

Aportaciones de la didáctica de las ciencias y la historia de las ciencias a la enseñanza y el aprendizaje del electromagnetismo

Solbes, J.

CEP de Valencia

Pomer, F.

Dto. de Física Aplicada

Universitat de València

Tarín, F.

I.E.S. de Picassent

Resumen

En este trabajo se analizan algunas dificultades de los estudiantes del primer ciclo universitario en el aprendizaje de los conceptos básicos de electromagnetismo, constatándose que no todas ellas pueden atribuirse a sus ideas previas. Se muestra el papel que pueden jugar la didáctica de la física y la historia de la física en la detección de las causas de dichas dificultades.

Abstract

Some difficulties which university first cycle students experience in learning basic concepts of electromagnetism are analyzed in this paper. It is confirmed that some difficulties cannot

be attribute to students previous conceptions. It is shown the role that can play the didactic and the history of physics in the detection of the causes of these difficulties.

1. Introducción

La experiencia docente pone de manifiesto la existencia de problemas en el aprendizaje del electromagnetismo por parte de los estudiantes de primer ciclo, tanto a nivel introductorio (primero de Física, de Química, de Informática, etc.) como a nivel más avanzado (Electromagnetismo de 3º de Física).

Por ello el objetivo de este trabajo de experimentación y evaluación de innovaciones educativas, el problema que nos planteamos estudiar, es *ana-*

lizar el origen de las algunas de las dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de los conceptos básicos de electromagnetismo.

Aunque parte de estos problemas puedan ser debidos a la implantación del nuevo plan de estudios (por ejemplo, la Electricidad de los químicos ha pasado de 2º a 1º y se han reducido sensiblemente el número de créditos, etc.), hay problemas que son semejantes a los que tenían los estudiantes del anterior plan de estudios y de otros niveles educativos, en este país y en otros de nuestro entorno.

En efecto, existen múltiples trabajos de investigación en didáctica de las ciencias que están poniendo en evidencia situaciones en las que porcentajes elevados de alumnos se muestran incapaces de llevar a cabo tareas, actividades, etc., de física correctamente, aunque se les haya explicado de una forma reiterada.

Estos errores se han atribuido a ideas previas o preconcepciones de los estudiantes, debidas a:

–Los intentos de explicar y predecir lo que ocurre a su alrededor, en su entorno natural y técnico, que realizan desde su infancia. Por ejemplo, en la experiencia cotidiana para mover un cuerpo es necesario aplicarle una fuerza, por ello no es de extrañar que cuando se solicita a estudiantes (e incluso profesores) que representen las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento, un elevado porcentaje de

ellos represente una fuerza en la dirección de dicho movimiento.

–El uso de términos científicos, como trabajo, fuerza, energía, etc., en el lenguaje ordinario con significados diferentes y ambiguos. Por ejemplo, en el hogar, los medios de comunicación, etc., se insiste en la necesidad de no gastar energía, de ahorrarla, etc., mientras que en las clases de física se explica que la energía se conserva.

Pero se dan también concepciones erróneas en otros campos, como por ejemplo, muchos de los temas de la física moderna, en los que los estudiantes ni tienen experiencias previas ni sus conceptos se utilizan en el lenguaje cotidiano. En este caso los errores pueden ser debidos a:

–Los errores introducidos en el proceso de enseñanza por los textos, los profesores, etc.

–La extrapolación de ideas de un campo de la ciencia a otro, por ejemplo, de la física clásica a la moderna (Gil y Solbes 1993).

–Las formas de razonamiento usuales de los estudiantes (Pozo 1989), a sus tendencias metodológicas habituales de extraer conclusiones precipitadas y de generalizar acríticamente a partir de observaciones cualitativas.

–La complejidad del control de varias variables, de la interpretación de esquemas abstractos, etc.

