



Para citar este artículo, le recomendamos el siguiente formato:

Bohigas, X. y Periago, C. (2010). Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de ingeniería sobre la Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 12 (1). Consultado el día de mes de año en: <http://redie.uabc.mx/vol12no1/contenido-bohigas.html>

Revista Electrónica de Investigación Educativa

Vol. 12, No. 1, 2010

Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de Ingeniería sobre la Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico¹

Alternative Mental Models of Second-Year Engineering Students for Coulomb's Law and the Electric Field

Xavier Bohigas (*)

xavier.bohigas@upc.edu

María Cristina Periago (*)

cristina.periago@upc.edu

*Departament de Física i Enginyeria Nuclear
Universitat Politècnica de Catalunya

Diagonal, 647. 08028
Barcelona, España

(Recibido: 2 de septiembre de 2009; aceptado para su publicación: 9 de diciembre de 2009)

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo identificar los modelos mentales que aplican los estudiantes al iniciar el segundo curso de ingeniería cuando utilizan la Ley de Coulomb y el concepto de *campo eléctrico* para interpretar fenómenos electrostáticos. Los resultados obtenidos indican que la mayoría de los estudiantes no aplica correctamente la simetría

de la Ley de Coulomb. En general, el modelo mental de los estudiantes es coherente, pero no se ajusta al modelo aceptado científicamente. El modelo mental del estudiante confunde el concepto de campo eléctrico con el de fuerza entre cargas.

Palabras clave: Modelos mentales, ideas previas, formación de ingenieros.

Abstract

The objective of the present study is to identify the mental models applied by students using Coulomb's law and the electric field concept to interpret electrostatic phenomena at the beginning of a second-year engineering course. Results indicate that most students do not correctly apply the symmetry of Coulomb's law. Although they have a coherent mental model, their version is not consistent with that which is scientifically accepted, and they confuse the concept of the electric field with the force between charges.

Key words: Mental models, alternative conceptions, engineering education.

Introducción

La mente no es una hoja en blanco donde se puede ir colocando continuamente información y datos de manera arbitraria. Cualquier información nueva que una persona recibe interactúa con lo que ya sabe, generándose nuevos significados. Este proceso, que se podría definir como aprendizaje, implica la construcción y asimilación de modelos mentales simplificados de la realidad.

Un modelo mental es una construcción mental, interna, formada por un conjunto de leyes, pautas y secuencias lógicas que los estudiantes utilizan para interpretar la realidad (Greca y Moreira, 2001). De la observación y el estudio de la realidad, el estudiante, mediante un proceso de modelización interna, construye el modelo mental que le permite dar explicación coherente, desde su punto de vista, a los fenómenos físicos. Esta modelización interna es abierta, evoluciona con el tiempo y es susceptible de ser modificada a partir de nuevas experiencias e información.

El proceso de modelización implica una reestructuración de los conocimientos previos para poder adaptar los nuevos conceptos e ideas, y requiere más o menos tiempo dependiendo de la complejidad del modelo, de los conocimientos previos y de la concordancia entre el modelo y la realidad. Por tanto, la construcción de los modelos mentales está muy relacionada con las ideas alternativas de los estudiantes. Frente a una situación nueva, el estudiante pone a prueba su modelo, si éste da respuesta al nuevo fenómeno quedará reforzado, pero si no da una explicación convincente puede generar la necesidad de modificarlo. Este modelo normalmente es diferente al modelo científico que da la explicación actual a la realidad. La tarea del profesorado es promover actividades que provoquen que el modelo mental de los estudiantes se acerque al científico. Si así ocurre diremos que el estudiante avanza en el aprendizaje (Greca y Moreira, 1998; Gutiérrez, 2000).

Estamos de acuerdo con Ausubel cuando afirma: “El factor que más influencia tiene en la enseñanza es: que el que aprende ya sabe. Hay que investigar qué es y enseñar de acuerdo con ello” (Ausubel, 1968).

Si se pretende que los estudiantes aprendan, entendiendo el aprendizaje como un proceso de acercamiento al modelo científico, los profesores deben conocer los modelos mentales de los estudiantes para proponer actividades que contribuyan a modificar esos modelos.

En la investigación didáctica sobre ciencias experimentales se ha desarrollado en los últimos años una línea muy fructífera, tanto por la importancia que tiene para comprender la forma en la que se realiza el aprendizaje, como por su aplicación en el proceso de enseñanza. Se trata de analizar cuáles son los modelos mentales que utilizan los estudiantes para interpretar diferentes fenómenos físicos. Las ideas previas y esquemas tienen una gran relación con los errores conceptuales de los estudiantes de cualquier nivel educativo, a pesar de haber recibido enseñanza formal sobre el tema durante varios años. La persistencia de estas ideas alternativas de los alumnos, no compatibles con los puntos de vista científicos, ha estimulado numerosos estudios sobre su influencia en los resultados del aprendizaje (Brown, 1992; Campanario y Otero, 2000; Clement, Brown y Zietsman, 1989; Furió y Guisasola, 1998; Periago y Bohigas, 2005).

Se ha comprobado que rara vez la exposición de las ideas científicas “correctas” provoca que los alumnos abandonen sus esquemas previos, los cuales suelen permanecer inalterados después de largos períodos de enseñanza, e incluso conviven con las ideas científicas. Ocurre así incluso después de haber recibido una formación basada en programas específicos para modificar las ideas previas (Furió y Guisasola, 2003).

