

# Los libros de texto usados por los alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética



**Lidia Catalán<sup>1</sup>, Concesa Caballero Sahelices<sup>2</sup>, Marco Antonio Moreira<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, B. Irigoyen 347, 5600, San Rafael, Argentina.*

<sup>2</sup>*Departamento de Física, Universidad de Burgos, Calle Villadiego s/n, 09001, Burgos, España.*

<sup>3</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 1505, 91501-970, Porto Alegre, Brasil.*

**E-mail:** ferraros@hotmail.com

(Recibido el 7 de Mayo de 2009; aceptado el 20 de Agosto de 2009)

## Resumen

Los libros de texto son los recursos didácticos más utilizados en el aprendizaje de las ciencias dado que incluyen información en diferentes formatos y también contienen una propuesta didáctica explícita o implícita. En tanto, la progresiva apropiación de un campo conceptual, Vergnaud (1990), supone, que el estudiante, reelabore sus descripciones y representaciones al interactuar con diversas situaciones y problemas, éstas pueden ser mediadas desde la bibliografía que consulta. Por ello, en este trabajo se propone describir sistemáticamente el tratamiento del campo conceptual de la inducción electromagnética en los distintos textos de física de nivel universitario básico más usados por los alumnos de un determinado contexto académico. La metodología utilizada, consiste en el análisis de diversos aspectos como: lugar que ocupa el tema en el texto, la modalidad de presentación del tema, el tipo de presentación utilizada (gráfica, simbólica, pictórica, geométrica, etc.), la existencia de ejemplos, y las situaciones planteadas. Las categorías analizadas fueron construidas a partir de la exploración previa y reformuladas a la luz de las interpretaciones hechas de los textos. Como resultado preliminar, se podría destacar la eficacia de los criterios utilizados en la elección de las categorías.

**Palabras clave:** Textos, inducción electromagnética, campo conceptual, revisión.

## Abstract

Text books are the most commonly used didactic resources in science learning since they include information in a variety of formats, and since they also contain an explicit or implicit proposal. Vergnaud (1990) expects the student to elaborate his descriptions and representations when interacting in different situations and with different problems, during the progressive input of a concept. This can be done by taking into consideration the books he/ she reads. Therefore, in this work we intend to describe systematically the way the electromagnetic induction concept is treated in basic university level physics texts which are more frequently used by the students of a particular academic context. The methodology used consists in the analysis of different aspects, such as: the place where the topic appears in the text, the way the topic is presented, the type of presentation used (graphic, symbolic, pictorial, geometric, etc), the existence of examples, and the outlines situations. The analyzed categories were created from previous exploration and were reformulated considering the interpretations obtained from the texts. As a preliminary result, the effectiveness of the approaches used in the election of the categories might be highlighted.

**Keywords:** Books, electromagnetic induction, conceptual field, revision.

**PACS:** 01.30.Vv, 01.40.FK, 41.20.Gz

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Los libros de texto son los recursos didácticos más utilizados en el aprendizaje de las ciencias; incluyen información exhaustiva sobre conocimiento científico presentado en diferentes formatos y contienen una propuesta didáctica explícita o implícita [1, 2] y una visión

epistemológica subyacente. Por ello la importancia de revisar la bibliografía más utilizada por los alumnos durante el proceso de aprendizaje. En este artículo se aborda particularmente el tema de la inducción electromagnética, el cual en muchas ocasiones es de difícil comprensión por parte del alumno. Diversos estudios, por otro lado justifican dicha revisión [3, 4, 5]. En éstos se

