

# Ontología del concepto de inducción electromagnética en libros de texto universitarios

Ontology of the electromagnetic induction in university-level textbooks

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Elena Hoyos<sup>1</sup>, M. Cecilia Pocovi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Avenida Bolivia 5150, CP 4400, Salta, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Avenida Bolivia 5150, CP 4400, Salta, Argentina.

E-mail: hoyosele@gmail.com

## Resumen

En el presente trabajo se analiza la presentación del concepto de inducción electromagnética en textos de electromagnetismo básico de nivel universitario. El estudio se centra en la detección de la explicitación de los atributos ontológicos de este concepto que lo definen como de tipo *proceso directo* según la clasificación de Chi (2013). Se ha utilizado una metodología de estudio de caso realizando un muestreo de casos típicos conformado por los libros de texto que se enumeran en los programas de electromagnetismo básico. Se concluye que la mayoría de los textos seleccionados no describen lingüísticamente la ontología del concepto a aprender. Se sugieren alternativas para mejorar la presentación de la ontología del concepto y para realizar investigaciones futuras acerca de la incidencia de este tipo de abordaje en la comprensión de los estudiantes.

**Palabras clave:** Ontología de los conceptos; Aprendizaje ontológico; Textos.

## Abstract

The analysis of the presentation of the electromagnetic induction concept within basic-electromagnetism textbooks is carried out in this work. The study focuses in the explicit mention of the ontological attributes of this concept that define it as a Direct Process type one, according to Chi (2013) classification. A Case Study methodology was used in performing a typical case sampling with those textbooks that are listed in the syllabus of the basic electromagnetism course. It is concluded that most of the selected textbooks do not include the linguistic description of the ontological aspects of the to-be-learned concept. Some suggestions are stated with regards to improving the presentation of the ontology of the electromagnetic induction and for future research on the effects of this type of approach in the students' comprehension.

**Keywords:** Concept ontology; Ontological learning; Texts

## I. INTRODUCCIÓN

Las primeras investigaciones acerca de las dificultades en el aprendizaje de conceptos relacionados con el área del Electromagnetismo comenzaron con el estudio de la comprensión de los conceptos de campos eléctrico y magnético en situación estática. Los resultados de estas investigaciones coinciden en señalar que existen dificultades para lograr el cambio conceptual de los alumnos en el caso de los conceptos involucrados. Algunos de los problemas detectados son: la incorrecta caracterización ontológica de los campos y de las líneas de campo (Furió y Guisasola, 1998), la persistencia de modelos mentales de campo distintos al modelo científico (Krapas y otros, 2000), la falta de comprensión acerca de la superposición de campos (Viennot y Rainson, 1994), el escaso manejo matemático de las leyes fundamentales de la electrostática y de la magnetostática (McMillan y Swadener, 1991; Furió y Guisasola, 1999; Guisasola, y otros, 2003), entre otros. El aprendizaje de temas relacionados con el electromagnetismo ha sido relegado en las investigaciones educativas en física a pesar de la importancia que revisten por vincular el campo eléctrico y el magnético para dar lugar al concepto de ondas electromagnéticas. En el caso de la inducción electromagnética, existen algunas investigaciones incipientes que proponen cambios en el orden y en la profundidad de los temas involucrados (Chabay y Sherwood, 2006) como así también en el enfoque de la

presentación (Galili y Kaplan, 1997; Galili y otros, 2006). Por su parte, Guisasola y otros (2010) detectan algunos de los problemas más generalizados en la comprensión del tema al resolver problemas.

En este trabajo, dado que la inducción electromagnética se puede generar experimentalmente de distintas formas, se analizará el caso de una experiencia que incluya un circuito o una espira en movimiento entre zonas del espacio con campo electromagnético constante y sin campos. Si en la generación de la inducción electromagnética se utilizan espiras o circuitos, la magnitud medible asociada a la inducción es la corriente que se establece en el circuito o espira, ésta se denomina corriente inducida.

