «En R2 aumenta la resistencia pero a la vez disminuye la corriente y ambos factores se compensan de modo que el voltaje es el mismo.» «El voltaje que llega a cada resistencia depende de la fuerza de la corriente que da el generador, pero éste no cambia.»				
Ia. «Sólo disminuye el voltaje en R2 porque aumenta la resistencia.» «Aumenta el voltaje en ambas resistencias, al aumentar la fuerza de la corriente.»				

Tabla VII
Evolución del valor medio de la seguridad de respuesta.

ÍTEMS	G1	G2	G3	G4
1	7,21*	7,02*	8,36*	8,42*
2	5,93	6,27*	7,13*	7,70*
3	6,15*	6,44*	7,05*	7,56*
4	6,32*	7,08*	6,71*	6,82*
5	5,44	6,41*	7,12*	7,28*
6	4,12	4,99	5,54	6,03*

Aunque las limitaciones debidas a la utilización de escalas Lickert se han reducido con los tamaños de los grupos utilizados, para analizar los datos hemos considerado tres niveles de seguridad de respuesta –que hemos denominado *bajo*, *medio* y *alto*– tras dividir todo el rango de diez puntos en tres partes. Los valores medios obtenidos se exponen en la tabla VII, para cada ítem y grupo de la muestra; hemos señalado con un asterisco aquéllos que tienen un valor superior a 6 (seguridad alta).

En general, se puede observar que el 80% de los valores está por encima de 6, lo que indica una confianza alta en la mayor parte de los ítems de la prueba en los cuatro grupos. Los estudiantes de bachillerato (G1), que son los que globalmente presentan menor seguridad, muestran un nivel alto de confianza en tres de las seis cuestiones a pesar de los bajos porcentajes de respuestas del tipo III. Los futuros profesores son los que presentan una mayor seguridad, ya que en todas sus contestaciones los valores son superiores a 6.

Por otro lado, en los ítems 1, 3 y 4, la seguridad es alta en los cuatro grupos; los resultados más bajos se dan en la sexta cuestión. Aunque podría interpretarse que existe una relación directa con respecto al porcentaje de respuestas correctas desde la ciencia escolar, pensamos que es arriesgada esta afirmación sin haber controlado otras variables cognitivas que intervienen en un proceso tan complejo como es el aprendizaje. Otra posible interpretación podría ser que las concepciones alternativas más persistentes (consumo de corriente, el generador como fuente de intensidad, la confusión entre corriente y voltaje o los razonamientos locales secuenciales) con probabilidad contribuyan notablemente a reforzar el nivel de seguridad en la respuesta. Podemos considerar que son conocimientos relativamente seguros y arraigados, en los que los alumnos se encuentran «cómodamente instalados».

Por último, se observa que el grado de seguridad va aumentando sensiblemente con el nivel de instrucción en casi todas las cuestiones (excepto en el cuarto ítem).

Análisis global de datos cuantitativos sobre las diferencias entre grupos

En la tabla VIII se recogen los resultados globales obtenidos en este estudio, indicando en cada ítem los porcentajes correspondientes a cada una de las tres categorías principales de respuesta (I, II y III) en los cuatro grupos de la muestra.

Si observamos los porcentajes de las categorías principales, podemos constatar que sólo en tres casos (en el ítem 1 de G3 y en el 1 y el 2 de G4) los valores de las respuestas del tipo III superan las concepciones alterna-

Tabla VIII
Porcentajes de las principales categorías de respuesta en las diversas cuestiones.

ÍTEMS	G1			G2			G3			G4		
	III	II	I									
1	29,4	58,0	12,6	36,2	52,9	10,9	46,9	44,5	8,6	52,6	47,4	0,0
2	14,7	60,1	25,2	21,0	58,7	20,3	37,0	45,7	17,3	60,5	30,3	9,2
3	14,0	67,8	18,2	22,5	63,8	13,8	29,6	53,1	17,3	38,1	56,6	5,3
4	5,6	68,5	25,9	8,7	69,6	21,7	12,3	63,0	24,7	32,9	59,2	7,9
5	7,7	71,3	7,7	14,5	61,6	23,9	30,9	49,4	19,7	42,1	44,7	44,7
6	4,2	65,0	4,2	8,7	62,3	29,0	18,5	54,3	27,2	25,0	56,6	18,4

CATEGORÍAS: Respuestas aceptables (III), concepciones alternativas (II), concepciones indefinidas (I)

tivas. Estas respuestas del tipo II superan el 50% en todas las cuestiones para los grupos G1 y G2. También ocurre así en los grupos G3 y G4 para la mitad de las cuestiones (3a., 4a. y 6a.). Creemos que estos hechos resultan preocupantes si consideramos las características de las cuestiones, el nivel educativo de los alumnos y, sobre todo, las repercusiones de una inadecuada formación del profesorado. Aunque parece existir una tendencia a disminuir las concepciones alternativas con el nivel de formación, esta evolución no siempre está clara, porque, de hecho, se producen algunos «valores desordenados» (G1-G2 en el ítem 4; G3-G4 en los ítems 1 y 3).