muestran aspectos claves del tratamiento bibliográfico realizado sobre tópicos relacionados con la mecánica, por ejemplo, desde donde emergen ciertas debilidades en el modo en que se plantean los temas. En el caso de fenómenos magnéticos, [5] señalan carencias en el tratamiento que pueden llevar al lector a construir significados erróneos. No se han encontrado sin embargo, revisiones sobre el campo conceptual de la inducción electromagnética. En este caso particular resulta de interés conocer cómo es el tratamiento didáctico y científico que realizan diversos autores sobre el campo conceptual de la inducción electromagnética, dado que como se dijo, no siempre las argumentaciones vertidas en los libros de texto son suficientemente claras para un alumno pero más allá de este aspecto, otras dimensiones como por ejemplo, la ausencia o presencia explícita de las distintas formas de representar simbólicamente la relación entre las diversas variables de un modelo que se presenta y su decodificación, puede resultar un obstáculo para la construcción de significados por parte de los estudiantes. En este trabajo se considera que un campo conceptual es el conocimiento construido por la comunidad científica sobre una temática e incluye *“un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones del pensamiento, conectados unos a otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición”* [6]. La tarea de los profesores es la de suministrar situaciones de aprendizaje desempeñándose como mediadores entre el contenido y el alumno, con la finalidad de que éste desarrolle nuevos esquemas y una mayor capacidad de enfrentar situaciones cada vez más complejas (*ibid*). En este contexto, la bibliografía es también un mediador cultural [7] y resulta pertinente analizar entre otros, qué tipo de representaciones se favorece y cuáles son los significados que se promueven. Por ende, esta revisión tiene por objetivo realizar una descripción inicial del tratamiento de la temática; averiguar cómo se conceptualiza el fenómeno, cuál es la relevancia que se le otorga dentro de las temáticas tratadas; el tipo de representaciones utilizadas, cuáles son los modelos explicativos y cómo se presenta la manifestación de los fenómenos, entre otras. Los textos seleccionados para ello, son los libros de física pertenecientes al nivel universitario más utilizados por los alumnos en un contexto específico. El interés reside en la posibilidad que este estudio brinda, para analizar posteriormente de qué manera su uso puede influenciar el progresivo dominio del campo conceptual por parte de los estudiantes y prever el diseño de situaciones problemáticas complementarias que fortalezcan no solo la construcción de significados sino también de las distintas representaciones simbólicas que los expresan. Sobre la base de las consideraciones señaladas, en la siguiente sección se aborda la metodología de análisis del tratamiento del contenido, en la que se muestran las diferentes categorías y subcategorías seleccionadas para ello. Posteriormente se presentan los resultados donde se identifica la presencia y frecuencia de las mismas en los distintos capítulos de los textos

analizados y un comentario sobre cada una de ellas. Las conclusiones se organizan en torno a tres ejes temáticos del campo conceptual: interacciones en términos de la fuerza de Lorentz, fuentes de campo magnético e inducción electromagnética.

## II. METODOLOGÍA

Para individualizar un hecho didáctico y observarlo, es necesario construir experiencias bien analizadas y reflexionadas y para ello se impone el análisis del proyecto didáctico [8], por ejemplo el que subyace en cada uno de los textos de uso común en los cursos de Física. Dado este interés, el abordaje inicial de este estudio comienza con la descripción del tratamiento que en estos textos se realiza a través de diferentes indicadores tales como el lugar que ocupa el tema en el texto; la relevancia que tienen los contenidos según su localización dentro de la bibliografía (capítulo, subtema, apartado, ejemplo, etc.); la continuidad o la ruptura entre los propios contenidos que se releva en la secuencia de su tratamiento ya sea entre los capítulos o en la modalidad de presentación de los temas; el tipo de representaciones utilizadas como el lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales, etc., procedimientos utilizados como modos de expresar los significados explícitamente. También la existencia de ejemplos, que permiten representar “posibles situaciones” y facilitar la atribución de sentidos a los conceptos tratados [9]. En forma análoga se analiza el tipo de modelo explicativo utilizado en tanto generador de posibles significados durante el proceso de aprendizaje. A lo dicho, se suma el tipo de competencias trabajadas, es decir *“el conjunto de complejas relaciones e interacciones entre aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales que operan de manera articulada e interactiva para resolver situaciones problemáticas”* [10]. Como técnica para el estudio, se emplea el análisis de contenido [11, 12]. Las categorías de análisis se construyen a partir de una exploración previa y se reformulan a la luz de las interpretaciones que surgen a partir de la lectura de los textos universitarios. Para ello se identifican unidades textuales fragmentando los párrafos, a medida que se desarrollan los diferentes subtemas en cada capítulo. Lo primero que se realizó fue, una “lectura flotante” [13], es decir un análisis previo con el fin de seleccionar cada documento de análisis, formular hipótesis y objetivos y determinar los indicadores sobre los que se apoya la interpretación final. Posteriormente se estudian los ejemplos y ejercicios, tanto prácticos como conceptuales, que permiten evidenciar las competencias hacia las que apunta cada texto.

Los libros de física más utilizados por los alumnos del contexto académico en estudio y de uso común dentro del nivel superior básico en versiones en español, que se exploran son [14, 15, 16].

