



# Aprendizaje de la teoría de inducción electromagnética en cursos universitarios de física general. Una enseñanza por resolución guiada de problemas

## Learning of electromagnetic induction theory in general physics university courses. A teaching based on guided problem solving

José Manuel Almudí, Kristina Zuza, Jenaro Guisasola  
*Departamento de Física Aplicada I, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)*  
[josemanuel.almudi@ehu.eus](mailto:josemanuel.almudi@ehu.eus); [kristina.zuza@ehu.eus](mailto:kristina.zuza@ehu.eus); [jenaro.guisasola@ehu.eus](mailto:jenaro.guisasola@ehu.eus)

**RESUMEN** • Este estudio describe el diseño, implementación y efectividad de una secuencia de enseñanza sobre inducción electromagnética (IEM) para primer curso de grados de ciencias e ingeniería. Dicha secuencia ha sido diseñada teniendo en cuenta diversos aspectos tales como: los intereses, actitudes y valores de los estudiantes y los estándares del currículo; los resultados de los estudios empíricos sobre concepciones y razonamientos de los estudiantes, y, también, las contribuciones relativas a cómo se aprende y se enseña en el ámbito de las ciencias. La evaluación de la secuencia se ha realizado de forma «interna», comparando los resultados obtenidos por el grupo «experimental» de estudiantes antes y después de implementar la secuencia; también de manera «externa», comparando los resultados de ese grupo con uno de control. Los resultados obtenidos en el grupo experimental indican que la aplicación de la secuencia diseñada ha contribuido a la mejor comprensión de algunas ideas clave de la IEM.

**PALABRAS CLAVE:** secuencias de enseñanza; inducción electromagnética; enseñanza de la física en la universidad.

**ABSTRACT** • This study describes the design, implementation and effectiveness of a sequence of teaching on Electromagnetic induction (IEM) for the first course in science and engineering degrees. The script has been designed taking into account aspects such as: the interests, attitudes and values of students and the curriculum standards; the results of empirical studies on concepts and students reasoning; and also, the relative contributions to how the way we learn and are taught in the field of science. The evaluation of the sequence has been made in an «internal» way, comparing the results obtained by the «experimental» group of students before and after implementing the sequence; it has also been made in an «external» way by comparing the results of this group with a control one. The results obtained in the experimental group point out that the implementation of the designed sequence has contributed to the better understanding of some key ideas of the IEM.

**KEYWORDS:** teaching/learning sequences; electromagnetic induction; physics teaching at university.

Recepción: noviembre 2014 • Aceptación: enero 2016 • Publicación: junio 2016

Almudí, J. M., Zuza, K., Guisasola, J., (2016) Aprendizaje de la teoría de inducción electromagnética en cursos universitarios de física general. Una enseñanza por resolución guiada de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 34.2, pp. 7-24

## INTRODUCCIÓN

La investigación en enseñanza de la física ha sacado a la luz graves dificultades de aprendizaje en el área de la electricidad y el magnetismo (Pfundt y Duit, 2009). Sin embargo, en el área de la inducción electromagnética hay pocos estudios tanto sobre las ideas de los estudiantes, como sobre «secuencias de enseñanza-aprendizaje» basadas en la investigación (Mauk y Hingley, 2005). El área de la inducción electromagnética (en adelante IEM) es importante a nivel académico, ya que se conjugan y sintetizan de forma creativa diferentes leyes de la electricidad y del magnetismo. Además, desde una perspectiva ciencia-tecnología-sociedad, la comprensión de la IEM permite a los ciudadanos tomar decisiones racionales sobre diversas aplicaciones tecnológicas presentes en su vida diaria.

El objetivo principal de este trabajo es el de presentar el diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje que aborde el fenómeno de inducción electromagnética en los cursos introductorios de la universidad. De acuerdo con Méheut y Psillos (2004), entendemos por «secuencia de enseñanza-aprendizaje», un término ampliamente utilizado para denotar la estrecha relación entre la enseñanza propuesta y los resultados esperados del aprendizaje de los estudiantes, cuando se implementa dicha secuencia, basada en la investigación, teniendo por objetivo la enseñanza-aprendizaje de un determinado tema. El enfoque que aquí se presenta no trata de analizar currículos extensos que se desarrollen a lo largo de uno o dos años. Se trata de una investigación en la línea de «topic-oriented demands» (Leach *et al.*, 2010).

El propósito de la secuencia que se presenta en este trabajo es el de ayudar a los estudiantes a reconciliar sus ideas iniciales acerca del fenómeno de inducción electromagnética con la teoría científica que lo explica, de manera que puedan utilizar dicha teoría para abordar, entre otros, diferentes aspectos de la IEM, tales como: *a*) cuándo ocurre y cuándo no el fenómeno de inducción electromagnética (aproximación fenomenológica); *b*) cómo se puede analizar y cuantificar dicho fenómeno, a través de la ley de Faraday y también de la fuerza de Lorentz; *c*) resaltar que los fenómenos se pueden abordar por cualquiera de las dos leyes, siendo ambas explicaciones equivalentes y, en su caso, complementarias. Esperamos que, como resultado de la implicación de los estudiantes en el desarrollo de la secuencia, lleguen a mejorar su comprensión del fenómeno de inducción electromagnética. Por todo ello, nos planteamos en este trabajo las siguientes preguntas que guiarán nuestro proceso de investigación:

- ¿Cómo podemos diseñar una secuencia de actividades que ayude a los estudiantes a comprender mejor el fenómeno de inducción electromagnética y, además, a incrementar su interés por el aprendizaje de la física?
- ¿Qué aprendizaje es alcanzado por los estudiantes después de implementar en el aula la secuencia «inducción electromagnética»? En concreto, ¿cómo conciben el fenómeno de la IEM?, ¿son capaces de analizar y aplicar la ley de Faraday y la ley de fuerza de Lorentz en cualquier fenómeno de inducción?

En los apartados siguientes de este trabajo, tratamos de dar una respuesta a las cuestiones planteadas.

## MARCO TEÓRICO

La utilización tanto de estudios empíricos acerca de las concepciones de los estudiantes (Wandersee *et al.*, 1994; Duit, 2006), como de desarrollos teóricos que abordan la enseñanza y aprendizaje a través de actividades basadas en el modelo «constructivista», ha contribuido a que diversos investigadores hayan desarrollado un enfoque de la enseñanza, basado en la investigación, cuyo objetivo fundamental era el de mejorar la comprensión, por parte de los estudiantes, del conocimiento científico (Méheut y Psillos, 2004).

En este trabajo, el marco general que proponemos, tanto para el diseño como para la validación de la secuencia de enseñanza-aprendizaje, se apoya, por un lado, en la teoría conocida como «social-constructivista» (Leach y Scott, 2003), la cual considera que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias es un proceso de adquisición de conocimiento a través de la familiarización con habilidades propias del trabajo científico, mediante el cual los estudiantes construyen su propio aprendizaje a base de interaccionar sus ideas previas con sus nuevas experiencias, con la imprescindible ayuda de sus profesores. Por otro, en estrategias de enseñanza basadas en el modelo de enseñanza por resolución guiada de problemas (Bound y Feletti, 1991; Guisasola *et al.*, 2008). Este modelo, en nuestra investigación, se operativiza a través del uso de evidencias de la investigación para el diseño de secuencias de enseñanza que involucra tres áreas: *a) epistemológica*: contribuciones relativas a cómo se aprende y enseña ciencias, apoyándose en cómo «trabaja» la ciencia; *b) psico-cognitiva*: resultados de los estudios empíricos sobre concepciones y razonamientos de los estudiantes; *c) actitudinal*: intereses, actitudes y valores de los estudiantes (Guisasola *et al.*, 2012).