Por ello, pensamos que el concepto de dificultad es más potente y de mayor aplicabilidad en los niveles superiores que el de idea previa, porque como ya hemos señalado hay muchos errores que no parecen ser producidos por concepciones previas debidas a experiencias, lenguaje, etc.

2. ¿Qué aportan la didáctica de las ciencias y la historia de las ciencias?

Una fuente que nos puede ayudar a detectar dificultades la enseñanza y aprendizaje de la electricidad y el magnetismo y sus posibles causas es la investigación en didáctica de las ciencias. Aunque existen múltiples trabajos de investigación sobre ideas previas y formas de razonamiento en el concepto de corriente eléctrica a niveles primario y secundario (como se puede ver en las recopilaciones de Driver et al 1989 y Hierrezuelo y Montero 1989), la labor desarrollada en otros aspectos de la electricidad y el magnetismo es escasa y más aún en lo que se refiere al nivel universitario.

Entre las dificultades en los niveles básicos se mencionan las siguientes:

–En el caso de intentos de explicar lo que ocurre en el entorno, los estudiantes identifican en la pila a un objeto en el que se almacena la electricidad, la corriente, la fuerza electromotriz, el voltaje, etc. Desde este agente “donante” parte este

“fluido” eléctrico hasta los elementos consumidores, como pueden ser las resistencias o los motores, en donde este fluido se “gasta” (modelo “donante-receptor”).

–En cuanto al lenguaje ordinario nos encontramos que términos como energía eléctrica, corriente, electricidad, fuerza, potencia, suelen ser considerados habitualmente como sinónimos, porque los adquirimos mucho antes de que se introduzcan en la educación formal y su uso dentro del contexto cotidiano no permite llegar a diferenciarlos.

–En el aspecto del razonamiento secuencial los estudiantes al intentar interpretar el funcionamiento de un circuito, considerarán que la pila suministra corriente de tal forma que ésta no se ve alterada por las modificaciones que puedan tener lugar en el circuito (cambiar una resistencia, etc.). De acuerdo con ello, los alumnos realizan razonamientos locales y parciales, sin considerar el circuito en su globalidad.

–Otra dificultad está relacionada con la traducción de esquemas eléctricos en montajes: existen alumnos de COU que ante una pila cilíndrica, resistencias y cables, no son capaces de montar un circuito elemental aunque hayan realizado este tipo de tareas en algún momento.

–En cuanto a dificultades conectadas con la enseñanza podemos

mencionar la utilización de analogías, por ejemplo, el circuito hidráulico. Pero los alumnos no son capaces de transferir las deducciones lógicas de un sistema físico a otro. También en el tratamiento didáctico habitual del concepto de campo no se ponen de manifiesto las limitaciones del concepto de fuerza para describir las interacciones entre masas o cargas (son a distancia e instantáneas). Por ello, el concepto de campo aparece como un artificio matemático para resolver situaciones estáticas; no se muestran las ventajas del de campo (supera los problemas que plantea el concepto de fuerza, explica los fenómenos electromagnéticos: inducción, ondas, etc.) (Solbes y Martín 1993).

Otra fuente que nos puede ayudar a detectar dificultades en el aprendizaje de los estudiantes es la propia historia de la física. En efecto, la investigación didáctica puso de manifiesto el paralelismo entre las preconcepciones científicas de los estudiantes y las concepciones vigentes en la historia de la ciencia. Éste paralelismo ha estado cuestionado, pero aún se pueden extraer semejanzas entre las resistencias, los obstáculos que se presentaron en el proceso histórico de construcción de los conocimientos y las que pueden dificultar el proceso individual de aprendizaje de esos conceptos (Driver et al 1989, Furió y Guisasola 1995, Saltiel y Viennot 1985).