Alrededor del 20% de las respuestas del G1, G2 y G3 son del tipo I, lo que pone de manifiesto la dificultad de comunicación de las ideas científicas por parte de los estudiantes. Por otra parte, en casi todas las cuestiones se aprecia una disminución del porcentaje de concepciones indefinidas con el nivel educativo, mientras que el número de respuestas del tipo III aumenta.

En general, pensamos que las concepciones alternativas o incompletas están bastante arraigadas en todos los niveles educativos y no resulta fácil cambiarlas hacia concepciones adecuadas en la enseñanza habitual. Esta circunstancia no es nueva porque hay bastante coincidencia con los resultados obtenidos en otras investigaciones (Cohen et al., 1983; Heller, 1987; Weeb, 1992), de modo que pueden considerarse como una validación de tales estudios. Al mismo tiempo, permiten reforzar la idea de que existen importantes dificultades de aprendizaje significativo en el tema de electrocinética, en el cual algunos conocimientos, contruidos durante la infancia y la adolescencia (Driver et al., 1989; Osborne y Freyberg, 1991), presentan un grado amplio de generalización y persistencia.

Para profundizar en nuestro estudio, hemos comparado los porcentajes de respuestas de tipo III de los seis ítems en cada grupo. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, con el fin de hacer un análisis de la varianza por rangos,

para cada ítem, con el total de la muestra. Los valores de χ^2 aparecen en la tabla IX, en la que parecía que la variable «nivel de instrucción» produce diferencias significativas ($p < 0,01$) en todas las cuestiones.

Tabla IX
Contraste global entre los grupos.

	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6
χ^2 (K-W)	20,09	23,51	13,71	19,62	26,66	11,62

También se aplicó la prueba U de Mann-Whitney con el fin de realizar un estudio más detallado de las diferencias entre niveles educativos. Los valores obtenidos se muestran en la tabla X y se refieren a las puntuaciones típicas Z, correspondientes al contraste entre dos grupos, en cada cuestión.

En términos generales se puede apreciar que los valores de contraste entre grupos consecutivos no son muy altos. De hecho, no se observan diferencias significativas entre los grupos G1 y G2 en ninguno de los ítems de la prueba y son mayoritarias las cuestiones en las que no se producen dichas diferencias entre G2 y G3 (ítems 1, 3 y 4) o entre G3 y G4 (ítems 1, 3, 5 y 6).

Si se analizan detalladamente los datos de la tabla X podemos destacar algunos hechos:

– En los ítems 1 y 3, hay diferencias significativas entre los pares G1-G3, G1-G4 y G2-G4; es decir, el cambio conceptual sólo es evidente entre grupos bastante distanciados en el nivel de instrucción. Aunque el resultado de la primera cuestión pueda justificarse por las dificultades de los estudiantes para superar el modelo de corriente como fluido, creemos que existe otra razón que puede ser aplicable a ambas preguntas: el cambio de concep-

Tabla X
Contraste entre grupos en los ítems del cuestionario.

GRUPOS COMPARADOS	PUNTUACIONES Z (PRUEBA U de MANN-WITNEY)					
	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6
G1-G2	-1,22 ns	-1,38 ns	-1,84 ns	-1,01 ns	-1,81 ns	-1,53 ns
G1-G3	-2,42 *	-3,82 **	-2,85 **	-1,78 ns	-4,52 **	-3,52 **
G1-G4	-3,01 **	-6,99 **	-4,07 **	-5,36 **	-6,08 **	-4,59 **
G2-G3	-1,54 ns	-2,57 *	-1,17 ns	-0,86 ns	-2,88 **	-2,13 *
G2-G4	-2,66 *	-5,78 **	-2,44 *	-4,46 **	-4,49 **	-3,23 **
G3-G4	-1,78 ns	-2,43 *	-1,12 ns	-3,08 **	-1,45 ns	-0,98 ns

p > 0,05 (ns = no significativo) * p < 0,05 ** p < 0,01

Cuadro II
Modelos explicativos de sujetos expertos en el análisis de circuitos eléctricos simples.