Aunque los errores conceptuales pueden tener diversas procedencias, generalmente deben ser considerados como la presencia de modelos mentales inadecuados y no sólo como consecuencia de una falta de conocimientos.

La enseñanza en general, y en particular la de la Física, no favorece la construcción de modelos mentales. Al revisar los libros de texto se puede observar que las teorías aparecen resumidas en forma de una expresión matemática que se denomina Ley. Presentar a los estudiantes una serie de postulados, y a partir de ellos escribir una ley matemática no implica que comprendan los fenómenos que la teoría explica.

En Física, en el campo la Mecánica es donde abundan los estudios sobre errores conceptuales, sobre todo en la relación entre fuerza y movimiento (McDermott y Redish, 1999). Otro campo que es objeto de frecuentes investigaciones didácticas es el de la Teoría de circuitos, entendiendo como tal los conceptos básicos de intensidad de la corriente eléctrica, diferencia de potencial y resistencia, así como la relación fundamental entre ellos, expresada a través de la Ley de Ohm

(Shipstone, 1984; Cohen, Eylon y Ganiel, 1983; Benseghir y Closset, 1996; Periago y Bohigas, 2005).

En estos estudios se muestran las dificultades que tienen los estudiantes para relacionar las magnitudes electrocinéticas con las magnitudes electrostáticas que originan el movimiento de las cargas. En este sentido, una comprensión clara de los conceptos básicos de la Electroestática parece esencial para poder adquirir una visión científica de todos los fenómenos electromagnéticos.

El objetivo principal de esta investigación fue identificar los modelos mentales que utilizan los estudiantes de segundo curso de Ingeniería para explicar cuestiones teóricas sobre la Ley de Coulomb y el campo eléctrico.

Método

Se parte del supuesto de que la forma en que los estudiantes piensan y razonan se refleja en lo que escriben y dibujan. Para detectar los modelos mentales que utilizan los estudiantes se les propuso un formulario con cuatro preguntas, todas ellas relacionadas con los conceptos más básicos de Electroestática: la Ley de Coulomb y el campo eléctrico. Las preguntas se eligieron de manera que su resolución no consista en la mera aplicación numérica de las leyes y los procedimientos típicos, sino que se utilicen los conceptos de campo eléctrico y de fuerza de Coulomb de manera que el alumno manifieste sus ideas sobre ellos, así como sus relaciones. El formulario, tal como se presentó a los alumnos, se encuentra en el Anexo 1.

El estudio se realizó con estudiantes de segundo curso de Ingeniería Industrial e Ingeniería Química, las dos titulaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña (España).

Al inicio del curso, el cuestionario se pasó a los alumnos de la asignatura de Electromagnetismo (133 estudiantes en total), una asignatura troncal obligatoria correspondiente al cuarto cuatrimestre de la titulación en las dos ingenierías. Se debe enfatizar el hecho de que los alumnos que llegan al segundo curso han superado un primer curso que es selectivo; ningún alumno puede cursar el tercer cuatrimestre si no ha superado los dos primeros en un período máximo de dos años.

En los dos cuatrimestres correspondientes al primer curso los alumnos han cursado, entre otras, dos asignaturas de Física (Mecánica y Termodinámica) y cuatro de Matemáticas (Cálculo Diferencial e Integral, Álgebra y Geometría). Por otra parte, es necesario resaltar que estos alumnos ya han recibido una instrucción previa en bachillerato sobre los contenidos de Electroestática que se analizan en este trabajo.

Los alumnos, objeto de este estudio, pueden ser clasificados dentro de un nivel académico medio-alto. Por una parte pasaron la fase selectiva de la titulación de

Ingeniería (sólo 60% de los estudiantes de primer curso la superan), y por otra son alumnos que han superado la prueba de nivel que se realiza al final del bachillerato (la nota obtenida por los estudiantes en los últimos años en esta prueba ha sido superior a 6.5 puntos sobre 10).

Resultados

En la pregunta Q1 los estudiantes debían decir cuál es la fuerza de interacción electrostática entre dos esferas cargadas, una con una carga triple que la otra. El objetivo de la pregunta era comprobar si los estudiantes tenían clara la simetría de la Ley de Coulomb, es decir, que la fuerza que ejerce la carga A sobre la carga B es igual a la fuerza que ejerce la carga B sobre la carga A. En definitiva, es la particularización de la ley de la acción y la reacción de la Mecánica en un contexto electrostático (Galili, 1995).

En la pregunta Q2 se quería comprobar si los estudiantes aplican correctamente la Ley de Coulomb. Para ello se les presentaron dos esferas con el mismo peso, una con una carga doble que la otra, colgadas de sendos hilos. Debido a la repulsión electrostática las esferas se separan de la posición vertical. Los estudiantes debían indicar cuál sería la posición de equilibrio (ver Anexo 1). Los resultados correspondientes a estas dos preguntas se muestran en las tablas I y II.

Tabla I. Número de respuestas correspondientes a cada categoría para la pregunta Q1. La respuesta correcta es la 5

Q1	1	2	3	4	5	6	Total
Núm	6	43	61	2	20	1	133
%	4.5%	32.3%	45.9%	1.5%	15.0%	0.8%	100%

Tabla II. Número de respuestas correspondientes a cada categoría para la pregunta Q2. La respuesta correcta es la b

Q2	a	b	c	Total
Núm	25	32	76	133
%	18.8%	24.1%	57.1%	100%

Respecto a la pregunta Q1, el resultado es sorprendente, pues sólo 20 de los 133 estudiantes (15.0%) respondió correctamente. Casi todas las respuestas indican, de forma acertada, los sentidos de las fuerzas, es decir, fuerzas de repulsión y, por tanto, de sentidos contrarios. Cabe destacar que 8 estudiantes (6%) respondieron que las dos fuerzas tienen el mismo sentido (respuestas Q1, 1 y Q1, 4).