En el aprendizaje a nivel universitario, cobra relevancia la lectura como recurso para lograr la comprensión de un concepto (Kelly, 2007; Birr y otros, 2011). Resulta entonces fundamental, realizar un análisis de la presentación del concepto de inducción electromagnética en los libros de texto utilizados a nivel básico universitario para identificar algunas características que pudieran inhibir o favorecer su aprendizaje.

## II. MARCO TEÓRICO

El objetivo en cualquier proceso de aprendizaje es lograr el Cambio Conceptual del alumno, desde sus concepciones iniciales hacia las científicas. Existen numerosas teorías que se encuadran bajo este título. En este trabajo, se ha seleccionado aquella presentada por Chi (1992, 2008, 2013). Lo que caracteriza esta teoría es que considera que el aprendizaje de la ontología o naturaleza de un concepto cumple un papel fundamental en el cambio conceptual de los estudiantes. A continuación, se mencionan algunos de los aspectos más relevantes que se tuvieron en cuenta en el análisis de textos realizado.

Según Chi (1992, 2005), los conceptos pueden clasificarse según la categoría ontológica a la que pertenezcan. Para cada categoría ontológica, se definen conjuntos de predicados que constituyen atributos ontológicos que las entidades de esa categoría pueden potencialmente tener. En el caso de investigaciones sobre aprendizaje en física, resultan relevantes las categorías ontológicas tipo proceso y tipo materia. La primera porque la mayoría de los conceptos de esta ciencia pertenecen a ella; la segunda porque muchos estudiantes tienden a asignar erróneamente, los conceptos que aprenden, a esta categoría (Reiner y otros, 2000; Chi, 2005).

En los últimos avances de la teoría de cambio conceptual de Chi, se definió de manera más precisa lo que se entiende por un concepto tipo proceso (Chi, 2005, 2008, 2013). De manera resumida, los conceptos tipo “proceso” se definen con base en mecanismos causales en los cuales se pueden distinguir patrones globales de flujo y componentes de dichos patrones. Los patrones globales de flujo se pueden describir de distintas maneras, una de las cuales mediante la identificación de la dirección y el sentido del patrón de flujo. Además, las componentes de dichos patrones pueden ser analizadas en varios niveles, y sus interacciones pueden ser caracterizadas de distinta manera. Varios factores (condiciones o variables) pueden influir tanto en los patrones globales de flujo como en el comportamiento específico local de las componentes. Se debe tener en claro, entonces, que entender el mecanismo causal entre las componentes y el patrón, es distinto de entender las relaciones tipo causa-efecto que tienen algunos factores sobre el patrón o las componentes. Con base en lo dicho anteriormente, Chi (2005) presenta la definición de dos tipos de proceso: directos y emergentes. En el proceso directo, la naturaleza de las componentes está causando directamente el patrón global de flujo, definiendo sus características. En un proceso emergente, ni las componentes, ni sus constituyentes están causando directamente el patrón de flujo global. Para este proceso, el mecanismo del patrón de flujo debe explicarse en términos de los resultados interactivos colectivos de todas las componentes constituyentes, de modo que ni una componente individual ni un grupo de constituyentes individuales causan el patrón global. En la tabla I, se muestran de manera resumida, las características salientes de cada tipo de proceso.