ÍTEMS	EJEMPLOS DE EXPLICACIONES (DE ALGUNOS ELEMENTOS DEL GRUPO G4)
1	«La corriente eléctrica transporta carga y energía eléctrica, desde el polo positivo al negativo (en el sentido convencional de la corriente continua). Si el circuito es estable, la intensidad de corriente (flujo de carga por unidad de tiempo) se mantiene constante, pero la energía eléctrica puede transformarse en otras formas de energía al pasar por los elementos del circuito, produciendo efectos luminosos y otros fenómenos.»
2	«Las lámparas en paralelo (montaje 2) están sometidas a la misma diferencia de potencial que proporciona el generador, mientras que en serie (montaje 1) cada una está sometida a la mitad del voltaje del generador; por tanto, brillan más en paralelo que en serie.»
3	«El cable sin resistencia, conectado en paralelo con la lámpara, actúa como un cortocircuito. Por tanto, la resistencia global entre los puntos X e Y se hace casi nula (o muy pequeña), de modo que la intensidad de corriente que proporciona el generador aumenta mucho (a consecuencia de la ley de Ohm, $I_0 = V_0/R_t$). El amperímetro registra el aumento de la intensidad de corriente, pero la lámpara deja de brillar porque toda la corriente se va por el cortocircuito.»
4	«Inicialmente el voltaje en las bombillas B2 y B3 es igual a la mitad de los voltios que proporciona al generador. Pero, si se funde la bombilla B2, queda abierta esa rama del circuito y no pasa corriente por la bombilla B3, quedando el voltímetro conectado a los extremos del generador y, por tanto, marcará la misma diferencia de potencial que proporciona el generador.»
5	«En la rama donde se encuentra la bombilla A, existe detrás un conjunto de dos bombillas en paralelo, mientras que en la rama de la bombilla B hay detrás otra bombilla igual; por tanto, la resistencia total de la rama de A es menor que la resistencia total de la rama de B. Como ambas ramas están sometidas a la misma diferencia de potencial que proporciona el generador, la intensidad de corriente es mayor en A que en B (según la ley de Ohm) y el brillo de A será mayor que el brillo de B (según la ley de Joule).»
6	«Al aumentar R2, aumenta la resistencia total del circuito, disminuye la intensidad de corriente y debe disminuir el voltaje en la primera resistencia (por la ley de Ohm), pero a cambio debe aumentar el voltaje en la resistencia variable, ya que el voltaje que proporciona el generador es constante y se reparte entre las dos resistencias (por la segunda ley de Kirchoff).»

ciones que se produce en la enseñanza habitual es lento y, por lo tanto, no es observable a corto plazo; probablemente porque se ignore en el proceso de construcción del conocimiento.

– En el ítem 2, los resultados indican que las diferencias son notables entre los grupos, y que van mejorando significativamente (excepto en los grupos de nivel inferior G1 y G2) con el nivel de instrucción.

– En los ítems 5 y 6 se aprecia una situación similar a la anterior. Sin embargo, al no existir diferencias significativas entre G1-G2 ni entre G3-G4, parece que es en el período entre COU y la universidad donde se puede constatar una auténtica evolución del aprendizaje de los contenidos que subyacen en estas cuestiones.

– En el ítem 4, las diferencias empiezan a ser significativas con G3 (y lógicamente con G4). Siguiendo la línea argumental de las cuestiones anteriores, podríamos decir que es en la universidad donde se percibe una evolución conceptual más clara en los conocimientos implicados: curiosamente en la diferencia de potencial.

Por lo tanto, en términos generales, podemos decir que hay una evolución de las ideas con el nivel de instrucción y que los cambios significativos en determinados conocimientos están localizados en períodos concretos. En estos casos, habría que indagar con mayor detalle qué factores (la enseñanza habitual, el desarrollo de los estudiantes, el currículo, etc.) pueden justificar tales cambios.

Estudio de las diferencias entre expertos y aprendices

Desde el punto de vista de la formación científica inicial del profesorado de física, los resultados obtenidos en el grupo G4 tienen lógicamente un especial interés. Si revisamos las tablas anteriores, se observa que hay tres ítems (3, 4 y 6) en los que el porcentaje de concepciones alternativas (categoría II) es superior al 50%, lo cual aporta un argumento más acerca de la notable persistencia de tales construcciones mentales.

Por otro lado, los resultados coinciden con otros trabajos que han verificado que las concepciones alternativas afectan tanto a profesores en formación inicial como en ejercicio (Cohen et al., 1983; Weeb, 1992; Vázquez, 1994...). En nuestro estudio se aprecia que los titulados en carreras de tipo científico o técnico, que aspiran a ser profesores de física en educación secundaria, no pueden considerarse –de forma general– expertos en el dominio de la electrocinética básica.

No obstante, al analizar individualmente las respuestas de los postgraduados de G4, se observa que algunos integrantes de este grupo presentan un alto nivel de conocimientos. En el cuadro II se exponen algunos ejemplos de los razonamientos y justificaciones que utilizan tales sujetos en las contestaciones correspondientes a los diversos ítems de la prueba.

Sin duda, estas explicaciones están próximas a los conocimientos científicos vigentes (aunque puedan diferir,

en algún caso, en el grado de concreción). Son razonamientos amplios y elaborados, presentan mayor rigor en cada argumentación y muestran una utilización bastante adecuada del lenguaje científico. En definitiva, los autores de tales explicaciones son capaces de utilizar los conceptos y principios físicos necesarios para interpretar o predecir el comportamiento de los circuitos eléctricos, y lo comunican correctamente. Todos estos rasgos nos parecen representativos de lo que, en este tipo de estudios (Pozo, 1987; McMillan y Swadener, 1991), se denomina «conocimiento del experto en un dominio específico».

Si se comparan las explicaciones que se recogen en el cuadro II con las justificaciones que aportan otros miembros de la muestra –ya analizadas anteriormente–, se aprecian diferencias notables, no sólo con respecto a los que pertenecen a niveles inferiores sino a los restantes miembros del propio G4. Por tanto, estos postgraduados –5 en realidad– son los únicos que pueden considerarse, en nuestra opinión, como verdaderos expertos en el tema de electrocinética.