La mayoría de los estudiantes escogió una de las respuestas en las que los módulos de las fuerzas son diferentes, una el triple de la otra. Algunos (32.3%) consideran que “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor” (respuesta Q1, 2), y otros (45.9%) justo lo contrario, que “la carga mayor ejerce una fuerza mayor” (respuesta Q1, 3).

Respecto a la Q2, la respuesta correcta (la separación relativa respecto la vertical es la misma para las dos esferas), la escogieron sólo 32 estudiantes, es decir 24.1%. La mayoría de las respuestas, 57.1% (respuesta Q2,c), se inclinan hacia el esquema en el que la carga menor se separa un ángulo doble respecto a la carga mayor. De hecho, la idea subyacente al escoger esta posición es que “la carga mayor ejerce una fuerza mayor”. Un 18.8% escogió la otra posibilidad (respuesta Q2,a), esto es, que la carga mayor se separa un ángulo más grande que la otra esfera, es decir, que “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor”.

Es interesante correlacionar las respuestas dadas en Q1 y Q2, para ver la coherencia de las respuestas y, por tanto, si corresponden a un modelo de razonamiento coherente. Para ello se elaboró la tabla de contingencia entre Q1 y Q2 (Sánchez Carrión, 1984). Una tabla de contingencia muestra el número de casos correspondientes a cada categoría. En la Tabla III se muestra la frecuencia de cada combinación de respuestas correspondientes a las preguntas Q1 y Q2.

Tabla III. Contingencia para Q1 y Q2

		Q2			Total
		a	b	c	
Q1	1	3 2.3%	1 0.8%	2 1.5%	6 4.5%
	2	17 12.8%	6 4.5%	20 15.0%	43 32.3%
	3	3 2.3%	7 5.3%	51 38.3%	61 45.9%
	4	0 0.0%	0 0.0%	2 1.5%	2 1.5%
	5	1 0.8%	18 13.5%	1 0.8%	20 15.8%
	6	1 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.8%
Total		25 18.8%	32 24.1%	76 57.1%	133 100%

En la Tabla III se ve que sólo 18 estudiantes (13.5%) respondieron correctamente a las dos preguntas sobre la acción entre cargas (Q1, 5 y Q2, b). Por otra parte, hay 51 estudiantes respondieron Q1, 3 y Q2, c; es decir, que escogieron dos opciones coherentes, pues en los dos casos consideraron que “la carga mayor ejerce una fuerza mayor”. También hay 17 estudiantes que escogen respuestas

coherentes, es decir la Q1, 2 y la Q2, a que corresponden al modelo “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor”. Aunque se debe resaltar que 20 de los 43 estudiantes que escogieron la opción Q1, 2 se inclinaron por la opción Q2, c; parece que invierten el razonamiento en la segunda situación.

Tomando en cuenta sólo la tabla de contingencia no se puede afirmar si las diferencias entre las frecuencias de cada combinación de respuestas son reales o se deben a una variación aleatoria. Para ello se realizaron los tests chi-cuadrado cuyos resultados se presentan en la Tabla IV.

Tabla IV. Tests Chi-cuadrado para Q1 y Q2

	Valor	Nivel de significación
Chi-cuadrado de Pearson	87.6	$1.6 \cdot 10^{-14}$
Razón de verosimilitud	79.4	$1.6 \cdot 10^{-14}$
Número de casos	133	

El valor del nivel de significación es claramente inferior a 0.05, lo que indica que existe una alta correlación entre las dos respuestas escogidas.

Las medidas direccionales pueden indicar la dirección de la máxima correlación entre las respuestas a las dos preguntas. En la Tabla V se indican los valores del parámetro Lambda, así como su nivel de significación para cada una de las direcciones de correlación posibles.

Tabla V. Medidas direccionales para Q1 y Q2

	Dirección	Valor	Nivel de significación
Lambda	Simétrica	0.341	$4.2 \cdot 10^{-6}$
	Q1 dependiente	0.347	$8.2 \cdot 10^{-5}$
	Q2 dependiente	0.333	$5.7 \cdot 10^{-5}$

El valor de Lambda está comprendido entre 0 y 1, e indica la proporción en la cual se reduce el error en la predicción del valor de una de las dos variables, cuando se conoce previamente el valor de la otra variable. En este caso los tres valores de Lambda son muy similares (34% en promedio) y sus niveles de significación muy bajos (claramente inferiores a 0.05). Esto indica que hay una fuerte correlación entre las respuestas dadas por los alumnos a las dos preguntas.

La siguiente pregunta del cuestionario se propuso con la intención de comprobar si los estudiantes entienden el concepto de campo eléctrico como una característica de la carga fuente del campo o lo interpretan como la interacción entre cargas. En la pregunta Q3 se pidió a los estudiantes que dibujaran el vector que representa el

campo eléctrico creado por una carga puntual positiva Q en un punto del espacio en tres situaciones diferentes. En la primera situación, en el punto donde deben representar el campo existe otra carga positiva ($+q$), en la segunda situación la carga de prueba es negativa ($-q$), y en la tercera situación no hay ninguna carga en el punto.

