

Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la capacidad eléctrica: el caso del condensador de placas paralelas

Difficulties experienced by university students in learning about electrical capacitance: the case of the parallel-plate capacitor

MIKEL CEBERIO, JOSÉ MANUEL ALMUDÍ, ÁNGEL FRANCO, JOSÉ LUIS ZUBIMENDI

Universidad del País Vasco UPV/EHU, Física Aplicada I
mikel.ceberio@ehu.es; josemanuel.almudi@ehu.es; jl.zubimendi@ehu.es; angel.franco@ehu.es

Resumen

En este trabajo se analizan las dificultades de los estudiantes universitarios para comprender el proceso de carga y el concepto de capacidad eléctrica de un condensador. Se utiliza una simulación que permite visualizar el proceso de carga del condensador de placas paralelas y se pide a los estudiantes que expliquen razonadamente el porqué de lo observado. Se detectó que muchos estudiantes interpretan erróneamente el proceso de carga del condensador como un trasiego de cargas que van desde la batería, que contiene más carga, hacia el condensador, que contiene menos carga. En coherencia con esta idea, conciben el concepto de capacidad del condensador, como la cantidad de carga que es capaz de almacenar el dispositivo, sin tener en cuenta el trabajo externo necesario para cargarlo. Pocos estudiantes explican el proceso de carga del condensador haciendo uso del concepto de diferencia de potencial. Así mismo, son pocos los que conceptualizan la capacidad del condensador como una medida de la eficiencia de su proceso de carga. Sería conveniente que el profesorado tuviera en cuenta estas formas de razonamiento para diseñar actividades que facilitarían la superación de las dificultades.

Palabras clave: aprendizaje de la física, dificultades capacidad eléctrica, física universitaria, uso de simulaciones

Abstract

In this study the difficulties experienced by university students in understanding the charging process and the concept of electrical capacitance of a capacitor are analysed. A simulation that allows the visualization of the charging process of a parallel-plate capacitor is used and the students are asked to explain what they have seen and the reason(s) for it. It was found that many students misinterpret the capacitor charging process as a transfer of charges from the battery, which has a greater charge, to the capacitor, having a smaller charge. Following this line of reasoning, they derive the concept of the capacitor's capacitance as the amount of the charge that the device is able to store, without taking into account the external work required to charge it. Few students explain the capacitor charging process using the concept of potential difference. Moreover, few conceptualize the capacitance of the capacitor as a measure of the efficacy of the charging process. It would be useful for teachers to bear these lines of reasoning in mind when designing activities to help students overcome these difficulties.

Keywords: physics teaching, difficulties electrical capacitance, university physics, use of simulations

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se sitúa dentro de un marco constructivista del aprendizaje que se caracteriza, entre otras cuestiones, por la necesidad de entender las ideas y creencias que los estudiantes poseen cuando estudian ciencias, para utilizar posteriormente este conocimiento en el diseño de una programación y de las estrategias a aplicar en el aula (Treagust et al., 1996; Gil et al., 2002).

Los condensadores tienen múltiples aplicaciones en dispositivos tales como flashes fotográficos, láseres pulsados, airbags de automóviles o pantallas táctiles, entre otros muchos. Por otro lado, su estudio permite profundizar en la comprensión de diversos conceptos relacionados con la interacción eléctrica y nos ofrecen una nueva manera de entender la energía potencial eléctrica, la cual puede considerarse que se encuentra almacenada en el propio campo, en el espacio entre conductores. No es de extrañar, por tanto, que esta materia se estudie habitualmente en los cursos introductorios de física universitaria para grados de ciencias e ingeniería (Young y Freedman, 2013).

El profesorado universitario de física es consciente que los conceptos del área de electricidad resultan complejos para los estudiantes y la investigación realizada en este campo así lo corrobora (Maloney et al., 2001). Los estudiantes tienen dificultades para analizar el comportamiento de la materia ante la interacción eléctrica (Park et al., 2001) así como para aplicar conceptos estudiados en electrostática, como campo eléctrico y potencial eléctrico, con el objeto de explicar fenómenos que ocurren en los circuitos eléctricos (Mulhall et al., 2001). Por otro lado, la falta de conexión entre electrostática y electrocinética, dificulta la comprensión del proceso de carga de un cuerpo (Guisasola et al., 2007).