En la primera de las áreas están involucrados, por un lado, el conocimiento teórico de la disciplina (cómo se explican los fenómenos naturales) y, por otro, cómo trabaja la ciencia (su manera de razonar y justificar sus leyes y teorías). En consecuencia, en el área epistemológica se incluye la relación del currículo escolar y el marco actual de la física (en este caso la física clásica); es importante destacar que tener en cuenta dicho marco significa que se aborda el desarrollo histórico del tema que se va a enseñar, las dificultades que tuvieron lugar en su avance y los argumentos utilizados para la definición de nuevos conceptos y teorías. En lo que se refiere al área *psico-cognitiva* nos referimos, más concretamente, al análisis de las concepciones de los estudiantes que incluyen no solo aspectos conceptuales, sino también razonamientos de los estudiantes. Finalmente, y en lo que atañe al área *actitudinal*, se tienen en cuenta las implicaciones de carácter ético y social, consecuencia de la compleja relación entre ciencia, tecnología y sociedad. Trabajar actividades que relacionan ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente significa apoyar una presentación socialmente contextualizada de la ciencia que estimula el interés del alumnado por el estudio de esta (Simpson y Oliver, 1990).

Como consecuencia de todo lo anterior, las tareas son diseñadas para dar a los estudiantes la posibilidad de desarrollar y aplicar su nuevo conocimiento; la estrategia propuesta es una secuencia de enseñanza basada en un proceso de enseñanza-aprendizaje como «resolución de problemas con guía o apoyo». Esta estrategia trata de involucrar a los estudiantes en la construcción de su conocimiento abordando actividades de manera que esta forma de hacer estuviera cercana a lo que podríamos denominar «tratamiento científico» de las situaciones problemáticas (Guisasola *et al.*, 2008). En este enfoque, las directrices que guían la secuencia deben conducir a los estudiantes a utilizar sus propios procedimientos científicos y ayudarles a familiarizarse con la argumentación de carácter científico (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000). Es por ello que el profesor debe ser el responsable no solo de la comunicación del conocimiento, sino también de la presentación de problemas adecuados; en este sentido, durante las sesiones de enseñanza, juega diferentes roles; a veces, simplemente supervisa a los grupos de estudiantes, ya que ellos necesitan tiempo para pensar por sí mismos y clarificar sus ideas. En otras sesiones, toma la iniciativa discutiendo y reformulando información que entienda que es relevante y que haya aparecido en las diferentes actividades propuestas. En este proceso, los estudiantes deben proponer hipótesis basadas en el cuerpo de conocimiento y justificar, en consecuencia, las predicciones que se pudieran haber derivado de tales hipótesis.

## INVESTIGACIONES PREVIAS ACERCA DE LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES EN EL ÁMBITO DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Para profundizar en el análisis de la anteriormente citada área *psico-cognitiva*, hemos revisado la literatura relacionada con las concepciones de los estudiantes acerca del fenómeno de inducción electromagnética (Zuza *et al.*, 2012a). La citada revisión y otros estudios posteriores muestran evidencias de las dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas de los estudiantes en la IEM, que podemos resumir como:

- Su nivel de comprensión de los conceptos básicos de la inducción electromagnética es altamente idiosincrático y dependiente de la terminología utilizada en la vida diaria. Siendo esto cierto, no lo es menos que los modelos mentales de los estudiantes se van volviendo un poco más complejos a medida que el nivel de instrucción es más alto.
- Una proporción apreciable de estudiantes no reconoce el fenómeno de inducción electromagnética en fenómenos habitualmente enseñados en el currículo. De hecho, un significativo número de ellos utiliza explicaciones basadas en «transmitir fuerza» o «contacto con el campo». Además, muchos de ellos no distinguen entre el nivel empírico (medidas en voltímetros y amperímetros) y el nivel interpretativo, que usa conceptos tales como campos, fuerza electromotriz, etc. (Lof-tus, 1996; Meng Thong y Gungstone, 2008).
- Un número significativo de estudiantes piensa que la mera existencia de un campo magnético produce inducción electromagnética (Saarelainen *et al.*, 2007; Guisasola *et al.*, 2013).
- Algunos estudiantes entienden el flujo magnético como algo que «fluye» del campo, incluso algunos lo confunden con el campo mismo. La mayoría de ellos utiliza la ley de Faraday de una forma acrítica y sin ningún significado físico (Meng Thong y Gungstone, 2008; Saarelainen *et al.*, 2007; Venturini y Albe, 2002).
- Cuando aplican la ley de Faraday, la gran mayoría de los estudiantes tiende a confundir el área del circuito con el área de integración, o dicho de otra manera, con el «área barrida» por el conductor cuando se mueve a través de una región donde existe un campo magnético estacionario (Zuza *et al.*, 2012b; Galili *et al.*, 2006).
- Muchos estudiantes tienden a explicar la IEM utilizando el modelo de campo, incluso en las situaciones en las que el razonamiento basado en la fuerza de Lorentz facilita considerablemente el análisis de la IEM. La gran mayoría de ellos no reconoce la equivalencia entre la ley de Faraday y la fuerza de Lorentz a la hora de explicar cualquier fenómeno de inducción electromagnética que se produzca (Guisasola *et al.*, 2013).

A la vista de lo que acabamos de presentar, muchos profesores de física estarían de acuerdo en que la ley de Faraday es fundamentalmente utilizada por los estudiantes como una especie de algoritmo que proporciona, finalmente, la fuerza electromotriz inducida. Todo ello nos indica que será necesario introducir diversas actividades en nuestra secuencia de enseñanza que hagan más fácil al alumnado el aprendizaje de la IEM, de manera que su aprendizaje sea significativo y esté de acuerdo con el marco teórico de la física.

## DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA DE ENSEÑANZA

En relación con la primera pregunta de investigación que nos planteábamos en este trabajo, para diseñar la secuencia de actividades utilizaremos los resultados de la investigación en enseñanza de la física, así como las aportaciones de la epistemología de la ciencia. A diferencia de los diseños de secuencias didácticas habituales basados en la experiencia e idiosincrasia del profesorado, nuestro diseño se basa

en el establecimiento de una relación directa entre las decisiones que se toman para diseñar la secuencia y las aportaciones de la investigación en enseñanza de la física (Guisasola *et al.*, 2012).

Una vez definidos los objetivos de enseñanza, es necesario concretar más la secuencia de ideas potencialmente relevantes para llegar a comprender la IEM y superar los posibles obstáculos de comprensión. Estas concreciones no son otra cosa que los denominados «indicadores de aprendizaje». Dichos indicadores especifican de forma medible los conceptos más significativos y las formas de razonamiento que constituyen los objetivos de aprendizaje para los estudiantes. Así mismo, se tendrán en cuenta las dificultades de aprendizaje de los indicadores, ya detectadas por la bibliografía. De acuerdo con todo lo dicho hasta el momento, hemos diseñado unos objetivos de enseñanza que se expresan a través de lo que queremos que los estudiantes aprendan (indicadores de aprendizaje) y de las posibles dificultades que se muestran en la tabla 1. Al relacionar los indicadores de aprendizaje con las dificultades, se pretende tomar conciencia de la «demanda cognitiva» que conllevan los objetivos de enseñanza del currículo (Leach y Scott, 2002). El tipo de actividades y su cantidad dependerán de la alta o baja demanda cognitiva de aquellos aspectos que se quieran enseñar.