### III. TRATAMIENTO DEL CONTENIDO INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

A fin de dar cuenta del tipo de abordaje de esta temática, se elaboraron las siguientes categorías y subcategorías, las que se codificaron con números romanos y arábigos respectivamente. A continuación se presenta dichas especificaciones.

#### A. Especificación de categorías y subcategorías para la Inducción Electromagnética

##### I. Lugar que ocupa el tratamiento del tema:

1. Como tema del capítulo.
2. Como subtema del capítulo.
3. Como ejemplos y notas complementarias.

##### II. Conceptualización del fenómeno:

1. Interacción entre sistemas: Modelo Newtoniano, [17].
2. Variación de flujo magnético. Campo Magnéticos, (*Ibid*).
3. Aplicaciones prácticas (CTS) (*Ibid*).
4. Como contraposición de pilas: Modelo Newtoniano. (*Ibid*). Como generación de corriente. Campo magnético (*Ibid*)
5. No se explicita

##### III. Modelos explicativos empleados:

1. Conservación de energía: Modelo Newtoniano, [17].
2. Acción-reacción: Modelo Newtoniano (*Ibid*)
3. Fenómeno de circuito de corriente continua: Modelo de Campo Magnético (*Ibid*)
4. Interacciones electromagnéticas- Fuerza sobre carga: Modelo Newtoniano (*Ibid*)
5. Interacciones campo magnético Modelo de Campo magnético (*Ibid*)
6. No se explicita

##### IV. Manifestación del fenómeno:

Como:

1. Efecto motor- traslacional
2. Efecto motor-rotacional: Modelo Campo Magnético, [17]
3. Efecto conservativo: Modelo newtoniano, (*Ibid*).
4. Efecto generador de corriente: Modelo de Campo Magnético (*Ibid*)
5. Efecto generador de campo magnético: Modelo Newtoniano y Modelo Campo Magnético (*Ibid*)
6. Efecto generador de flujo magnético: Modelo Campo Magnético (*Ibid*)

##### V. Explicitación de leyes empíricas en la aplicación de sistemas:

1. No se explicita
2. Casos: fem. en movimiento, inducción mutua, inductancia, generadores

##### VI. Límites de validez de las leyes empíricas:

1. Si se explicita
2. No se explicita

##### VII. Representaciones:

1. Representación de los vectores relevantes que intervienen
2. Diagramas de cuerpo libre
3. Representaciones pictóricas
4. Representaciones simbólicas formales
5. Representaciones discretas (sumatorias)
6. Representaciones Continuas (integrales)
7. Gráficas funcionales

##### VIII. Metodología de análisis:

Competencias que apuntan a desarrollar en:

1. Vida cotidiana (CTS)
2. Perfil profesional

### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados del análisis de los contenidos de cada libro, especificados para cada capítulo, se presentan en las tablas I, II y III.

TABLA I. Análisis de categorías [14].

Capítulo	Tema		II	III	IV	V	VI	VII	VIII
33 El campo magnético.	1- El campo magnético	1	1	4	4	1	2	2	1
	4 - La torca sobre una espira de corriente	2	1	3	2	1	2	1	2
34 La ley de Ampère	1- La ley de Ampère.	2	1	4	4	2	2	1	2
	4- Dos conductores paralelos	2	1	4	1	1	2	1	2
35 Ley de inducción de Faraday	1- Los experimentos de Faraday	1	1	4	4	1	2	1	1
	2- Ley de inducción de Faraday.	1	2	1	4	2	2	3	2
	3- La ley de Lenz.	2	1	1	3	2	1	1	1
	4- Un estudio cuantitativo de la inducción	2	1	1	3	1	2	1	2
	5- Campos magnéticos que varían en el tiempo	2	1	4	4	1	2	1	2