En este trabajo se pretende analizar las dificultades de los estudiantes universitarios para comprender el proceso de carga y el concepto de capacidad eléctrica de un condensador. Dicho trabajo se focaliza en el caso del condensador de placas paralelas por ser éste el tipo de condensador más estudiado en el nivel universitario que nos ocupa.

De acuerdo con el National Science Education Standards (1996), entendemos que comprender la ciencia requiere que un individuo integre una estructura compleja de diversos tipos de conocimiento, incluyendo las ideas de la ciencia, relaciones entre las ideas, razones para estas relaciones, maneras de hacer uso de las ideas para explicar y predecir los fenómenos naturales y maneras de aplicar los conocimientos a diversas situaciones.

En este sentido, una adecuada comprensión del proceso de carga del condensador requiere conocer, relacionar y aplicar conceptos básicos de electricidad como son carga eléctrica, conductores y dieléctricos, campo eléctrico, trabajo y energía, potencial eléctrico y diferencia de potencial.

En relación a su proceso de carga, la capacidad de un condensador indica la facilidad del dispositivo para almacenar carga cuando, desde el exterior, se realiza un trabajo para cargarlo. Representa, por tanto, una medida de la eficiencia del proceso de carga; es decir, la capacidad indica la cantidad de carga que es capaz de almacenar el condensador bajo una diferencia de potencial. Desde un punto de vista operativo, $C=Q/V$.

En este trabajo se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué razonamientos utilizan los estudiantes para explicar el proceso de carga de un condensador?

¿Relacionan los estudiantes el concepto de capacidad eléctrica de un condensador con la eficiencia de su proceso de carga?

Tal y como señalan Osborne y Patterson (2011), en el proceso de construcción de explicaciones, los científicos (y los estudiantes) deben valerse de su conocimiento previo y de sus capacidades de razonamiento para ensamblar una hipótesis explicativa. En consecuencia, el análisis de las explicaciones construidas por los estudiantes ante fenómenos observados, resulta un instrumento adecuado para detectar su nivel de comprensión de los conceptos implicados.

Por otro lado, la fenomenografía ha sido propuesta y utilizada para describir y explicar las variaciones que se dan en las concepciones de los estudiantes (Martón y Booth, 1997). Trata de cómo las diferentes formas en que puede ser percibida y comprendida la realidad (conceptos y formas de razonamiento incluidas) pueden llegar a ser consideradas como categorías de descripción de la realidad.

En otro orden de cosas, el uso de recursos multimedia se considera particularmente importante para abordar los contenidos del ámbito de la electricidad debido al carácter abstracto de los conceptos involucrados (Djibowska et al., 2013). Para este estudio se diseñó una simulación que permite visualizar el proceso de carga del condensador de placas paralelas

y se pidió a los estudiantes que explicaran razonadamente el porqué de lo observado.

El estudio de las dificultades de aprendizaje del concepto de capacidad que presentan los estudiantes universitarios tras recibir la instrucción en el aula, podría servir como indicador de comprensión, no sólo del propio concepto de capacidad sino, también, de otros conceptos básicos de la electricidad. Por otro lado, el conocimiento de estas dificultades, podría ser útil para diseñar secuencias de aprendizaje que facilitaran la comprensión de los estudiantes.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó con estudiantes de primer curso de grado en Ingeniería en la Universidad del País Vasco. La totalidad de los estudiantes habían cursado con anterioridad dos años de estudios de física en el bachillerato (16-18 años) y abordaban su primer curso de fundamentos físicos de la Ingeniería. El objetivo de esta asignatura consistía en desarrollar los principales conceptos, leyes y teorías de la mecánica y electromagnetismo, ajustadas al nivel de primer curso de universidad y con especial énfasis en resolución de problemas.

La asignación de los estudiantes a los diferentes grupos se efectuó de forma aleatoria por medio de una aplicación informática utilizando como único criterio el de igualdad del número de estudiantes por grupo. En estos grupos se encontraban mezclados estudiantes de grado en Ingeniería Eléctrica, grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y grado en Ingeniería Mecánica, puesto que estas titulaciones comparten un tronco común en primero y segundo cursos.

Durante el curso académico se impartieron 2 horas de clase magistral, 1 hora de clase de problemas y 2 horas de laboratorio o seminario (alternativamente) por semana, durante 15 semanas en el área de mecánica (primer semestre) y otras 15 semanas en el área de electromagnetismo (segundo semestre).