Tabla 1.  
Indicadores de aprendizaje y dificultades

<i>Objetivos del currículo de IEM en cursos universitarios de Física General</i>	
Indicadores de aprendizaje	Dificultades de los estudiantes
i1) Comprender el interés del estudio del tema y sus aplicaciones.	Falta de relación entre los contenidos del currículo y los aspectos C-T-S-A.
i2) Familiarizarse con el fenómeno de inducción electromagnética. i2.1) Conocer fenómenos de inducción en espirales y solenoides producidos por campos magnéticos variables. i2.2) Conocer fenómenos de inducción en conductores en movimiento en campos magnéticos estacionarios. i2.3) Conocer fenómenos de inducción, combinando las dos situaciones anteriores.	Falta de familiarización con la metodología experimental y las habilidades científicas (recoger datos, manejo de aparatos, análisis de resultados, emitir hipótesis). Dificultades en distinguir entre el nivel empírico (valores de las medidas) y el nivel interpretativo que utiliza conceptos tales como: campo eléctrico y magnético variables con el tiempo, fuerza electromagnética, flujo magnético...
i3) Saber analizar cualitativa y cuantitativamente el fenómeno de inducción electromagnética. i3.1) Utilizar correctamente el «modelo de campo», ley de Faraday, para explicar y cuantificar la IEM. i3.2) Utilizar correctamente el modelo «fuerza que ejerce el campo» (fuerza de Lorentz) para explicar y cuantificar la IEM (algunos lo denominan «modelo microscópico»).	Interpretar la IEM solo desde el punto de vista del modelo «de campo» (algunos lo denominan «modelo macroscópico») Atribuir la IEM a la simple presencia de un campo magnético. Confundir la superficie de integración de la ley de Faraday («superficie barrida») con la superficie del circuito. No reconocer como equivalentes, y válidos para resolver cualquier situación de IEM, los dos modelos interpretativos (ley de Faraday y fuerza de Lorentz).
i4) Utilizar reiteradamente las estrategias del trabajo científico para llegar a la solución de los problemas planteados.	Resolución de los problemas bajo un enfoque acrítico y meramente operativista, sin proponer ningún tipo de hipótesis ni predicciones; tampoco se analiza el resultado obtenido.

El análisis de los objetivos y dificultades mostrados en la tabla 1 nos va a permitir diseñar actividades que intenten superar la demanda cognitiva. En concreto, el diseño de una estructura problematizada de los contenidos que se vayan a desarrollar en la unidad didáctica de la IEM se muestra en la tabla 2. El diseño se realiza a través del uso de evidencias de la investigación para la construcción de secuencias de enseñanza.

Tabla 2.  
Secuencia didáctica para el estudio de la inducción electromagnética (IEM)

<i>Secuencia de problemas</i>	<i>Estrategias de ayuda al aprendizaje</i>	<i>Implementación actividades (indicador)</i>
¿Qué interés y/o utilidad puede tener el estudio de la IEM?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La ciencia se interesa por los fenómenos naturales y sus implicaciones sociales. El origen del interés por un fenómeno, situación o hecho puede variar según: la materia de la ciencia, problemas tecnológicos, problemas locales o globales...</li> <li>– Adquirir una concepción preliminar del estudio que se va a realizar y fomentar el interés sobre el estudio de la IEM a través de aplicaciones tecnológicas de la vida diaria que deberán ser comprendidas a lo largo del tema.</li> </ul>	A.1-A.2 (i1)
¿Cuándo ocurre un fenómeno de IEM y cuándo no?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Familiarizarse en hacer observaciones empíricas y recabar información sobre los fenómenos que se les presentan y hacer predicciones sobre lo que puede ocurrir.</li> <li>– Estudio cualitativo de la IE. Ocurre IE cuando hay un B variable con el tiempo y/o cuando un conductor se mueve en un campo magnético estacionario. No hay inducción si hay un conductor en un campo magnético estacionario.</li> </ul>	A.3-A.6 (i2)
¿Cómo se puede cuantificar la IEM?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La ciencia debe poder medir los fenómenos que se observan y dar respuestas cuantitativas a dichos fenómenos. Modelo de «campo» de la IEM                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– La ley de Faraday.</li> <li>– La fem inducida.</li> <li>– fem inducida <math>\neq</math> I inducida.</li> <li>– Ley de la conservación de la energía (ley de Lenz).</li> </ul> </li> </ul>	A.7-A.16 (i3)
¿Hay alguna otra manera de medir la fem inducida?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La ciencia puede resolver un mismo problema utilizando leyes y puntos de vista diferentes. Un problema se puede resolver con diferentes procedimientos y obtener los mismos resultados.</li> <li>– Conocer el campo de validez de las leyes. Modelo de «fuerza que ejerce el campo» de la IEM.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– La fuerza de Lorentz:                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fuerza magnética.</li> <li>– Campo eléctrico no conservativo.</li> </ul> </li> <li>– Relación de la fem con la fuerza de Lorentz y el campo eléctrico no conservativo.</li> <li>– Sistemas de referencia y los campos.</li> </ul> </li> </ul>	A.17-A.27 (i3)
Aplicaciones de la inducción electromagnética.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Las aplicaciones de la ciencia y la tecnología en la vida cotidiana hacen que se cumplan nuestras necesidades, pero además hoy en día están presentes en nuestro ocio. La ciencia y sus aplicaciones tecnológicas nos rodean.</li> <li>– Saber aplicar las leyes que analizan la IEM, en un contexto de su vida cotidiana, más allá del ámbito escolar.</li> </ul>	A.28 (i4)

En la primera columna de esa tabla 2 se ha detallado brevemente la secuencia de problemas que orientará a los estudiantes respecto a los objetivos que se persiguen; en la segunda se hace énfasis en las aproximaciones empíricas y procedimentales, así como en los aspectos axiológicos y conceptuales, para valorar y explicar los fenómenos de IEM. Finalmente, en la tercera columna presentamos el código de la actividad (perteneciente a la secuencia de enseñanza) relacionada con los otros aspectos de esa fila, así como el/los indicador/es de aprendizaje asociado/s.

Para ilustrar brevemente la implementación de las actividades en clase, presentamos a continuación dos actividades relacionadas con el indicador de aprendizaje i3. La secuencia completa y las instrucciones para su implementación se pueden consultar en (Guisasola *et al.*, 2009). Para entender que los fenómenos de inducción magnética son debidos a un campo magnético variable, se les presenta a los estudiantes varias situaciones experimentales. Una de ellas es la actividad que se presenta a continuación:

El campo magnético en el interior de un solenoide es  $\vec{B}$  (siendo su módulo, dirección y sentido constantes).

a) ¿Se producirá el fenómeno de inducción electromagnética en el interior del solenoide? Razónalo.

b) Ahora, hacemos variar el campo magnético en el interior del solenoide (véase figura a), de manera que

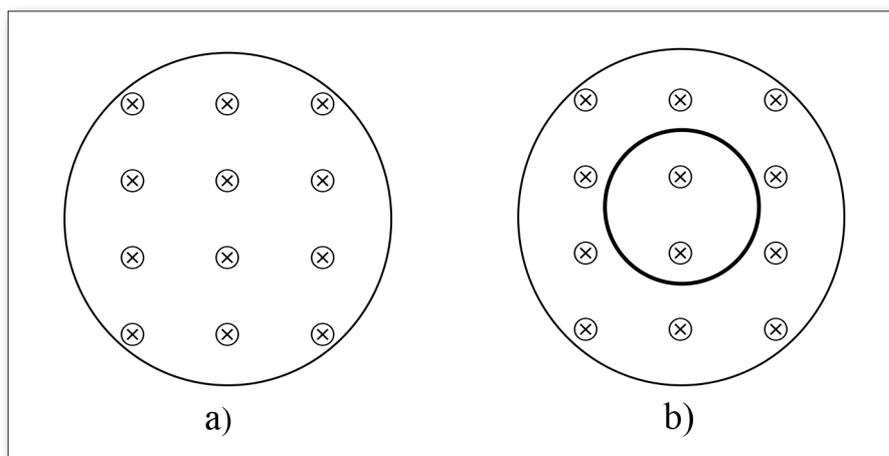
se cumple que:  $\frac{dB}{dt} = \alpha$ .

b.1) ¿Se producirá el fenómeno de inducción electromagnética en el interior del solenoide? Razónalo.

b.2) ¿Existirá corriente inducida en dicha región? Razónalo.

b.3) Si situamos una carga eléctrica en reposo en el interior del solenoide, ¿qué le ocurrirá?, ¿por qué?

c) Si introducimos en el interior de ese solenoide una espira conductora concéntrica con el solenoide (véase figura b), ¿aparecerá una corriente inducida en ella?, ¿por qué?, ¿cuál será su sentido?



