

Una investigación sobre la introducción temprana de la enseñanza de la fem en electrostática.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Patricia Fernández¹, Alberto Jardón¹, Ignacio Tabares¹,
Beatriz Milicic¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Argentina.

E-mail: patricia@fceia.unr.edu.ar

Resumen

En este trabajo se argumenta a favor de iniciar la enseñanza del concepto de fem desde la electrostática, destacando la importancia de presentar conjuntamente la diferencia de potencial y la fem, mostrando el origen conservativo de una y no conservativo de la otra. Se presentan los resultados obtenidos en la investigación realizada sobre una intervención didáctica diseñada a tal efecto.

Palabras clave: Fem, Diferencia de potencial, Fuerzas conservativas y no conservativas, Conservación de la energía.

Abstract

In this paper we argue about an early starting teaching the concept of emf in electrostatic, emphasizing the importance of jointly present potential difference and emf, stressing the conservative and non conservative origin of each other. Results are shown of an inquiry done about a didactic intervention designed for this purpose.

Keywords: Emf, Potential difference, Conservative and non conservative forces, Conservation of energy.

I. INTRODUCCIÓN

Las presentaciones usuales en los libros de texto para el nivel universitario básico introducen el concepto de fuerza electromotriz (fem) en circuitos eléctricos, asociada a las baterías. y en capítulos posteriores se la redefine en relación a los fenómenos inductivos y a los conductores en movimiento en presencia de campos magnéticos. (Garzón ,2012) Esta secuencia promueve la idea de que existen diferentes tipos de fem según su origen dificultando la construcción de un concepto unificado.

Investigaciones de diversos autores (Garzón y col., 2014, Guisasola y col., 2008, 2011; Pocoví y Hoyos, 2004; Varney y Fischer, 1980; Papachristou y Magoulas, 2012) analizaron las dificultades en la comprensión del concepto de fem particularmente la indiferenciación entre fem y diferencia de potencial. Estos estudios coinciden en insistir en vincular la fem con acciones de carácter no conservativo (electromagnéticas, químicas, electrocinéticas, etc.) realizado por agentes externos al sistema para distinguirlas de la diferencia de potencial asociada a fuerzas conservativas presentes en un circuito eléctrico.

Además de realizar esta clarificación conceptual Guisasola et al. (2005), en particular, proponen cuatro indicadores para testear el nivel de la comprensión del concepto de fem:

- 1) Saber que la «fuerza electromotriz» (fem) es una propiedad de los generadores de energía eléctrica asociada a fuerzas no conservativas (lo ejemplifica con el generador de Van der Graff).
- 2) Saber que la fem, en el caso de la pila o generador, es el trabajo (por unidad de carga) realizado por las fuerzas no conservativas presentes para separar cargas o desplazarlas. Es una magnitud que cuantifica una transferencia de energía en un circuito eléctrico asociada a un campo no conservativo.
- 3) Saber distinguir entre la medida de la fuerza electromotriz de una pila y la medida de la diferencia de potencial entre los electrodos de la misma. Esta distinción entre la fuerza electromotriz y la diferencia de potencial viene dada por la medida de dos tipos distintos de acciones producidas por

factores radicalmente diferentes, la primera debida a un campo no conservativo y la segunda a uno conservativo

- 4) En el caso de la inducción electromagnética, saber que los campos eléctricos producidos no son conservativos, por lo que el trabajo realizado al desplazar la unidad de carga por el circuito, lo mide la fuerza electromotriz.

Como ya se dijo, en los textos tradicionales la fem se presenta en tres situaciones:

- a) al analizar el comportamiento de las pilas en los circuitos eléctricos, donde la fem aparece debida a las “reacciones químicas” que tienen lugar en la pila,
- b) al estudiar su aparición en un circuito cerrado en relación con la variación de flujo magnético, cuya explicación se realiza a partir de la ley de Faraday-Lenz
- c) cuando se desplaza una barra conductora en un campo magnético donde la fem se explica por la aplicación de la ley de Lorentz

En estos estudios, las fuerzas no conservativas consideradas siempre están presentes en baterías, generadores o fenómenos inductivos. Sin embargo, en el desarrollo de la currícula tradicional de electromagnetismo básico existen otras situaciones donde se puede observar la acción de fuerzas no conservativas actuando sobre cargas eléctricas. Es el caso, por ejemplo, del movimiento de cargas en contra de un campo eléctrico a velocidad constante, en electrostática, donde generalmente sólo se menciona que la realiza “un agente externo”. En este ejemplo suele calcularse la diferencia de potencial que aparece debido al traslado de una carga pero no se habla de la fem que realizó este trabajo, en consecuencia se pierde la oportunidad destacar que la fem y la diferencia de potencial son conceptos distintos pero relacionados.