Los estudiantes utilizaron los libros de texto habituales para las clases magistrales y para la resolución de problemas de final del capítulo (Young y Freedman, 2013), abarcando el mismo programa para todos ellos. El programa correspondiente a la electricidad comenzó estudiando las propiedades de los cuerpos cargados (conductores y aislantes, polarización, carga por inducción, carga y descarga de los cuerpos) conservación y cuantificación de la carga. Posteriormente, se abordaron los conceptos de campo, flujo, ley de Gauss y los conceptos de potencial y diferencia de potencial. Tras estas leyes y conceptos, a lo largo de dos semanas correspondientes al segundo semestre se trató el concepto de capacidad eléctrica junto con los condensadores.

En el estudio que se describe en este trabajo tomaron parte un número total de 160 estudiantes de primer curso de Ingeniería distribuidos en 2 grupos con 80 estudiantes por clase magistral, 40 en clase de problemas y 20 en seminarios y laboratorio. El porcentaje de alumnos que repetía curso era del 10%.

Las clases de los dos grupos las impartieron profesores del departamento de física con amplia experiencia docente e investigadora y que, en todos los casos, han superado al menos una prueba de selección pública para ser miembros de plantilla de la Universidad del País Vasco. En ambos grupos se utilizó el mismo enfoque de enseñanza tradicional.

Con el objeto de detectar las dificultades de los estudiantes participantes en este estudio en el aprendizaje de la capacidad eléctrica, se diseñó una simulación (ver enlace [Condensador de Placas Paralelas](http://www.sc.ehu.es/sbweb/iem/condensador/condensador.html)) referida al proceso de carga de un condensador de placas paralelas conectado a una batería en un circuito sin resistencia. En la simulación (en la figura 1 se recoge una imagen), los estudiantes observan lo que ocurre con la carga, la diferencia de potencial entre placas y la capacidad del condensador cuando se cargan las dos placas conductoras paralelas y, manteniendo la conexión con la batería, se modifican una a una (permaneciendo el resto de las magnitudes constantes) el potencial de la batería, la distancia entre placas, el área de las placas y el material dieléctrico que ocupa todo el espacio entre ellas.

Los estudiantes debieron responder a la pregunta de 'por qué' ocurre lo que observaron en la simulación. Su tarea (cuadro 1) consistió en dar cuatro explicaciones causales referentes al proceso de carga y otras cuatro relativas a la capacidad, coherentemente razonadas de forma cualitativa (sin utilizar fórmulas matemáticas) con base en el modelo científico y ajustadas a su nivel educativo.

Se pedía a los estudiantes que justificaran sus explicaciones de manera individual y por escrito. Los datos fueron recogidos al final del segundo

semestre en situación de examen con el objeto de garantizar el interés de los estudiantes por la tarea. En ese momento ya se había impartido en los dos grupos el conocimiento básico necesario para abordar la tarea propuesta. Si bien las explicaciones escritas supusieron la fuente principal de datos, cuando existieron dudas en la categorización de las respuestas, también se utilizaron datos de las grabaciones de las entrevistas realizadas a 20 estudiantes, elegidos entre aquellos que consiguieron un "nivel medio" en el aprendizaje de la física y que, de forma voluntaria, clarificaron oralmente sus planteamientos. Por razones de espacio estas entrevistas no se transcriben en este trabajo, aunque debe entenderse que las ideas en ellas expresadas son coincidentes con los ejemplos que incluimos en el siguiente apartado, extraídos de las resoluciones escritas.

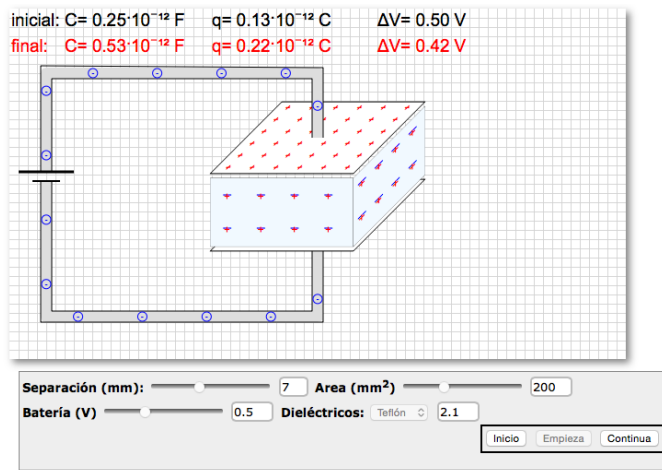


Figura 1. Simulación condensador de placas paralelas (ver enlace: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/iem/condensador/condensador.html>)