Sólo 9 estudiantes de los 133 encuestados (6.8%) dibujó un esquema correcto, mientras que la mayoría (101 estudiantes, 75.9%) optó por un esquema alternativo en el que representaron el campo eléctrico creado por la carga Q según sea la carga situada en el punto A (ver Figura 1).

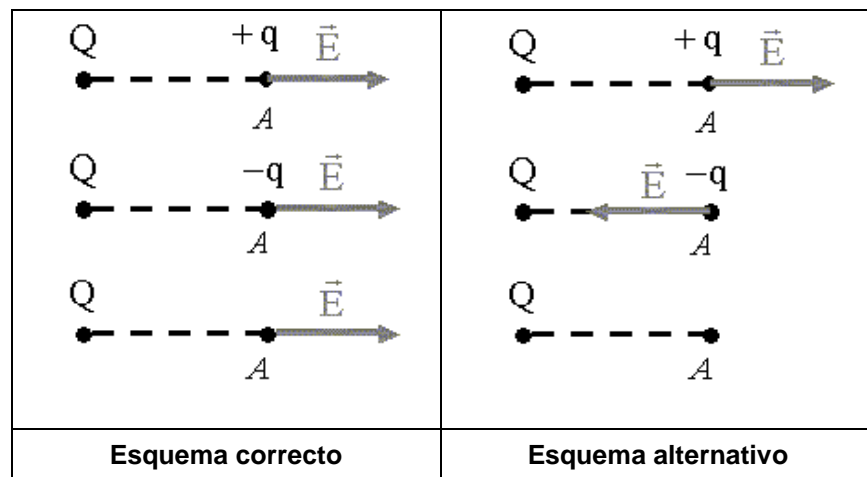


Figura 1. Representación correcta del campo eléctrico en tres situaciones diferentes (Q3), y esquema alternativo respondido por la mayoría de los estudiantes encuestados

Este esquema alternativo indica que los estudiantes asocian la existencia de campo eléctrico en un punto a la presencia de carga en dicho punto, y no lo entienden como una propiedad intrínseca de la carga fuente. Es decir, trasladan las propiedades de la fuerza de interacción electrostática entre cargas al campo eléctrico creado por una carga. Por esta razón, cuando en el punto A no hay carga, tampoco creen que existe campo eléctrico creado por la carga Q .

Cabe destacar que 15 estudiantes (11.3%) dibujaron un esquema diferente a los dos mostrados en la Figura 1. Los vectores correspondientes a las dos primeras situaciones los representaron como en el esquema alternativo, pero en la tercera situación (cuando no hay ninguna carga en el punto A) también dibujaron un vector igual que en la primera situación. Parece que el hecho de que no exista una carga en el punto A les hizo pensar y dibujar un campo, pero no reflexionaron lo suficiente como para modificar el esquema de la segunda situación.

En el resto de las respuestas, 8 estudiantes (6.1%) dibujaron esquemas confusos que no parecen seguir ningún razonamiento claro.

Como conclusión, se puede afirmar que, al iniciar el segundo curso de ingeniería, la mayoría de los estudiantes asocia la existencia de campo eléctrico creado por una carga puntual en un punto del espacio a la presencia de una carga de prueba en dicho punto, y el sentido del campo viene determinado por el signo de ésta. En definitiva, existe una confusión clara entre el campo eléctrico creado por una carga puntual y la fuerza de interacción entre cargas.

En la pregunta Q4 se planteó una situación en la que se pedía a los estudiantes dos comparaciones. Primero, que compararan el campo eléctrico creado por una carga en el punto donde se sitúa otra carga mayor, con el campo creado por esta segunda carga en el punto donde está situada la primera. Y, segundo, que hicieran la misma comparación con la fuerza electrostática que actúa sobre cada una de las dos cargas. Se trata de comparar la fuerza electrostática y la intensidad del campo creado por dos cargas diferentes, en puntos situados a la misma distancia de cada una de las cargas (ver Anexo 1). Los resultados se presentan en las Tablas VI y VII.

Tabla VI. Número de respuestas correspondientes a cada categoría para la cuestión Q4-I. La respuesta correcta es la Q4-I (b)

Q4-I	a	b	c	Total
Núm	20	102	11	133
%	15.0%	76.7%	8.3%	100%

Tabla VII. Número de respuestas correspondientes a cada categoría para la cuestión Q4-II. La respuesta correcta es la Q4-II (c)

Q4-II	a	b	c	Total
Núm	11	74	48	133
%	8.3%	55.6%	36.1%	100%

A la primera pregunta, Q4-I, sobre la intensidad del campo eléctrico respondieron correctamente 102 estudiantes (76.7%) (respuesta Q4-I,b), un alto porcentaje si se tienen en cuenta las respuestas dadas en otras situaciones planteadas en el mismo cuestionario. Pero a la segunda pregunta, Q4-II, sobre la fuerza de Coulomb, el número de respuestas correctas disminuye drásticamente, ya que sólo 48 estudiantes (36.1%) respondió correctamente (respuesta Q4-II,c). La mayoría (74 estudiantes, 55.6%) considera que “la carga mayor ejerce una fuerza mayor” (respuesta Q4-II,b), y 11 estudiantes (8.3%) consideran que “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor” (respuesta Q4-I,a). Todo indica que se repite el razonamiento señalado en párrafos anteriores, al comentar los resultados de las preguntas Q1 y Q2.