Como ya se mencionó, el aprendizaje a partir de la lectura cobra importancia en el nivel universitario. Las investigaciones sobre textos han identificado algunas características de éstos que podrían inhibir su comprensión. Kintsch (2004) y McNamara (2005) pusieron de manifiesto que la mayor coherencia del texto (grado de claridad con la que se relacionan las ideas dentro de un texto), afecta positivamente la comprensión. McKeown y otros (2009) detectaron que algunos libros de texto que se utilizan en clases de ciencias requieren, para su comprensión, información previa que los alumnos generalmente no poseen. Resultan de relevancia para el presente trabajo, aquellas investigaciones sobre aprendizaje a partir de textos de física que destacan la importancia de las traducciones desde el sistema simbólico al sistema lingüístico, presentes en un texto (Alexander y Kulikowich, 1994; Alexander y Jetton, 2000). Dentro de este último grupo, nos interesan en particular, aquellas investigaciones que se centran en la descripción en palabras de la ontología de un concepto (Slotta y otros, 1995; Reiner y otros, 2000). Este tipo de textos que incorporan muchas explicaciones en palabras han sido denominados “considerados” pues facilitan la comprensión de los conceptos presentados. En cambio, aquellos que hacen que los lectores realicen un

gran esfuerzo cognitivo para compensar su mala construcción han sido llamados “desconsiderados” (Armbruster, 1984).

**TABLA I.** Comportamiento de las componentes en Procesos Directos vs Procesos Emergentes.

	<i>Proceso Directo o Secuencial</i>	<i>Proceso Emergente</i>
[1]	El comportamiento de las distintas componentes es diferente.	El comportamiento de las distintas componentes es uniforme.
[2]	Las interacciones de las componentes están restringidas, en el sentido de que cada componente sólo puede interactuar con algunos otros componentes pre-especificados.	Las interacciones de las componentes constituyentes no están restringidas, todas las componentes interactúan entre sí.
[3]	Las componentes actúan en un orden secuencial.	Todas las componentes interactúan simultáneamente.
[4]	La interacción de las componentes termina cuando el patrón de flujo se detiene	Las componentes constituyentes continúan su comportamiento indefinidamente.
[5]	Diferentes subgrupos de componentes pueden tener funciones y roles identificables que contribuyen a diferentes aspectos del patrón de flujo directamente.	Las componentes no pueden dividirse en subgrupos con roles o funciones distintos.
[6]	El comportamiento de algunas componentes se correlaciona con el patrón global de flujo del proceso.	El comportamiento de todas las componentes se correlaciona con el patrón global del proceso.

### III. ONTOLOGÍA DEL CONCEPTO DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Ya se mencionó que, en este trabajo, se tratará el caso particular en que en la generación de una inducción electromagnética se involucran espiras o circuitos de manera tal que la magnitud medible asociada a la inducción es la corriente que se establece en el circuito o espira; a ésta se la denomina corriente inducida. Una de las experiencias clásicas sobre este tema es aquella en la que una espira de resistencia  $R$  se encuentra en una zona del espacio donde existe un campo electromagnético constante  $[\vec{E} = 0; \vec{B} = B\hat{k}]$ . Mediante la acción de un agente externo, la espira se mueve hacia una zona del espacio donde el campo electromagnético es nulo. Se observa que en la espira se establece una corriente (o sea, un movimiento de cargas). Es necesario mencionar que todas las magnitudes medidas (estado de reposo inicial, movimiento de la espira, campo electromagnético y corriente inducida), se realizan desde un sistema de referencia inercial  $S$ . Analizando ontológicamente la situación, se puede advertir que: se establece un patrón global de flujo (la inducción electromagnética), cuyas componentes son: el campo electromagnético en una zona limitada del espacio, la espira y la corriente inducida. Más aún, las cargas pueden considerarse como componentes del patrón global de flujo a un nivel diferente o más desagregado que aquel al que pertenece la corriente. A partir de este análisis, se puede señalar que la inducción electromagnética es un concepto tipo Proceso (se identificó un patrón y las componentes). Para determinar si se trata de un concepto tipo Proceso Directo o Emergente, se realiza, a continuación, el análisis de los multiniveles de las componentes y sus interacciones, y el estudio de los mecanismos y principios que intervienen necesariamente en la generación del patrón global de flujo.