CONDENSADOR DE PLACAS PARALELAS: PROCESO DE CARGA Y CONCEPTO DE CAPACIDAD

EFFECTO DEL POTENCIAL ELÉCTRICO

- 1- En la simulación (ver enlace [Condensador de Placas Paralelas](#)), observa el proceso de carga del condensador de placas paralelas cuando, conectado a la fuente de alimentación, se aumenta el potencial.
 - 1.a Explica por qué al aumentar el potencial aumenta la carga en las placas conductoras.
 - 1.b Explica por qué no aumenta la capacidad.

DEPENDENCIA CON LA DISTANCIA

- 2- Observa el proceso de carga del condensador cuando manteniendo la conexión con la batería, se reduce la distancia entre las placas conductoras, sin modificar nada más.
 - 2.a Explica por qué al disminuir la distancia entre las placas, el condensador se carga más.
 - 2.b Explica por qué al disminuir la distancia entre las placas, la capacidad del condensador es mayor.

DEPENDENCIA CON EL ÁREA

- 3- Observa el proceso de carga del condensador cuando manteniendo la conexión con la batería, se aumenta el área de las placas, sin modificar nada más.
 - 3.a Explica por qué al aumentar el área de las placas conductoras, éstas se cargan más.
 - 3.b Explica por qué al aumentar el área de las placas conductoras, la capacidad del condensador es mayor.

DEPENDENCIA CON LA PERMITIVIDAD

- 4- Observa el proceso de carga del condensador cuando manteniendo la conexión con la batería, se introduce completamente entre las dos placas distintos materiales dieléctricos, sin modificar nada más.
 - 4.a Explica por qué al introducir entre las placas conductoras materiales dieléctricos de mayor permitividad (carácter más conductor) éstos se cargan más.
 - 4.b Explica por qué al introducir entre las placas conductoras materiales dieléctricos de mayor permitividad (carácter más conductor) la capacidad del condensador de placas paralelas es mayor.

Cuadro 1. Observaciones ante simulación y explicaciones demandadas a los estudiantes

RESULTADOS

Las explicaciones de los estudiantes fueron analizadas por dos de los autores de la investigación y fueron categorizadas como se indica en la tabla 1. Las explicaciones no computadas en esta tabla, han resultado imposibles de categorizar o, simplemente, no se han dado. El grado de concordancia se ha valorado con la Kappa de Cohen y, se ha logrado un nivel de acuerdo entre «sustancial» y «casi perfecto» según la escala de Landis y Koch (1977).

En lo referente a las explicaciones acerca del **proceso de carga del condensador**, se establecieron tres categorías. A modo de ejemplo, se incluyen extractos de las respuestas escritas de los estudiantes con el objeto de destacar sus aspectos más representativos.

A- Explicaciones basadas en la cantidad de carga (no científicas):

Al analizar el efecto del potencial, un 51% de los estudiantes relaciona el potencial de la batería con la cantidad de carga que ésta almacena y considera que la carga se desplaza desde el cuerpo de mayor carga (batería) hacia el de menor carga (condensador), hasta que la cantidad de carga se iguale.

Ejemplo 1: *Yo creo que cuanto mayor es el potencial de la batería, más cantidad de carga contiene y por eso envía más carga a las placas del condensador hasta que las cargas en la batería y en el condensador queden igualadas.*

En el caso de la influencia del área, se ha encontrado que más de la mitad de las respuestas (55%) indican que, cuanto mayor sea ésta, más carga cabe en el condensador por lo que se cargará más, con independencia del efecto que el cambio del área tiene en la diferencia de potencial entre placas. Se entiende el condensador como un depósito de cargas.

Ejemplo 2: *Al aumentar el área del condensador se carga más porque es más grande y deja más espacio para que se acumulen las cargas.*

B- Explicaciones basadas en la diferencia de potencial (científicas-cualitativas): los estudiantes razonan que los electrones se desplazan en cada rama conductora desde lugares de menor potencial hacia lugares de mayor potencial, hasta que el potencial se iguale.