Es interesante intentar correlacionar los resultados obtenidos en Q4-I y Q4-II, para ver la coherencia de las respuestas y, por tanto, si corresponden a un modelo de razonamiento coherente. Para ello se elaboró la Tabla VIII de contingencia entre Q4-I y Q4-II, en la que se muestra la frecuencia de cada combinación de respuestas.

Tabla VIII. Contingencia para Q4-I y Q4-II

		Q4-II			Total
		a	b	c	
Q4-I	a	3 2.3%	12 9.0%	5 3.8%	20 15.0%
	b	8 6.0%	60 45.1%	34 25.6%	102 76.7%
	c	0 0.0%	2 1.5%	9 6.8%	11 8.3%
Total		11 8.3%	74 55.6%	48 36.1%	133 100%

En la Tabla VIII se ve que sólo 34 estudiantes (25.6%) respondieron correctamente a las dos preguntas. La opción que escogió la mayoría de los estudiantes es la respuesta *b* para Q4-I y también la *b* para Q4-II. Es decir, que 60 estudiantes (45.1%) consideraron que el campo creado por la carga mayor es más intenso que el campo creado por la carga menor y que la fuerza que actúa sobre la carga mayor también es mayor.

Por tanto, se puede afirmar que 45.1% de la muestra razona que “como el campo en un punto es mayor que en otro punto, la fuerza aplicada sobre una carga también será mayor en el primer punto que en el segundo”. Olvidan el hecho de que la fuerza es una interacción entre cargas, si se quiere razonar utilizando la ley de Coulomb, o bien, entre el campo existente y la carga de prueba, si se utiliza el concepto de campo.

El razonamiento ya detectado se repite en las respuestas a las preguntas Q1 y Q2, en las que el estudiante cree que “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor”. Para comprobar la coherencia del razonamiento se calculó la tabla de contingencia entre Q1 y Q4-II (Tabla IX) y entre Q2 y Q4-II (Tabla X).

Tabla IX. Contingencia para Q1 y Q4-II

		Q4-II			Total
		a	b	c	
Q1	1	2 1.5%	2 1.5%	2 1.5%	6 4.5%
	2	6 4.5%	26 19.5%	11 8.3%	43 32.3%
	3	2 1.5%	42 31.6%	17 12.8%	61 45.9%
	4	0 0.0%	2 1.5%	0 0.0%	2 1.5%
	5	1 0.8%	2 1.5%	17 12.8%	20 15.8%
	6	0 0.0%	0 0.0%	1 0.8%	1 0.8%
Total		11 8.3%	74 55.6%	48 36.1%	133 100%

De la Tabla IX vemos que sólo 17 estudiantes (12.8%) respondieron de forma correcta a las preguntas relacionadas con la fuerza de interacción entre partículas cargadas. Tal como están planteadas las preguntas se sugiere implícitamente que resuelvan las situaciones aplicando la ley de Coulomb en el primer caso (preguntas Q1 y Q2) y que utilicen el concepto de campo eléctrico en el segundo (pregunta Q4-II).

Se deduce, pues, que tanto la ley de Coulomb como el campo eléctrico no son conceptos que los estudiantes tengan bien asumidos. La opción Q1,3 y Q4-II,b corresponde a la idea de que “la carga mayor ejerce una fuerza mayor”, que respondieron 42 estudiantes (31.6%). Estas respuestas, si bien son incorrectas desde el punto de vista científico, serían coherentes desde el punto de vista del modelo cognitivo utilizado. También sería coherente que los estudiantes respondieran la opciones Q1,2 y Q4-II,a que corresponden a la idea recíproca “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor”, pero en este caso sólo respondieron 6 estudiantes (4.5%).

El valor del nivel de significación ($4.5 \cdot 10^{-5}$) indica que existe un alto grado de correlación entre las respuestas a las dos preguntas.

Así pues, si bien inicialmente se sugería la coherencia del modelo según el cual “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor”, parece que éste entra en crisis cuando los estudiantes deben resolver situaciones en las que previamente se sugiere que utilicen el concepto de campo eléctrico, como es el caso de la pregunta Q4.

El número de estudiantes que respondieron a Q1-3 es de 61 (45.9%), mientras que en la segunda pregunta, Q4-II, de los 74 estudiantes que escogieron la opción b,

que corresponde al modelo alternativo según el cual “la carga mayor ejerce una fuerza mayor”, sólo 42 estudiantes pertenecían al grupo de los que habían escogido la respuesta 3 en la cuestión Q1, y que corresponde al mismo modelo alternativo. Esta clara disminución puede deberse a la necesidad que han tenido los estudiantes de readaptar su modelo a ciertas situaciones después de reflexionar sobre el uso del concepto de campo eléctrico.

Tabla X. Contingencia para Q2 y Q4-II

		Q4-II			Total
		a	b	c	
Q2	a	5 3.8%	9 6.8%	11 8.3%	25 18.8%
	b	0 0.0%	14 10.5%	18 13.5%	32 24.1%
	c	6 4.5%	51 38.3%	19 14.3%	76 57.1%
Total		11 8.3%	74 55.6%	48 36.1%	133 100%

Como se observa en la Tabla X, hay 18 estudiantes (13.5%) que respondieron de forma correcta a ambas preguntas, Q2 y Q4-II. Es prácticamente el mismo porcentaje que en el caso de respuestas acertadas de la pareja Q1 y Q4-II. La mayoría de las respuestas de la Q2 (76 estudiantes, 57.1%) corresponde a la idea “la carga mayor ejerce una fuerza mayor”. De estas respuestas, 51 estudiantes (38.3%) eligieron la opción Q4-II,b que corresponde a la misma idea y, por tanto, constituye un modelo coherente, aunque diferente del aceptado por la comunidad científica.

