

# DIFICULTADES DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE TRES PAÍSES EN EL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE FUERZA ELECTROMOTRIZ EN ELECTRICIDAD

Isabel Garzón Barragán  
*Universidad Pedagógica Nacional*

Jenaro Guisasola, Kristina Zuza  
*Universidad del País Vasco*

Mieke De Cock  
*Universidad Católica de Leuven*

Paul Van Kampen  
*Universidad de Dublin*

**RESUMEN:** El objetivo principal de este estudio es identificar las dificultades de estudiantes universitarios en el aprendizaje de los conceptos de fuerza electromotriz y diferencia de potencial eléctrico en el contexto de corrientes transitorias y de circuitos de corriente directa con resistencias. Para investigar las dificultades de los estudiantes desarrollamos un cuestionario basado en un análisis del marco teórico y epistemológico de la física. Este cuestionario se aplicó a estudiantes de primer año de ingeniería y de física de universidades en el País Vasco, Colombia y Bélgica.

**PALABRAS CLAVE:** Dificultades de aprendizaje, circuitos eléctricos, fuerza electromotriz.

## OBJETIVOS

Este trabajo aborda las dificultades de estudiantes universitarios al analizar fenómenos que involucran corrientes transitorias y el funcionamiento de circuitos simples de corriente continua teniendo el concepto de fuerza electromotriz como uno de los referentes principales en su análisis. Hasta ahora se han llevado a cabo pocas investigaciones sobre la enseñanza y aprendizaje del concepto de fem en circuitos cc (Guisasola et al. 2005), y hemos escogido investigar esta temática por dos razones interrelacionadas. En primer lugar, esta temática está incluida en muchos programas para estudiantes de edades entre 16 y 18 años de escuelas de secundaria europeas, y en muchos cursos de nivel universitario de primer año de ingeniería y de ciencias. En segundo lugar, esta temática es un prerrequisito básico para explicar el funcionamiento de un circuito de corriente continua y algunas aplicaciones tecnológicas.

La física señala que para mover cargas entre dos puntos de un alambre conductor, debe existir una diferencia de potencial entre ambos puntos del alambre. Un modo de generar una diferencia de poten-

---

cial es separando espacialmente cargas de diferente polaridad. En circuitos de corriente continua, que incluyen bombillas y una batería, esto es realizado por la batería. Una serie de «acciones no conservativas» tienen lugar en la batería, a través de las cuales la energía es liberada a las cargas. La fem cuantifica estas acciones como el «trabajo hecho» por unidad de carga o la energía eléctrica liberada por unidad de carga para producir y mantener la diferencia de potencial eléctrico que permite que una corriente eléctrica fluya (trabajo llevado a cabo por fuerzas no conservativas) (Härtel 1982; Guisasola et al. 2013).

El nivel de entendimiento de los estudiantes es descrito aquí para dos clases particulares de fenómenos: (i) Sistemas físicos que involucran movimiento transitorio de cargas eléctricas debido a trabajo mecánico y (ii) El estado estacionario del movimiento de cargas en un circuito con resistencias.

## MARCO TEÓRICO

Las ideas y razonamientos de los estudiantes en el aprendizaje de conceptos y modelos de la física han sido ampliamente investigadas (Duit 2007). Muchas de estas ideas alternativas se han denominado «ideas de sentido común» porque han sido ampliamente compartidas por estudiantes de diferentes países y en diferentes niveles educativos. Mientras la experiencia cotidiana juega un importante papel en algunas de las ideas alternativas de los estudiantes, en otras áreas de la física no es obvio el paralelismo con experiencias cotidianas. Por ejemplo, el caso del concepto de fuerza electromotriz los estudiantes no suelen tener una referencia en relación a la vida cotidiana. Sin embargo, las formas de razonamiento empleadas en la vida cotidiana afectan también a cualquier nuevo conocimiento que los estudiantes tratan de incorporar. El origen del conocimiento de cualquier persona parece incluir tanto aspectos académicos como experiencias cotidianas. Es inapropiado tratar de separar los aspectos de la comprensión de los estudiantes derivados de la dos formas de experiencia (Driver et al. 1994). Por ello, seguimos hablando de ideas alternativas de los estudiantes. La investigación a mostrado reiteradamente que el conocimiento de las ideas alternativas es una ayuda imprescindible para el diseño eficaz de secuencias de enseñanza-aprendizaje sobre cualquier tema de física (Viennot 2001).

