

¿QUÉ ENTIENDEN LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE FÍSICA GENERAL POR FUERZA ELECTROMOTRIZ? UN ESTUDIO EN CUATRO PAÍSES

Kristina Zuza, Jenaro Guisasola

Departamento Física Aplicada I. Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia.

Mieke De Cock, Laurens Bollen

Department of Physics and Astronomy & LESEC, University of Leuven- KU Leuven, Leuven 300, Belgium.

Paul van Kampen

Centre for the Advancement of Science and Mathematics Teaching and Learning & School of Physical Sciences, Dublin City University (DCU), Dublin 9, Ireland.

Isabel Garzón

Department of Physics, National Pedagogical University. Bogota, Colombia.

RESUMEN: Se presenta una investigación sobre la comprensión de los estudiantes universitarios del concepto de fuerza electromotriz, al analizar situaciones en los contextos de circuitos de corriente continua y fenómenos de inducción electromagnética. Para investigar las dificultades de aprendizaje, diseñamos un cuestionario de seis preguntas abiertas, que fue aplicado a estudiantes de primer año de física e ingeniería en España, Colombia, Irlanda y Bélgica. Hemos utilizado la fenomenografía, como metodología de investigación para definir las categorías explicativas. La frecuencia de las respuestas en las diferentes categorías explicativas varía de una universidad a otra, pero encontramos que las dificultades son similares en las cuatro universidades. Los resultados muestran que muy pocos estudiantes tienen una buena comprensión del concepto de fem y no logran diferenciar entre fem y diferencia de potencial.

PALABRAS CLAVE: dificultades de aprendizaje, fuerza electromotriz, enseñanza universitaria

OBJETIVOS: En este trabajo, analizamos las dificultades que encuentran los estudiantes universitarios para comprender el significado científico del concepto de fuerza electromotriz (en adelante, fem) en electricidad e inducción electromagnética. Este estudio forma parte de un proyecto más amplio que tiene como objetivo el diseño, implementación y evaluación de una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje del concepto de fem para cursos introductorios de Física en la universidad, en diferentes países. En relación a la investigación previa sobre dificultades de comprensión del concepto de fem, este estudio añade que se ha realizado con estudiantes universitarios de varios países (España, Bélgica, Colombia e Irlanda) y se ha centrado en el carácter transversal del concepto de fem que abarca la explicación de diferentes fenómenos del electromagnetismo.

MARCO TEÓRICO

Este trabajo se sitúa dentro del paradigma constructivista del aprendizaje y, en particular en la línea de investigación en Concepciones Alternativas. La comprensión de las concepciones de los estudiantes, es un aspecto importante de la enseñanza. La identificación de los conceptos y teorías que los estudiantes aprenden bien, y aquellos con los que tienen dificultades, puede guiar la enseñanza y el desarrollo curricular. El aprendizaje en cursos introductorios de Física en la universidad, requiere que los estudiantes utilicen ideas sofisticadas con las que no están familiarizados. Por ejemplo, mientras que los estudiantes pueden haber experimentado los efectos de la inducción electromagnética en la vida cotidiana (p.e. cocina de inducción), es poco probable que hayan conocido el concepto de fem relacionado con la inducción electromagnética fuera del aula. Por tanto, no es sorprendente que diferentes estudios muestren que algunas de las dificultades de comprensión de los estudiantes sean debidas a la enseñanza recibida (McDermott 2001, Viennot 2001).

En relación a la justificación epistemológica del concepto de fem, se ha tenido en cuenta el marco teórico de la física contextualizado para el curriculum de Física General en los primeros cursos universitarios. Es necesario, al igual que se hace en mecánica, que los profesores diferencien entre el trabajo que realizan las fuerzas no conservativas y las conservativas. Este trabajo por unidad de carga, en la batería da lugar a la fem (realizado por una fuerza no conservativa) y a la diferencia de potencial entre los bornes de la batería (trabajo que realizan fuerza conservativas); ambos valores son iguales en el caso de una batería ideal.

METODOLOGÍA

Este estudio utiliza el enfoque metodológico de la fenomenografía para investigar “las formas cualitativamente diferentes en que las personas experimentan, conceptualizan, perciben y comprenden diversos aspectos y fenómenos del mundo que les rodea” (Marton, 1981). De acuerdo al enfoque fenomenográfico, las personas tienen diferentes modos de experimentar un fenómeno, y también tienen fragmentos de diferentes modos de experimentar ese fenómeno (Marton y Booth 1997). La descripción de los modos de entender de los estudiantes es una descripción colectiva, es decir se analizan las respuestas a cada pregunta y se agrupan teniendo en cuenta las semejanzas entre ellas, en ese sentido, las voces individuales son abandonadas. La fenomenografía trata de cómo las diferentes maneras de percibir y entender la realidad (conceptos y formas asociadas de razonamiento) pueden considerarse como categorías que describen la realidad. Estas categorías se pueden observar entre un gran número de individuos, y por lo tanto todas estas representaciones juntas indican un tipo de intelecto colectivo.