Entendemos que es importante discutir la implicancia del carácter no conservativo de estas fuerzas y asociar su trabajo con la fem, a través de una presentación que trascienda el tratamiento de los generadores, los circuitos eléctricos y los fenómenos de inducción. Una introducción temprana de la fem en electrostática, asociada a nociones mecánicas conocidas, podría colaborar en una mejor comprensión del concepto, diferenciarlo de la diferencia de potencial y contribuir a la construcción de un concepto unificado de fem. En este trabajo se discute la potencialidad de esta presentación, describimos una intervención didáctica en ese sentido y mostramos algunos resultados de su evaluación.

II. DIFICULTADES OBSERVADAS EN LOS ESTUDIANTES PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN DE FUERZAS NO CONSERVATIVAS

Si bien la presencia de fem se identifica claramente con los generadores, las baterías y los fenómenos de inducción electromagnética, no siempre se resaltan los aspectos que la vinculan con el trabajo de fuerzas no conservativas, como reclaman los autores citados en la sección anterior.

Una de las dificultades encontradas al analizar los conocimientos previos de nuestros alumnos fue justamente el desconocimiento de los efectos de las fuerzas no conservativas que actúan sobre un sistema. En general dominan el concepto de fuerzas no conservativas en relación con el trabajo no nulo a lo largo de un camino cerrado y lo identifican usualmente con fuerzas de roce. Algunos, además, reconocen que el trabajo de las fuerzas no conservativas es igual a la variación de la energía mecánica de un sistema de partículas. Pocos identifican esta no conservación de la energía mecánica con un ingreso o egreso de energía al sistema.

Para encontrar las causas de estas dificultades observamos libros de texto usuales donde se introduce el tema de fuerzas conservativas y no conservativas. Los alumnos se enfrentan por primera vez con este concepto al discutir la conservación de la energía de una partícula o de un sistema de partículas. Se observa que la mayoría de los textos centran su atención en la caracterización de las fuerzas conservativas. Citamos a continuación algunos ejemplos típicos.

Algunos autores definen a las fuerzas conservativas a través del trabajo realizado por ella. Ejemplos de ello se muestra, en la cita siguiente tomada de Lea y Burke, (1999, p.271):

Una fuerza es conservativa si el trabajo que efectúa sobre una partícula depende sólo de las posiciones inicial y final [...]Igualmente resulta que el trabajo realizado por una fuerza conservativa es independiente de la forma en que la partícula se mueve de un punto a otro...

De manera análoga se las define en Serway y Jewitt, (2008, p. 182), Sears y col, (2013, p 228), Resnick y col. (2001, p.172). En todos los textos se presentan como ejemplo de fuerzas conservativas al peso y a la fuerza elástica.

Otros relacionan el trabajo de la fuerza conservativa con la energía de la partícula o enfatizan que la energía no es de una partícula sino del sistema, por ejemplo:

El trabajo positivo de una fuerza conservativa disminuye la energía potencial de la partícula (Lea y Burke, 1999, p.271).

Una fuerza es conservativa si su dependencia del vector posición r de la partícula es tal que el trabajo realizado por la fuerza se puede expresar como la diferencia entre una magnitud $E_p(r)$ evaluada en los puntos inicial y final, sin importar la trayectoria seguida por la partícula. La cantidad $E_p(r)$ se conoce como energía potencial de la partícula asociada a la fuerza conservativa aplicada y sólo es función de la posición de la partícula. (Alonso y Finn, 1995, p 141).

En muchos casos el trabajo realizado “sobre un sistema” no da lugar a un cambio de energía cinética del sistema sino que es almacenado en forma de energía potencial. (Tipler y Mosca (2006, p.156).