## METODOLOGÍA

### Contexto en los tres países

Para investigar la comprensión que tienen estudiantes de primeros cursos de universidad sobre el concepto de fem, se aplicó un cuestionario a estudiantes de ingeniería y física de España, Colombia y Bélgica después de que ellos habían estudiado el tema en clase. Se diseñaron cuatro preguntas abiertas, en las que se pedía dar una explicación detallada. La investigación se llevó a cabo en la UPV-EHU, en la UPN y en la UKL en los últimos dos años. Todos los estudiantes de primer año habían tenido por lo menos dos años de física en la secundaria y habían pasado los exámenes nacionales estándar en España y Colombia para entrar a la universidad. Las horas de instrucción de la teoría y en el laboratorio son muy similares para los estudiantes de los tres países en el semestre dedicado al electromagnetismo y en concreto al tema de circuitos eléctricos. El profesorado en los tres países era experimentado y el programa de electricidad es similar al presentado en los libros de texto como Tipler y Mosca (2004) o Fishbane et al. (1996).

## Análisis de datos

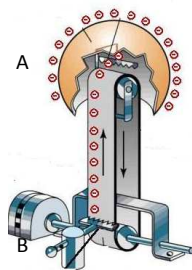
Las respuestas de los estudiantes a las preguntas fueron sujetas a un análisis riguroso (Cohen et al. 2007, Watts et al. 1997). El análisis no se enfoca en las respuestas «correctas» o «incorrectas» sino en identificar el grado de comprensión de los estudiantes y las concepciones alternativas. Nosotros perseguimos una comprensión matizada de qué es lo que los estudiantes entienden razonablemente bien y qué es problemático para ellos con respecto al concepto de fem. Un miembro del equipo de investigación diseñó un borrador de categorías de descripción para cada una de las preguntas basado en la lectura de las respuestas de los estudiantes, y de manera tentativa ubicó cada respuesta en una de las categorías borrador. Los otros investigadores llevaron a cabo la tarea de ubicar cada respuesta en una de las categorías establecidas de manera independiente. Una vez las respuestas fueron clasificadas, las ubicaciones de las respuestas fueron comparadas. Se siguió un proceso iterativo para establecer las categorías de descripción finales que reflejan la similitud en comprensión entre las respuestas ubicadas en cada categoría y las diferencias entre las categorías.

## RESULTADOS

Dos de las preguntas propuestas a los estudiantes son:

### Pregunta 1 (corrientes transitorias)

Como usted ya conoce el generador Van der Graaf es un dispositivo que mediante el rozamiento de una cinta de goma (en la zona B) separa cargas en dos zonas del generador. Acumula carga negativa en la esfera metálica (zona A) y carga positiva en la zona B (ver figura).

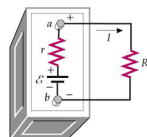


Cuando se conecta un alambre conductor entre la zona A y la zona B, se produce una corriente eléctrica.

¿Es correcto aplicar el concepto de fuerza electromotriz para explicar este fenómeno? Justifique su respuesta.

### Pregunta 2 (circuito resistivo DC)

Un resistor está conectado a los terminales de una batería con una resistencia interna despreciable  $r$ .



Explique cuál de las tres opciones que se indican a continuación describe el balance energético del circuito: a)  $\Delta V=iR$ ; b)  $\epsilon=iR$ ; c) las dos.

Las preguntas fueron dadas a estudiantes de primer año de ingeniería de la UPV-EHU (N=64) y de la UKL (N=87), y a estudiantes de primer año de Física de la UPN (N=50).

Con la pregunta 1 se indaga cómo piensan los estudiantes acerca de la fem en el proceso de separar cargas eléctricas en un generador de Van der Graaff. Los estudiantes deben usar la definición de fuerza electromotriz para analizar la pregunta, ya que el trabajo mecánico por unidad de carga realizado por el generador mientras separa cargas y produce una diferencia de potencial que es medido por la fem.

La pregunta 2 está relacionada con el balance de energía de un circuito eléctrico conformado por una batería, alambres y bombillos o resistores. La respuesta correcta a esta pregunta se puede explicar haciendo uso del principio de conservación de energía, el cual es expresado matemáticamente para este caso mediante la ecuación  $e = IR$ . Aquí, la fem mide el trabajo por unidad de carga hecho en la batería para separar cargas y crear una diferencia de potencial entre los polos de la batería. Así, la ecuación b)  $e = IR$  describe el balance de energía en el circuito completo mientras que la ecuación a)  $DV = IR$  mide la energía por unidad de carga transformada a energía térmica en el resistor.

Los resultados obtenidos para estas dos preguntas permiten identificar dificultades conceptuales comunes. En la tabla 1 se muestran los resultados de las respuestas de los estudiantes como porcentajes.