Es evidente que 5 titulados (3 licenciados en física y 2 ingenieros técnicos en electrónica) de un total de 76 representan una proporción muy baja de expertos. Por ello, es necesario reflexionar profundamente acerca de la problemática de la formación inicial del profesorado de física y de la necesidad de introducir cambios profundos en los conocimientos científicos y didácticos de los aspirantes a profesores.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Dentro de la amplia problemática didáctica del electromagnetismo (Cudmani y Fontdevila, 1990), en este estudio nos hemos centrado en analizar las dificultades de aprendizaje de conceptos básicos de electrocinética y su evolución en diversos niveles del sistema educativo.

Al identificar las ideas de los alumnos sobre circuitos simples de corriente eléctrica y analizar cómo evolucionan a través de la enseñanza habitual, hemos constatado que los estudiantes generan (desde edades tempranas) concepciones personales para interpretar los fenómenos y hacer predicciones, que no se corresponden con los modelos explicativos que utilizan los expertos en el dominio. Parece que estas concepciones alternativas no se consideran suficientemente en nuestro sistema educativo, lo que favorece un grado amplio de persistencia (acompañado de un grado apreciable de seguridad) entre alumnos de todos los niveles de enseñanza. Sobre la base de los resultados cualitativos y cuantitativos expuestos anteriormente podemos indicar, a modo de resumen, que:

– Muchos estudiantes, de todos los niveles, asocian los términos de *corriente* y *energía eléctrica*, considerando que ambos conceptos representan lo mismo, porque,

entre otras cosas, se producen en la pila y se «consumen» a lo largo del circuito.

– Hay un número apreciable de alumnos de enseñanza media que no contempla la necesidad de que el circuito esté cerrado para que funcione, al creer que la corriente eléctrica puede mantenerse circulando desde el generador (o fuente) hasta los diversos receptores (lámparas...).

– Bastantes estudiantes, preferentemente de bachillerato y COU, utilizan esquemas alternativos sobre la corriente eléctrica en el circuito, pudiendo distinguir diversos modelos alternativos como el de flujo unipolar, el de corrientes antagónicas, el de consumo o atenuación y otros menos frecuentes.

– En todos los niveles educativos se utilizan ideas equivocadas acerca de la función de los elementos del circuito: la pila como almacén de corriente, la bombilla como consumidor, el interruptor abierto que deja pasar corriente por una rama sólo a los elementos que están por delante, etc.

– Con bastante frecuencia los estudiantes confunden magnitudes básicas tales como la diferencia de potencial y la intensidad de corriente, y las integran en una sola propiedad de la corriente eléctrica que se puede transportar, almacenar, gastar...

– De forma generalizada los alumnos piensan que no puede existir diferencia de potencial si no hay intensidad de corriente, quizá por un aprendizaje defectuoso de las relaciones entre tales conceptos o al no comprender de manera significativa el papel que desempeña la resistencia (sobre todo en los casos límites en los que es muy pequeña o muy grande) en la ley de Ohm.

– Otra confusión muy extendida consiste en considerar el generador como una fuente de intensidad de corriente fija (al confundirla con la tensión), de modo que la corriente que sale de la pila se asume como una magnitud constante que parece ser independiente de la estructura del circuito.

– Por último, muchos alumnos (sobre todo de enseñanza secundaria) utilizan mecanismos de razonamiento local y secuencial, de modo que, al introducir una modificación en un punto del circuito centran su atención en ese lugar y creen que sólo se ve afectado ese punto o los elementos posteriores, sin tener en cuenta que el circuito es un sistema físico y que los cambios producidos en cualquier lugar afectan a todo el sistema.

Por otra parte, hemos intentado analizar en qué grado participan los titulados universitarios, que aspiran a ser futuros profesores de física de enseñanza secundaria, de las mismas ideas alternativas que los estudiantes a los que van a dirigir su labor profesional. Los resultados obtenidos al respecto nos indican que:

– La mayoría de las concepciones alternativas detectadas en los primeros niveles de enseñanza también afec-

tan, en buena medida, a los titulados universitarios que aspiran a ser profesores; no obstante, hay que recordar que se han observado diferencias significativas en las respuestas de los diferentes grupos de la muestra (sobre todo de G1 y G2 con respecto a G4).

– Entre los aspirantes a profesores sólo hemos encontrado una proporción muy baja de sujetos que puedan considerarse como expertos en el dominio de la electrocinética y, por tanto (si no se buscan remedios a este hecho), sólo ellos están en condiciones de ayudar en el futuro a sus posibles alumnos a superar los problemas de aprendizaje significativo que se han detectado.

Un aspecto complementario abordado en este trabajo es el análisis de la seguridad de las ideas de los estudiantes y postgraduados. Los resultados indican que el mayor grado de formación influye en la confianza de los sujetos en sus propias ideas, pero también se ha observado que muchos estudiantes poseen un grado alto de seguridad en torno a diversas concepciones alternativas (muy persistentes). Realmente no hemos profundizado mucho en este tema para poder extraer conclusiones muy relevantes, pero creemos que este asunto puede estar relacionado con el estudio de los procesos metacognitivos y, por tanto, debería ser objeto de investigaciones más profundas y específicas en el futuro.

A la vista de estos hechos creemos necesario exponer o resaltar algunas implicaciones relacionadas con la enseñanza del tema de electrocinética y con la formación inicial del profesorado de física.