En el instante inicial, la espira se mueve con velocidad constante  $\vec{V} = V\hat{i}$  respecto del sistema  $S$ . En esta situación, la estructura de la espira interactúa con las cargas, y produce una fuerza sobre éstas. Como consecuencia de esta interacción, se produce un movimiento efectivo de las cargas en la misma dirección y sentido que aquel de la espira, con una velocidad igual a  $\vec{V} = V\hat{i}$ . En otras palabras, una componente del patrón global de flujo (las cargas) interactúa con otra componente como lo es la estructura de la espira.

El campo electromagnético interactúa con las cargas que en ese momento se mueven a velocidad  $\vec{V}$ , produciendo la aparición de una fuerza electromagnética, que modifica esa velocidad a un valor  $\vec{V}_q$ . En otras palabras, existe una interacción entre una de las componentes (cargas en movimiento efectivo) y otra componente (campo electromagnético). Nótese que esta interacción no podría producirse sin que primero exista la interacción descrita en el párrafo anterior.

Cabe resaltar que, al moverse la espira en el interior del campo electromagnético, las cargas tienen un movimiento efectivo a una velocidad  $\vec{V}_q$  distinta a la velocidad de la espira. La fuerza resultante que actúa sobre las cargas es igual a la superposición de la fuerza electromagnética y la fuerza de interacción con la

espira. Esta última fuerza es igual a  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  donde la velocidad  $\vec{v}$  es la velocidad de la espira distinta de la velocidad de la carga. Para los tramos de la espira que no se encuentran dentro de la zona en la cual existe un campo electromagnético, la interacción campo-carga, no existe.

La importancia de la descripción detallada de la fuerza radica en que la inducción electromagnética se asocia con la fuerza electromotriz (fem,  $\varepsilon$ ). Esta última se define como el trabajo por unidad de carga de la fuerza que actúa sobre las cargas en una trayectoria cerrada:

$$\varepsilon = \frac{1}{q} \oint \vec{F} \cdot d\vec{l} \quad (1)$$

Si se realizan los cálculos para este caso, el valor de la fem da  $VBL$ , donde  $L$  es el tramo de la espira, adentro del campo, perpendicular a la dirección de  $\vec{v}$ . Debido a esta fem, se induce una corriente en la espira.

A partir del análisis de este fenómeno, se pueden sacar las siguientes conclusiones. Los comportamientos de las cargas, del campo y de la espira son diferentes [1]. La interacción de las cargas está restringida ya que cuando no tienen movimiento efectivo, sólo pueden interactuar con la estructura de la espira mientras que, cuando se encuentran en movimiento, pueden interactuar con el campo electromagnético. Además, aquellas cargas que no están en la zona del espacio con campo electromagnético sólo pueden interactuar con la estructura de la espira [2]. Como se explicó, las interacciones espira-cargas y cargas-campo tienen un carácter secuencial [3]. La inducción electromagnética cesa cuando desaparece la interacción entre las cargas y el campo [4]. Los roles que juegan el vector velocidad de la espira y el vector campo electromagnético son perfectamente identificables en la generación del patrón global de flujo [5]. El valor de la velocidad y el campo se correlaciona con el patrón global de flujo [6].

Por todo lo dicho anteriormente, la inducción electromagnética es un concepto tipo proceso directo.

#### IV. METODOLOGÍA Y PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN

Para describir la presentación del concepto de inducción electromagnética en libros de texto, se seleccionaron los siete más utilizados en nuestra institución, en la asignatura de electromagnetismo básico. O sea, la selección fue intencional por lo cual constituye un estudio de caso, según Marradi y otros (2012). Para el análisis del contenido, se elaboró un protocolo con base en las características ontológicas descriptas en la sección anterior. Así, mediante la lectura de estos libros se identificaron cuáles de estas características están presentes en ellos y cuáles no.