Bajo esta perspectiva, un 16% de los estudiantes razona correctamente que, cuanto mayor sea el potencial de la batería, mayor será la diferencia de potencial entre sus polos y las placas del condensador, y más carga tendrá que desplazarse hasta igualar este potencial, adquiriendo así más carga las placas del condensador, una positiva y la otra negativa.

Ejemplo 3: *Las cargas se mueven si hay una diferencia de potencial, entonces, cuando aumentamos el potencial de la batería, pasa más carga al condensador porque tiene que igualarse un potencial que ahora es mayor y eso se consigue con más carga.*

Las explicaciones correspondientes al análisis del efecto en el proceso de carga de las variables características del propio condensador (distancia entre placas, área y material dieléctrico entre placas), han sido incluidas en la categoría B si, primero, se ha justificado el efecto de la variable en la diferencia de potencial entre placas y, posteriormente, se ha relacionado este cambio en el potencial con la nueva carga del condensador. Estas explicaciones cualitativas y científicamente ajustadas al nivel educativo que nos ocupa, han sido aportadas únicamente por entre un 10% y un 18% de los estudiantes. Así:

Ejemplo 4: *La carga que, en un momento dado, está ubicada en cada una de las placas cambia el potencial de la otra, de manera que el potencial de la placa positiva se hace menos positivo y el de la negativa se hace menos negativo. Cuanto más próximas entre sí se encuentren las placas, mayor será esta influencia mutua, más electrones deberán desplazarse para igualar el potencial en cada rama conductora, lo que supone mayor carga de las placas.*

Ejemplo 5: *Si aumentamos el área de las placas, disminuye su densidad de carga, se reduce el potencial y se desplaza más carga por las ramas conductoras hasta igualar el potencial de la batería.*

Ejemplo 6: *Cuando introducimos material dieléctrico en el espacio entre placas, por efecto de la polarización se ubica en su superficie una densidad de carga inducida de signo opuesto al de la carga libre de las placas. Por ello, disminuye el potencial y más carga se mueve entre la batería y la placa hasta volver a igualar el potencial de la batería.*

Tabla 1. Porcentajes de respuestas de los estudiantes

Categorías explicativas Efecto del potencial		Porcentaje de respuestas %			
		Efecto de la distancia entre placas	Efecto del área	Efecto de la permitividad del dieléctrico	
Proceso de carga de un condensador	A- Basadas en la cantidad de carga (no científicas)	51	No procede	55	No procede
	B- Basadas en la diferencia de potencial (científicas-cualitativas)	16	17	10	18
	C- Basadas en la fórmula ($C=Q/V$; $C=eS/d$) (científicas-operativas)	28	38	26	40
Concepto de capacidad de un condensador	D- Basadas en la identificación de capacidad con cantidad de carga (no científicas)	30	No procede	58	No procede
	E- Basadas en la relación significativa entre capacidad, potencial y carga (científicas-cualitativas)	15	12	9	16
	F- Basadas en la fórmula ($C=eS/d$; $C=Q/V$) (científicas-operativas)	29	45	30	43

C- Explicaciones basadas en la fórmula (científicas-operativas):

Un 28% de los estudiantes señala, correctamente pero sin ninguna justificación cualitativa, que como $Q=CV$, si aumentamos V , aumenta Q . Por otro lado, entre un 26% y un 40% expresan que, de acuerdo con $C=eS/d$, un aumento de la permitividad, un aumento del área y una disminución de la distancia entre placas, supone un aumento de C y como $Q=CV$, aumenta Q .

En cuanto a las explicaciones relativas a la **capacidad del condensador**, se encontraron, de nuevo, tres categorías:

D- Explicaciones basadas en la identificación de la capacidad con la cantidad de carga almacenada (no científicas):

Ante la simulación en la que al aumentar el potencial de la batería se observa que la capacidad del condensador no ha variado, se dieron explicaciones de los estudiantes (30%) que defienden que esto no es posible puesto que si el condensador se carga más, es porque tiene más capacidad. Estos estudiantes no tienen en cuenta que para aumentar la carga del condensador, hemos debido aumentar el potencial aplicado en la misma proporción que el aumento de carga obtenido.

Ejemplo 7: *A mí me parece que la capacidad sí ha aumentado. Si al aumentar el potencial de la batería el condensador tiene más carga, tiene que tener más capacidad, no lo entiendo bien, si se ha cargado más...no sé. ¿Está bien la simulación?*

De manera análoga, un 58% de los estudiantes afirma que, cuanto mayor sea el área de las placas, más carga cabe en el condensador por lo que se cargará más y, sin considerar el efecto que el cambio del área tiene en la diferencia de potencial entre placas, indica que la capacidad es mayor.