Así, una breve historia de la introducción del concepto de campo pone de manifiesto que su génesis fue lenta y sinuosa (Berkson 1985, Harman 1990, Mason 1986, Taton 1972). Las dificultades que los científicos tuvieron que superar fueron, en primer lugar la superación del modelo newtoniano de interacción a distancia e instantánea. En segundo, la aceptación del campo como un ente físico, es decir, la idea de que los campos electromagnéticos pueden existir en regiones del espacio en las que no haya fuentes; que transportan energía, ímpetu y momento cinético; que tienen una existencia totalmente independiente de cargas y corrientes. De hecho, aunque se han reiterado algunos intentos de eliminar la referencia explícita a los campos en favor de una descripción de la interacción entre partículas basada en la acción a distancia, el concepto de campo electromagnético es una de las ideas más fructíferas de la Física, tanto clásica como mecanocuántica (Jackson 1980). También el alumnado tiene grandes dificultades en distinguir los conceptos de fuerza y campo (Solbes y Martín 1991).

Otro concepto en cuya asimilación aparecen dificultades es el de potencial. Aunque en gravitación sólo tiene un interés formal, en electricidad es una magnitud muy importante, puesto que se puede medir con gran facilidad y se utiliza en muchos dominios (electrostática, corriente continua, capacidad y condensadores, etc.). En cada uno de

estos dominios se introdujo independientemente. En efecto, hacia 1800 Volta introdujo el concepto de tensión para el electrómetro condensador. En 1813 Poisson, viendo la analogía entre la ley de Coulomb y la gravitación universal, introdujo el concepto de potencial relacionándolo con la fuerza, siguiendo la iniciativa de Lagrange (1772) y Laplace (1785). Por último, en 1826, Ohm introdujo la tensión en su conocida ley. Sólo en 1849 Kirchhoff fue capaz de identificar los 3 conceptos. El alumnado muchas veces tampoco es capaz de relacionar la diferencia de potencial en presencia de cargas con la ddp de la ley de Ohm y por ello es conveniente que el profesor plantee alguna cuestión o reflexión al respecto.

Todo ello pone de manifiesto los papeles que puede jugar la historia de la física en la enseñanza de la misma. No se trata, evidentemente, de contar la historia de los temas tratados porque el desarrollo de las ciencias es un proceso extraordinariamente complejo y, por ello, esto correspondería a una asignatura de "Historia de las ciencias" (Solbes y Traver 1996). Se trata, más bien, de:

- Extraer de los obstáculos y resistencias históricos información de las dificultades de los estudiantes.
- Poner de manifiesto las relaciones entre ciencia y sociedad, para lo cual una manera adecuada es el estudio histórico de casos que, ade-

más, puede despertar el interés de algunos estudiantes que no se sientan atraídos por los hechos y conceptos concretos de la ciencia (Fdez-Rañada 1995).

- La evolución histórica que ha conducido a un concepto nos permite comprenderlo, mientras que su presentación como principio sólo se puede entender cuando ya se sabe ciencia (Sánchez del Río 1985), situación que no es la usual en los estudiantes de bachillerato o primeros cursos universitarios.

3. *Diseño experimental*

Con el objeto de analizar algunas de las dificultades hemos elaborado un cuestionario para estudiantes. Previamente hemos elaborado los objetivos que se perseguían con cada uno de los ítems del cuestionario, así como los criterios de corrección de cada uno de los ítems. A continuación se ha pasado el cuestionario a algunos estudiantes de 3º de Física con los que después se han realizado entrevistas para analizar su validez (facilidad de comprensión de los ítems, coherencia de los resultados, etc.). Por último se han reelaborado unos objetivos y un cuestionario, que presentamos a continuación.

OBJETIVOS

Se trata de plantear ítems relativos a aspectos fundamentales y de plan-

tear que se pretende con cada ítem, que dificultad puede contribuir a detectar, etc.

Ítem 1. En él se pretende mostrar si los estudiantes saben utilizar la conservación de la carga en situaciones concretas. Los estudiantes pueden tener dificultad en comprender que se alcanza el equilibrio, no cuando se igualan las cargas, sino cuando se igualan los potenciales.