Debe considerarse que la energía potencial es una propiedad de todo el sistema y de ninguna manera es una parte especial del sistema. Por ejemplo, no es la pelota de la figura 2 la que tiene la energía potencial; es el sistema que tiene Tierra más pelota...” (Resnick y col., 2001, p. 176)
Un análisis similar se presenta en Tipler y Mosca (2006, p.156).

Sears y col. (2013, p 229) plantean que: “el trabajo realizado por una fuerza conservativa **siempre** tiene cuatro propiedades:

1. *Puede expresarse como la diferencia entre los valores inicial y final de una función de la **energía** potencial.*
2. *Es reversible.*
3. *Es independiente de la trayectoria del cuerpo y depende solo de los puntos inicial y final.*
4. *Si el punto inicial coincide con el punto final, el trabajo total es cero.*

*Si las **únicas** fuerzas que efectúan trabajos son conservativas la energía mecánica total $E = K + U$ es constante”*

Como puede observarse el carácter conservativo se asocia fuertemente a las fuerzas cuyo trabajo para mover una partícula entre dos puntos, depende sólo de las posiciones inicial y final, o bien es nulo en una trayectoria cerrada. Las fuerzas no conservativas serían aquellas que no cumplen con estas condiciones, y un ejemplo típico es la fuerza de roce:

Un ejemplo de fuerza no conservativa es la fuerza de fricción. El trabajo que efectúa sobre una partícula depende de la longitud total de la trayectoria. (Lea y Burke, 1999, p.271), de manera similar está presentado en Resnick y col. (2001, p.173).

Como hay infinitas trayectorias cerradas, es imposible calcular el trabajo realizado en cada una (Tipler y Mosca, 2006, p. 159).

En pocos textos se discute la relación del trabajo de las fuerzas no conservativas con la energía, un ejemplo es el de Sears y col. (2013, p.229)

*No todas las fuerzas son conservativas. ... El trabajo realizado por una **fuerza no conservativa** no puede representarse con una función de energía potencial. Algunas fuerzas no conservativas, como la fricción cinética o la resistencia de fluidos, hacen que se pierda o se disipe energía mecánica: son **fuerzas disipadoras**. También hay fuerzas no conservativas que aumentan la energía mecánica. Los fragmentos de un petardo que estalla salen despedidos con una energía cinética muy grande, debido a una reacción química de la pólvora con el oxígeno. Las fuerzas liberadas por esta reacción no son conservativas porque el proceso no es reversible. ¡Los trozos nunca se volverán a unir espontáneamente para formar un petardo!*

En estas definiciones, rigurosas desde el punto de vista formal, no se destaca suficientemente el hecho de que el trabajo de una fuerza no conservativa, como su nombre lo sugiere, no conserva la energía total del sistema. Este hecho cobra importancia en el caso de electrostática ya que es imposible mover una carga entre dos puntos en un campo eléctrico a velocidad constante, sin la acción de un agente externo que dé cuenta de los cambios en la energía del sistema. Este agente externo está asociado por lo tanto a fuerzas no conservativas, y el trabajo por unidad de carga de dichas fuerzas debe interpretarse como la fem presente.

Atendiendo a esta situación problemática, realizamos una intervención didáctica piloto, en la que introducimos el concepto de fem en electrostática como el trabajo por unidad de carga de todo agente externo que modifique la energía de un sistema de cargas. Presentamos a continuación un ejemplo típico de los planteados y resultados de algunas de las entrevistas que diseñamos como evaluación de la intervención.

III. UN EJEMPLO DE FEM EN ELECTROSTÁTICA

Las situaciones problema se diseñaron enfatizando las siguientes cuestiones:

- La aparición de una fem obedece a acción de fuerzas no conservativas
- La fem modifica la energía del sistema.
- Las fuerzas no conservativas actúan sobre las cargas eléctricas y se oponen a las fuerzas debidas a los campos electrostáticos presentes que son campos conservativos.
- El trabajo estas fuerzas no conservativas es de signo opuesto al trabajo de la fuerza electrostática.

A continuación desarrollamos un ejemplo típico de los tratados.