De esta manera, se puede responder a las siguientes preguntas de investigación referidas a la presentación de la inducción electromagnética en los textos seleccionados:

- 1) ¿Se explicita que los comportamientos de la espira, las cargas y el campo son distintos?
- 2) ¿Se pone de manifiesto que las interacciones entre componentes están restringidas?
- 3) ¿Queda claro que en la generación de la inducción electromagnética las interacciones entre componentes se producen en forma secuencial?
- 4) ¿Se muestra que el patrón global de flujo desaparece cuando la interacción entre componentes termina?
- 5) ¿Se explicitan los roles que juegan las distintas componentes del patrón global de flujo?
- 6) ¿Se aclara cómo se relacionan las componentes con el patrón global de flujo observado?

#### V. RESULTADOS

A continuación se listan los textos seleccionados y se lleva a cabo el análisis descripto; la cita completa figura en la sección de las Referencias: A) Tipler y Mosca, B) Kip, C) Young y Freedman, D) Sears y otros, E) Serway, F) Serway y Jewett y G) Resnick y otros.

A) *Tipler y Mosca. (2005) Capítulo 28: Inducción Magnética.* Presenta como primer ejemplo el correspondiente a la espira que se mueve en una región donde existe campo electromagnético (con componente magnética, solamente). En su desarrollo no detalla los procesos físicos que producen la fem y, en cambio, se centra en el campo magnético generado por la corriente inducida. No utiliza este ejemplo para identificar las componentes y las interacciones que generan el patrón global de flujo resultante. Luego, analiza el problema de una varilla conductora que se desliza a lo largo de dos conductores que están unidos por una resistencia en un campo magnético uniforme. Analiza la variación del flujo

magnético con el tiempo y no hace referencia al carácter de proceso del fenómeno. Analiza la fuerza magnética sobre los portadores de carga, sin tener en cuenta la interacción entre la estructura de la espira y las cargas. Además, considera la velocidad de las cargas como la velocidad del conductor y no tiene en cuenta las dos componentes de ésta.

Define a la fem, en palabras, como el trabajo por unidad de carga sobre los portadores de carga y analiza la fuerza que realiza trabajo. Inicia el análisis cuando la corriente inducida ya está establecida con lo cual, obvia mencionar la secuencia que genera la fem. A lo largo del texto asigna dos velocidades a las cargas en párrafos distintos y no alerta al lector que ellas deben componerse para obtener la velocidad total de las cargas y que ésta última es distinta que la velocidad de la espira ( $\vec{V}$ ). Encuentra que la fuerza que realiza trabajo es  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  con lo cual, un lector desprevenido podría asociar erróneamente a este Trabajo con el Trabajo de la fuerza magnética sobre las cargas. Tampoco explicita bajo qué condiciones la fem deja de existir. En resumen, no desarrolla ninguno de los aspectos marcados en las preguntas de esta investigación.

B) Kip. (1978) *Capítulo 8: Fuerza Electromotriz Inducida. Autoinductancia*. Analiza el problema de una espira rectangular conductora que se mueve en un campo perpendicular al plano de la espira y que varía a lo largo del eje x. No plantea el instante inicial, entonces no es posible analizar la secuencia que lleva a la generación de la fem y la corriente. Calcula la fuerza magnética sobre cargas en cualquier lugar de la espira utilizando la velocidad de la espira, sin ningún análisis previo de por qué utiliza esta velocidad. Manifiesta explícitamente que “esta fuerza actuará sobre todas las cargas existentes en el hilo y realizará trabajo sobre aquellas que puedan moverse verticalmente por los lados de la espira” (p. 196). No explicita que la fuerza magnética sobre las cargas no realiza trabajo con lo cual, deja para que el lector procese esta información sin la ayuda del texto. Hacia el final encuentra que la fem inducida es igual a la variación del flujo de campo magnético. Como su análisis no describe el proceso desde el instante inicial no analiza las componentes ni sus interacciones a nivel desagregado. Se concluye que, en esta presentación, la ontología del concepto no es mostrada y su desarrollo podría inducir a los lectores a una incorrecta comprensión de la fem inducida.