Ítem 2. En él se muestran algunos errores de los alumnos respecto al concepto de campo: no llegan a distinguirlo de la fuerza. Generalmente se asigna al campo el sentido de la fuerza y si no hay carga en el punto A no hay campo.

Ítem 3. Utilizándolo se puede ver si los alumnos comprenden la relación existente entre campo y potencial.

Ítem 4. Sirve para comprobar si los alumnos relacionan el potencial con el trabajo o con la energía potencial.

Ítem 5. Algunos alumnos tienen el error de considerar que la velocidad de los electrones en los conductores es como la de la luz o, por lo menos, muy grande.

Ítem 6. Los alumnos utilizan un razonamiento secuencial, sin considerar la totalidad del circuito. Si R' disminuye, la intensidad que pasa por ella aumenta y, por tanto, la intensidad que pasa por el amperímetro disminuye.

Ítem 7. Los estudiantes tienen dificultades con los criterios de signos en

la ley de Ohm generalizada. No la interpretan como una consecuencia de la ley de conservación de la energía y por ello no saben que $V_{ab} = V_{db}$.

Ítem 8. Se insiste de nuevo en el error de identificar fuerzas y campos, agravado esta vez con el error de afirmar que las partículas cargadas colocadas en campos magnéticos se ven sometidas a fuerzas independientemente de su estado de movimiento.

Ítem 9. Esta actividad pone de manifiesto la dificultad de la ley fuerzas de Lorentz, que implica el control de tres variables vectoriales: \mathbf{v} , \mathbf{B} y \mathbf{F} . Así mismo, puede que no comprendan que ambas observaciones son compatibles.

Ítem 10. Esta actividad permite mostrar la dificultad que tienen los estudiantes para realizar síntesis. Incluso aunque no se hayan utilizados los conceptos de flujo y circulación, se puede tener una visión de estos aspectos a partir de las líneas de campo. Entre las analogías se puede mencionar la dependencia de la intensidad de campo del medio, de la distancia y de las fuentes (ya sean cargas o corrientes). En cuanto a las diferencias cabe mencionar el carácter conservativo del campo eléctrico \mathbf{E} y el no conservativo del magnético \mathbf{B} (o más formalmente, que existen E_p y V eléctricos, pero no magnéticos o que la circulación a lo largo de cualquier curva cerrada del campo \mathbf{E} es 0 y la de \mathbf{B} distinta de 0). Por otra parte las

líneas de campo **E** tienen fuentes y sumideros, en cambio las líneas de **B** son cerradas, es decir, no existen monopolos magnéticos o, alternativamente, que el flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada es distinto de 0 si hay **Q** dentro mientras que siempre es nula para el campo magnético.

Ítem 11. Aunque no aparecen muchas ideas en la literatura al respecto, cabe pensar que las dificultades residen en que es necesario controlar varias variables: velocidades, flujos, fuerzas electromotrices, intensidades.

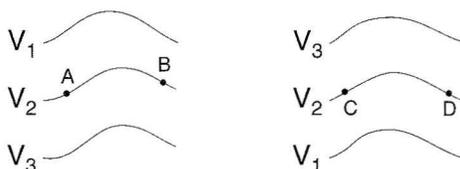
Ítem 12. Aunque los estudiantes puedan señalar fácilmente que ambas son ondas electromagnéticas, quizá no sepan justificarlo, señalando que ambos son campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí y que varían con el tiempo y que ambas se diferencian en la longitud de onda, la frecuencia, la energía transportada, etc.

CUESTIONARIO

- Dos esferas de radio $r_2 = 2r_1$ y con cargas Q_1 y Q_2 se ponen en contacto. Determinar las cargas y potenciales después del contacto si:
 - $Q_1=Q$ y $Q_2=0$;
 - $Q_1 = Q_2 = Q$.
- Dibuja el vector intensidad de campo creado por una carga $Q = + 2 \text{ C}$ en el punto A en los tres casos siguientes:
 - En A hay una carga $q = + 1 \text{ C}$.
 - En A hay una carga $q = - 1 \text{ C}$.
 - En A no hay nada.

