

Explicaciones de los estudiantes de primer curso de ingeniería sobre los fenómenos de inducción electromagnética

Jenaro Guisasola - José Manuel Almudí - Kristina Zuza

Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco, España
wupguarj@sp.ehu.es

El trabajo que se presenta trata sobre las ideas de los estudiantes de primer curso de Ingeniería sobre la teoría de Inducción Electromagnética (IE). En esta investigación analizamos la parte de la teoría de IE relacionada con la ley de Faraday que se sitúa en el análisis básico de los fenómenos de inducción para cursos introductorios de física, dentro de la física clásica. En este trabajo emergen las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Qué se entiende por una buena comprensión de la inducción electromagnética en cursos introductorios de física?; 2) ¿Qué concepciones y formas de razonamiento utilizan los estudiantes de primer curso de ciencias e ingeniería en las explicaciones de los fenómenos de inducción electromagnética? Hemos utilizado un enfoque fenomenográfico para explorar las ideas de los estudiantes. Hemos encontrado que los tipos de razonamiento utilizados por los estudiantes se pueden agrupar en cuatro categorías de descripción que nos informan sobre las posibles formas de razonamiento de los estudiantes. Nuestro análisis ha encontrado que la mayoría de los estudiantes utiliza un análisis de variación de flujo basado en la ley de Faraday para explicar fenómenos de IE que les son familiares en un contexto académico. Sin embargo, muy pocos estudiantes saben explicar aplicaciones técnicas basadas en los fundamentos de la teoría de IE. Así mismo, muy pocos estudiantes son capaces de distinguir entre niveles macroscópicos descritos en términos de campos y niveles microscópicos descritos en términos de las acciones de los campos.

Palabras clave: modos de razonamiento, estudiantes de ingeniería, inducción electromagnética.

The submitted paper deals with the ideas of first course engineering students about the theory of electromagnetic induction (EI). In this research we analyze the part of the theory of EI related to Faraday's law, which lies in the basic analysis of the phenomena of induction for introductory classical physics courses. In this paper emerge the following research questions: 1) What is meant by a good understanding of electromagnetic induction in introductory physics courses? 2) What concepts and ways of reasoning are used by students in first course of science and engineering as explanations of the phenomena of electromagnetic induction? We used a phenomenographic approach to explore students' ideas. We found that the ways of reasoning used by students can be clustered into four categories of description that tell us about possible ways of students' thinking. Our analysis has found that most students used a variation of flow analysis based on Faraday's law to explain IE phenomena which are familiar in an academic context. However, very few students know how to explain technical applications based on the fundamentals of the theory of EI. Likewise, very few students are able to distinguish between macroscopic levels described in terms of fields and microscopic levels described in terms of the actions of the fields.

Keywords: ways of reasoning, engineering students, electromagnetic induction.

Introducción

Desde un punto de vista social-constructivista del proceso de aprendizaje (Leach & Scott 2003), el conocimiento de las formas de razonamiento de los estudiantes es esencial en el trabajo de reconstrucción de los objetivos y contenidos de enseñanza. Por ello, desde hace más de dos décadas existe una línea de inves-

tigación en enseñanza de la física que trata de aportar información consistente y validada sobre las concepciones y formas de razonamiento de los estudiantes en temas concretos del programa de física en educación secundaria y universitaria. En el área de Electricidad y Magnetismo, muchos trabajos de investigación han mostrado que los estudiantes obtie-

nen un pobre aprendizaje en temas básicos de circuitos de corriente continua (Mulhall et al. 2001, Thacker et al 1999), de electrostática (Benseghir y Closset 1996, Furió et al 2004) o de campo magnético (Guisasola et al 2004), entre otros. El aprendizaje del Electromagnetismo incluye relaciones complejas y conceptos abstractos y, los modelos explicativos dependen de las relaciones macro-micro entre las observaciones experimentales y las explicaciones teóricas.

Pocas investigaciones se han realizado en el tema de Inducción Electromagnética (IE) para un nivel de cursos introductorios de física en la universidad. Existen trabajos de innovación que proponen experimentos (Kingman, Rowland y Popescu 2002; Wood, Rottmann y Barrera 2004; Hessel 1999; Lyna, Teca Chee, Lian Sai, Ngoh Khang y Aik Ling 2008; Ruiz 2006) o nuevas secuencias de enseñanza para mejorar el aprendizaje de los estudiantes en el tema de IE (Fatuzzo y Toepker 2004; Cohen 2005; Jones 2003; Galili, Kaplan y Lehavi 2006; Roche 1987). Esta bibliografía muestra la preocupación del profesorado sobre la enseñanza-aprendizaje de este tema. Sin embargo, son escasos en comparación con otros temas de física, trabajos de investigación que muestren las concepciones y formas de razonamiento de los estudiantes (Albe, Venturini y Lascours 2001; Venturini y Albe 2002; Loftus 1996, Mauk y Hingley 2005). La enseñanza-aprendizaje de la teoría explicativa de los fenómenos de IE es un problema didáctico poco investigado. Muchas de las cuestiones utilizadas en las investigaciones hacen referencia al conocimiento de fórmulas y su significado, pero se ha prestado muy poca atención a las concepciones de los estudiantes y al conocimiento del modelo que deben poseer para explicar fenómenos de inducción sencillos a nivel de cursos introductorios de física.

En esta investigación analizamos la parte de la teoría de IE relacionada con la ley de Faraday que se sitúa en el análisis básico de los fenómenos de inducción para cursos introductorios de física, dentro de la física clásica. Pensamos que esta parte del temario es interesante para la enseñanza por las siguientes

razones: a) es un tema donde diferentes leyes y conceptos del campo eléctrico y del magnético se relacionan y los estudiantes encuentran dificultades en tratar los diferentes conceptos de forma conjunta y en elegir aquellos que son apropiados; b) la existencia de estudios previos que muestran las dificultades de los estudiantes en analizar conceptos básicos como flujo magnético y las relaciones entre campos eléctricos y magnéticos, así como su producción; c) la gran importancia del concepto de IE para la construcción de un modelo basado en las ecuaciones de Maxwell de la física clásica que asegura la interpretación científica de muchos fenómenos electromagnéticos. La relevancia de la IE no se limita al cuerpo teórico de la física, sino que una correcta interpretación de estos fenómenos permite a los ciudadanos la toma de decisiones informada de muchas aplicaciones de la IE en la vida cotidiana. Por ejemplo, las cocinas de inducción no suponen un riesgo para la salud, información sobre motores eléctricos ...etc.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada y la relevancia de la IE interpretada a través de la ley de Faraday en el marco de la física clásica, en este trabajo emergen las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Qué se entiende por una buena comprensión de la inducción electromagnética en cursos introductorios de física (último curso de secundaria, primero de universidad)?; 2) ¿Qué concepciones y formas de razonamiento utilizan los estudiantes de primer curso de ciencias e ingeniería en las explicaciones de los fenómenos de inducción electromagnética?