C) Young y Freedman. (2009) *Capítulo 29: Inducción Electromagnética* y D) Sears y otros. (1999). El texto identificado como C) contiene al texto identificado como D) y el análisis realizado a continuación es válido para los dos casos.

Inicialmente desarrolla varios ejemplos sin mayores explicaciones teóricas acerca de distintas formas de generar fem con movimientos de espiras en campos electromagnéticos constantes.

Describe el caso de un conductor en forma de U en un campo magnético uniforme con una varilla de metal entre los dos brazos del conductor que se desplaza con velocidad constante  $\vec{v}$ . Inicia la explicación considerando sólo al conductor que se desplaza en el campo y analiza las fuerzas sobre las cargas. Establece que las cargas tienen la velocidad de la varilla, sin referirse explícitamente a la interacción entre éstas y la varilla. En este sentido existe una descripción incipiente de la secuencia que genera la inducción electromagnética. Calcula la fuerza sobre las cargas mediante  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ , y explica que, debido a ésta, ellas se mueven hacia los extremos de la varilla, creando un exceso de carga. Durante este proceso se va generando un campo electrostático que produce una fuerza eléctrica sobre las cargas. Este proceso continúa hasta que se equilibran las fuerzas magnética y eléctrica. Posteriormente, analiza la varilla conectada al conductor en forma de U, y explica que la carga acumulada en los extremos del conductor móvil se distribuye a lo largo del conductor fijo y crea un campo eléctrico en éste. El campo eléctrico establece una corriente en la porción fija del circuito y en consecuencia la varilla móvil se comporta como una fuente de fuerza electromotriz.

Todo el análisis puede llevar a los alumnos a la conclusión errada de que la fuerza que realiza trabajo es la fuerza magnética sobre las cargas. No se analiza qué sucede si se modificara el valor de la velocidad o su dirección y sentido; no se explicita el comportamiento de las distintas componentes del patrón global de flujo.

E) Serway. (1999) *Capítulo 31: Ley de Faraday* F) Serway y Jewett. (2009) *Capítulo 31: Ley de Faraday*. El texto identificado como E) contiene al texto identificado como F) y el análisis realizado a continuación es válido para los dos casos.

Considera un conductor recto que se mueve con velocidad constante a través de un campo magnético uniforme. Explica que los electrones en el conductor experimentan una fuerza  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  que hace que las cargas se acumulen en los extremos. A partir de este punto, la explicación coincide conceptualmente con lo detallado en los casos C) y D). De la misma manera, se puede concluir que existe una descripción elemental de la secuencia que genera la inducción electromagnética. Detalla un aspecto del comportamiento de las componentes del patrón global de flujo que no es señalado en los textos C) y D): analiza qué efecto produce la inversión del movimiento.

G) Resnick y otros. (2009). *Capítulo 34: La ley de inducción de Faraday*. La presentación se caracteriza por tener dos secciones, estando la segunda ubicada al final del capítulo e indicada como "opcional".

En la primera sección, estudia el problema de la espira que se mueve saliendo de una zona con campo electromagnético constante (con componente magnética solamente). Empieza analizando la variación del flujo magnético con el tiempo, afirma que esta variación se produce por el cambio del área. Partiendo de que la corriente inducida ya está establecida, encuentra la potencia efectuada por el agente externo para que la espira se mueva a velocidad constante y la compara con la potencia disipada por efecto Joule en la resistencia. En esta sección no se muestra ninguna faceta correspondiente a la ontología del concepto de inducción.

En contraposición a la primera sección, la segunda explicita de manera detallada: los comportamientos de las componentes (espira, cargas y campo), las interacciones entre componentes (espira-cargas, cargas-campo), el carácter secuencial del fenómeno, la dependencia del patrón global de flujo con la interacción de las componentes, y los roles de cada componente. En otras palabras, se ponen de manifiesto todas las características ontológicas del concepto de inducción electromagnética.