- a) $\begin{matrix} \cdot & \cdot \\ Q & A \end{matrix}$ b) $\begin{matrix} \cdot & \cdot \\ Q & A \end{matrix}$ c) $\begin{matrix} \cdot & \cdot \\ Q & A \end{matrix}$

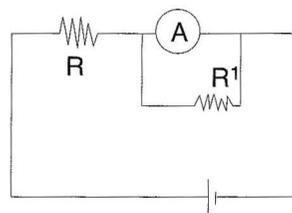
- En las 3 superficies equipotenciales de la figura, donde $V_1 > V_2 > V_3$, representar el vector campo eléctrico en los puntos A, B, C y D.



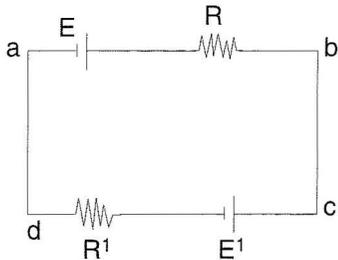
- ¿Que significado físico tiene la idea de que el potencial eléctrico en un punto A próximo a una carga Q es de 4 V?
- ¿Cuál es la velocidad (de arrastre) de los electrones en un circuito de corriente continua?
 - $4.4 \cdot 10^4 \text{ m/s}$
 - $7.4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
 - $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 - 66 m/s .

Elige una opción y justificala.

- ¿Qué sucederá con el valor del amperímetro A cuando disminuya el valor de R ? Justifícalo.



7. Sea el circuito de la figura. ¿Que diferencia de potencial existe entre a y b? ¿Y entre d y c? ¿Existe alguna relación entre ambas?



8. Tenemos un conductor metálico por el que circula una corriente rectilínea cuyo sentido es saliendo del papel. Dibuja el vector intensidad de campo en el punto A en los tres casos siguientes: a) en A hay una carga $q = +1\text{ C}$, b) en A no hay nada, c) en A hay una carga $q = +1\text{ C}$ moviéndose a velocidad v .

- a) A q b) A c) A q $o \rightarrow v$

 conductor

9. Tenemos dos cargas eléctricas idénticas que se desplazan paralelamente según indica la figura:

$$q \oplus \rightarrow v$$

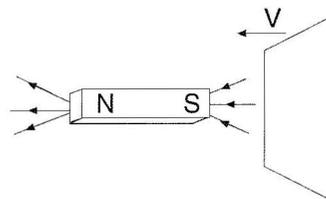
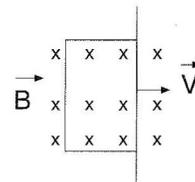
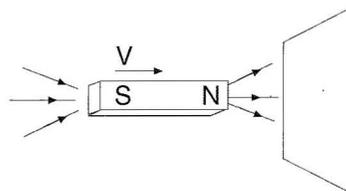
$$q \oplus \rightarrow v$$

Consideremos dos observadores O y O'. El observador O es externo al sistema y está en reposo. O' está situado sobre una de las cargas y se mueve con ella a la misma v constante. Por tanto ambos son inerciales.

- a) ¿Qué fuerzas diría O que actúan entre las cargas?
 b) ¿Qué fuerzas diría O' que actúan entre las cargas?
 c) ¿Podrían ambos observadores ponerse de acuerdo en sus observaciones?