A continuación, comenzaremos por explicitar la metodología de investigación didáctica que utilizaremos para obtener información sobre las concepciones y formas de razonamiento de los estudiantes. En segundo lugar, analizaremos qué consideramos una buena comprensión de la inducción electromagnética al interpretar fenómenos electromagnéticos dentro de la física clásica a nivel de cursos introductorios de física. Finalizaremos con la descripción del diseño experimental realizado y los resultados obtenidos, así como sus implicaciones didácticas.

Marco teórico

Ya hemos indicado que este trabajo se sitúa dentro de un marco constructivista del aprendizaje que se caracteriza, en general, por la necesidad de entender las ideas y creencias que los estudiantes poseen cuando estudian física (ciencias), para utilizar posteriormente este conocimiento en el diseño del programa y de las estrategias a aplicar en el aula (Duit et al., 1996; Guisasaola et al. 2008).

La investigación ha mostrado que la utilización de diferentes técnicas y contextos en la indagación de las concepciones de los estudiantes producen diferentes resultados. Esta variedad de resultados y su consistencia ha sido mencionada como uno de los problemas de la investigación en concepciones alternativas (Engel-Clough y Driver, 1986; Marton, 1981). La Fenomenografía ha sido propuesta y utilizada, para describir y explicar las diferentes formas en las que las personas experimentan, perciben y entienden un mismo fenómeno (Booth 1997, Buck et al., 2003, Entwistle 1997, Marton, 1981, Marton y Booth, 1997). Su origen se sitúa en la investigación educativa, donde se desarrolló con la intención de entender por qué algunos estudiantes eran mejores aprendices que otros.

La Fenomenografía tiene como objetivo informarse sobre las formas cualitativamente diferentes que tienen las personas de experimentar o pensar sobre diferentes fenómenos. Diferentes personas no experimentarán un fenómeno dado de la misma forma, pero el enfoque fenomenográfico asume que hay un número limitado de formas cualitativamente diferentes en que las personas pueden experimentar un mismo fenómeno.

La investigación busca identificar las múltiples concepciones o significados de un grupo determinado de personas (en nuestro caso, los estudiantes) sobre un fenómeno o un grupo de fenómenos. Por tanto, el objeto de estudio de la investigación fenomenográfica son las diferentes formas cualitativas en las que las personas experimentan o dan sentido a los diferentes fenómenos que ocurren a su alrededor. El objetivo de la investigación fenomenográfica es por tanto, obtener un conjunto de categorías que describen las variaciones cualitativas en

las formas en que las personas participantes (p.e. los estudiantes) experimentan, interpretan, entienden, perciben o conceptualizan un objeto de estudio, una actividad o un fenómeno (p.e. la inducción electromagnética). Este conjunto ordenado de categorías descriptivas se denomina el “outcome space” del concepto objeto de estudio. Sin embargo, la fenomenografía es más que la clasificación de las concepciones y el conjunto de categorías, incluye también mirar los significados implícitos, las relaciones entre ellos y sus implicaciones para un contexto dado.

De acuerdo con Marton y Booth (1997), la definición de categorías debe cumplir una serie de criterios, como los siguientes: a) cada categoría debe estar en clara relación con el fenómeno investigado, es decir, cada una nos debe indicar algo distinto sobre la forma particular de explicar el fenómeno; b) las categorías deben estar en orden jerárquico, por tanto, deben progresar de relaciones simples a complejas; c) el sistema de categorización debe ser sencillo, es decir, se debe explicar con un número razonablemente pequeño de categorías. Si el sistema de categorías cumple los criterios anteriores, será teóricamente y pedagógicamente útil.

Investigaciones fenomenográficas previas (Lybeck et al. 1988, Renström et al.1990, Walsh et al 1993) utilizan la entrevista individual como primera fuente de datos. En el trabajo que presentamos aquí, la principal fuente de datos son las respuestas escritas a un cuestionario. En principio, Marton y Booth (1997) no indican que existan impedimentos para utilizar cuestionarios como fuente de datos u otro tipo de técnicas que sirvan, de alguna manera, como expresión de cómo la gente percibe y experimenta los hechos. Sharmán et al (2004) en un estudio fenomenográfico de la concepciones de los estudiantes sobre la gravedad, utilizan como fuente de datos las respuestas escritas a una cuestión. Ellos indican (p.270) “In phenomenography, particularly when we are looking at griten responses rather than interviewing we prefer a large sample size in order to pick out the smaller categories”. En el estudio que presentamos hemos considerado que una muestra de

85 respuestas de dos clases de estudiantes de ingeniería sería suficiente para cumplir con las condiciones impuestas en investigaciones con este tipo de enfoque.

Modelos explicativos de la inducción electromagnética en el marco de la física clásica

La esencia del análisis fenomenográfico, tal y como lo hemos aplicado en este trabajo, es desarrollar descripciones de los diferentes tipos de respuestas escritas de los estudiantes, mediante un proceso interactivo de comparación y contraste de las respuestas individuales. Las respuestas de los estudiantes al cuestionario fueron categorizadas más en función de los principios fenomenográficos que de su adecuación con el estándar actual. Nuestro análisis fenomenográfico trata de ignorar la física ‘correcta’ y de centrarse en lo que los estudiantes escriben. No obstante al analizar las respuestas es útil comparar nuestra clasificación fenomenográfica con los puntos de vista ortodoxos de la física sobre IE. Los estándares más obvios para la comparación son los libros y artículos de física (Lorrain y Corson 1972, Cheng 1996, Tilley 1968, Nussbaum 1972, Galili y Kaplan 1997, Munley 2004, Cohen 2005) que establecen que los fenómenos de inducción electromagnética entendidos como la producción de una fuerza electromotriz inducida en un circuito cerrado, abierto o en un conductor, son causados por a) la presencia de un campo magnético variable en el tiempo; b) el movimiento de un circuito o con-

ductor en un campo magnético estacionario; o bien a una combinación de ambas.