Para investigar la comprensión de los estudiantes se diseñó un cuestionario con seis preguntas abiertas, con énfasis en la explicación. El cuestionario se describe en el siguiente apartado. En relación a la validación del cuestionario se utilizaron dos herramientas: a) Validación por pares. Se involucraron en la evaluación de los objetivos y redacción del cuestionario dos profesores de física de cada universidad, con amplia experiencia en enseñanza de Física General; b) Implementación previa del cuestionario a una muestra de 30 estudiantes de primer curso de cada universidad (Cohen, Manion y Morrison 2007). Como resultado de la aplicación de ambas herramientas, se hicieron algunos cambios de redacción en las preguntas del cuestionario que facilitaban la comprensión de los objetivos que persigue cada cuestión.

Para la fiabilidad de la clasificación de las categorías que se muestra en la sección de resultados, un miembro del equipo investigador lee las respuestas de los estudiantes y construye una primera versión de categorías explicativas. La atención se centró en las explicaciones de los estudiantes, teniendo en cuenta la respuesta en su conjunto, en lugar de comentarios particulares que corresponden a aspectos

específicos. A continuación, la misma investigadora volvió a leer las respuestas de los estudiantes, asignando las explicaciones a las categorías provisionales previamente descritas y obtuvo una fiabilidad interna (intra-rater) de 0,83%, que es una confianza satisfactoria. No obstante, la investigadora realizó modificaciones en las categorías. A continuación, todos los investigadores del equipo en las diferentes universidades llevaron a cabo el análisis de las respuestas de los estudiantes con el mismo tipo de categorías. Una vez que las respuestas fueron clasificadas, se comparó la categorización de las respuestas en una reunión presencial entre todos los investigadores. Cualquier desacuerdo sobre la descripción de la categoría o categorización de respuestas se resolvió mediante referencia a las respuestas como la única evidencia de la comprensión del estudiante (Watts, Gould y Alsop 1997). Después de definir las categorías finales, se alcanzó un grado muy alto de acuerdo del 95% de concordancia entre los pares de los investigadores, con un coeficiente de fiabilidad de la kappa de Cohen de media de 0,88.

RESULTADOS Y DISCUSION

Contexto de la Investigación y cuestionario

Esta investigación se ha desarrollado con estudiantes universitarios de cuatro países, España (Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU)), Bélgica (KU-Leuven (KUL)), Colombia (Universidad Pedagógica Nacional (UPN)) e Irlanda (Dublin City University (DCU)). El cuestionario se pasó a los estudiantes después de haber estudiado los correspondientes temas. Por razones de organización de cada universidad, ajenos a la investigación, en Colombia sólo se pasaron las cuestiones correspondientes a la electricidad y en Irlanda las correspondientes a la inducción electromagnética, con lo cual, los datos de la tercera universidad serán de Colombia o Irlanda dependiendo de si las cuestiones son de electricidad o de inducción electromagnética. Los programas de estudio en la cuatro universidades son similares y siguen los estándares de los libros para cursos introductorios de física (Tipler y Mosca 2005).

Para evaluar la comprensión del concepto de fem diseñamos seis preguntas, las primeras tres preguntas están en el contexto de la electricidad y las siguientes tres en el contexto de la inducción electromagnética. En este artículo por cuestiones de espacio, vamos a presentar en detalle dos preguntas del cuestionario (cuestiones 2 y 5) que muestran evidencias que apoyan las conclusiones generales. El propósito de la cuestión 2 (ver Fig.2) es indagar si los estudiantes consideran el circuito como un todo, incluyendo la batería. Esta pregunta implica una comprensión en profundidad, ya que en la igualdad descrita por las dos ecuaciones hay coincidencia en los términos de la derecha de ambas, y por lo tanto el análisis del circuito requiere discutir el significado cualitativo de los conceptos de fem y diferencia de potencial. Aunque no esperábamos que nuestros estudiantes captaran todas las sutilezas, esta pregunta permite explicitar algunas dificultades de comprensión importantes en torno a la noción de fem.