10. Señala analogías y diferencias entre un campo electrostático y un campo magnetostático.

11. Representar el sentido de la corriente inducida en los siguientes casos:



12. Existe alguna relación entre la luz visible y las ondas de radio. Justifícala.

4. *Presentación y análisis de resultados*

Este cuestionario se pasó, en primer lugar, a 112 estudiantes de 4 grupos de alumnos de 1º de Físicas, Químicas e Informática a finales de curso, cuando ya se les había impartido las ideas básicas de Electricidad y Magnetismo. Hubo problemas para conseguir más grupos, porque los profesores señalaban que disponían de muy poco tiempo (especialmente en 1º de Químicas). Se observa que pese a tratarse de 4 grupos, el número de estudiantes asistentes es muy reducido, como suele ser corriente en esas fechas. Y aunque se supone que a finales de curso quedan los mejores estudiantes, se puede comprobar que los porcentajes de respuestas correctas son muy bajos.

Con posterioridad se ha pasado a 58 estudiantes de 3º de Física en el primer trimestre del curso. Se constata que el

porcentaje de respuestas correctas sigue siendo muy bajo y, aunque hay una sensible mejora en los ítems 2, 4 y 9, se empeora en los 6 y 11.

En el ítem 1 se observa que muy pocos estudiantes utilizan la conservación de la carga y la igualación de potenciales para obtener el resultado correcto. Algunos escriben correctamente las expresiones de los potenciales de las esferas pero piensan que el equilibrio entre ellas tiene lugar cuando sus cargas son iguales. Pocos alumnos comprenden que el equilibrio se alcanza cuando coinciden los potenciales.

El ítem 2 había sido utilizado anteriormente con alumnos de BUP y COU (Solbes y Martín 1991). Como era previsible, el porcentaje de respuestas correctas es mayor que el obtenido con estudiantes de Secundaria. Generalmente se asigna al campo el sentido de la fuerza. Si no existe carga en el punto

Ítem	% 1º	s	% 3º	s	% Global	s
1	4.5	2.0	0.0	0.0	2.9	1.3
2	11.6	3.0	22.4	5.5	15.3	2.8
3	28.6	4.3	39.7	6.4	32.4	3.6
4	8.9	2.7	31.0	6.1	16.5	2.8
5	7.1	2.4	3.4	2.4	5.9	1.8
6	31.3	4.4	5.2	2.9	22.4	3.2
7	0.0	0.0	1.7	1.7	0.6	0.6
8	7.1	2.4	6.9	3.3	7.1	2.0
9	3.6	1.8	17.2	5.0	8.2	2.1
10	5.4	2.1	6.9	3.3	5.9	1.8
11	6.3	2.3	0.0	0.0	4.1	1.5
12	41.1	4.6	44.8	6.5	42.4	3.8

A, los alumnos consideran que no existe campo en dicho punto. De esta forma se pone de manifiesto que los estudiantes no llegan a distinguir entre campo y fuerza. Este hecho se debe a la presentación del concepto de campo como un artificio matemático para resolver situaciones estáticas. Normalmente tampoco se muestran las ventajas de la utilización del campo: la superación de los problemas que plantea el concepto de fuerza y la explicación de fenómenos electromagnéticos (inducción, ondas, etc).

Item 3. En algunas respuestas se dibuja el vector de intensidad de campo como tangente a las líneas de fuerza o en una dirección no perpendicular a ellas. En otros casos se asigna correctamente la dirección del vector pero no su sentido. Por último, en algunas respuestas no se ha situado el punto de aplicación del vector en los puntos A, B, C y D de la figura. En este caso se han considerado como respuestas correctas, utilizando un criterio de corrección benigno.

Item 4. Muy pocos alumnos relacionan la diferencia de potencial con el trabajo realizado o con la energía potencial. Algunos relacionan dichos conceptos de forma incompleta: omiten el valor unidad de la carga o no señalan el desplazamiento realizado por la misma. En otros casos se identifica la variación de potencial con la de energía, fuerza, trabajo, carga, fuerza electromotriz o campo eléctrico. También se señalan relaciones entre las distan-

cias de los puntos considerados o efectos como el paso de electrones de un punto a otro.