En este trabajo cuando nos referimos a la IE tratamos de aquellos conceptos y leyes que definen los fenómenos de inducción electromagnética y cuantifican sus efectos a través de la ley de Faraday y de Lorentz, dentro de un marco de la física clásica y las leyes de Maxwell. Así mismo, consideramos que el fenómeno es observado por un observador inercial fijo en el sistema del laboratorio. Es en este contexto de la física en el que realizamos las consideraciones sobre los modelos explicativos de la IE.

Como en otros fenómenos naturales la descripción de la IE se puede realizar en términos de campo o en términos de las acciones que ejerce el campo sobre la materia. Por ejemplo, al analizar fenómenos gravitatorios se puede hacer una descripción en términos de la intensidad de campo (gravedad) que actúa en esa zona del espacio o bien, en términos de la acción que ejerce el campo sobre las masas que hay en esa zona del espacio (la fuerza gravitatoria ejercida). En el caso de los fenómenos de Inducción Electromagnética también es posible esta doble y complementaria descripción: en términos del campo (intensidad de campo) y en términos de la acción ejercida por el campo (fuerza electromagnética). A continuación se expresan de forma muy resumida en el cuadro 1 estas dos descripciones complementarias que hemos denominado ‘modelo explicativo de Faraday-Lorentz’.

Cuadro 1. Modelo explicativo Faraday-Lorentz

Fenómenos experimentales	Modelo explicativo Faraday-Lorentz	
	Campos que actúan-Ley de Faraday (nivel macroscópico)	Fuerzas que actúan sobre las cargas-Ley de Lorentz (nivel microscópico)
1. Inducción debida al campo magnético variable	1.1. Existe variación del flujo magnético debido al campo magnético variable y se produce una fem inducida ($B(t) \Rightarrow \Delta \phi_B \Rightarrow \epsilon_{B(t)}$).	1.2. El campo magnético variable genera un campo eléctrico no coulombiano que ejerce fuerza eléctrica sobre las cargas separándolas. Esta separación genera una $\epsilon_{B(t)}$ ($B(t) \Rightarrow E_{NC} \Rightarrow F_E \Rightarrow \epsilon_{B(t)}$).
2. Inducción debida al movimiento del camino de integración en un campo magnético estacionario	2.1. Existe variación del flujo magnético debido a la variación de la superficie que abarca las líneas de campo y se produce una fem inducida ($\Delta S_{barrida} \Rightarrow \Delta \phi_B \Rightarrow \epsilon_{movimiento}$).	2.2. El campo magnético estacionario ejerce fuerza magnética inicial sobre las cargas en movimiento. Esto produce un separación de cargas y la aparición de una fuerza electromotriz ϵ_{mov} ($B_{estacionario} \Rightarrow F_B \Rightarrow \epsilon_{movimiento}$).

Diseño experimental

La muestra utilizada

La muestra se seleccionó dentro de los estudiantes de la Universidad del País Vasco que cursan el primer curso del grado en Ingeniería de Electrónica Industrial. Los estudiantes que acceden a este primer curso de universidad han realizado dos años de física en la Secundaria no obligatoria (16-18 años) y han superado una prueba organizada por la Administración Educativa del País Vasco para acceder a la Universidad. Esta prueba es única para todos los estudiantes de Ciencias e Ingeniería y garantiza que todos los estudiantes reciban los mismos contenidos de física antes de acceder a la universidad.

Los 85 estudiantes fueron seleccionados aleatoriamente de dos grupos de primer curso que fueron instruidos en el Curso de Física por dos profesores con un mínimo de ocho años de experiencia docente del Departamento de Física Aplicada.

Los estudiantes realizaron el cuestionario un mes después de haber recibido instrucción en el tema de IE, cuando realizaban el examen final de la asignatura.

Cuestionario de evaluación

Como recomiendan White and Gunstone (1992) hemos utilizado cuestiones de examen cualitativas que se centran más en las explicaciones que en la obtención de un resultado mediante la aplicación de una fórmula. El cuestionario consta de 8 cuestiones (ver anexo), las cuatro primeras tratan de indagar sobre el conocimiento de los estudiantes de los fenómenos de inducción electromagnética y las cuatro últimas tratan de averiguar el tipo de explicaciones que los estudiantes emplean al explicar estos fenómenos. Los contenidos y objetivos de las cuestiones han sido validados por investigadores expertos en el campo del Electromagnetismo y por profesores con experiencia en la investigación didáctica. Todos ellos realizaron el cuestionario e hicieron sugerencias que fueron tenidas en cuenta en la versión del cuestionario que se presenta en este artículo.

Análisis de los datos

En el análisis de las respuestas escritas se identificaron categorías cualitativamente diferentes que describían las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos electromagnéticos. Las respuestas fueron examinadas de

forma independiente por tres miembros del grupo de investigación, buscando similitudes y diferencias entre las explicaciones, seleccionando afirmaciones significativas y comparando estas afirmaciones para obtener casos de acuerdo o de variaciones, y después agrupándolas. Mediante este proceso cada investigador desarrolló unas categorías iniciales para describir las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos electromagnéticos. Una vez se establecieron las categorías iniciales se reunieron los investigadores para discutir sus categorías y su interpretación de las soluciones. Se revisaron las categorías y se llegó a un consenso sobre las categorías finales. Se estableció un conjunto final de categorías de acuerdo con los criterios indicados por Marton y Booth (1997). Con estas categorías se volvieron a revisar los cuestionarios para determinar si las categorías eran suficientemente descriptivas e indicativas de los datos. Este proceso de análisis es consistente con el análisis fenomenográfico, como Marton (1981, p. 43) afirma “definition for categories are tested against the data, adjusted, retested, and adjusted again”.