Ejemplo 8: *Se justifica que aumente la capacidad porque, cuando el área es mayor, cabe más carga y tiene más capacidad.*

E- Explicaciones basadas en la relación significativa entre capacidad, potencial y carga (científicas-cualitativas): se han incluido las explicaciones correctas que han interpretado la capacidad como una medida de la eficiencia del proceso de carga.

Para el caso del efecto del incremento del potencial, un 15% ha optado por esta explicación científica.

Ejemplo 9: *Para lograr más carga hemos hecho mas trabajo (más V), pero no hemos cambiado las características del condensador. Le cuesta lo mismo cargarse, así que no ha cambiado su capacidad.*

Las explicaciones correspondientes al efecto en la capacidad de la distancia entre placas, área de las placas y material dieléctrico, han sido incluidas en la categoría E si, primero, se ha justificado el efecto de la variable en la diferencia de potencial entre placas, posteriormente, se ha relacionado este cambio en el potencial con la nueva carga del condensador y, finalmente, se ha valorado la nueva relación entre la carga adquirida y el potencial aplicado. Estas explicaciones, que se corresponden con una correcta explicación científica de tipo cualitativo, han sido aportadas sólo por entre un 9% y un 16% de los estudiantes.

Como ejemplos ilustrativos de estas explicaciones nos pueden servir los ejemplos 4, 5 y 6 anteriormente recogidos, si los estudiantes añaden:

...hemos logrado más carga con el mismo trabajo externo, hemos incrementado la facilidad del condensador para cargarse, por lo que hemos aumentado su capacidad.

F- Explicaciones basadas en la fórmula (científicas-operativas):

Una tercera parte de los estudiantes (29%) se han limitado a señalar, correctamente pero sin aportar razonamiento alguno, que la capacidad no ha variado al aumentar V , porque al aumentar V hemos incrementado Q en la misma proporción y $C=Q/V$ se mantiene constante.

Análogamente, entre un 30% y 45% de los estudiantes, únicamente han expresado que, al modificar la geometría del condensador y el material dieléctrico entre placas, la capacidad ha aumentado o disminuido de acuerdo con la fórmula $C=\epsilon S/d$.

DISCUSIÓN

El análisis de las explicaciones dadas por los estudiantes universitarios de ingeniería ante la observación, en simulaciones, de fenómenos de carga de un condensador de placas paralelas, permitió detectar las dificultades que estos estudiantes presentan en la comprensión del proceso de carga y, ligada a este proceso, en la comprensión del concepto de capacidad de un condensador.

Se encontró que muchos estudiantes interpretan el proceso de carga del condensador como un trasiego de cargas que van desde la batería, que contiene más carga, hacia el condensador, que contiene menos carga. Para estos estudiantes, el proceso de carga finaliza cuando se iguala la cantidad de carga en la batería y en el condensador. En coherencia con esta idea, conciben el concepto de capacidad del condensador, como la cantidad de carga que es capaz de almacenar el dispositivo, sin tener en cuenta el trabajo externo necesario para cargarlo, es decir, el potencial aplicado. Esta forma de razonamiento es conocida por la investigación didáctica como reducción funcional. Viennot (1996) define este concepto como la tendencia a razonar sin considerar todas las variables que influyen en el problema.

Otros muchos estudiantes, sin aportar razonamiento alguno, han hecho uso de la fórmula para justificar el efecto de las distintas variables en el proceso de carga del condensador y en su capacidad. Si bien las explicaciones basadas en la fórmula permiten que los estudiantes lleguen a conclusiones correctas, no son indicativas de su nivel de comprensión conceptual. De hecho, estudiantes que por escrito han respondido correctamente haciendo uso de las fórmulas, en las entrevistas no han sido capaces de explicar el movimiento de las cargas. Por tanto, estas formas de razonamiento operativistas, pueden enmascarar dificultades de comprensión y entorpecer formas de pensamiento reflexivo y productivo características de la actividad científica (Kuhn, 2005).