Item 5. Un elevado porcentaje de alumnos no contesta, pese a tratarse de un ítem de simple elección. Este hecho pone de manifiesto su inseguridad. Las respuestas erróneas más frecuentes corresponden a las opciones a) y c). Pocos alumnos eligen la d). La justificación de la respuesta correcta se realiza de forma errónea con argumentos de diferentes tipos: los valores de las otras opciones son muy grandes, los electrones oscilan en el conductor, el recorrido libre de los electrones es pequeño, etc.

Item 6. La mayoría de los alumnos utilizan un razonamiento secuencial, sin considerar la totalidad del circuito. Afirman que si R' disminuye, la intensidad I' que pasa por ella aumenta. Como $I = I' + I_a$, disminuye la intensidad I_a que pasa por el amperímetro. Los alumnos tampoco tienen en cuenta la disminución de la intensidad total del circuito ni la variación de la diferencia de potencial entre los bornes de R y R' .

Item 7. Muy pocos estudiantes contestan correctamente los tres apartados. La mayoría tiene dificultades en aplicar la ley de Ohm generalizada al circuito dado. También se observa una utilización incorrecta del criterio de signos de la ley de Ohm. Este hecho puede ser debido a que dicha ley no se interpreta como una consecuencia de la ley de conservación de la energía y

se intenta recordar memorísticamente. Un porcentaje menor de alumnos desconoce que la diferencia de potencial entre los puntos a y b coincide con la que existe entre d y b.

El ítem 8 también fue utilizado con alumnos de tercer curso de BUP y de COU (Solbes y Martín 1991). Ningún estudiante de los niveles citados fue capaz de dar una respuesta correcta. En esta ocasión existe un porcentaje muy reducido de alumnos que contestan correctamente. Este hecho pone de manifiesto el error de identificar fuerzas y campos. Dicho error se agrava al afirmar que las partículas cargadas situadas en campos magnéticos se ven sometidas a fuerzas independientemente de su estado de movimiento.

En el ítem 9 existe un porcentaje muy grande de respuestas en blanco. Algunas de las que se han considerado correctas señalan que, en un caso actuarían fuerzas eléctricas y magnéticas mientras que en el segundo existirían sólo las eléctricas. Otros alumnos señalan que no existe ninguna fuerza en ambas situaciones. En otras respuestas se indica que las fuerzas son las mismas en los dos casos. En un grupo de respuestas incorrectas se cita, en la primera situación, la existencia de una fuerza única con las denominaciones de fuerza eléctrica, de interacción, magnetostática, electromagnética, de Lorentz o de rozamiento. Si se indican dos fuerzas, aparecen genéricamente como fuerzas atractivas y repulsivas. Con respecto a la segunda situación se

encuentran respuestas que utilizan una fuerza de manera incorrecta (fuerza de Coulomb) o dos fuerzas de diversos tipos: eléctrica y magnética; repulsiva y centrífuga. Esta actividad pone de manifiesto la dificultad de la ley de Lorentz, que implica el control de tres variables vectoriales: la velocidad, el campo magnético y la fuerza.

Ítem 10. Esta actividad permite mostrar la dificultad que tienen los estudiantes para realizar síntesis. Muy pocos estudiantes mencionan correctamente dos analogías y dos diferencias de los campos eléctricos y magnéticos. Entre las diferencias erróneas se indica que el campo magnético es más débil que el eléctrico, la tridimensionalidad del campo magnético frente a la bidimensionalidad del eléctrico, la circulación de electrones en el campo eléctrico y de iones en el magnético, el carácter escalar del campo eléctrico frente al carácter vectorial del magnético, la naturaleza permanente del campo magnético y transitoria del eléctrico, etc. En la mayoría de las respuestas correctas se han utilizado los conceptos de flujo y circulación que facilitan la deducción de las diferencias entre los dos campos

Muy pocos estudiantes han contestado correctamente los tres apartados del ítem 11. El mayor porcentaje de respuestas correctas corresponde al apartado tercero seguido por el segundo. La mayoría de los estudiantes muestran una gran dificultad en la deducción del sentido de la corriente

inducida. Otros manifiestan dificultades de naturaleza diferente al dibujar para dicha corriente un sentido que no corresponden a la circulación de electrones por los conductores. Finalmente, en un grupo muy reducido de respuestas aparece una corriente inducida en el imán. Aunque no aparece información al respecto en la literatura, cabe pensar que las dificultades residen en el control simultáneo de variables: flujo, fuerza electromotriz y sentido de la corriente.