En esta actividad los estudiantes deben reconocer que la presencia de un campo magnético constante no produce IEM. En el apartado *b)*, los estudiantes deben razonar que un sensor de campo eléctrico detectaría campo inducido, ya que se produce un flujo magnético variable en el interior del solenoide debido al campo magnético variable. Sin embargo, debido a que no hay ningún elemento conductor por el que puede circular corriente, no se observará corriente eléctrica inducida. Además, el campo eléctrico inducido actuará sobre la carga en reposo y la acelerará. En el apartado *c)* los estudiantes deben razonar que ahora sí existirá una corriente eléctrica inducida ya que existe una espira conductora dentro del solenoide. Aquí los estudiantes deben tener en cuenta una secuencia de razonamiento que se basa en el modelo de campo de la IEM: *a)* se produce inducción porque hay un flujo magnético variable a través de la superficie de la espira; *b)* el flujo magnético es variable debido a que el campo magnético lo es; *c)* la inducción produce una fuerza electromotriz (ley de Faraday) y un campo eléctrico no conservativo que actúa sobre los electrones libres de la espira conductora (fuerza de Lorentz).

Otra actividad que muestra a los estudiantes la equivalencia de la ley de Faraday y de la fuerza de Lorentz, a nivel cuantitativo, es la siguiente:

- a) Escribe la ley de fuerza de Lorentz incluyendo en ella todos los términos que puedan hacer que se muevan las cargas. b) Escribe la fem entendida como el trabajo total realizado sobre la unidad

de carga para desplazarla alrededor de una trayectoria cerrada y compáralo con la fem obtenida a través de la ley de Faraday. ¿Se pueden relacionar los resultados de ambos apartados? ¿Qué significa?

En esta actividad los estudiantes ya han aplicado en diferentes situaciones la ley de Faraday y la fuerza de Lorentz, se trata de que vean que a nivel general son equivalentes. En el apartado *a*), los estudiantes deben indicar que la expresión más general de la fuerza de Lorentz cuando actúan simultáneamente campos eléctricos y magnéticos es:

$$\vec{F}_L = q [\vec{E}_C + \vec{E}_{NC} + (\vec{v} * \vec{B})]$$

El apartado *b*) exige que se recuerde a los estudiantes los significados de los conceptos de fem y de trabajo. La fem se define como el trabajo, por unidad de carga, realizado en un ciclo cerrado y teniendo en cuenta que el trabajo de una fuerza conservativa en un ciclo cerrado vale cero ( $E_C$  es un campo conservativo); operando en la fuerza de Lorentz, quedaría:

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{NC} \circ \vec{dl} + \oint (\vec{v} * \vec{B}) \circ \vec{dl} \quad (1)$$

Por otro lado la ley de Faraday se expresa de la forma siguiente:

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\vec{B}}{dt} \circ \vec{S} + \vec{B} \circ \frac{d\vec{S}}{dt} = \frac{d\vec{B}}{dt} \circ \vec{S} + B \frac{dS_m}{dt} \quad (2)$$

La consecuencia es que la fuerza electromotriz obtenida a través de Faraday o de Lorentz es idéntica; la integral correspondiente al campo eléctrico no conservativo de la ecuación (1) vale lo mismo que el valor que se obtiene mediante el primer sumando de la ecuación (2). La segunda integral de la ecuación (1), asociada al trabajo de una fuerza de carácter magnético, aparece como consecuencia del movimiento de un conductor en un campo magnético constante (se le suele denominar fem del movimiento); cuantitativamente vale lo mismo que el valor obtenido en el segundo sumando de la ecuación (2), donde  $S_m$  es el área barrida por la parte móvil del circuito en el intervalo  $dt$ . Para un desarrollo matemático más detallado se puede consultar Lorrain, Corson y Lorrain (2000).

A continuación de la actividad que acabamos de abordar, se presentan varias situaciones experimentales que permiten aplicar la equivalencia obtenida teóricamente en esta actividad.

Para terminar esta breve presentación de las actividades implementadas en clase, queremos hacer notar que la manera en que se trabajó en clase es inherente al modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación guiada. Así pues, la mayoría de las clases se dedican a un trabajo en grupo en el que los estudiantes evalúan sus ideas iniciales, generan nuevas ideas y, de ahí, surge un consenso o disenso. Durante el tiempo dedicado al trabajo en grupo, el profesor circula entre los estudiantes planteando cuestiones enfocadas a los objetivos de la actividad. El profesor, periódicamente, pregunta a los grupos de estudiantes, en el contexto de una discusión realizada con todos los estudiantes de la clase. Las conclusiones de cuatro de los grupos son escritas en la pizarra por un representante de cada uno de ellos y se discuten las conclusiones con el resto. Después de este trabajo, el profesor resume las respuestas y, en su caso, las reformula para explicar la teoría a los estudiantes, aunque siempre después de discutir las actividades. Finalmente, los estudiantes son responsables de entregar su propio informe, en el que explican cómo resolver el problema o actividad. Los informes individuales son recogidos y alguno de ellos es corregido, formando parte de lo que se le exige como «trabajo en casa». El profesor discute los informes durante la siguiente clase.

## METODOLOGÍA

La secuencia, diseñada en forma de estructura problematizada del tema de inducción electromagnética, fue elaborada por los tres investigadores firmantes de este trabajo. Dicha secuencia fue puesta en práctica por dos de ellos, durante el curso 2009-2010 en la Universidad del País Vasco, en dos grupos de 1.º de Ingeniería. Uno de los grupos tenía 46 estudiantes y el otro 52. La totalidad de los estudiantes habían cursado con anterioridad dos años de estudios de física en el bachillerato (16-18 años) y la gran mayoría (había un 10% de repetidores) abordaban su primer curso de física para ingenieros. La asignación de los estudiantes a los diferentes grupos se efectuó de forma aleatoria por medio de una aplicación informática propia de la Universidad; el único criterio utilizado fue el de igualdad (aproximadamente) del número de estudiantes por grupo. La aleatoriedad del proceso es total pues la matriculación se realiza por orden de llegada y no de nota (incluidos los repetidores), evitándose el posible sesgo de grupos «mejores» que otros.

La aplicación del programa tuvo una duración de ocho sesiones de hora y media a lo largo de cuatro semanas. Así mismo, es necesario señalar que, teniendo en cuenta las características tanto de los dos grupos analizados, como de los profesores que impartieron el programa (dos de los investigadores de este trabajo), no se produjeron diferencias significativas entre los resultados obtenidos por los estudiantes de ambos grupos, por lo que hemos considerado una única muestra de 108 estudiantes (lo denominaremos grupo «experimental»).