**TABLA II.** Análisis de categorías [15]

Capítulo	Tema	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
29:Campos Magnéticos	1 -Campos magnéticos	1	1	5	-	1	2	1	2
29: Campos magnéticos	2 Fuerza magnética sobre un conductor que conduce corriente.	2	1	4	-	1	2	1	2
30: Fuentes de campo magnético	1- La Ley de Biot-Savart	2	1	4	5	2	1	1	2
30: Fuentes de campo magnético	2- La fuerza magnética entre dos conductores paralelos.	2	1	2	-	2	1	1	1
30: Fuentes de campo magnético	3- La Ley de Ampère	2	1	4	5	1	2	1	2
30: Fuentes de campo magnético	6- Flujo magnético.	2	1	6	6	2	1	1	2
30: Fuentes de campo magnético	9- El magnetismo en la materia. Ferromagnetismo.	2	1	1	5	6	1	1	2
31: Ley de Faraday.	1- Ley de inducción de Faraday.	1	1	2	4	2	1	1	1
31: Ley de Faraday.	2 -Fem de movimiento.	2	1	1	4	1	2	1	2
31: Ley de Faraday.	3- Ley de Lenz.	2	1	1	6	2	2	1	2
31: Ley de Faraday.	4 -Fem inducida y campo eléctrico	2	2	4	4	2	1	1	2
31: Ley de Faraday.	5 - Generadores y motores	2	2	4	1	1	2	1	2

**TABLA III.** Análisis de categorías [16].

Capítulo	Tema	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
22: Cargas eléctricas y campo eléctrico	4- Conductores, aislantes y cargas inducidas	2	1	2	-	1	2	1	1
28: Campo magnético y fuerzas magnéticas	2 - Magnetismo.	2	1	5	-	1	2	1	1
28: Campo magnético y fuerzas magnéticas	3 -Campo magnético	1	1	4	4	1	2	1	2
28: Campo magnético y fuerzas magnéticas	4 -Líneas de campo magnético y flujo magnético.	2	2	5	6	1	2	1	1
28: Campo magnético y fuerzas magnéticas	5 - Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético.	2	1	2	2	1	2	1	2
28: Campo magnético y fuerzas magnéticas	7- Fuerza magnética sobre un conductor por el que circula corriente.	2	1	5	1	1	2	1	1
28: Campo magnético y fuerzas magnéticas	9 -El motor de corriente continua.	2	1	3	1	1	2	1	2
29: Fuentes de campo magnético	2 -Campo magnético de una carga en movimiento.	2	6	5	5	1	2	1	2
30:Inducción electromagnética.	2 - Experimentos de inducción.	1	5	4	4	1	2	1	2
30: Inducción electromagnética	3- Ley de Faraday	2	2	6	4	1	2	1	2
30:Inducción electromagnética	4 -Ley de Lenz	2	2	6	4	1	2	1	2
30: Inducción electromagnética	6 -Campos eléctricos inducidos.	2	2	6	4	1	2	1	2

### A. Análisis general de los libros de texto

En las tablas IV, V y VI se presenta una síntesis de la frecuencia de las subcategorías observadas por categorías en cada texto.

**TABLA IV.** Análisis de frecuencias [14]

Cat/Cód	1	2	3	4	5	6	7
I	3	6	0	-	-	-	-
II	8	4	0	0	2	-	-
II	3	1	1	7	0	0	-
IV	1	1	2	5	2	3	-
V	6	3	-	-	-	-	-
VI	1	8	-	-	-	-	-
VII	7	7	6	0	5	2	0
VIII	3	8	-	-	-	-	-

**TABLA V.** Análisis de frecuencias [15]

Cat/Cód	1	2	3	4	5	6	7
I	2	10	0	-	-	-	-
II	10	5	0	0	2	-	-
II	3	2	0	8	2	1	-
IV	1	1	0	4	2	3	-
V	6	6	-	-	-	-	-
VI	5	7	-	-	-	-	-
VII	12	10	11	5	8	4	3
VIII	1	12	-	-	-	-	-

**TABLA VI.** Análisis de frecuencias [16]

Cat/Cód	1	2	3	4	5	6	7
I	2	10	0	-	-	-	-
II	6	4	1	0	3	-	-
III	0	1	1	3	4	3	-
IV	2	3	0	5	2	2	-
V	12	0	-	-	-	-	-
VI	0	12	-	-	-	-	-
VII	12	11	8	6	0	3	1
VIII	4	10	-	-	-	-	-

### B. Desarrollo de cada categoría

#### B.1. Lugar que ocupa el tratamiento del tema (cat. I)

En general en los libros de textos analizados, el fenómeno de “inducción electromagnética” aparece como tema fundamental y sumamente relacionado con los contenidos de los capítulos precedentes y con los que posteriormente se abordan. En ninguna ocasión el tema es presentado como ejemplo o en notas complementarias apartados del capítulo; lo que habla de su relevancia y de la continuidad temática que propicia en cada texto.