Item 12. En un porcentaje muy elevado de respuestas se señala que la luz y las ondas de radio son ondas electromagnéticas de frecuencia distinta. Algunos alumnos diferencian entre la naturaleza de onda electromagnética de la luz y de onda material de las ondas de radio. Otras respuestas hacen referencia al comportamiento ondacorpúsculo de ambas o no encuentran ninguna relación entre ellas.

5. Conclusiones

En primer lugar se comprueba que el porcentaje de respuestas correctas es muy bajo tanto en los alumnos de primer curso como en los de tercero, a pesar de haber recibido éstos dos años más de enseñanza formal.

Se constata la existencia de múltiples dificultades que, en muchos casos, no son debidas tanto a ideas previas cuanto a otros obstáculos. Por ejemplo, en el concepto de campo influye notablemente el tipo de enseñanza.

En los circuitos se observa una forma de razonamiento parcial que no tiene en cuenta la totalidad del circuito. Se observa así mismo que en los ítems relacionados con criterios de signos o de sentido (circuitos, inducción) el porcentaje de respuestas incorrectas es muy elevado. Quizá la dificultad radique, en este caso, en el hecho de que los estudiantes intentan recordar memorísticamente dichos criterios, en lugar de razonarlos físicamente (a partir de la conservación de energía o de la ley de Lenz).

En otros ítems (fuerza de Lorentz o inducción) la dificultad puede ser debida a que se exige el control simultáneo de muchas variables.

Por último, en algunos ítems se observa la dificultad de que los estudiantes realicen síntesis y, en otros, un recurso al mero formulismo.

6. Referencias bibliográficas

- BERKSON W, 1985, *Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein*, Alianza : Madrid.
- DRIVER R, GUESNE E Y TIBERGHIE A, *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid : Morata y M.E.C, 1989.
- FDEZ-RAÑADA A, 1995, *Los muchos rostros de la ciencia*, Nobel : Oviedo
- FURIÓ C Y GUIASOLA G, 1993, ¿Puede ayudar la historia de la ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de

- carga y potencial eléctrico?, *Revista Española de Física*, 7 (3), 46-50.
- GIL D y SOLBES J, 1993, The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science, *International Journal of Science Education*, 15 (3), 255-260.
- HARMAN P.M, 1990, *Energía, fuerza y materia*, Alianza : Madrid.
- JACKSON J.D., 1980, *Electrodinámica clásica*, Alhambra : Madrid.
- HIERREZUELO J Y MONTERO M, 1989, *La ciencia de los alumnos*, Laia y MEC, Barcelona .
- MASON S.F, 1986, *Historia de las ciencias*, vol. 2, 3 y 4, Alianza : Madrid.
- POZO J I, 1992, *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias*. Curso de actualización científica y didáctica, Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.
- SALTIEL E Y VIENNOT L, 1985, ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?, *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 137-145.
- SÁNCHEZ DEL RÍO C, 1985, *Los principios de la física en su evolución histórica*, Editorial de la Universidad Complutense, Madrid.
- SOLBES J Y MARTÍN J, 1991, Análisis de la introducción del concepto de campo, *Revista Española de Física*, 5, 34-40.
- SOLBES J y TRAVER M, 1996, La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química, *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 103-112.
- TATON R, 1972, *Historia general de las ciencias*, vol. 2 y 3, Destino, Barcelona.