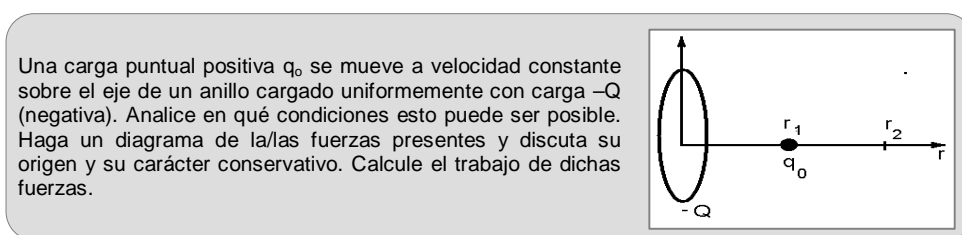


FIGURA 1. Ejemplo típico empleado en la intervención.

Aspectos a destacar:

Como las cargas presentes son de signos opuestos, la fuerza eléctrica será de atracción, y en particular, sobre q_0 orientada en el sentido negativo del eje r . Si se liberara q_0 , ésta tendería a acercarse al anillo acelerándose e incrementando su energía cinética. Pero la situación planteada requiere mover la carga q_0 con velocidad constante. Consideremos el caso en que la carga se aleja del anillo en sentido opuesto al campo o sea aumentando su energía potencial. La pregunta que surge naturalmente es ¿cómo puede aumentar la energía de esta carga si su energía cinética permanece constante?, ¿quién proporciona la energía adicional para que la carga pueda alcanzar la posición final?

Esto no puede lograrse por la única acción de la fuerza electrostática ya que la carga debe moverse en contra del campo eléctrico creado por el anillo. Por lo tanto es necesaria la presencia de un agente externo que actúe sobre la carga ejerciendo la fuerza necesaria para contrarrestar el campo electrostático y transfiriendo la energía desde el exterior para trasladarla a la posición final. Esta fuerza externa no exhibe carácter conservativo, en el sentido expuesto en párrafos anteriores *no conserva la energía del sistema*.

Es por ello que podemos considerar que el trabajo por unidad de carga de esta fuerza no conservativa es también una fem.

Aparecen claramente en este ejemplo, dos tipos de fuerzas: una conservativa, la del campo eléctrico cuyo trabajo por unidad de carga está asociado a la diferencia de potencial, y otra fuerza externa, de diferente naturaleza y no conservativa, cuyo trabajo por unidad de carga es responsable de la transferencia de energía entre el sistema y el medio.

En este punto, se utilizó como analogía mecánica, el caso de un cuerpo que se eleva manualmente a velocidad constante en el campo gravitatorio. En este caso, la identificación del trabajo de la fuerza peso con fuerzas conservativas y la necesidad de una fuerza externa que no conserva la energía del sistema, ya que convierte la energía fisiológica en energía potencial es evidente.

Esta forma de introducir la fem, guarda estrecha relación con la que se plantea en los circuitos eléctricos, donde para que circule una corriente es necesaria la acción de una batería o generador, que proporcione energía desde el exterior para que las cargas que constituyen la corriente aumenten su energía potencial.

En todos los casos hay una conversión de energía de carácter no eléctrico disponible en el medio externo, en energía interna del sistema o viceversa.

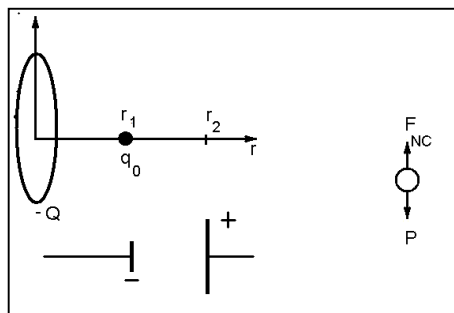


FIGURA 2. Ejemplos utilizados para introducir el concepto de fem.

La presentación anticipada de la fem en electrostática que proponemos, cumple con los requerimientos expuestos por Guisasola como indicadores de una buena comprensión: establece y una estrecha vinculación de la fem con el trabajo de fuerzas no conservativas, permite distinguir entre fem y diferencia de potencial al asociar los trabajos por unidad de carga de fuerzas claramente identificadas como independientes tanto en su origen como en sus propiedades y muestra una modificación (en este caso un ingreso) de energía del sistema.