Pero 19 estudiantes de los 76 que respondieron Q2,c en el momento de responder la cuestión Q4-II, optaron por la respuesta c, que es la correcta. Ello parece indicar que el hecho de sugerirles que resuelvan la situación planteada mediante el concepto de campo eléctrico, hace que modifiquen el modelo utilizado y esto les conduce a la resolución correcta. La cantidad de estudiantes que modifican su elección no es despreciable, pues representa el 25% de los que responden erróneamente la Q2, al seguir el modelo de “la carga mayor ejerce una fuerza mayor”.

Este resultado sugiere una posible estrategia para fomentar el aprendizaje de los conceptos de electrostática, basada en el planteamiento de situaciones en las que el modelo alternativo de los estudiantes entre en crisis y, por tanto, se vean en la necesidad de modificar su modelo.

Conclusiones

Los resultados de la investigación se ordenaron en cuatro grupos y, con ellos, se elaboró el esquema que se presenta en la Figura 2, con los cuatro modelos diferentes de aplicación de la Ley de Coulomb por parte de los estudiantes.

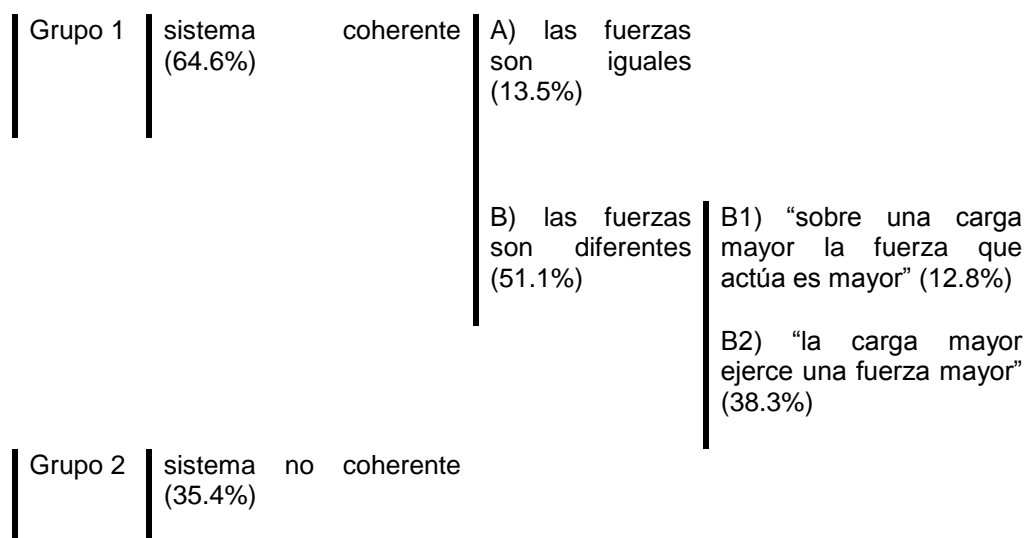


Figura 2. Diferentes modelos mentales de aplicación de la Ley de Coulomb de los estudiantes encuestados. El grupo 1-A corresponde al modelo científico actualmente aceptado

Teniendo en cuenta los porcentajes calculados en la Tabla II, se puede concluir que 64.6% de la muestra tiene un modelo mental coherente (grupo 1), frente a un 35.4% que tiene un modelo incoherente (grupo 2). Se entiende como *coherente* el modelo mental que es aplicado de la misma manera en situaciones diferentes, por ello este grupo incluye a aquellos estudiantes que han contestado Q1,5-Q2,b; Q1,2-Q2,a y Q1,3-Q2,c.

Un modelo coherente no significa que coincide con el modelo aceptado actualmente por la comunidad científica ni con el que se explica en los libros de texto.

El modelo correcto de la Ley de Coulomb, desde el punto de vista de la ciencia actual, sólo lo utilizó 13.5% del total de los encuestados (grupo 1A), un porcentaje muy bajo si se tiene en cuenta que los conceptos y relaciones no son, aparentemente, de gran complejidad.

De los estudiantes analizados, 51.1% (grupo 1B) tiene un modelo mental coherente pero diferente del científicamente aceptado. Este grupo se puede subdividir en dos: aquellos estudiantes, grupo B1, que piensan que "sobre una carga mayor la fuerza que actúa es mayor" (12.8%) y aquellos que piensan contrariamente (grupo B2) que "la carga mayor ejerce una fuerza mayor" (38.3%).

En ambos casos no aceptaron la simetría de la Ley de Coulomb. La coherencia es uno de los elementos que intervienen en el cambio conceptual (Vosniadou, 2002).

Cabe destacar que los estudiantes que no muestran un modelo coherente representan un alto porcentaje, 35.4%. Además, si se tiene en cuenta que sólo 13.5% de los estudiantes utilizó un modelo de aplicación de la Ley de Coulomb parecido al modelo científico, está claro que los profesores debemos hacer algo para ayudarlos a modificar esta situación.

En el modelo mental representado por B2 parece que hay una confusión entre el concepto de campo eléctrico y la Ley de Coulomb. Esta afirmación se constata con las respuestas dadas a las preguntas en Q4 (Tablas VI y VII), así como la coherencia de estas respuestas que corresponden a Q4-I y Q4-II (Tabla VIII). A partir del análisis de estas respuestas se concluye que el razonamiento seguido por 45% de los estudiantes se ajusta a: "como el campo en un punto es mayor que en otro punto, la fuerza aplicada sobre una carga también será mayor en el primer punto que en el segundo".