## VI. CONCLUSIONES

Como se dijo anteriormente, la teoría de cambio conceptual de Chi (2005) señala que el aprendizaje de la ontología del concepto es una condición necesaria para lograr el cambio conceptual en los aprendices. En el caso en que este aprendizaje se realice a partir de los textos, sería de esperar que dicha ontología fuera detallada en ellos. Más aún, las investigaciones mencionadas sobre comprensión lectora (Armbruster, 1984; Alexander y Kulikowich, 1994; Alexander y Jetton, 2000) afirman que la descripción lingüística de los fenómenos es fundamental para reducir el procesamiento de la información, facilitando así, la comprensión de lo leído. En este sentido, resulta clara la clasificación de Armbruster (1984) de los textos como considerados o desconsiderados.

De los textos analizados, el único que realiza una descripción detallada y en palabras de los distintos aspectos ontológicos del concepto de inducción electromagnética es el de Resnick y otros (2009). Sin embargo, llama la atención la ubicación de esta descripción en el capítulo: corresponde a la última sección de éste y se le otorga el carácter de "opcional" que, según los propios autores, se asigna a aquellas secciones que "pueden omitirse sin que se pierda la continuidad" (Resnick y otros, 2009, p. viii). Desde el punto de vista adoptado en este trabajo, esa sección resulta fundamental para una correcta comprensión del concepto y debería mostrarse su importancia durante el desarrollo del tema a lo largo de todo el capítulo.

En orden de explicitación de las características ontológicas de la inducción electromagnética, siguen los textos de Young y Freedman (2009) y de Sears y otros (1999). Como se resaltó en la sección anterior, en estos dos libros se deja entrever la secuencia de interacciones que dan lugar a la inducción.

Para el cálculo del Trabajo, todos los textos analizados utilizan la fuerza correcta. Sin embargo, todos los textos con la excepción de la sección opcional de Resnick y otros (2009), dejan en manos del lector el procesamiento que implica reconocer que esta fuerza no es la fuerza magnética sobre las cargas. Si no se llega a comprender correctamente este aspecto del concepto de inducción electromagnética, se podría llegar a pensar que la fuerza magnética sobre las cargas es la que realiza el Trabajo.

Con respecto a las preguntas de investigación, se llega a las siguientes conclusiones. Todos los textos seleccionados identifican las componentes del patrón global de flujo (espira, cargas y campo) y su comportamiento. La mayoría de los textos no pone de manifiesto las restricciones a las interacciones entre componentes. La forma secuencial de las interacciones es parcialmente mostrada en un par de libros (E y F) mientras no se explicita en los restantes. Un solo texto (A) se refiere a que el patrón global de flujo desaparece cuando la interacción entre componentes termina. Los textos E y F son los únicos que se refieren a el rol de una componente del patrón en la generación de éste. Si bien la relación entre componentes y patrón global del flujo observado se muestra mediante ecuaciones, éstas no se describen en palabras para reducir la cantidad de procesamiento del lector. Por lo antedicho, se podría concluir que en general, los textos son desconsiderados en cuanto a la explicitación de la ontología de la inducción electromagnética.

Los resultados mostrados sugieren líneas de investigación futuras vinculadas a los efectos que tienen sobre el aprendizaje de este concepto específico, los textos con mayor explicitación de la ontología. Esto implicaría el diseño de textos especialmente elaborados para resaltar las características ontológicas del concepto a aprender.