Para evaluar el grado de efectividad de la secuencia diseñada, lo haremos de dos maneras: una de forma «interna», comparando los resultados obtenidos por el grupo «experimental» de estudiantes, antes y después de implementar la secuencia; otra de manera «externa», comparando los resultados de ese grupo con uno de control. El grupo de control estuvo formado por 85 estudiantes de 1.º de Ingeniería de la UPV/EHU. En relación con el grupo de control, la distribución aleatoria de esos estudiantes, como los del grupo experimental, así como el mismo programa de física en secundaria (16-18 años), hace que se pueda asegurar que el nivel de conocimiento inicial de los dos grupos es muy parecido, pues como Ferguson y Takane, 1989, afirman: «The random distribution of students who have undergone the same secondary education is sufficient to ensure the same level of knowledge with the groups». Además, hemos aplicado el estadístico chi-cuadrado para comparar los resultados obtenidos por el grupo experimental en el pre-test con los del grupo de control en el post-test y las conclusiones obtenidas de dicha aplicación refuerzan y avalan los resultados que se explicitarán en la tabla 5 de este trabajo.

La herramienta que se utilizó fue un pre-test y un post-test que constaban de ocho cuestiones cada uno, con los mismos objetivos pero con contextos algo diferentes, que atendían a los cuatro indicadores de aprendizaje que se han explicitado previamente en este trabajo. Todo ello se visualiza en la tabla 3.

Tabla 3.  
Relación entre cuestiones e indicadores  
de aprendizaje de la secuencia de enseñanza

<i>Cuestiones</i>	<i>Indicadores de aprendizaje de la tabla 2</i>
C2	Interés y aplicaciones sociales de la IEM (i1)
C1	Conocimiento empírico de los fenómenos de IEM (i2)
C3,C4,C6,C8	Modelo explicativo basado en el concepto de campo (i3.1)
C5,C7	Modelo explicativo basado en la fuerza de Lorentz (i3.2)

Las cuestiones utilizadas en esta investigación son iguales a algunas de las empleadas en nuestros estudios anteriores sobre dificultades de aprendizaje de la IEM (Guisasola *et al.*, 2013); en todo caso,

todo el cuestionario se puede observar en la tesis doctoral de Zuza, 2010. El indicador de aprendizaje i4 se contempla de forma transversal en la resolución de las cuestiones ya que los estudiantes deben aplicar procedimientos propios de la actividad científica para contestar correctamente.

Además, se realizaron entrevistas a 4 grupos de 3 estudiantes del grupo experimental para estudiar el razonamiento y la argumentación de las ideas con mayor profundidad que en el cuestionario. En la entrevista semiestructurada, se utilizaron las cuestiones 6, 7 y 8. Dichas cuestiones se explicitan en el anexo de este trabajo.

El pre-test solo fue contestado por el grupo experimental, y el post-test por el grupo experimental y el de control. El post-test se contestó en situación de examen; además, se realizaba inmediatamente después de haber analizado el tema de la IEM en el aula. En el caso del grupo de control, las clases las impartieron profesores del departamento de física con amplia experiencia docente e investigadora (aunque no en el ámbito de la enseñanza de la física). Los estudiantes utilizaron los libros de texto habituales para las clases magistrales en cursos de física general en la universidad española y para la resolución de problemas de final del capítulo.

Para ver en qué medida han mejorado los estudiantes la comprensión de la inducción electromagnética entre el pre-test y el post-test, procederemos a calcular una prueba de homogeneidad marginal con el fin de comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en cada uno de los ítems del pre-test y del post-test. Para constatar la significación de los cambios en las respuestas de dichos ítems (respuestas que tienen solo dos categorías son dicotómicas) utilizaremos la prueba no paramétrica de McNemar.

Así mismo, las grabaciones de las entrevistas a estudiantes se realizaron a cuatro grupos (de tres estudiantes cada uno). Estos grupos fueron seleccionados por criterio del profesor teniendo en cuenta el género, el conocimiento de física y las habilidades de cada grupo de trabajo. Estas grabaciones se realizaron en el transcurso de la implementación en el aula de la secuencia de enseñanza-aprendizaje y su duración rondó los 20 minutos. Se pedía a los estudiantes que discutieran y argumentaran alrededor de las respuestas que habían dado por escrito con anterioridad. El protocolo de análisis se realizó siguiendo los pasos que propone Cohen *et al.* (2007) citando a Hyncer.

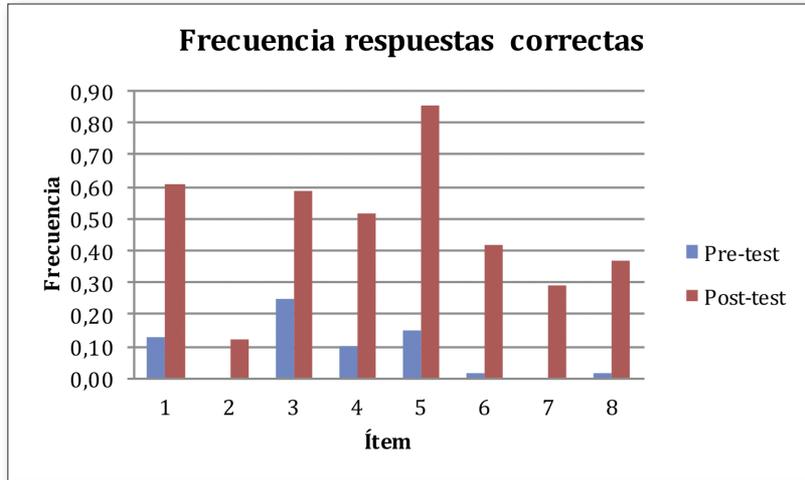
En cuanto a la evaluación «externa» de la secuencia, pretendemos medir si las diferencias que se van a obtener entre el grupo experimental y el grupo de control son debidas al azar o dependen del método de enseñanza utilizado; para ello, vamos a utilizar el documento post-test. En este caso vamos a utilizar el parámetro estadístico «chi cuadrado» ( $\chi^2$ ). Partimos de la hipótesis de que los resultados obtenidos por los grupos que estamos comparando no dependen del método de enseñanza que apliquemos y que las diferencias en los resultados obtenidos son fruto del azar. Si el valor de p que obtenemos para esta chi cuadrado es menor de 0,05, los resultados serán contrarios a esta hipótesis y en ese caso podremos decir que los resultados obtenidos dependen del método de enseñanza utilizado y que las diferencias entre los grupos son significativas.

## RESULTADOS

En este apartado presentaremos, en primer lugar, los resultados que señalan que los estudiantes que siguen la secuencia muestran una mejora en el nivel de comprensión global (evaluación «interna»). Los resultados de las entrevistas realizadas a grupos de estudiantes del grupo experimental se expondrán como ejemplos de la comprensión lograda por estos estudiantes y, por último, la comparación entre los resultados obtenidos por el grupo experimental y los obtenidos por el grupo de control.

En el gráfico 1 se muestra la mejora de la comprensión conceptual, obtenida por parte de los estudiantes del grupo experimental, para las ocho cuestiones del protocolo.

Gráfico 1.  
Mejora de la comprensión conceptual del grupo experimental



A los resultados explicitados en el gráfico 1, se aplicó el estadístico McNemar; dicha prueba se utiliza para decidir si puede, o no, aceptarse que un determinado «tratamiento» induzca un cambio en la respuesta dicotómica (en este caso, bien o mal) de los elementos sometidos a este y es aplicable a los diseños del tipo «antes-después». Si se llama b y c al número de elementos que han cambiado de respuesta, b+c son los únicos elementos que intervienen en el contraste. Entonces, el estadístico que permite contrastar si existen diferencias significativas entre las frecuencias esperadas y observadas es el chi-cuadrado de valor:  $\chi^2 = (b-c)^2 / b+c$ . La hipótesis nula de que ambos tipos de cambio (bien→mal; mal→bien) sean igualmente probables se rechaza si el valor del estadístico se encuentra en la región «crítica». En nuestro caso, según se puede deducir de la tabla 4, podemos rechazar dicha hipótesis nula en todas las cuestiones.