Explicaciones de los estudiantes sobre algunos fenómenos de inducción electromagnética

Para facilitar la presentación y discusión de los resultados obtenidos, se presentarán en dos secciones diferentes y se incluirán algunos

resultados de las respuestas del cuestionario, que ilustran las interpretaciones realizadas y las categorías definidas.

¿Conocen los estudiantes los fenómenos de inducción magnética más usuales en el contexto académico y en el cotidiano?

Esta sección trata sobre la primera parte del cuestionario formado por cuatro cuestiones que tienen como objetivo indagar sobre los conocimientos de los estudiantes en relación a fenómenos de inducción electromagnética usuales en el contexto académico (cuestiones C1 y C2) y en el contexto cotidiano (cuestiones C3 y C4). En las respuestas de las cuestiones C1 y C2 alrededor del 50% de los estudiantes universitarios muestra un aprendizaje correcto de la definición de inducción electromagnética. Estos estudiantes dan una explicación coherente con la teoría científica expuesta en los libros de texto. Sin embargo, la otra mitad de las respuestas revela dificultades en la explicación de ejemplos de fenómenos de inducción electromagnética analizados en clase y en los libros de texto. Los resultados se muestran en la cuadro 2. En esta tabla se indica con asterisco la respuesta considerada como ‘correcta’ de acuerdo con los estándares académicos. En el tipo de respuestas “incoherentes” se incluyen respuestas de tipo memorístico que reproducen definiciones de conceptos y/o fórmulas sin relación con lo que se pregunta o sin consistencia lógica.

Cuadro 2. Resultados de la primera parte del cuestionario

Tipo de respuesta	Porcentaje de respuesta			
	C1	C2	C3	C4
1* Inducción debido a la variación de flujo magnético producido por un campo magnético variable en el tiempo	56	53	14	17
2. Inducción producida por un campo magnético o una corriente eléctrica	4	22	53	35
3. Descriptivas	24	15		10
4. Incoherentes	12	5	19	5
5. No contesta	4	5	14	33

Los resultados indican que alrededor de la cuarta parte de los estudiantes escriben respuestas descriptivas sin contenido explicativo (tipo 'descriptivas') o bien, ofrecen explicaciones incoherentes sin relación con los contenidos de la IE (tipo 'incoherente'). Esto puede interpretarse como que el aprendizaje es de tipo memorístico que recurre a aspectos formales y fórmulas de las definiciones y no a su significado. Ejemplos de este tipo de respuestas son los siguientes:

“El fenómeno de inducción electromagnética consiste en un proceso en el que debido a las cargas se crea una corriente” (Tipo Incoherente en C1)

“Podría inducirse una corriente mediante un campo magnético. Con tan sólo girar este circuito dentro de un determinado campo magnético, para que pudiera crearse la corriente suficiente como para encenderse. Esto es una manera de la inducción electromagnética” (Tipo descriptiva en C2)

“Si orientamos bien la corriente que pasa por el imán crearemos un campo magnético que enfrentándose con la vías consigue mantener el tren en el aire” (Tipo Incoherente C3)

“Las máquinas inductoras tienen la capacidad de almacenar energía magnética, supongo que en las cocinas de inducción ocurrirá básicamente lo mismo. Almacenarán energía magnética y en consecuencia darán calor.” (Tipo incoherente C4)

La suposición de un aprendizaje memorístico es coherente con que alrededor del 80% de los estudiantes no sabe explicar de acuerdo con los fundamentos físicos de la inducción electromagnética aplicaciones tecnológicas de uso cotidiano (C3 y C4). Esto puede indicar una enseñanza descontextualizada de las leyes y teoría, que no hace posible que los estudiantes sean capaces de explicar los fundamentos de la inducción en situaciones no académicas.

Existe un porcentaje significativo de estudiantes de todos los niveles que entiende erróneamente que la presencia del campo magnético estacionario o la corriente eléctrica es la causa de la inducción electromagnética (22% en C2, 53% en C3 y 35% en C4).

“En las cocinas de inducción se crea un campo magnético bastante grande que produ-

ce una corriente por el efecto Joule y esta corriente produce un calentamiento de lo que se va a cocinar.” (C4)

“Porque a través de una corriente eléctrica y una serie de espiras se induce un campo magnético muy grande el cual al ponerlo cerca de ciertos metales hace que se produzca una repulsión ya que las vías también tienen propiedades magnéticas y esto hace que aparentemente el tren esté flotando y el rozamiento con el suelo así es nulo y su desplazamiento más sencillo.” (C3)

“La bombilla puede encenderse debido a fuerzas externas, así como fuertes campos magnéticos que hagan que se produzca una corriente y ésta a su vez encienda la bombilla.” (C2)

En la segunda parte del cuestionario profundizamos en las explicaciones de los estudiantes ante determinados fenómenos de IE en un contexto académico.

¿Cómo explican los estudiantes los fenómenos de inducción electromagnética?

Las cuestiones de C5 a C8 tienen como objetivo indagar en las explicaciones de los estudiantes a fenómenos de inducción electromagnética producidos por campos magnéticos variables (C5 y C6) o por el movimiento de un circuito, o parte de él, en un campo magnético estacionario (C7 y C8). En las cuestiones C6 y C7 se les solicita a los estudiantes una explicación microscópica de la inducción basada en las fuerzas que actúan sobre las cargas eléctricas.

La gran mayoría de los estudiantes, en fenómenos de IE similares a los analizados en clase, utiliza un modelo explicativo basado en la variación del flujo magnético (entre el 50% y 70%) en fenómenos electromagnéticos, bien producidos por un campo magnético variable (C5 y C6), como en aquellos producidos por el movimiento del circuito o parte de él (C7 y C8). Sólo una minoría utiliza un modelo basado en las fuerzas que actúan sobre las cargas incluso cuando se les solicita explícitamente (3.5% en C6 y 4% en C7). Los resultados obtenidos se indican en el cuadro 3. Ya hemos indicado que los resultados no se presentan en términos de 'correcto' o 'incorrecto' desde el

punto de vista académico, sino en tipos de razonamiento. Por ejemplo, la respuesta de tipo 1 es correcta para la cuestión C5, mien-

tras que la respuesta del tipo 2 es correcta para las cuestiones C6 y C7.