## REFERENCIAS

- Alexander, P.A. y Kulikowich, J. (1994). Learning from a Physics text: A synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 895-911.
- Alexander, P. A., y Jetton, T. L. (2000). Learning from Texts: A multidimensional and developmental perspective. En M. P. Kamil (Ed.), *Handbook of Research of Reading* (285-310). N.J.: Lea Inc.
- Armbruster, B. B. (1984). The problem of “inconsiderate texts”. En Duffy, Roehler y Mason (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension* (202-217) NY: Longman
- Birr Moje, E. B., Stockdill, D., Kim, K. y Kim, H. (2011). The role of text in disciplinary learning. En M. P. Kamil (Ed), *Handbook of Reading Research* (453-486). NY: Routledge.
- Chabay, R. y Sherwood, B. (2006). Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *American Journal of Physics*, 74(4), 329-336.
- Chi, M. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. En R. N. Giere y H. Feigl (Eds.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14, 161-199.
- Chi, M. T. (2008). Three types of conceptual change. Belief revision, mental model transformation and categorical shift. En Vosniadu (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. (61-82). Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- Chi, M. T. (2013). Two kind and four sub-types of misconceived knowledge ways to change it, and learning outcomes. En S. Vosniadou, *International handbook of research on Conceptual Change* (49-70). Londres: Routledge Handbooks.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 18(7), 511-526.
- Furió, J. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento, *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 441-452.
- Galili, I. y Kaplan, D. (1997). Changing approach to teaching electromagnetism in a conceptually oriented introductory physics course. *American Journal of Physics*, 65(7), 657-667
- Galili, I., Kaplan, D. y Lehavi, Y. (2006). Teaching Faraday’s law of electromagnetic induction in an introductory physics course. *American Journal of Physics*, 74(4), 337-343.
- Guisasola J., Almudi, J.M. y Ceberio, M. (2003). Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección, *Enseñanza de las Ciencias* 21(2), 281-293.
- Guisasola, J., Almudí, J. M. y Zuza, K. (2010). Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(1), 1806-1117.
- Kelly, G.J. (2007). *Discourse in Science Classrooms*. En (Abell y Lederman, Eds.) *Handbook of Research on Science Education*. (443-470) London: LEA.
- Kintsch, W. (2004). The Construction-integration model of text comprehension and its implications for instruction. En R. B. Rudell, y N. Unrau. (Eds.), *Theoretical models and processes of reading*. (1270-1328). Newark: International Reading Association.
- Kip, A. F. (1978). *Fundamentos de Electricidad y Magnetismo*. México D. F.: McGraw-Hill

- Krapas, S., Alves, F. y Carvalho, L. R. (2000). Modelos mentais e a lei de Gauss. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 7-21.
- Marradi, A., Archenti, N. y Piovani, J. I. (2012). *Metodología de las ciencias sociales*. Buenos Aires: Cengage Learning.
- McNamara, T. (2005). *Semantic priming: Perspective from memory and word recognition*. New York: Hove Psychology Press.
- McKeown, M., Beck, I. L. y Blake, R. G. (2009). Rethinking reading comprehension instruction: A comparison of instruction for strategies and content approaches. *Reading Research Quarterly*, 44(3), 218-253.
- McMillan, C. y Swadener, M. (1991). Novice use of qualitative versus quantitative problem solving in electrostatics. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 661-670.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. y Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18, 1-34.
- Resnick R., Halliday D. y Krane K. S. (2009). *Física Volumen 2*. México: Grupo Editorial Patria.
- Sears F. W., Zemansky M. W., Young H. D. y Freedman R. A. (1999). *Física Universitaria Volumen 2*. México: Pearson Educación.
- Serway R. A. (1999). *Física Tomo 2*. México: McGraw-Hill.
- Serway R. A. y Jewett J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna. Volumen 2*. México: Cengage Learning.
- Slotta, J. D., Chi, M. T. y Joram, E. (1995). Assessing student misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13, 373-400.
- Tipler P. A. y Mosca G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología. Volumen 2 A*. España: Editorial Reverté.
- Viennot, L. y Rainson, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14(4), 475-487.
- Young H. D. y Freedman R. A. (2009). *Sears-Zemansky Física Universitaria con Física Moderna Volumen 2*. México: Addison-Wesley.