Consideraciones referidas a la enseñanza de la electricidad

Los resultados de nuestro estudio vienen a confirmar que la formación recibida por los estudiantes de diversos niveles y titulados universitarios favorece un proceso de aprendizaje memorístico, poco reflexivo y escasamente comprensivo en el dominio de la electrocinética. De aquí se pueden derivar diversas consecuencias para la enseñanza de la electricidad, en todos los niveles educativos, ya que ponen de manifiesto la necesidad de elaborar y experimentar propuestas metodológicas que contribuyan a mejorar la calidad de la educación científica en este dominio (Meneses y Caballero, 1995; Pro y Saura, 1996). Si tenemos en cuenta la problemática de la persistencia de las concepciones alternativas de los estudiantes en este tema, llegamos a la misma conclusión que otros muchos trabajos en los que se defiende la necesidad de desarrollar actividades de enseñanza y aprendizaje que tengan en cuenta las ideas de los alumnos y que favorezcan la construcción gradual de modelos científicos en esta temática (Arnold y Millar, 1987; Shipstone, 1989; Pro y Saura, 1999).

Esta perspectiva educativa supone investigar las estructuras conceptuales, los conocimientos procedimentales, las actitudes... que utilizan los alumnos en el aprendizaje de la electricidad como punto de partida para mejorar el proceso de instrucción. Al mismo tiempo hay que desa-

rollar estrategias concretas para modificar y mejorar tales conocimientos desde el punto de vista científico. Esto requiere dedicar mayor atención en el aula a promover situaciones de aprendizaje reflexivo que intencionalmente cuestionen las principales ideas alternativas que se han señalado. También hay que elaborar materiales didácticos que ayuden a los alumnos a dar sentido a los contenidos de la ciencia y a transformar sus conocimientos y experiencias sobre este tema, aunque éstas sean extraescolares. Por último, hay que evaluar si se ha producido el cambio conceptual perseguido (a corto y largo plazo) e introducir las modificaciones oportunas para que las propuestas metodológicas sean cada vez más adecuadas y útiles.

Es evidente que estos planteamientos no se derivan sólo de este estudio sino que forman parte del patrimonio común al que han contribuido, durante muchos años de trabajo, los investigadores en didáctica de las ciencias (Osborne y Freyberg, 1991; Gil et al., 1991). En esta investigación simplemente se ha constatado, una vez más, la necesidad de llevar a la práctica estas ideas. En tal sentido hemos de indicar que nuestro trabajo de investigación didáctica no se centra sólo en el diagnóstico de dificultades de aprendizaje, pues sería injusto señalar los problemas de la enseñanza y no buscar soluciones. Conviene, por tanto, recordar que este estudio es sólo una parte de un proyecto más amplio en el que (además del diagnóstico de dificultades de aprendizaje) se ha desarrollado una propuesta metodológica para la enseñanza de la electricidad en la educación no universitaria, donde se ha tratado de llevar a la práctica el enfoque educativo expuesto anteriormente (con la ayuda de profesores en activo) y que ha favorecido de forma apreciable el cambio conceptual entre los alumnos que han experimentado dicha propuesta (Pontes, 1999).

Por otra parte, hay que indicar que estos planteamientos no sólo deben utilizarse en la educación secundaria o en bachillerato, ya que la enseñanza superior –como se ha puesto aquí de manifiesto– tampoco contribuye demasiado a favorecer el cambio de ideas previas. Quizás algunos profesores universitarios piensen erróneamente que la presencia de concepciones alternativas es un «problema de otros», aunque posiblemente cambiarían de forma de pensar si llegaran a considerar que estos hechos no son simplemente «anecdóticos». Pensamos, por tanto, que en la universidad se debería conceder también más importancia a favorecer entre los alumnos la reflexión y la comprensión profunda de los principales conceptos y teorías de la ciencia (Rivarossa y Perales, 1998). En esta línea de acción también estamos trabajando aunque se trata de un proyecto incipiente y no podemos aportar todavía resultados concretos (Pontes et al., 2000).

Consideraciones referidas a la formación del profesorado de enseñanza secundaria

El hecho de que muchos licenciados y diplomados, en carreras científico-técnicas, participen de la mayoría de las concepciones alternativas que han elaborado los

estudiantes, en diversas etapas del proceso educativo, nos obliga también a plantearnos diversas cuestiones relacionadas con la formación inicial del profesorado de física en la enseñanza secundaria.

Quizá habría que empezar a cuestionar la premisa de que los actuales postgraduados universitarios poseen un conocimiento científico suficiente de física para enseñar los conceptos y procedimientos que demandan los programas de esta materia en la educación secundaria. En términos generales no dudamos de que los postgraduados poseen un conjunto amplio de conocimientos científicos, que pueden alcanzar un alto nivel de especialización o sofisticación y pueden ser útiles para otros ámbitos profesionales (empresas, industrias, investigación...). Nuestra duda surge al analizar la calidad del aprendizaje de los conceptos básicos de física que utilizan estos postgraduados, ya que este estudio refleja que hay importantes carencias en este sentido, teniendo en cuenta las exigencias formativas que demanda un profesor de física de enseñanza secundaria o de bachillerato.