Por otro lado, según se deduce de las respuestas de Q3, 76% de los estudiantes asociaron la existencia de un campo eléctrico no nulo en un punto del espacio a la presencia de una carga test en dicho punto, siendo el signo de esta carga test determinante del signo del campo. Este resultado es acorde con los presentados en Viennot y Raison (1992). Así pues, la confusión entre campo y fuerza parece clara. Teniendo en cuenta este resultado, los profesores debemos planificar estrategias para ayudar a los estudiantes a aprender de forma significativa el concepto de campo eléctrico.

Según Furió y Guisasola (2003), una de las claves de la dificultad es el paso directo de una visión newtoniana (Coulomb) a una visión energética (campo eléctrico), sin explicar la necesidad de este cambio cualitativo. Por ello, la teoría del campo eléctrico se considera como una forma *abstracta* de explicar la interacción eléctrica, y los mismos profesores no enfatizan la necesidad de su introducción en la enseñanza.

El objetivo de este estudio ha sido identificar los modelos mentales que aplican los estudiantes al iniciar un segundo curso de ingeniería cuando utilizan la Ley de Coulomb y el concepto de campo eléctrico para interpretar fenómenos electrostáticos. Una vez caracterizados estos modelos la investigación debería continuar con el diseño de estrategias de enseñanza-aprendizaje que consiguieran que el alumno aprenda de forma significativa, como ya lo han sugerido Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou y Papademetriou (2001) y Viennot y Raison (1999).

Deben destacarse dos cuestiones en las que hay que reflexionar:

- La corrección sistemática de los errores conceptuales no favorece su eliminación. Por el contrario, los estudiantes deben ser quienes perciban sus propios errores, dando lugar a un descubrimiento de las hipótesis falsas que llevan a producirlos. El estudiante debe participar activamente en este proceso

de superación, ya que no basta con decirle cuál es el camino correcto o la solución.

- Los modelos mentales sirven para conocer algo nuevo a partir de lo conocido. Hay aprendizaje cuando el modelo mental del estudiante se acerca al modelo científico actualmente aceptado. Por tanto, para diseñar actividades con las que el estudiante realmente aprenda es necesario conocer cuáles son sus modelos mentales, así como los conceptos en los que se sustentan, es decir, las ideas previas. De esta manera se podrán plantear situaciones en las que pongan a prueba su modelo mental.

Referencias

Ausubel, D. P., Novak, J. y Hanesian, H. (1968). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas: México.

Benseghir, A. y Closset, J. L. (1996). The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18 (2), 179-191.

Brown, D. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in Physics: factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (1), 17-34.

Campanario, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 155-169.

Clement, J., Brown, D. E. y Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11, 554-565.

Cohen, R., Eylon, B. y Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51 (5), 407-412.

Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82 (4), 511-526.

Furió, C. y Guisasola, J. (2003). Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87 (5), 640-662.

Galili, I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in Electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 17 (3), 371-387.

Greca, I. M. y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en Electricidad y Magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 289-303.

Greca, I. M. y Moreira, M. A. (2001). Mental, physical and mathematical models in the teaching and learning of Physics. *Science Education*, 86 (1), 106-121.

Gutiérrez, R. (2000). *Mental Models and the fine structure of conceptual change. International conference Physics Teacher Education beyond 2000*. Barcelona: GIREP.

McDermott, L. C. y Redish, E. F. (1999). Resource letter on Physics Education Research, *American Journal of Physics* 67 (9), 755.

Periago, C. y Bohigas, X. (2005). A study of second-year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law. *European Journal of Engineering Education*, 30 (1), 71-80.

Sánchez Carrión, J. J. (1984). *Introducción a las técnicas de análisis multivariable aplicadas a las ciencias sociales*. Madrid: Centro de investigaciones sociológicas.

Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6 (2), 185-198.

Viennot, L. y Raison, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14 (4), 475-487.