Tabla 4.  
Aplicación de McNemar para contrastar los resultados del pre-test y post-test del grupo experimental

Cuestión	$\chi^2$	p
1	40	<< 0,001
2	11	<< 0,001
3	27	<< 0,001
4	35	<< 0,001
5	63	<< 0,001
6	37	<< 0,001
7	28	<< 0,001
8	32	<< 0,001

Volviendo al gráfico 1 observamos que hay una mejora sustancial en la comprensión conceptual y por lo tanto se ha conseguido una mejoría con la nueva propuesta didáctica de enseñanza mediante la investigación orientada. Esto quiere decir que han mejorado sustancialmente en el reconocimiento empírico de fenómenos de IEM (indicador i1). Sin embargo, cuando pedimos a los estudiantes que apliquen estos

conocimientos a aplicaciones de la vida cotidiana con cuestiones de tipo CTS como la cuestión C2, la mejora es mucho más discreta. A pesar de que la mejora es significativa está claro que se puede mejorar mucho la ganancia en este tipo de cuestiones CTS aplicadas a la vida real. En próximas implementaciones será preciso modificar el programa de actividades e incidir con mayor detalle en este indicador.

En la cuestión C3 buscábamos saber cuáles son las condiciones necesarias para decir que ocurre el fenómeno de la inducción electromagnética, esto es, saber si los estudiantes creen que un campo magnético estacionario es suficiente para producir IEM o si es necesario que este campo sea variable con el tiempo. La mejora ha sido importante con la aplicación de la secuencia pero, aun así, debemos tener en cuenta que esta es una de las dificultades de aprendizaje importantes que aparecen en los estudiantes y además persisten a pesar del tratamiento didáctico.

En las cuestiones C4 y C5 buscábamos el conocimiento adquirido sobre la aplicación de la ley de Faraday, utilizando el modelo de campo para casos en los que el campo magnético sea variable con el tiempo (C4) y casos en los que se mueva un conductor dentro de un campo magnético estacionario (C5). En ambos casos las mejoras han sido importantes y hay que resaltar la muy importante que se ha dado en la cuestión C5.

En las cuestiones C6 y C7 los estudiantes deben razonar sobre la base de las fuerzas que aparecen asociadas a los campos para dar explicaciones del fenómeno de IEM. Las mejoras han sido un poco más moderadas que en el caso de las dos cuestiones anteriores. Debemos resaltar que el punto de vista de la fuerza de Lorentz requiere un conocimiento más profundo del fenómeno de la inducción electromagnética ya que se deben relacionar los campos que actúan y los efectos (fuerzas) que producen sobre las cargas. Este resultado se confirma en las entrevistas realizadas a los grupos de estudiantes. Por ejemplo:

- 73. Investigadora: Aparece una fuerza eléctrica asociada a un campo eléctrico. ¿De dónde aparece esa fuerza eléctrica?
- 74. Julen: Yo creo que cuando entra el campo magnético en la espira, ese cambio de campo magnético genera la fuerza, porque es variable, como esto (el imán) se está moviendo.
- 75. I: O sea, tú crees que ese campo eléctrico aparece porque hay un campo magnético variable.
- 76. J: Sí. Y eso hace una fuerza a los electrones y se mueven por eso.

La cuestión C8 presenta el generador monopolar de Faraday para que los estudiantes expliquen por qué se genera corriente eléctrica inducida. Esta cuestión es de especial dificultad, ya que requiere un conocimiento profundo de la ley de Faraday y/o de las fuerzas que actúan. La fem generada es debida al movimiento del disco pero, si no se considera el área barrida por el movimiento, los estudiantes que elijan el modelo explicativo de campo tendrán problemas para deducir el valor correcto de la fem inducida. La cuestión fue presentada a los estudiantes con la intención de indagar el nivel de excelencia en el aprendizaje de la IEM. El resultado de la mejora se puede considerar satisfactorio ya que indica que más de un tercio de los estudiantes que podían alcanzar el nivel de excelencia lo han alcanzado con nuestra propuesta. En las entrevistas se muestra a estudiantes que utilizan correctamente la ley de Faraday para el cálculo de la fem inducida por el movimiento.

- 85. Investigadora: A Íñigo en sus cálculos la fuerza electromotriz le daba cero. Pero experimentalmente el voltímetro mide fem. ¿Cómo harías tú los cálculos para que esa fuerza electromotriz fuera distinta de cero?
- 86. Íker: El área que tienes en cuenta es como el de la barra que hemos visto en clase. Solo hay que tener en cuenta un diferencial de área, el área de deja libre por el movimiento. Al fin y al cabo ahí hay como una diferencia de área y una variación de flujo.

Tal y como hemos mencionado con anterioridad, también hemos comparado los resultados de los estudiantes del grupo experimental con los del grupo de control. Los datos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.

Comparación de los porcentajes de respuestas correctas de los ítems del cuestionario pos-test de los estudiantes del grupo experimental y los estudiantes del grupo de control

Cuestión	% de respuestas correctas grupo de control	% de respuestas correctas grupo experimental	$\chi^2$	$p$
1	55,6	61,0	0,60	0,49
2	16,2	12,2	0,49	0,56
3	58,1	58,5	0,003	0,67
4	49,0	51,2	0,10	0,62
5	74,0	85,3	0,71	0,17
6	3,5	41,5	41,4	0,000009
7	3,6	29,9	23,3	0,0009
8	15,2	36,6	11,9	0,018

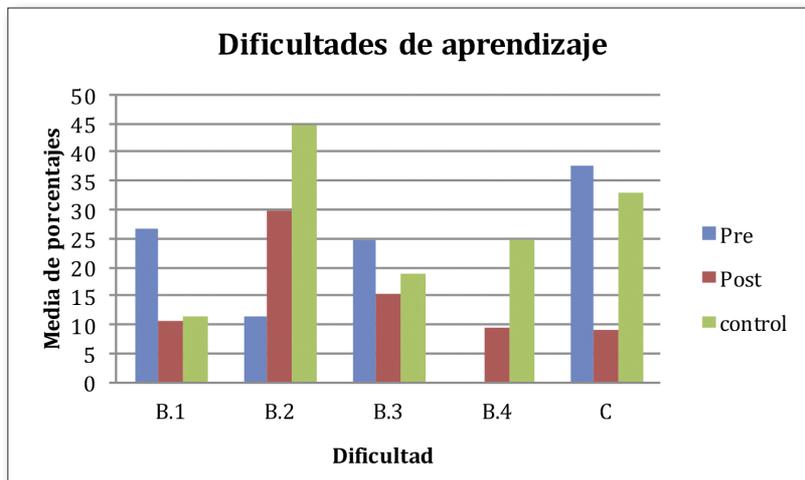
Los resultados de la tabla 5 nos muestran que hay diferencias significativas que dependen del método de enseñanza en las cuestiones 6, 7 y 8. En las demás cuestiones no hay diferencias, a pesar de que en todos los ítems, excepto en el segundo, los porcentajes de respuestas correctas obtenidas por los estudiantes del grupo experimental sean mejores que los del grupo de control. Debemos tener en cuenta que nuestra unidad didáctica propone dos aspectos novedosos con respecto a la enseñanza habitual. Por un lado, trabaja expresamente la equivalencia del modelo de campo y el modelo de «fuerza de Lorentz» para explicar la IEM, tal y como se insiste desde el marco teórico de la física (Lorrain *et al.*, 2000). Por otro, se analiza a fondo la ley de Faraday, llegando a la conclusión de que con dicha ley se puede abordar cualquier fenómeno de IEM. Los resultados que hemos obtenido corroboran la aportación que hace esta secuencia de enseñanza, ya que obtenemos resultados substancialmente mejores en las cuestiones C6, C7 y C8 relacionadas con las aportaciones novedosas de la secuencia y además mantenemos los resultados que obtiene el grupo de control en los demás ítems.