Tabla 1.  
Resultados obtenidos para las dos preguntas en las tres universidades

CATEGORIAS	P1			P2		
	UPN (N=50)	EHU (N=64)	KU Leuven (N=87)	UPN (N=50)	EHU (N=64)	KU Leuven (N=87)
A. Comprensión correcta del significado de fem.	8%	8%	13%	10%	10%	5%
B. fem como «fuerza» que realiza trabajo para mover cargas.	20%	17%	8%	8%	2%	13%
C. Confusión entre fem y diferencia de potencial (razonamiento basado en la fórmula, fem es lo mismo que la diferencia de potencial o, la ley de Ohm como una ley general que describe el balance de energía para el circuito completo)	6%	27%	11%	54%	53%	58%
D. Razonamiento incorrecto basado en una asimilación pobre del conocimiento que ellos han recordado o, ningún uso del concepto de fem.	46%	38%	57%	20%	16%	11%
No responde/ incoherente	20%	11%	10%	8%	24%	10%

Identificamos 3 categorías de razonamiento comunes que emergen cuando los estudiantes responden cada pregunta. La categoría A incluye todos los elementos que corresponden a la comprensión de un experto del concepto de fem.

En la categoría B la fem es considerada como una fuerza mecánica. Las respuestas en esta categoría fallan en mencionar explícitamente que se presenta una transformación de energía dentro del dispositivo. Los estudiantes le asignan a la fem la capacidad para realizar ‘trabajo’ para mover cargas. Algunas de las respuestas de los estudiantes son:

Para producir la distribución de carga en el generador es necesaria una fuerza electromotriz. (P1, UPV-EHU)

Hay una fem porque la correa hace trabajo mecánico mediante el frotamiento. (P1, UPN)

---

En la categoría C a la fem se le dan las mismas propiedades que a la diferencia de potencial. Algunos ejemplos:

- «Por conservación de la energía, el balance de energía del circuito está determinado por  $e - Ir - IR = 0$ . Como no hay resistencia interna  $e = IR = DV$ . Entonces la diferencia de potencial y la fem son lo mismo para medir la energía del circuito. Así, la opción correcta es c.» (P2, UPV-EHU)
- «El concepto de fuerza electromotriz sólo se puede aplicar en circuitos con baterías o motores eléctricos.» (P1, UPN)
- « $V = \text{voltaje} / I = \text{corriente} / R = \text{resistencia}$ .  $\Delta V = IR$  es la ley de Ohm, la cual está basada en la conservación de la energía y voltaje = energía.» (P2, KU Leuven)

Las respuestas en la categoría D no se menciona el rol jugado por la fem o emplean equivocadamente definiciones memorizadas.

## CONCLUSIONES

Esta investigación no considera la universalidad o frecuencia de las diversas concepciones alternativas que los estudiantes muestran al emplear el concepto de fem en electricidad, ya que la muestra es bastante pequeña para hacer este tipo de afirmaciones cuantitativas. Sin embargo, encontramos concepciones alternativas comunes en los tres países y patrones de razonamiento similares de los estudiantes al abordar cuestiones relacionadas con los conceptos de fem y diferencia de potencial.

En nuestro estudio encontramos evidencia de que los estudiantes de los tres países tienen una vaga comprensión del concepto de fuerza electromotriz. Cuando los estudiantes son confrontados con preguntas cualitativas, ellos muestran renuencia a explicar el significado de fem. Posiblemente esta renuencia es debida a la falta de comprensión del concepto de fem y la dificultad en diferenciarlo de la noción de diferencia de potencial.

En resumen, muchos estudiantes no comprenden claramente la utilidad de los dos conceptos diferencia de potencial y fem. La definición de fem involucra ideas complejas y los estudiantes fácilmente se pueden sentir agobiados por la práctica habitual de introducir rápidamente estas ideas abstractas, lo que puede explicar la escasa comprensión mostrada en este estudio. Presentamos una categorización de los diferentes problemas que los estudiantes encuentran con el concepto de fem. Creemos que la descripción detallada de los errores de los estudiantes en las categorías puede ayudar a los profesores de física así como a los investigadores en enseñanza-aprendizaje de la física a abordar las dificultades conceptuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education* Chap. 24 (6th Edition). London: Routledge.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P. y Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, pp. 75-100.
- Duit, R. (2007). *Bibliography-STCSE (Students' and teachers' conceptions and science education)*, Kiel, IPN-Libniz Institute of Science Education (<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>)
- Fishbane, P. M., Gasiorowicz, S. y Thornton, S.T. (1996). *Physics for scientists and engineers* (Second Edition). New York: Prentice-Hall.

- 
- Guisasola, J., Garzón, I. y Zuza, K. (2013). The influence of the history of science in designing learning indicators: Electromotive force in dc circuits. *Journal of Science Education*, 14(1), pp. 4-8.
- 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» (Pre-service teachers' conceptions on a concept 'forgotten' in the teaching of electricity: electromotive force). *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), pp. 47-60.
- Härtel, H. (1982). The electric circuit as a system: A new approach. *European Journal of Science Education*, 4 (1), pp. 45-55.
- Viennot, L. (2001). *Reasoning in Physics. The part of common sense*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.
- Watts, M., Gould, G. y Alsop, S. (1997). Questions of understanding: Categorising pupils' questions in Science. *School Science Review*, 79, pp. 57-63.