IV. ENTREVISTAS

El objeto de realizar entrevistas a un grupo de alumnos fue investigar, a través del análisis de algunos casos, las características de los logros obtenidos y detectar los núcleos de dificultad que perduraban, para realizar las correcciones y adecuaciones pertinentes en próximas intervenciones. No interesaba realizar un estudio estadístico sino una indagación en profundidad que permitiera aflorar cuestiones no siempre explicitadas en test de lápiz y papel. Las preguntas estuvieron orientadas por los ya mencionados criterios de Guisasola el al. (2005). Las entrevistas se llevaron a cabo al finalizar el curso, en una situación alejada del examen (en general ya habían aprobado y tenían la nota asegurada). Se propuso analizar dos situaciones similares a las discutidas en clase que se muestran a continuación. :

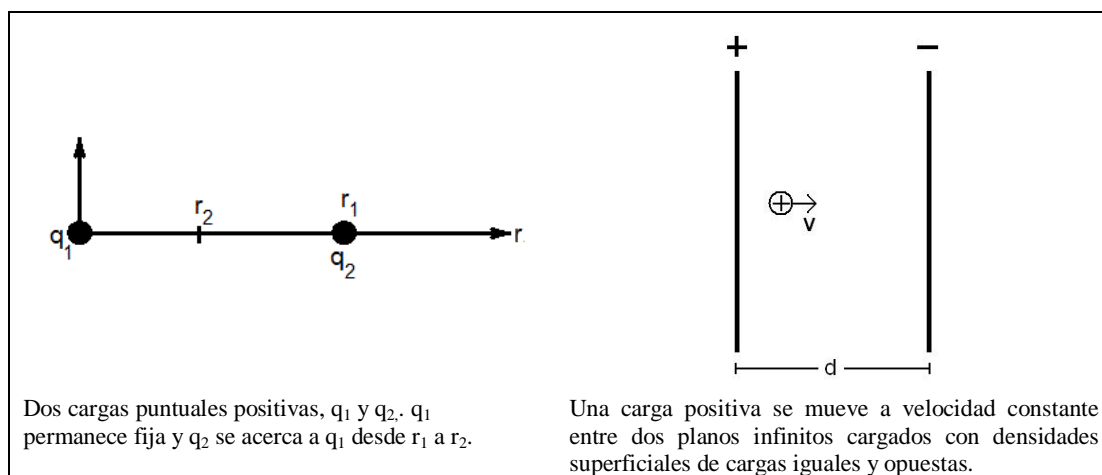


FIGURA 3. Situaciones presentadas en las entrevistas a los alumnos.

A. Análisis de las entrevistas

Del análisis de las entrevistas se desprendió que un grupo interesante de alumnos respondieron con claridad identificando el origen de la fem, su relación con la ddp, las variaciones de energía del sistema y afirmando que hay un único concepto de fem que se explica en las distintas situaciones, en electrostática, en circuitos, etc. Tal es el caso de A19 que al responder a la primera pregunta prácticamente dio cuenta de todo el cuestionario.

A19: Esta partícula q_2 tiene una fuerza repulsiva porque como son del mismo signo tengo que la fuerza del campo eléctrico hace que se alejen, si yo las quiero acercar tengo que hacer una fuerza

que no es la eléctrica para que llegue a r_2 . Como esa fuerza no es de origen eléctrico no es conservativa y es el trabajo efectuado por un campo no conservativo sería una fem y la fem es el trabajo por unidad de carga para llevar a esta partícula de r_1 a r_2 .

A19: [...] El campo conservativo responde a una diferencia de potencial pero la fem tiene un campo que no es conservativo que no responde a la diferencia de potencial. O sea, se miden con las mismas unidades pero no significan lo mismo.

P: ¿En qué otros casos pueden presentarse una fem?

A19: En una barra conductora (en movimiento) en un campo magnético. La fuerza magnética movía las cargas. Primero estaba el conductor solo y las cargas se movían, las positivas hacia arriba y las negativas hacia abajo por efecto del campo magnético, entonces cuando cerraban el circuito, se generaba un campo eléctrico conservativo que producía la corriente que iba de potencial más alto a un potencial más bajo y en la barra conductora teníamos un campo eléctrico no conservativo que iba de potencial menor a uno mayor entonces tendríamos una fem.