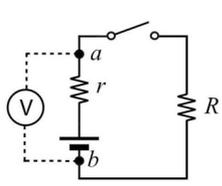
<p>C2. Un resistor R es conectado a los terminales de una batería con resistencia interna r despreciable. Explica cuál de las tres opciones propuestas a continuación describe el balance de energía dentro del circuito:</p> <p>a) $\Delta V = IR$ b) $\varepsilon = IR$ c) Ambos</p>	
--	---

Fig. 1. Pregunta 2 del cuestionario

De acuerdo al circuito de la pregunta 2, la batería hace un trabajo que primero se convierte en energía potencial eléctrica y luego en energía térmica. El trabajo hecho por unidad de carga es igual a la energía potencial eléctrica por unidad de carga, el cual a su vez se transforma en energía térmica por unidad de carga. Ambas respuestas - (a) y (b) – son correctas debido a que no hay resistencia interna en la batería (es ideal), en caso contrario la diferencia de potencial sería ligeramente menor que la fem de la batería. Sin embargo, aunque las dos ecuaciones son correctas, el significado de cada una es diferente, en la respuesta (a) el lado izquierdo representa la energía potencial eléctrica por unidad de carga entre los terminales de la batería; en la respuesta (b) representa el trabajo por unidad de carga realizado para mover las cargas desde un terminal al otro en la batería.

El objetivo de la cuestión 5 (ver Fig.2), es investigar si los estudiantes distinguen entre diferencia de potencial y fem en un contexto de inducción electromagnética; para ello se les propone analizar si es posible generar una diferencia de potencial inducido en la bobina, y en caso de que concluyan que sí cómo podrían calcularla.

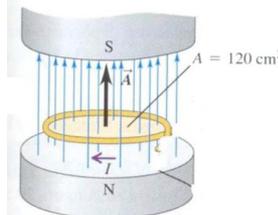
<p>C5.- Una bobina conductora con un área de superficie de $0,012 \text{ m}^2$ y una resistencia de 5Ω, es ubicada entre los polos de un electroimán que produce una variación uniforme del campo magnético $\text{dB}/\text{dt}=0.025 \text{ T}/\text{m}^2$.</p> <p>¿Hay diferencia de potencial inducido en la bobina? Si es así explica cómo calcularla.</p>	
--	--

Fig. 2. Pregunta 5 del cuestionario

Resultados

Se identificaron cuatro categorías de respuestas para los cuatro países. La categoría A: “La correcta comprensión de fem en un contexto de electricidad o de inducción electromagnética”, incluye las respuestas que incorporan la mayoría de los elementos que corresponden a una distinción acorde con el significado científico de los conceptos de fem y de diferencia de potencial. La categoría B, “elementos aislados de un marco científico”, comprende las respuestas incompletas que mencionan algunos conceptos relevantes como la variación de flujo magnético, fem o corriente. Se asigna a la categoría C, “fem y diferencia de potencial no se distinguen o se igualan”, las respuestas que confunden claramente fem y la diferencia de potencial o usan los términos como si fueran sinónimos. Categoría D, “una aplicación incorrecta de conceptos / leyes”, comprende las respuestas en las que se aplican de forma incorrecta los conceptos y las fórmulas, no se explica su significado o bien, no se indican los límites de su validez.

La Tabla 1 muestra cómo se distribuyeron las respuestas de los estudiantes a las cuestiones 2 y 5, a través de las cuatro categorías. La variación en la frecuencia de las respuestas en la misma categorización común entre las seis preguntas confirma los resultados de la investigación didáctica sobre la naturaleza fluida de las respuestas individuales de los estudiantes (Driver et al. 1994).

Tabla 1.
Categorías de las respuestas dadas por los estudiantes en cuatro países (tres para cada pregunta) de los fenómenos que se presentan en las preguntas C2 y C5.

Categoría	C2. Ley Ohm y circuito			Q5. Anillo circular e inducción		
	UPN	UPV-EHU	KUL	UPV-EHU	KUL	DCV
A	10	10	5	1	0	3
B	8	2	13	1	5	13
C	54	50	58	23	40	10
D	20	16	13	22	18	33
NC/I	8	22	11	53	37	41

En general, muy pocas respuestas de los estudiantes (igual o menos del 10%) se clasificaron como correcta comprensión de la fem y la diferencia de potencial (categoría A). No hubo diferencias importantes en la frecuencia de respuestas correctas entre los cuatro países. Aunque las cuestiones son familiares a los estudiantes en el contexto académico, la gran mayoría de ellos tienen dificultades para distinguir entre fem y diferencia de potencial, incluso en estos contextos.