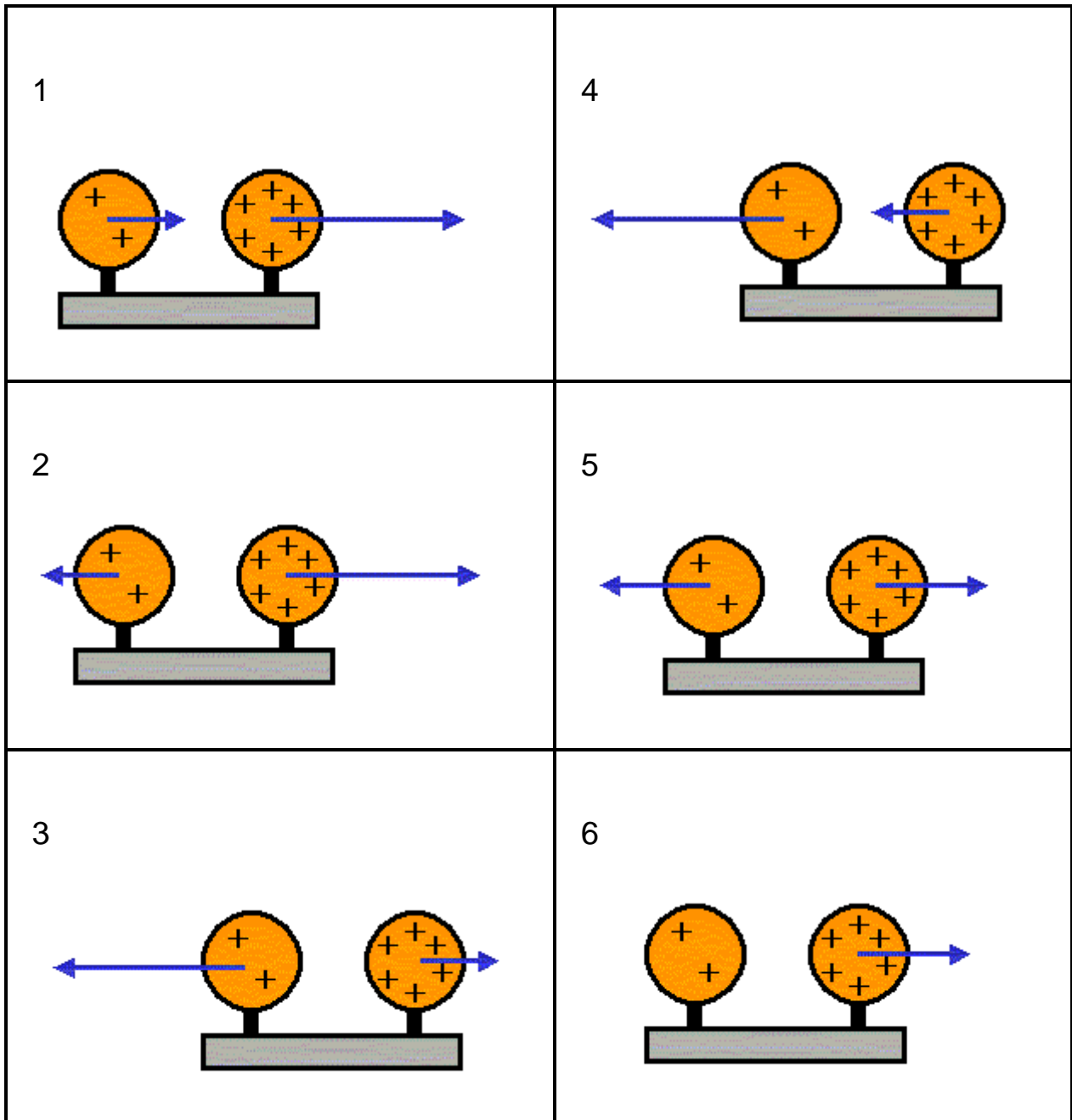
Viennot, L. y Raison, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 21 (1), 1-16.

Vosniadou, S. , Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. y Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments' to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.

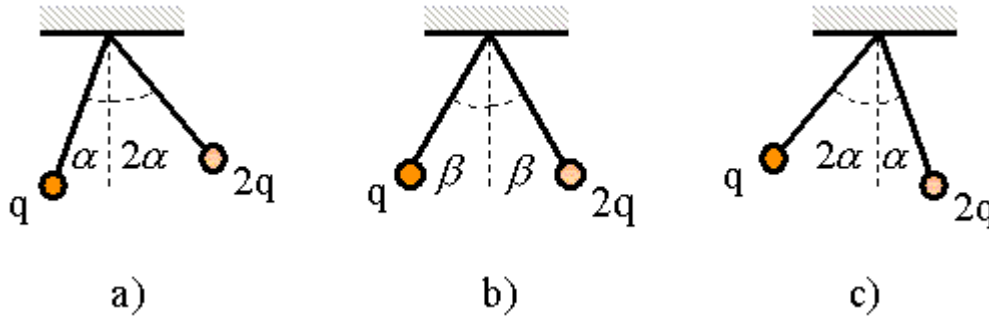
Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve Physics. In Reconsidering conceptual change. En M. Limón and L. Mason (Eds.), *Issues in theory and practice* (pp. 61-76), Kluwer Academic Press.

Anexo 1: Cuestionario

Q1. Dos esferas están uniformemente cargadas, siendo la carga de la esfera 2 el triple que la de la esfera 1. El diagrama que muestra correctamente la magnitud y la dirección de las fuerzas electrostáticas es:



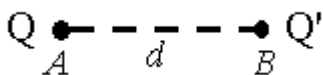
Q2. Dos pequeñas esferas de plástico tienen el mismo peso y están cargadas positivamente, una el doble que la otra. Escoge el diagrama que indica correctamente la situación de equilibrio de las esferas:



Q3. Dibuja el vector que representa el campo eléctrico creado en el punto A por una carga puntual positiva Q en los tres casos siguientes:

si en el punto A hay una carga puntual positiva +q	
si en el punto A hay una carga puntual negativa -q	
si en el punto A no hay ninguna carga	

Q4. Tenemos dos cargas puntuales Q y Q' positivas, siendo $Q' > Q$, situadas en los puntos A y B separados una distancia d.



Q4-I

El campo E creado por Q en B es mayor, menor o igual que el campo E' creado por Q' en A ?

- a) $E > E'$ b) $E < E'$ c) $E = E'$

Q4-II

La fuerza F que ejerce Q sobre Q' es mayor, menor o igual que la fuerza F' que ejerce Q' sobre Q ?

- a) $F > F'$ b) $F < F'$ c) $F = F'$

¹ Este estudio fue realizado gracias al apoyo recibido por el Ministerio de Educación y Ciencia (proyecto SEJ2007-68113-C02-02).