Cuadro 3. Resultados de la segunda parte del cuestionario

Tipo de respuesta	Porcentaje de respuesta			
	C5	C6	C7	C8
1* Campo magnético variable produce una variación del flujo magnético (nivel macro)	49	68	66	70
2. Fuerza ejercida por el campo no coulombiano inducido o por el campo magnético sobre las cargas, produce inducción		3	4	5
3. Campo magnético o corriente eléctrica produce inducción	22 + 15	22		
4. Incoherentes	10	3	18	15
5. No contesta	4	4	12	10

En la cuestión C8 la gran mayoría de los estudiantes (70%) realiza un análisis incorrecto de la variación del flujo ya que al considerar la superficie de integración del flujo la toman como la superficie del circuito y no la superficie barrida por el movimiento del mismo. Ejemplos de este tipo de análisis son los siguientes:

“Si el ángulo que forman la superficie creada por la espira y el campo magnético se mantiene constantemente perpendicular, el flujo será continuamente 0 y por lo tanto no se inducirá ninguna fem ya que la variación del flujo con respecto al tiempo también será 0.”

“Creo que no habrá inducción en el alambre, ya que aunque se mueva, no encierra al campo magnético.”

“El flujo a través del área S del circuito C que completa el alambre es; $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$ en nuestro caso $\vec{B} \perp d\vec{S} \rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \rightarrow \Phi_B = 0$. Con lo cual no habrá ni variación de flujo ni fenómeno de inducción electromagnética. Habrá una corriente, pues el campo magnético B hace una fuerza sobre las cargas que se mue-

ven con una velocidad v ; ($\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$).

Muy pocos estudiantes (alrededor del 5%) hacen uso de la Fuerza de Lorentz para explicar la inducción producida por el movimiento de conductores en un campo magnético (C7 y C8). Este resultado sorprende ya que esta explicación es la más frecuente en los libros de texto para este tipo de fenómenos. Así mismo, muy pocos estudiantes conocen un modelo explicativo que les permita identificar la naturaleza de las fuerzas que actúan sobre las cargas eléctricas del conductor (Tipo de respuesta 2). Algunos ejemplos de este tipo de respuestas son:

“Si en el alambre se creará una fuerza magnética y el circuito tratará de oponerse, en este caso el circuito no puede generar intensidad inducida para oponerse al movimiento así que por lógica digo que no hay corriente inducida en el circuito”

“Las cargas que se encuentran inmersas en un campo (dentro del sólido) al moverse el sólido, aparece una fuerza sobre la carga interior (hacia delante) y habrá corriente inducida.”

Los resultados confirman la tendencia de los resultados del cuadro 2 en el sentido de que existe un porcentaje significativo de estudiantes (37% en C5 y 22% en C6) que consideran que la presencia del campo magnético o de la corriente eléctrica produce inducción (tipo de respuesta 3). Ejemplos de este tipo de respuestas es el siguiente:

“Al cerrar el interruptor se crea en la bobina un campo magnético. Las líneas de campo magnético atraviesan la bobina inferior induciendo una corriente.”

“Al circular corriente por la espira superior, esta creará un flujo magnético que atraviesa la espira inferior. A pesar de no estar conectada a ningún generador, en la espira inferior se inducirá una fuerza electromotriz...”

Discusión de los resultados

Una vez que los diferentes tipos de respuesta de los estudiantes han sido identificados, la

última tarea es interpretarlas para definir las categorías fenomenográficas. Hemos definido las categorías basándonos en los datos obtenidos y los criterios de Marton y Booth (1997) previamente mencionados. Respecto a los fenómenos de IE, los resultados obtenidos pueden ser agrupados en ‘categorías explicativas’ de los estudiantes y son presentadas en el cuadro 4. Esto no significa que cada estudiante se sitúa en una de las categorías explicativas cuando responde una cuestión de inducción electromagnética, ya que un estudiante puede utilizar una categoría de descripción en una determinada situación y en otra diferente puede utilizar otra categoría. El enfoque fenomenológico resalta las posibles categorías que se pueden encontrar en el colectivo de estudiantes, pero no trata del razonamiento particular de un estudiante concreto.

Cuadro 4. Categorías de descripción y sus características

Categoría de descripción	Frecuencia de uso	Características
“Descriptiva-memorística”	Pocos estudiantes (15-20%)	<ul style="list-style-type: none"> - Se reconocen los fenómenos de Inducción en un contexto académico - Se describen los experimentos de inducción pero no se explican - Se atribuye la inducción a conceptos o leyes del electromagnetismo pero sin significado
“Inherente a la naturaleza del campo magnético o de la corriente eléctrica”	Minoría de estudiantes (20%)	<ul style="list-style-type: none"> - Se reconocen los fenómenos de Inducción en el contexto escolar - Se atribuye la inducción a la presencia de campo magnético o de la corriente eléctrica - Se considera que entienden que sólo hay inducción electromagnética cuando existe corriente inducida
“Variación del Flujo magnético”	Mayoría de estudiantes (50%-75%)	<ul style="list-style-type: none"> - Se reconocen los fenómenos de inducción en el contexto escolar - Se atribuye la inducción a la variación del flujo magnético en el tiempo de acuerdo con la ley de Faraday - La variación del flujo es debida a un campo magnético variable o bien, a la variación de la superficie de integración - Se confunde la variación de la superficie de movimiento del conductor con la variación de la superficie del circuito. - No se explican las fuerzas que actúan a nivel microscópico sobre las cargas eléctricas

“Faraday-Lorentz”	Muy pocos estudiantes (5%)	<ul style="list-style-type: none"> - Se reconocen los fenómenos de inducción en el contexto escolar y no escolar - Se atribuye la inducción a la variación del flujo magnético en el tiempo de acuerdo con la ley de Faraday o bien, a las fuerzas que actúan sobre las cargas de acuerdo con la ley de Lorentz - Se explica la Inducción en base a las fuerzas eléctricas (Campo eléctrico no-coulombiano inducido) y magnéticas que actúan sobre las cargas
-------------------	----------------------------	--

De acuerdo con los resultados encontrados, en relación al conocimiento de los estudiantes sobre fenómenos usuales de IE, podemos decir que la mayoría de los estudiantes tienen un conocimiento declarativo adecuado cuando se trata de fenómenos en un contexto académico (50% en cuestiones 1 y 2). Sin embargo, cuando tienen que extender este conocimiento a aplicaciones tecnológicas cotidianas la gran mayoría no sabe reconocer el fundamento de la inducción electromagnética en la aplicación (80% en cuestiones 3 y 4).