Las respuestas en la categoría B, “elementos aislados del marco científico” son incompletas pero no incorrectas. Las explicaciones a las preguntas de electricidad, se centran en el concepto de fuerza, pero no relacionan la fem y la diferencia de potencial. Por ejemplo: “la fuerza electromotriz realiza el trabajo de generar la corriente y por tanto son válidas ambas ecuaciones” (estudiante de KUL, cuestión 2)

Las respuestas en la categoría B a las preguntas de inducción electromagnética, se basan en la ley de Faraday y/o en la variación del campo magnético. Los estudiantes aplican de forma correcta estas leyes pero usualmente, no relacionan la fem con la diferencia de potencial. Por ejemplo, “Hay corriente en el anillo porque el flujo magnético varía. Siempre que se esté moviendo el imán habrá corriente en el anillo” (Estudiante de UPV/EHU, cuestión 5)

Numerosas respuestas a las seis preguntas reflejan que muchos estudiantes confunden la fem y la diferencia de potencial (categoría C). Muchos estudiantes no utilizan una definición de fem e igualan explícitamente fem con diferencia de potencial, mediante explicaciones que atribuyen las mismas propiedades a la fem y a la diferencia de potencial. Esto lleva a que los estudiantes construyan relaciones de causalidad erróneas en los contextos de circuitos eléctricos y de inducción. Por ejemplo, algunos estudiantes afirman que la ley de Ohm describe el balance de energía de todo el circuito (cuestión 2).

Las respuestas de la categoría D son aplicaciones incorrectas de los conceptos o fórmulas sin justificación. Dependiendo de la pregunta y de la universidad, una parte importante de los estudiantes recurren a una fórmula que se aplica de una manera mecánica sin significado. Algunos estudiantes no entienden el significado de estas fórmulas y las aplican en situaciones en las que no tienen validez, o se aplican de forma incorrecta, por ejemplo: “ $V = IR$ es la ley de Ohm, que se basa en la conservación de la energía y la tensión es igual a la energía”. (estudiante UPN, cuestión 2)

En relación a las frecuencias de cada categoría en los diferentes países (ver Tabla 1), estamos interesados en detectar las dificultades comunes y no en la explicación de las diferencias entre las universidades. Teniendo en cuenta que el programa y los libros de texto utilizados son similares en las cuatro universidades, creemos que las diferencias pueden ser debidas a los diferentes enfoques de cada uno de los profesores y variables como tamaño de grupo, opciones del grado, etc. Sin embargo, los datos confirman la convergencia de las diferentes explicaciones en las categorías definidas para los cuatro países y la validez de las tendencias explicativas de los estudiantes.

CONCLUSIONES

Este estudio nos ha permitido conocer cómo los estudiantes explican situaciones en las que es necesario utilizar conceptos tales como fem y diferencia de potencial y cómo los relacionan con los conceptos de corriente eléctrica, flujo magnético y corrientes inducidas. Después de la enseñanza estándar muy pocas respuestas de los estudiantes proporcionan evidencias de que han desarrollado un marco conceptual científico, a pesar de que casi todas las preguntas del cuestionario son familiares a los estudiantes en el marco académico y son utilizadas comúnmente en los libros de texto. Otra minoría de estudiantes indica respuestas libres de errores pero que no se centran en las diferencias y similitudes de la diferencia de potencial y fem (categoría B). La gran mayoría de los estudiantes, a pesar de que parece que lo intentan seriamente, confunden fem y diferencia de potencial, dan explicaciones erróneas desde el punto de vista científico o no responden.

El estudio aporta evidencias de la existencia de categorías explicativas comunes en los cuatro países; resultado que puede estar sustentado en las similitudes en la enseñanza de la física. Los estudiantes de los cuatro países tienen un currículo de física similar en la enseñanza universidad, utilizan libros de texto similares y están expuestos a estrategias de enseñanza similares basadas en la transmisión verbal.

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar un marco coherente para integrar en el programa de física el concepto de fem y para establecer su utilidad explicativa en el análisis de fenómenos eléctricos y de inducción electromagnética. Así pues, la siguiente etapa de nuestro trabajo consiste en el diseño de nuevos materiales curriculares basados en los resultados de nuestra investigación, y su desarrollo y evaluación en clase de distintos países en cursos introductorios de física universitaria.

REFERENCIAS

- COHEN, L., MANION, L., y MORRISON, K. (2007). *Research Methods in Education*. London: Routledge.
- DING, L., CHABAY, R.W., SHERWOOD, B.A. and BEICHNER, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment. *Physical Review Physics Education Research* 2, 010105.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., SCOTT, P., & MORTIMER, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational researcher*, 23(7), 5-12.
- MARTON, F. (1981). Phenomenography- Describing conceptions of the world around us, *Instructional Science*, 10, 177-200.
- MARTON, F., y BOOTH, S. (1997). *Learning and awareness*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- TIPLER, P.A. y MOSCA, G. (2005). Física para la Ciencia y la Tecnología. Editorial Reverte. Barcelona.
- VIENNOT, L. (2001). *Reasoning in physics. The part of common sense*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- WATTS, M., GOULD, G., y ALSOP, S. (1997). Questions of understanding: Categorising pupils' questions in Science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.