Creemos que los aspirantes a profesores deberían cursar materias que permitan profundizar más en los contenidos básicos de las disciplinas, en los nuevos horizontes de las mismas al considerar las consecuencias tecnológicas y sociales de los descubrimientos científicos, en la naturaleza de los modelos explicativos y procedimientos de la ciencia... Si en la estructura actual de la enseñanza universitaria no es posible atender algunas de estas demandas, la universidad estará demostrando que no le importa mucho lo que ocurre en otros niveles educativos (aunque seguiremos quejándonos de que «los estudiantes cada vez saben menos»).

Por último, si se mantiene el actual modelo sumativo de formación inicial del profesorado de ciencias de educación secundaria, creemos, junto con otros investigadores, que habría muchas cosas que cambiar (Furió, 1994). Para empezar, la duración del curso inicial de formación didáctica (CAP o similar) debería ser mayor y tener más relación con los centros de investigación didáctica (facultades de educación, departamentos de didáctica de las ciencias...).

Por otra parte, en lo que respecta a los contenidos de formación, creemos que los futuros profesores deberían tener la oportunidad de reflexionar, desde una perspectiva científica, sobre sus conocimientos y los contenidos del currículo de la materia que van a impartir. En este proceso formativo habría que incluir el análisis crítico de los resultados de la investigación actual sobre las concepciones alternativas de los alumnos y su relación con las dificultades de aprendizaje de la ciencia. Habría que proporcionarles instrumentos formativos para que puedan diseñar y elaborar propuestas metodológicas orientadas a trabajar con las ideas de los alumnos. También sería importante que tales propuestas puedan aplicarse en contextos educativos reales, durante las prácticas de formación inicial, y que se puedan realizar pequeñas investigaciones para evaluar cómo evolucionan las ideas, dónde tienen los alumnos mayores dificultades, qué actividades inciden más directamente en sus aprendizajes...

Con todo ello, creemos que no sólo mejoraremos la formación didáctica de los futuros profesores sino que probablemente aprenderán una ciencia más adecuada para los fines de la educación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A. (1989). Las interpretaciones de los alumnos de BUP sobre electrocinética. Ejemplo con circuitos de corriente continua. *Investigación en la Escuela*, 7, pp. 107-115.
- AFONSO, R. et al. (1998). Contenidos, metodología y alumnado. Una valoración crítica de la enseñanza en BUP y COU. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 99-130.
- ARNOLD, M. y MILLAR, R. (1987). Being constructive: an alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal Science Education*, 9(5), pp. 553-563.
- BAJO, M.T. y CAÑAS, J.J. (1991). *Ciencia cognitiva*. Madrid: Debate.
- BISQUERRA, R. (1987). *Introducción a la estadística aplicada a la investigación educativa. Un enfoque informático con los paquetes BMDP y SPSSX*. Barcelona: PPU.
- CALVO, J.L. et al. (1992). Preconcepciones en dinámica: su persistencia en niveles universitarios. *Revista Española de Física*, 6(3), pp. 39-43.
- CARMICHAEL, P. et al. (1990). *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Universidad de Leeds.
- CARRASCOSA, J. (1987). «Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias de los errores conceptuales». Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- CLOSSET, J.L. (1983). «Le raisonnement sequentiel en electrocinétique». *Tesis del tercer ciclo*. Universidad de París VII.
- COHEN, R., EYLON, B. y GANIEL, U. (1983). Potencial difference and current in simple electric circuits: A study of student's concepts. *American Journal Physics*, 51(5), pp. 407-412.