Cuando los estudiantes tienen que explicar los fundamentos físicos de fenómenos de IE en contexto académico (C5 a C8) un porcentaje significativo trata de buscar explicaciones no científicas a través de dos categorías explicativas. A la primera categoría la hemos denominado ‘descriptiva-memorística’. En esta categoría los estudiantes se limitan a realizar descripciones del fenómeno o a exponer conceptos y leyes del electromagnetismo sin significado para explicar el fenómeno que nos ocupa. Hemos presentado ejemplos de esta categoría cuando se han analizado las respuestas de tipo ‘descriptivo’ o ‘incoherente’ en todas las cuestiones.

La segunda categoría la hemos denominado ‘Inherente a la categoría de campo magnético o corriente eléctrica’. En esta categoría los estudiantes atribuyen la inducción electromagnética a la presencia de un campo magnético, sea variable en el tiempo o no, o bien a la presencia de una corriente eléctrica. Hemos analizado tipos de respuestas basadas en esta categoría en la mayoría de las cuestiones. Por ejemplo, cuando en la cuestión C3 los estudiantes hablan de que la corriente eléctrica magnetiza la vía y produce inducción o bien

que el campo magnético de la bobina magnetiza la vía y produce repulsión entre el tren y la vía (53% de las respuestas). Lo mismo sucede en la cuestión C5, que se sitúa en un contexto académico muy familiar a los estudiantes, cuando se responde que la espira superior crea un campo magnético que produce inducción (22,5 %), o que la corriente eléctrica de la espira superior produce inducción en la espira inferior (15%).

La categoría que hemos denominada “variación del flujo magnético” se caracteriza por el hecho de que para analizar cualquier fenómeno de IE utiliza la ley de Faraday y la variación del flujo magnético en términos de los campos que actúan y desde una perspectiva macroscópica. Hemos visto este tipo de análisis en las respuestas de muchos estudiantes (50%-70%) a las cuestiones C1, C2, C5, C6 y C7. Por ejemplo, la mayoría de los estudiantes en la cuestión C5 (49%) argumentan correctamente que al ser el campo magnético variable, hay variación del flujo a través de la superficie de integración y por tanto, se produce inducción electromagnética. Sin embargo, muchos estudiantes de esta categoría realizan un análisis incorrecto cuando tratan de analizar fenómenos de IE producidos por el movimiento del circuito o conductor (cuestión C8) al confundir la superficie del circuito con la superficie barrida por el movimiento del circuito o del conductor (70%). Este tipo de razonamiento lo hemos visto al analizar las respuestas de la cuestión 8, cuando muchos estudiantes consideran que la superficie por la que pasa el flujo del campo magnético estacionario es la superficie del circuito y por tanto que el flujo magnético es cero y no varía. Este resultado es contrario con el hecho expe-

rimental de que existe fem inducida en el alambre.

Muy pocos estudiantes analizan los fenómenos de inducción de las cuestiones C5 a C8 en términos de las fuerzas que ejercen los campos presentes a un nivel microscópico (3,5% C6, 4% C7 y 5% C8). Cuando se pregunta a los estudiantes por las fuerzas ejercidas por el campo eléctrico no coulombiano inducido en la cuestión C6 ningún estudiante contesta cómo se produce dicho campo. Muy pocos estudiantes muestran que saben explicar los fenómenos desde el punto de vista micro y macroscópico. No son capaces de cambiar de un nivel a otro, ni de realizar el cambio esencial de explicar en términos de campo (columna 1 del cuadro 1) a explicar en términos de las acciones del campo (columna 2 del cuadro 1). Los pocos estudiantes que realizan este tipo de explicaciones se han encuadrado dentro de la categoría que hemos denominado "Faraday-Lorentz".

Pensamos que este sistema de cuatro categorías sobre fenómenos básicos de IE incluye los criterios explicados al principio de la sección y en el apartado de metodología. Por tanto, creemos que, en relación con el cuestionario considerado en este trabajo y los fenómenos de IE, es posible agrupar las explicaciones de los estudiantes en categorías descriptivas que no representan las concepciones de un estudiante como individuo sino que describen las variaciones de las experiencias y conceptualizaciones del colectivo. En nuestro trabajo las cuatro categorías definidas no son la única posibilidad pero éstas son pedagógicamente útiles y coherentes con los criterios de categorías de Marton y Booth (1997). Además, las diferentes categorías de descripción nos ayudan a entender en profundidad algunas características de los razonamientos de los estudiantes que hemos detectado.

Nuestro estudio muestra claramente algunas dificultades de los estudiantes a la hora de explicar e interpretar fenómenos de IE. Lo importante de nuestro resultado no es que muestra un pobre aprendizaje de la teoría de la IE (esto es un hecho bien establecido) sino que muestra algunas componentes de la incompreensión de los estudiantes, por ejem-

plo, los estudiantes no distinguen entre modelos macroscópicos basados en los campos que actúan y modelos microscópicos basados en las fuerzas ejercidas por dichos campos.

Otra dificultad puesta de manifiesto es la definición de la superficie sobre la que se calcula la variación de flujo en los casos en que el circuito está en movimiento, se mueve una parte de él, o bien es un conductor en movimiento. Estas situaciones de inducción electromagnética de movimiento suelen explicarse en los libros de texto en base a la fuerza de Lorentz, sin embargo en los resultados obtenidos muy pocos estudiantes utilizan este tipo de explicación.

El enfoque de 'categoría de descripción' para indagar el conocimiento de los estudiantes implica que las dificultades encontradas no ocurren de forma aislada, sino que pueden ser agrupadas en categorías que representan auténticas formas alternativas de razonamiento cuando analizan fenómenos de IE. Esto significa que un aprendizaje con comprensión por parte de los estudiantes implica superar un esquema global y no sólo concepciones erróneas aisladas.