Pocos estudiantes explican el proceso de carga del condensador con base en el concepto de diferencia de potencial. Así mismo, son pocos los que conceptualizan la capacidad del condensador como una medida de la eficiencia de su proceso de carga, la cual se ve afectada por las características geométricas del propio condensador y por el material dieléctrico en el espacio entre conductores. Los estudiantes tienen dificultades para aplicar conceptos de electrostática en la explicación del proceso de carga del condensador y esta ausencia de conexión entre electrostática y electrocinética les impide

conceptualizar el condensador como un sistema en el que la geometría y el medio material influyen en la facilidad para adquirir carga (Guisasola et al., 2010).

CONCLUSIONES

En este trabajo se analizan, haciendo uso de una simulación, las dificultades de los estudiantes universitarios para comprender el proceso de carga y el concepto de capacidad eléctrica de un condensador. Sería conveniente que el profesorado tuviera en cuenta las formas de razonamiento de los estudiantes para diseñar actividades que facilitarían la superación de las dificultades. Se podría comenzar analizando el proceso de carga de distintos cuerpos (dieléctricos y conductores) con diferentes baterías con la intención de entender un modelo simple del proceso de carga de un cuerpo. Después, se podría analizar el efecto del potencial de la batería, la geometría del cuerpo, y su entorno material. En este punto, se podría definir la capacidad del cuerpo como la carga almacenada en relación al trabajo realizado para cargarlo y comprender que este trabajo, que es distinto según cual sea la disposición del sistema, queda almacenado en el cuerpo cargado en forma de energía. Una vez asimilado este modelo, los estudiantes comprenderían mejor porqué los condensadores se diseñan con conductores muy próximos entre sí, con la mayor superficie posible (en compromiso con la necesidad general de que su tamaño sea pequeño) y separados por un material dieléctrico. Comprenderían mejor cómo se puede optimizar el sistema para almacenar carga y energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Debowska, E., Girwidz, R., Greczylo, T., Kohnle, A., Mason, B., Mathelitsch, L., Melder, T., Michelini, M., Ruddock, I. y Silva, J. Report and recommendations on multimedia materials for teaching and learning electricity and magnetism, *European Journal of Physics*, **34**, 47-54, 2013.
- Gil, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa de Carvalho, A.M., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Valdés, P., González, E., Gené, A., Dumás-Carré, A., Tricárico, H. y Gallego, R., Defending Constructivism in Science Education, *Science & Education* **11**, 557-571, 2002.
- Guisasola, J., Zubimendi, J.L., Almudi, J.M. y Ceberio, M., *Contributions from Science Education Research*. In R. Pinto and D. Couso (eds), *Using the processes of electrical charge of bodies as a tool in the assessment of university students learning in electricity*, Springer, The Netherlands, 2007, 379-402.
- Guisasola, J., Zubimendi, J.L. y Zuza, K., How much have students learned? Research-based teaching on electrical capacitance, *Phys. Rev. ST. Phys. Educ. Res. American Journal of Physics. Suppl.*, **6**, 020102, 2010.
- Kuhn, D. *Education for thinking*, Harvard University Press, Cambridge, M.A., 2005.
- Landis, J.R. y Koch, G.G., The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometric*, **33** 159-174, 1977.
- Maloney, D.P., O’Kuman, T.L., Hieggelge, C.J. y Van Heuvelen, A., Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism, *Phys. Educ. Res. American Journal of Physics. Suppl.*, **69**, [7] 12-23, 2001.
- Marton, F. y Booth, S., *Learning and awareness*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, N.J., 1997.
- Mulhall, P., McKittrick, B. y Gunstone, R., A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity, *Research in Science Education*, **31**, 575-587, 2001.
- National Research Council, *National Science Education Standards* (National Academy, Washington, DC, 1996).
- Osborne, J. y Patterson, A., Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, **95** [4], 627-638, 2011.
- Park, J., Kim, I., Kim, M. y Lee, M. Analysis of students’ processes of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics, *International Journal of Science Education*, **23**, [12], 1219-1236, 2001.
- Treagust, D.F., Duit, R. y Fraser, B., *Improving teaching and learning in science and mathematics*. Teachers College Press, Nueva York, 1996.
- Viennot, L., *Raisonnement en Physique. La Part du Sens Commun*, De Boeck Université, Paris, (Translated into English by Kluwer Academic), 1996.
- Young, H.D. y Freedman, R.A., *University Physics with modern Physics, 13th ed.*, Addison-Wesley, New York, 2013.

Received 13-3-2015/Approved 30-4-2016