Como ya hemos comentado, el objetivo del estudio no es solo comprobar las respuestas correctas o incorrectas, sino indagar sobre la disminución de las concepciones alternativas detectadas en la investigación. Es decir, si la secuencia favorece una transición desde concepciones no científicas hacia los modelos científicos completos o «casi completos». Por ello en las respuestas incorrectas se ha analizado si aparecía alguna de las siguientes concepciones alternativas detectadas en la bibliografía:

- B.1. El campo magnético o la corriente eléctrica producen EMI.
- B.2. Al aplicar la ley de Faraday, confundir la superficie del circuito y la superficie de integración, llegando a conclusiones erróneas.
- B.3. Explicaciones «ad hoc» que se limitan a describir el fenómeno de inducción sin explicar o utilizar recuerdos memorísticos sin consistencia lógica.
- B.4. No tener en cuenta la naturaleza del campo eléctrico inducido y/o las fuerzas que están actuando sobre las cargas.
- C. Deja en blanco la respuesta.

El gráfico 2 muestra los porcentajes de respuestas incorrectas, incluidas en alguna concepción alternativa, para el conjunto de las ocho cuestiones del pre-test y del post-test en el grupo experimental, así como del post-test en el grupo de control. Es evidente que en cada cuestión podrá aparecer un número distinto de concepciones alternativas.

Grafico 2.  
Porcentaje medio de dificultades



En el grupo experimental, el porcentaje de la categoría B.1, que involucra las explicaciones basadas en la alternativa de que un campo magnético produce inducción, disminuye considerablemente después de la instrucción. El porcentaje se sitúa en torno al 10% en dicho grupo; en el de control el porcentaje es algo mayor. En el grupo experimental sigue existiendo un porcentaje significativo de respuestas en la categoría B.2 (confundir el área de la superficie del circuito y el área de superficie de integración), pero el porcentaje de respuestas en esta categoría entre el grupo de control es mayor (la diferencia es estadísticamente significativa). Lo mismo ocurre con el porcentaje de respuestas en la categoría B.4; en el grupo de control, alrededor del 25% de las respuestas no tienen en cuenta la naturaleza no conservativa de un campo eléctrico inducido, mientras que en el grupo experimental la cifra es del 10%. En el grupo experimental, hay un descenso en los estudiantes que no explican sus conclusiones con la argumentación adecuada (categoría B.3).

## CONCLUSIONES

En este estudio hemos diseñado una secuencia de enseñanza que implica una serie de actividades y problemas con el objetivo de ayudar a los estudiantes a comprender la IEM. Al implementar la secuencia, un considerable número de estudiantes tienen una comprensión más satisfactoria del modelo explicativo de la IEM. El logro de los aprendizajes es mejor en el grupo experimental que en el grupo de control, en términos de respuestas correctas y en el porcentaje de las concepciones alternativas de las categorías B (véanse gráficos). Esto parece confirmar que los aspectos destacados en la secuencia son relevantes para los objetivos definidos. Sin embargo, el porcentaje de estudiantes experimentales que explican y usan el modelo explicativo de campo o el modelo de fuerza correctamente es de alrededor del 60%. Este porcentaje puede parecer poco satisfactorio, pero debe tenerse en cuenta que después de la instrucción, en el grupo experimental, el número de respuestas con concepciones alternativas también se reduce (véase gráfico 2).

Otro de los resultados del grupo experimental, que apoya esta reflexión sobre «el progreso del aprendizaje», es la fuerte reducción de los estudiantes que no respondieron a las preguntas. Además, el número de respuestas que utilizan argumentos científicos aumenta considerablemente en comparación con el número de respuestas «ad hoc» o respuestas basadas en «el razonamiento común», incluido en dificultad B.3.

Las respuestas correctas al cuestionario exigen una explicación de varios niveles, en el sentido de que los estudiantes tienen que correlacionar las mediciones macroscópicas (corriente, diferencia de potencial, fem) con los conceptos explicativos (flujo magnético, campo eléctrico inducido y las fuerzas que actúan). Tal vez sería necesario más tiempo para analizar y mejorar el razonamiento de varios niveles en temas de IEM. En nuestra investigación estábamos limitados por el plan de estudios establecido y nuestro reto era realizar cambios en las estrategias de enseñanza dentro de este contexto. Por otra parte, este estudio evalúa una secuencia de enseñanza diseñada para un tema específico y sería necesario introducir este tipo de macro-micro análisis de los temas anteriores de la electricidad y el magnetismo.

Aunque los resultados del estudio son positivos, la viabilidad del diseño y los resultados de enseñanza pueden variar en diferentes contextos. En nuestra experiencia, las modificaciones continuas del profesorado sobre la base de evaluaciones de las implementaciones anteriores serán necesarias.

#### AGRADECIMIENTO:

Este trabajo está sustentado, en parte, por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) a través del proyecto de investigación de referencia: EDU2011-24088

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUND, D.J. y FELETTI, G. (1991). *The challenge of problem-based learning*. London: Kogan-Page, pp. 13-20.
- COHEN, L., MANION, L. y MORRISON, K. (2007). *Research Methods in Science Education*. Routledge. Taylor & Francis Groups. London and New York.
- DUIT R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias: Un requisito indispensable para mejorar la práctica educativa. *Revista mejicana de investigación educativa*, 11(30), pp. 741-770.
- FERGUSON, G.A. y TAKANE, Y. (1989). *Statistical analysis in psychology and education* (6<sup>th</sup> ed). New York: McGraw-Hill.
- GALILI, I., KAPLAN, D. y LEHAVY, Y. (2006). Teaching Faraday's law of electromagnetic induction in an introductory physics course. *American Journal of Physics*, 74 (4), pp. 337-343.  
<http://dx.doi.org/10.1119/1.2180283>
- GUISASOLA, J., ALMUDI, J.M., CEBERIO, M., ZUBIMENDI, J.L., ZUZA, K. y FRANCO, A. (2009). *Actividades para el Aprendizaje del Electromagnetismo en Primer Curso de Física para Ciencias e Ingeniería* en UPV-EHU Open Course Ware: [http://ocw.ehu.es/file.php/111/electromagnetismo/Course\\_listing.html](http://ocw.ehu.es/file.php/111/electromagnetismo/Course_listing.html)
- GUISASOLA, J., ALMUDI, J.M. y ZUZA, K. (2013). University Students' Understanding of Electromagnetic Induction. *International Journal of Science Education*, 35(16), pp. 2692-2717.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.624134>
- GUISASOLA, J., FURIO, C. y CEBERIO, M. (2008). Science Education Based on Developing Guided Research. En Thomase (Ed.) *Science Education in Focus*, Nova Science Publishers, Inc.
- GUISASOLA, J., GARMENDIA, M., MONTERO, A. y BARRAGUES, J.I. (2012). Una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la física, *Enseñanza de las Ciencias* 30(1), pp. 49-60.
- JIMENEZ-ALEXANDRE, M.P., RODRIGUES, A.B. y DUSCHL, R. (2000). «Doing the lesson» or «doing science»: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), pp. 757-792.  
[http://dx.doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F](http://dx.doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F)