Conclusiones e implicaciones pedagógicas

Este trabajo trata sobre una investigación fenomenográfica para describir diferentes concepciones de los estudiantes sobre la inducción electromagnética, a través del análisis e interpretación de las respuestas escritas a un cuestionario por parte de 85 estudiantes de primer curso de ingeniería. Los resultados de la investigación no reivindican que las categorías detectadas se puedan utilizar para describir todas las concepciones de los estudiantes sobre la IE. Sin embargo, estas categorías tienen similitudes con los resultados obtenidos en otras investigaciones sobre ideas de los estudiantes sobre fenómenos de IE (Loftus 1996, Mauk y Hingley 2005), aunque estos investigadores reconocen que será necesario un estudio longitudinal con estudiantes de otros cursos para ver si estas categorías de descripción se mantienen a lo largo de la instrucción.

Las categorías de descripción de los estudiantes nos informan sobre el desarrollo del

currículo identificando aquellas partes más difíciles de entender y las dificultades de aprendizaje. Este trabajo muestra que los estudiantes no tienen una comprensión de un modelo de la IE y que la mayoría no distingue entre los niveles macroscópicos y microscópicos de interpretación. Un número significativo de estudiantes no explica los fenómenos sino que los describe o recurre a conocimientos memorísticos presentados de forma incoherente. Otra parte significativa de estudiantes desconoce las causas que producen la IE, atribuyéndolas al campo magnético estacionario o la corriente eléctrica.

Por tanto, para desarrollar la comprensión de los estudiantes en un modelo científico explicativo de la IE es necesario poner atención en los términos con que se describen los fenómenos y discutir la aparente dicotomía

entre la descripción en términos de campo basada en la ley de Faraday (nivel macroscópico) y la descripción a nivel de las acciones del campo basada en la ley de Lorentz (nivel microscópico). Esto posibilitará la construcción de un modelo científico a nivel teórico que podrá explicar los fenómenos de IE. Los estudiantes tienen que discutir el modelo de "Faraday-Lorentz" de la IE y analizar las relaciones entre los diferentes conceptos y leyes. Será necesario diseñar tareas de enseñanza que den oportunidades a los estudiantes para utilizar estrategias del trabajo científico que les permitan definir los conceptos, establecer relaciones y los límites de validez de las leyes. En este camino de indagación guiada por el profesor los estudiantes serán capaces de reformar sus modelos y compararlos con los propuestos por los libros de texto.

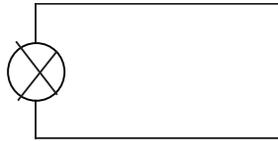
Referencias

- Albe, V., Venturini, P., & Lascours, J. 2001. Electromagnetic Concepts in Mathematical Representation of Physics. *Journal of Science Education and Technology*. Vol 10, nº 2, pp 197-203.
- Booth, S. (1997) On the phenomenography, learning and teaching, *Higher Education Research and Development* 16, 135-158.
- Buck P., Goedhart M.J., Gräber W., Kaper W.H., Koballa T., Linder C., Marton F., Schwedes H., Spiliotopoulou V., Tzagliotis N.L. y Voegelzang M. (2003). On the methodology of 'phenomenography' as a science education research tool, En D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassouloupoulos & M. Kallery (Edts.) *Science Education Research in the Knowledge-based Society*, p.31-41. Kluwer Academic Publishers.
- Cheng, D. K. 1996. Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería. *Addison-Wesley Longman*.
- Cohen, S. M. 2005. Active learning in lectures introducing magnetic induction. *American Journal of Physics*. 73(3), 284-285.
- Duit, R., Treagust, D. y Mansfield, H. (1996). Investigating students understanding as prerequisite to improving teaching and learning in science and mathematics. En D.F. Treagust D., Duit R. Y Fraser B.J. (eds) *Improving teaching and learning in science and mathematics* (New York: Teachers Press College), 17-31.
- Engel Clough, E. y Drive, R. (1986), A study of consistency in the use of students' conceptual framework across different task contexts, *Science Education*, 70(4), 473-496
- Entwistle, N. (1997) Introduction: Phenomenography in higher education, *Higher Education Research and Development* 16(2), 127-134
- Fatuzzo, M. y Toepker, T. P. 2004. More Track and Field. *The Physics Teacher*. 42, 351-353.
- Furió, C., Guisasola, J. & Almudí, J.M. (2004). Elementary electrostatic phenomena: Historical hindrances and students' difficulties, *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* 4(3), 291-313.
- Galili, I. & Kaplan, D. 1997. Changing approach to teaching electromagnetism in a conceptually oriented introductory physics course. *American Journal of Physics*, vol 65, nº 7, pp 657-667.
- Galili, I., Kaplan, D. y Leavy, Y., 2006. Teaching Faraday's law of electromagnetic induction in an introductory physics course. *American Journal of Physics*, 74(4), 337-343.