- CUDMANI, L.C. y FONTDEVILLA, P. (1990). Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), pp. 215-222.
- DEL CARMEN, L. et al. (1997). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: ICE-Horsori.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHEN, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- DUIT, R. (1993). Research on students' conceptions. Developments and trends. *III International Seminar of Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Cornell University: Ithaca.
- EVANS, J. (1978). Teaching electricity with batteries and bulbs. *The Physics Teacher*, 16, pp. 15-22.
- FURIÓ, C. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 188-199.
- GENTNER, D. y STEVENS, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, Nueva Jersey: Erlbaum.
- GIL, D. et al. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: ICE-Horsori.
- GRECA, I. y MOREIRA, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 289-303.
- GUNSTONE, R. et al. (1993). A case study exploration of development in preservice science teachers. *Science Education*, 77(1), pp. 47-73.
- GUTIÉRREZ, R. (1990). Aportaciones de la investigación en inteligencia artificial a la investigación didáctica: el modelo mental mecánico de Kleer y Brown. *Educación abierta: Aspectos didácticos de física y química*, 4, pp. 155-193. Zaragoza: ICE Universidad.
- HASHWEH, M. (1988). Descriptive studies of students' conceptions in science. *Journal Research Science Teaching*, 25(2), pp. 121-134.
- GUTIÉRREZ, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, 7, pp. 73-86.
- HELLER, P. (1987). Use of core propositions in solving current electricity problems. *II International Seminar of Misconceptions and educational strategies in Science and Mathematics*, Vol. III, pp. 150-161. Cornell University: Ithaca.
- HEYWOOD, D. y PARKER, J. (1997). Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal Science Education*, 18(8), pp. 869-885.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1990). *La ciencia de los alumnos*. Vélez Málaga: Elzevir.
- JOHSUA, S. (1984). Student's interpretation of simple electrical diagrama. *European Journal Science Education*, 6(3), pp. 271-275.
- KEMPA, R.F. (1991). Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), pp. 119-128.
- KOUMARAS, P., KARAIOTOGLOU, P. y PSILLOS, D. (1997). Causal structures and counter-intuitive experiments in electricity. *International Journal Science Education*, 19(6), pp. 617-630.
- LEE, O. (1995). Subject matter knowledge, classroom management and instructional practice in Middle School science classroom. *Journal Research Science Teaching*, 32(4), pp. 423-440.
- LICHT, P. (1991). Using a diagnostic test of pupils' alternative conceptions to plan a teaching strategy on electric circuits. *European Journal Teacher Education*, 14(1), pp. 19-30.
- McMILLAN, C. y SWADENER, M. (1991). Novice use of qualitative versus quantitative problem solving in electrostatics. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), pp. 661-670.
- MANRIQUE, M., VARELA, P. y FAVIERES, A. (1989). Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), pp. 292-294.
- MENESES, J. y CABALLERO, M. (1995). Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 36-45.
- METIQUI, A. et al. (1996). The persistence of students' unfounded beliefs about electrical circuits: the case of Ohm's law. *International Journal Science Education*, 18(2), pp. 193-212.
- MILLAR, R. y KING, T. (1993). Students' understanding of voltage in simple series circuits. *International Journal Science Education*, 15(3), pp. 339-349.
- OLIVA, J.M. (1994). «Influencia de las variables cognitivas en la construcción de conocimientos de mecánica. Un estudio empírico y un análisis computacional». Tesis doctoral. UNED, Madrid.
- OLIVA, J.M. (1996). Estudios sobre la consistencia de las ideas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 87-92.
- OSBORNE, R. y FREYBERG. (1991). *El aprendizaje de las ciencias*, Madrid: Narcea
- PINTÓ, R., ALIBERAS, J. y GÓMEZ, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 221-232.
- PONTES, A. (1999). «Aportaciones al estudio de las concepciones de los estudiantes sobre electromagnetismo y sus implicaciones en la didáctica de la física.» Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- PONTES, A., PEDRÓS, G. y BLANCA, A. (2000). «Análisis de dificultades de aprendizaje y desarrollo de materiales didácticos para la enseñanza de la física universitaria.» Proyecto de innovación educativa. Universidad de Córdoba. (En prensa).
- POZO, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- POZO, J. I. (1992). *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias*. Madrid: MEC.
- PRO, A. y SAURA, O. (1996). Una propuesta metodológica para la enseñanza de la electricidad y magnetismo en la educación secundaria. *Investigación en la Escuela*, 28, pp. 79-94.
- PRO, A. y SAURA, O. (1999). ¿Qué podemos mejorar de una propuesta de enseñanza de la electricidad para la ESO? *Alambique*, 19, pp. 27-38.
- PSILLOS, D., KOUMARAS, P. y TIBERGHEN, A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory

- teaching sequence on DC circuits. *International Journal Science Education*, 10(1), pp. 29-43.
- RIVAROSSA, A. y PERALES, J. (1998). La transformación de la pedagogía de los profesores universitarios de ciencias desde la reflexión: una propuesta innovadora. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 33, pp. 141-159.
- SEBASTIÁ, J.M. (1993). ¿Cuál brilla más?: Predicciones y reflexiones acerca del brillo de las bombillas. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), pp. 45-50.
- SHIPSTONE, D. et al. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal Science Education*, 10(3), pp. 303-316.
- SHIPSTONE, D. (1989). Electricidad en circuitos sencillos, en Driver, Guesne y Tiberghien (eds.). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, pp. 62-88. Madrid: Morata.
- 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.
- SOLBES, J., CALVO, A. y POMER, F. (1994). El futuro de la enseñanza de la física. *Revista Española de Física*, 8(4), pp. 45-49.
- 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.
- TOBIN, K., TIPPINS, D. y GALARD, A. (1994). Research on instructional strategies for teaching science, en Gabel (eds.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, pp. 3-44. Nueva York: McMillan.
- VARELA, P., MANRIQUE, M. y FAVIERES, A. (1988). Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 285-290.
- VÁZQUEZ, A. (1994). El paradigma de las concepciones alternativas y la formación de profesores de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), pp. 3-14.
- VIENNOT, L. y KAMINSKI, W. (1991). Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 39.
- WEEB, P. (1992). Primary science teachers' understandings of electric current. *International Journal Science Education*, 14(4), pp. 423-429.

[Artículo recibido en junio de 1999 y aceptado en diciembre de 1999.]