- LEACH, J., AMETTLER, J. y SCOTT, P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. En Koortland, K. Y Klaassen, K. (Eds.) *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education*, pp.7-36. Utrecht: CDBeta Press.
- LEACH, J. y SCOTT, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38, pp. 115-142.  
<http://dx.doi.org/10.1080/03057260208560189>
- LEACH, J. y SCOTT, P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 12, pp. 91-113.  
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1022665519862>
- LOFTUS, M. (1996). Studentes' ideas about electromagnetism. *SSR*, 77, p. 280.
- LORRAIN, P., CORSON, D.L. y LORRAIN, F. (2000). *Fundamentals of Electromagnetic Phenomena*. W.H. Freeman and Company.
- MAUK, H.V. y HINGLEY, D. (2005). Student understanding of induced current: Using tutorials in introductory physics to teach electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 73(12), pp. 1164-1171.  
<http://dx.doi.org/10.1119/1.2117167>
- MÉHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 515-535.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- MENG THONG, W. & GUNSTONE R. (2008). Some Students Conceptions of Electromagnetic Induction. *Research in Science Education*, 38, pp. 31-44.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11165-007-9038-9>
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (2009). *Bibliography. Students' and teachers' conceptions and science education*, en <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>. Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- SAARELAINEN, M., LAAKSONEN, A. & HIRVONEN, P.E. (2007). Students' initial knowledge of electric and magnetic fields –more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions. *European Journal of Physics*, 28, pp. 51-60.  
<http://dx.doi.org/10.1088/0143-0807/28/1/006>
- SIMPSON, R.D. y OLIVER, J.S. (1990). A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education* 74(1), pp. 1-18.  
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730740102>
- VENTURINI, P. Y ALBE, V. (2002). Interpretation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *Aster*, 25, pp. 165-188.
- WANDERSEE, J.H., MINTZES, J.J. y NOVAK, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En GABEL, L.D. (Ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*, pp. 177-210. New York: MacMillan.
- ZUZA, K. (2010). La ley de Faraday para primer curso de Universidad. Análisis crítico y propuestas de mejora. Tesis Doctoral. En el Departamento de Física Aplicada I de la UPV/EHU.
- ZUZA, K., ALMUDI, J.M. y GUIASOLA, J. (2012a). Revisión de la investigación acerca de las ideas de los estudiantes sobre la interpretación de los fenómenos de inducción electromagnética. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), pp. 175-196.
- ZUZA, K., GUIASOLA, J., MICHELINI, M. y SANTI, L. (2012b). Rethinking Faraday's law for teaching motional electromotive force. *European Journal of Physics* 33, pp. 397-406.  
<http://dx.doi.org/10.1088/0143-0807/33/2/397>

### ANEXO

6. Un imán se mueve hacia una espira conductora que está en reposo respecto de nuestra observación (véase figura 1).

- a) ¿Marcará paso de corriente el amperímetro A? ¿Por qué?
- b) ¿Cómo calcularías la fuerza electromotriz producida?
- c) 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.

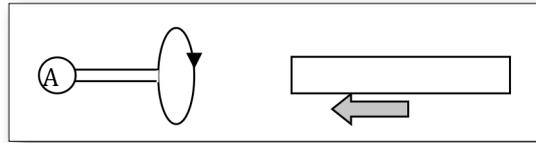


Fig. 1.

7. Una espira gira dentro de un campo magnético uniforme (véase figura 2).

- a) ¿Marcará paso de corriente el galvanómetro de la espira? ¿Por qué?
- b) ¿Cómo calcularías la fuerza electromotriz inducida? Suponer que gira desde la posición vertical hasta la horizontal.
- c) Explica de dónde proceden las fuerzas que mueven las cargas en la espira y cuál es su naturaleza.

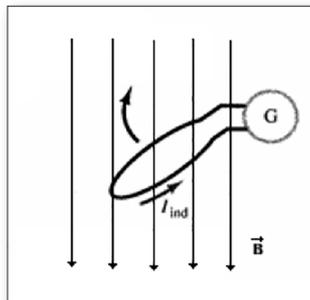


Fig. 2.

8. La figura 3 muestra un disco de cobre girando dentro de un campo magnético perpendicular a este.

- a) Se ha conectado un amperímetro (A) con el centro del disco y con la parte exterior del disco en rotación. ¿Marcará paso de corriente el amperímetro? ¿Por qué?
- b) ¿Cómo calcularías la fuerza electromotriz inducida?
- c) Explica de dónde proceden las fuerzas que mueven las cargas en el disco y cuál es su naturaleza.

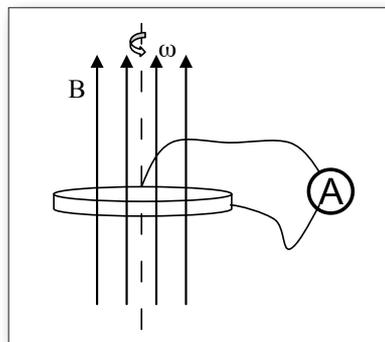


Fig. 3.

---

# Learning of electromagnetic induction theory in general physics university courses. A teaching based on guided problem solving

José Manuel Almudí, Kristina Zuza, Jenaro Guisasola  
Departamento de Física Aplicada I, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)  
josemanuel.almudi@ehu.eus; kristina.zuza@ehu.eus; jenaro.guisasola@ehu.eus

Physics Education Research has repeatedly shown serious learning difficulties in the area of electricity and magnetism. However, in the field of electromagnetic induction there are few studies, both on students' ideas and on research-based teaching-learning sequences (TLS).

The main objective of this paper is to present the design and evaluation of a TLS to address the phenomenon of electromagnetic induction in introductory physics courses at university level. The purpose of the TLS presented in this paper is to help students to reconcile their initial ideas about the phenomenon of electromagnetic induction with the scientific theory, so they can use that theory to address, among others, different aspects of Electromagnetic Induction (EMI). The design, implementation and evaluation of the TLS lies within the social-constructivist theory of learning and in teaching strategies based on the model of teaching by guided problem solving (GPS).

The TLS activities are designed to give students the opportunity to develop and apply their new knowledge; the proposed strategy is a teaching sequence based on a teaching-learning process as Guided Problem Solving. This strategy seeks to engage students in building their knowledge dealing with activities in a way that uses the scientific procedures for solving problems. To design the sequence of activities we use the results of research in physics education, as well as the contributions of the epistemology of science. Unlike the designs of standard teaching-learning sequences based on experience and idiosyncrasies of teachers, our design is based on the establishment of a direct link between the decisions made to design the sequence and the contributions of research in physics education.

Regarding the activities implemented in class, we want to highlight that the way of working in the classroom is linked with the teaching-learning model as guided research. Thus, most classes are dedicated to working in groups, where students evaluate their initial ideas, generate new ideas and, hence, a consensus or disagreement arises.

The TLS was implemented by two of the researchers, during the 2009-2010 academic years at the University of the Basque Country (UPV/EHU), in two groups of first course of Engineering. One group had 46 students and the other 52. All the students had previously completed two years of studies in physics in high school (16-18 years). The assessment of the degree of effectiveness of the designed sequence was done in two ways: one «internal» way, comparing the results obtained by the «experimental» group of students before and after implementing the sequence; another «external» way comparing the results of this group with a control group; said control group consisted of 85 students in the first year of Engineering of the UPV / EHU.

By implementing the sequence, a considerable number of students have a satisfactory understanding of the explanatory model of electromagnetic phenomena. The achievement of learning is better in the experimental group than in the control group in terms of correct answers and decrease in the percentage of alternative conceptions. This seems to confirm that the aspects highlighted in the sequence are relevant to the defined objectives. However, the percentage of experimental students that explain and use the explanatory field model or the force model correctly is around 60%, which while being a substantial improvement, indicates that the feasibility of the design and results of education can vary in different contexts. In our experience, continuous changes made by teachers on the basis of evaluations of previous implementations will be needed.