P: ¿Producto de la acción de qué?

A19: La barra se movía, ... por un agente externo a velocidad constante.

P: ¿Qué tipo de agente, de qué naturaleza?

A19: No conservativo, mecánico

P: Entonces había conversión de energía mecánica en eléctrica?

A19: Energía de otra naturaleza en eléctrica.

P: ¿Y en los circuitos?, ¿la fem de un circuito?

A19: La pila transforma energía química en eléctrica

Otro es el caso de A7 que reconoce sin dificultad que las fuerzas externas son no conservativas, su trabajo varía la energía del sistema y que el del campo eléctrico es conservativo y opuesto.

P: ¿qué tipo de fuerza era la que hacía el agente externo?

A7: Una fuerza no conservativa.

P: ¿Por qué es no conservativa?

A7: La energía cambia porque se está modificando la energía potencial y la energía cinética dijimos que era constante, entonces no se modifica, pero la energía potencial se está modificando.

P: ¿Y cambia por la acción de quién?

A7: Del agente externo que hace mover la partícula

P: O sea que ¿la energía del sistema no se conserva?

A7: No

P: El agente externo hace un trabajo ¿de qué naturaleza?

A7: No conservativa

P: ¿Es el mismo concepto el trabajo realizado por una fuerza externa que el debido al campo eléctrico?

A7: No, porque el trabajo eléctrico es conservativo...[...]...estamos analizando dos puntos distintos

En algunos estudiantes vemos que la presentación de la fem en electrostática permite asociarla con conceptos menos abstractos vistos en mecánica e identificarla con la transformación de algún tipo de energía en energía eléctrica y su ingreso al sistema, a través del trabajo de una fuerza externa que se opone al campo electrostático.

P: Entonces si la fem y la diferencia de potencial se miden en volts y numéricamente son iguales, ¿por qué las llamamos diferentes?

A20: La diferencia de potencial es por la fuerza eléctrica y la fem es la transformación de una fuerza química o mecánica en eléctrica...[...]... una es conservativa y la otra es no conservativa

P. El trabajo externo, no conservativo, lo asociás a la fem, ¿qué tipo de agentes no conservativos viste en el transcurso de Física III que puedan ser fem?, ¿sólo acá hay fem?

A20: Lo entendí como una energía mecánica, me costó más verlo como una química, que es lo de la parte de las pilas, eso no me quedó muy claro. Esto si tengo una carga acá y la tengo que poner acá tengo que hacer una fuerza, como trabajo mecánico me quedó mucho más claro que como químico.

En otros casos se observan que persisten dificultades en diferenciar conceptualmente entre fem y diferencia de potencial. Esto se evidencia en las entrevistas y no surge de la resolución de problemas de lápiz y papel ya que al ser numéricamente iguales la solución enmascara la dificultad.

P: ¿Cuál es la diferencia de potencial?

A17: Es el trabajo realizado por una fuerza externa y el realizado por la fuerza eléctrica es el opuesto de la variación de potencial eléctrico

P: ¿Esta fuerza externa produce una diferencia de potencial? ¿qué diferencia hay entre una diferencia de potencial y una fem? las dos se miden en voltios

A17: No hay

Otro aspecto destacado es la dificultad en reconocer que el trabajo de las fuerzas no conservativas afectan la energía del sistema.

P: A ver, ¿la fuerza externa es no conservativa?

A5: Sí.

P: Y si es no conservativa, ¿qué pasa con la energía del sistema?

A5: No cambia.

También persiste la idea de que existen diferentes tipos de fem.

P: ¿Qué es para vos una fem?

A12: Una fuerza electromotriz cuando hay un campo magnético variable o una corriente.

P: Es trabajo por unidad de carga, pero de quién?

A12: De una fuente o de un generador... la fem la asocio con que una fuente le está dando cargas al circuito...[] ... la fem la asocio a un circuito o a un campo magnético variable.

P: No la asocias a la electrostática?

A12: No.