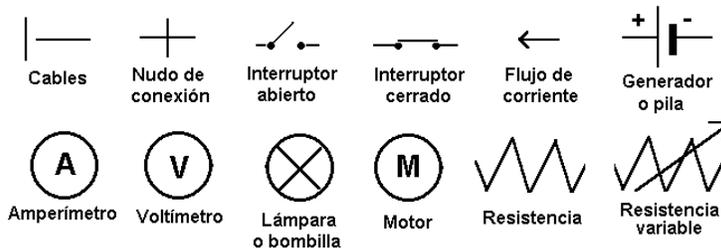
ANEXO
CUESTIONARIO SOBRE CIRCUITOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA

INSTRUCCIONES

– En las siguientes cuestiones sobre circuitos de corriente eléctrica hay que indicar el tipo de respuesta más apropiada, incluyendo a continuación una breve justificación de la misma. También hay que reflejar, en cada caso, el grado de seguridad en la respuesta elegida mediante un índice numérico comprendido entre 0 (seguridad mínima o nula) y 10 (seguridad o certeza máxima).

– En todas estas cuestiones se supone que las pilas son generadores ideales de tensión, sin resistencia interna, que proporcionan una tensión fija y el sentido de circulación de la corriente del generador es el convencional de los libros de texto. También se consideran ideales los voltímetros (resistencia interna infinita) y los amperímetros (resistencia interna nula) que aparecen en algunas cuestiones.

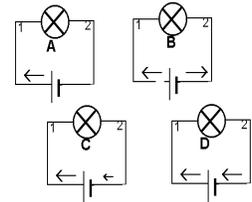
– En todas las cuestiones se incluyen dibujos o esquemas en los que los diversos elementos de un circuito se representan mediante unos símbolos que muestran a continuación:



1) Se han conectado los polos de una pila mediante los cables 1 y 2 a una lámpara. Indicar si la (intensidad de) corriente es mayor o menor en tales cables y predecir el sentido de circulación en ambos cables, cuando la lámpara está encendida.

- a) Sólo circula corriente en el cable 1 ____
- b) Hay corrientes iguales y opuestas en los cables 1 y 2 ____
- c) Hay corriente de igual sentido en ambos cables, pero menor en 2 que en 1 ____
- d) Circula igual corriente y en el mismo sentido en ambos cables ____
- e) Otra respuesta ...

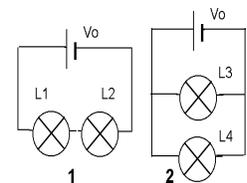
SEGURIDAD: ____ JUSTIFICACIÓN: ____



2) En los dos circuitos de la figura, todas las bombillas son iguales, ambos generadores son ideales y su tensión es V_0 en ambos casos. Predecir cómo será la iluminación que proporcionan las bombillas en ambos montajes.

- a) Mayor en montaje 1 ____
- b) Mayor en montaje 2 ____
- c) Igual en los montajes 1 y 2 ____
- d) Otra respuesta

SEGURIDAD: ____ JUSTIFICACION: ____

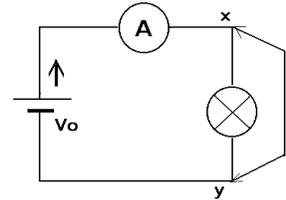


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

3) Si en el circuito de la figura se unen los puntos X-Y mediante un cable, predecir si experimenta algún cambio el brillo de la lámpara y la intensidad de corriente del amperímetro.

- El brillo de la bombilla no varía ____
- No circula corriente entre los puntos X-Y ____
- La intensidad de la corriente del amperímetro no cambia pero circula casi toda por el cable que hay entre X-Y ____
- La intensidad de corriente del amperímetro aumenta mucho y la bombilla no brilla ____
- Otra respuesta ...

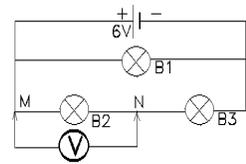
SEGURIDAD: ____ JUSTIFICACIÓN: ____



4) El circuito de la figura está formado por un generador ideal de tensión de 6 voltios y tres bombillas iguales. Si se funde la bombilla B2 (o se quita del casquillo), predecir el voltaje entre los puntos M y N que marcará el voltímetro.

- El voltaje no varía ____
- No hay voltaje ____
- Es el mismo del generador ____
- Es la mitad del generador ____
- Otra respuesta ...

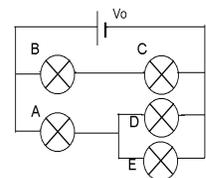
SEGURIDAD: ____ JUSTIFICACIÓN: ____



5) En el circuito de la figura, si todas las lámparas son iguales, indicar si el brillo de la lámpara A es mayor, menor o igual que el de la lámpara B.

- Las lámparas A y B brillan lo mismo ____
- La lámpara A brilla más que B ____
- La lámpara A brilla menos que B ____
- Otra respuesta ...

SEGURIDAD: ____ JUSTIFICACIÓN: ____



6) El circuito de la figura está formado por un generador ideal que produce un voltaje fijo V_0 , una resistencia fija R_1 y una resistencia variable (o reostato) R_2 . Los voltímetros V_1 y V_2 miden el voltaje o caída de tensión en cada una de las resistencias. Si la resistencia R_2 aumenta, predecir si cambia el voltaje que marcan V_1 y V_2 .

- Sólo sube el voltaje de V_2 ____
- Sólo baja el voltaje de V_2 ____
- Disminuye el voltaje de V_1 y V_2 ____
- Aumenta V_2 y disminuye V_1 ____
- Los voltajes V_1 y V_2 no varían ____
- Otra respuesta ...

SEGURIDAD: ____ JUSTIFICACIÓN: ____