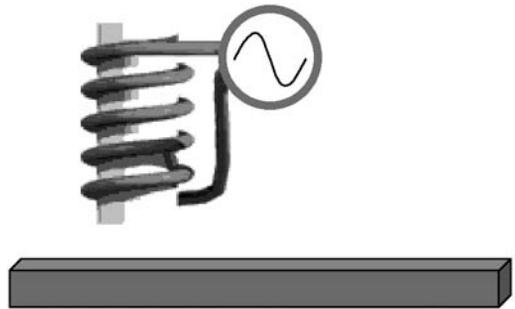
- Guisasola, J., Almodí J.M. y Zubimendi J.L. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first year of university. *Science Education* 88, 443-464.
- Guisasola, J., Furió, C. and Ceberio, M. (2008) Science Education based on developing guided research, Edited by M.V. Thomase in *Science Education in Focus* p. 55-85. Nova Science Publisher
- Hessel, R. (1999). A lei de Faraday e a de Lenz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. 16(3), 340-343.
- Jones, C. 2003. Understanding and using the minus sign in Faraday's law. *Physics Education*, 38(6), 526-530.
- Kingman, R., Rowland, S. C. & Popescu, S. 2002. An experimental observation of Faraday's law of induction. *American Journal of Physics*. 70(6), 595-598.
- Leach J. & Scott P. (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science and Education*, 12(1), 91-113.
- Loftus, M. 1996. Studentes' ideas about electromagnetism. *SSR* 77, 280-291.
- Lorrain, P. & Corson, D.L., 1972. Campos y ondas electromagnéticos. Madrid. *Selecciones Científicas*.
- Lybeck, L., Marton, F. Strömdahl, H. y Tullberg A. (1988). The phenomenography of 'the mole concept'. In Chemistry. In P. Ramsden (Ed.): *Improving learning: new perspectives*. London: Kegan Paul
- Lyna, Teck Chee, C., Lian Sai, C., Ngho Khang, G. & Aik Ling, T. 2008. Demonstrate Lenz's law with an aluminium ring. *Physics Education*, 43(1), 19-21.
- Marton, F. y Booth, S. (1997). *Learning and awareness*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers
- Marton, F. (1981). Phenomenography- Describing conceptions of the world around us, *Instructional Science*, 10, pp. 177-200
- Mauk, H. V. & Hingley, D. 2005. Student understanding of induced current: Using tutorials in introductory physics to teach electricity and magnetism. *American Journal of Physics*. 73(12), 1164-1171
- Mulhall P., Mckittrick B. & Gunstone R. (2001). A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity, *Research in Science Education* 31, 575-587.
- Munley, F. 2004. Challenges to Faraday's flux rule. *American Journal of Physics*, vol 72, n° 12, pp 1478-1483.
- Nussbaum, A. 1972. Faraday's law paradoxes. *Physics Education*, vol 7, n° 4, pp 231-232.
- Renström, L., Andersson, B. y Marton, F. (1990). Students' conception of matter, *Journal of Educational Psychology*, 82, 555-569.
- Roche J., 1987, Explaining electromagnetic induction: a critical re-examination, *Physics Education*. 22, 91-99.
- Ruiz, M.J. 2006. Lenz's Law Magic Trick. *The Physics Teacher*. 33, 96-98.
- Sharman, M., Millar, R., Smith, A. y Sefton, I. (2004) Students' understanding of gravity in an orbiting space-ship, *Research in Science Education* 34, 267-289.
- Venturini, P. & Albe, V. 2002. Interpretation des similitudes et differences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en electromagnetisme a partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *ASTER*. Vol 25, pp 165-188.
- Thacker, B.A. Ganiel, U. & Boys, D. (1999). Macroscopic phenomena and microscopic processes: Student understanding of transients in direct current electric circuits. *Physics Education Research (A supplement to the American Journal of Physics)*. 67(7), S25-S31
- Tilley, D.E. 1968. Exceptions to the Flux Rule for Electromagnetic Induction. *American Journal of Physics*, vol 36, pp 458
- Waslsh, E., Dall'Alba, G., Bowden, J., Martin, E., Marton, F., Masters, G., Ramsden P. y Stephanou A. (1993) Physics students' understanding of relaty speed: A phenomenographic study, *Journal of Research in science Teaching* 30, 1133-1145.
- White, R. and Gunstone R., *Probing Understanding*. The Palmer Press. London
- Wood, L.T., Rottmann, R.M. & Barrera, R. 2004. Faraday's law, Lenz's law, and conservation of energy. *American Journal of Physics*, vol 72, n°34, pp 376-380.

ANEXO. Cuestionario

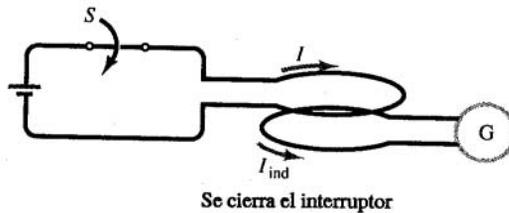
- C1. Explica con tus propias palabras y sin utilizar fórmulas en qué consiste el fenómeno de Inducción Electromagnética.
- C2. Dado el circuito de la figura, ¿Puede existir alguna situación en la que se encienda la bombilla del circuito de la figura sin utilizar la red eléctrica, una pila, un condensador o cualquier otra fuente basada en la separación de cargas? Si crees que sí, explica detalladamente cómo podría suceder y en qué fenómeno físico se basaría.



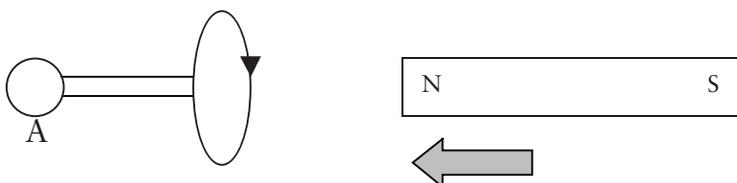
- C3. Los trenes Maglev levitan sobre las vías y viajan a gran velocidad evitando los problemas del rozamiento. El esquema simplificado de los aparatos que utilizan es el que se muestra en la figura. Explica detalladamente por qué levitan estos trenes.



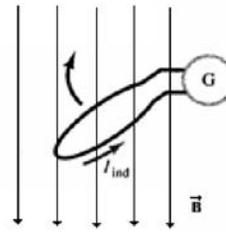
- C4. Cada vez es más habitual encontrar en las casas cocinas llamadas “cocina de inducción”. Explica detalladamente como funciona.
- C5. Cuando se cierra el interruptor del circuito superior de la figura, se comprueba experimentalmente que el amperímetro G del circuito de la parte inferior indica paso de corriente. Explica detalladamente porqué aparece corriente en el circuito de la parte inferior.



- C6. Tenemos un imán que se mueve hacia una espira conductora que está en reposo respecto de nuestra observación (ver figura); en un instante cualquiera del proceso de acercamiento, el amperímetro registra el paso de una intensidad por la espira conductora. Como has estudiado la corriente eléctrica en la espira conductora es debida a una fuerza eléctrica asociada a un campo eléctrico, explica cómo aparece este campo eléctrico en la espira y cuál es su naturaleza.



- C7. Una espira se encuentra en una zona con campo magnético vertical y uniforme B . Mientras la espira gira dentro del campo magnético se observa que el amperímetro G indica paso de corriente por la espira. Explica de donde proceden las fuerzas que mueven a las cargas en la espira y cuál es su naturaleza.



Cambia la orientación de dos espiras

- C8. Un alambre en forma de U se está deslizando por un imán tal y como se ve en la figura manteniendo el ángulo respecto al campo magnético. Teniendo en cuenta que tanto el alambre como el imán son conductores ¿Hay fenómeno de inducción en el alambre? Justifica tus respuestas.