V. CONCLUSIONES

Los alumnos tienen dificultad en transferir los conceptos aprendidos en mecánica al contexto del electromagnetismo. Una visión de la física compartimentada en las distintas áreas tales como la mecánica, la termodinámica, el electromagnetismo, etc. circunscribe los conceptos al contexto en que se los enseñó. Así, es evidente en mecánica la necesidad de un agente externo para levantar un cuerpo y aumentar la energía del sistema pero no lo es para mover una carga en contra de un campo eléctrico. Más difícil aún es su reconocimiento en el caso de las pilas y de los fenómenos de inducción.

La presentación tradicional de la fem en circuitos eléctricos, fenómenos de inducción y conductores en movimiento en campos magnéticos, separadamente y como conceptos abstractos y desarticulados, reproduce esta fragmentación y dificulta la construcción de una noción unificada de la fem. Esta construcción podría facilitarse tomando como hilo conductor la idea de fem como el trabajo por unidad de carga de fuerzas no conservativas desde los desarrollos iniciales en electrostática y continuando con la transformación de energía en las baterías, conductores en movimiento en campos magnéticos, etc.

Los resultados obtenidos muestran avances significativos, aunque no todos los alumnos alcanzaron el nivel de comprensión esperado. La presentación temprana de la fem en electrostática permite articular conceptos conocidos de la mecánica, con conceptos más abstractos que se presentan en electromagnetismo. Sin embargo vemos que es necesario discutir con más profundidad las consecuencias de la acción de fuerzas no conservativas, destacando que su trabajo implica un intercambio de energía del sistema con el medio.

REFERENCIAS

Alonso, M y Finn, E. (1995). *Física*, Willmington: Ed. Addison-Wesley Iberoamericana

Garzón Barragán, I. (2012). *El concepto de fuerza electromotriz en cursos introductorios de física en la universidad: Dificultades de aprendizaje y la presentación del concepto en los libros de texto*, Tesis de doctorado, Universidad de Valencia, disponible en

<http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/24919/Tesis%20Final.pdf?sequence=1>

Consultado 15/4/2015.

Garzón, I., De Cock, M., Zuza, K., van Kampen, P. y Guisasola, J. (2014). Probing university students' understanding of electromotive force in electricity, *American Journal of Physics*. 82 (1), pp. 72-79.

Guisasola, J., Almudi, J. y Zuza, K. (2011). University Students' understanding of Electromagnetic Induction. *International journal of Science Education*. DOI:10.1080/09500693.2011.624134. Disponible en

<https://docs.google.com/open?id=0BxxpYfxscKk9ZjhjZDM0MDctMDkyMi00YWVhLTk5NTctMTE4ZTIyMGI1MDMw>
Consultado el 25/05/2014.

Guisasola, J., Montero, A. y Fernández, M. (2005). Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto «olvidado» en la enseñanza de la electricidad: la fuerza electromotriz. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), pp. 47-60.

Guisasola, J., Montero, A. y Fernández, M. (2008). La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30 (1), pp.1-8.

Lea, S. y Burke, J. (1999). *Física. La naturaleza de las cosas*. Vol 1, Méjico: International Thompson Ed.
Papachristou, C. y Magoulas, A. (2012). Electromotive Force: A Guide for the Perplexed. Disponible en <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1211/1211.6463.pdf>
Consultado el 20/4/2015

Pocovi, M. C. y Hoyos, H. (2004). Estudio de caso de la comprensión de diferencia de potencial y fem en alumnos avanzados y graduados en Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9 (3), pp. 337-348.

Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. *Física* Vol. 1, 4º Ed., Méjico: Cia. Ed. Continental.

Sears, F. W., Zemansky, M., Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria* Vol. 1. 13ª Ed. México: Pearson Educación.

Serway, R. y Jewitt, J. (2008). *Física para ciencias e Ingeniería* Vol 1 7º Ed., Méjico: Cengage Learning.

Tipler y Mosca (2006). *Física* Vol. 1. (2001). Barcelona: Ed. Reverté.

Varney, R. N. y Fisher, L. H. (1980). Electromotive force: Volta's forgotten concept. *American Journal of Physics*, 48 (5), pp. 405-408.