#### B. 2. Conceptualización del fenómeno (cat. II)

Los autores plantean de manera más frecuente el campo conceptual como una *serie de interacciones entre sistemas* – una visión newtoniana- ([14, 15, 16]). No obstante, en algunos casos también lo consideran como *variación de flujo magnético o generación de corriente* – Modelo de

Campo Magnético- ([14, 15, 16]); y hasta emplean ambos modelos en forma simultánea. Las opciones 3 y 4 no fueron encontradas en la bibliografía aunque en algunos fragmentos aparecen ciertos rasgos. Es decir, no se observan aplicaciones prácticas como tampoco una conceptualización del fenómeno centrada en los modelos antes codificados como II. 4. Sin embargo, la fundamentación del fenómeno es explicitada preferentemente desde las visiones que presentan las opciones 1, 2 y 5.

#### B.3. Modelos explicativos empleados (cat. III)

En la mayoría de los capítulos de los tres libros se encontró que el modelo que permite dilucidar el tema en estudio, es el que corresponde a “interacciones electromagnéticas”.

En [14] y en [16] el concepto en estudio aparece sólo en un tema, como un fenómeno causado por un circuito de corriente continua. Este modelo no se refleja en ningún momento, en Serway [15].

#### B.4. Manifestación del fenómeno (cat. IV)

Los autores establecen, en su mayoría, que la inducción electromagnética se manifiesta como un “efecto generador de corriente continua”. Se puede llegar a apreciar una tendencia a utilizar como base de las explicaciones, el modelo de campo magnético.

Como ejemplo de lo anterior mencionado:

“... en una central hidroeléctrica el agua que cae directamente de sobre los álabes de una turbina produce el movimiento rotatorio;(...). Cuando el lazo gira, el flujo magnético a través de él cambia con el tiempo, induciendo una fem y una corriente en un circuito externo.” ([15], pág. 919).

#### B.5. Explicitación de leyes empíricas en sistemas y límites de validez (cat. V y VI)

En términos generales, no se presentan en forma explícita aquellas leyes empíricas aplicables al estudio de los sistemas concretos que incluyen el concepto abordado.

Este aspecto del fenómeno aparece con mayor frecuencia, sin embargo, en el libro de texto [15]. Por ejemplo en el Capítulo 30: Fuentes de campo magnético sección 30-2: La fuerza magnética entre dos conductores paralelos; el desarrollo del tema es fundamentado mediante la Tercera Ley de Newton.

Por otro lado, el análisis de los límites de validez permite establecer diferencias entre las muestras, ya que en el libro [14], solo en el capítulo 35: Ley de inducción de Faraday dentro de la sección 35-3 La ley de Lenz, se establecen los límites de validez:

“La ley de Lenz se refiere a las corrientes inducidas, lo cual significa que se aplica sólo a circuitos conductores cerrados.” ([14], pág. 228).

En contraposición, en el libro [15], las condiciones referidas a las leyes empíricas son presentadas en forma

reiterada. Su explicitación es más frecuente en este texto, que en el estudiado anteriormente.

Por ejemplo luego de ser desarrollada la Ley de Biot-Savart, se expresa:

*“Es importante observar que la ley de Biot-Savart proporciona el campo magnético en un punto sólo para un pequeño elemento del conductor.” [15], pág.867).*

En la categoría V, como se señalara, se observó la explicitación o no de las leyes empíricas. Así en el capítulo 30: Fuentes de Campo Magnético, 30-2, al analizar la fuerza magnética entre dos conductores paralelos se nombraba la Tercer Ley de Newton. Al examinar los límites de validez, se notó que en el texto se enunciaba como limitación lo siguiente:

*“Aunque la fuerza total sobre el alambre 1 es igual y opuesta a la fuerza total sobre el alambre 2, la tercera ley de Newton no se aplica cuando dos pequeños elementos de alambres que no están opuestos uno del otro se consideran aislados.” (Ibid, pág.870).*

En cambio no se observó que en los capítulos del libro [16], las leyes empíricas fueran explicitadas claramente, como tampoco fueron especificados los límites de su validez.

Al cuantificar los datos obtenidos en esta categoría (Tablas IV V y VI) se encontró que en escasas situaciones los textos aluden o expresan los límites de validez de las leyes a las que se refieren.

## B.6. Representaciones (cat. VII)

Los tipos de representaciones que más aparecen en los textos son las siguientes:

1. Representación de los vectores relevantes que intervienen.
2. Diagramas de cuerpo libre.
3. Representaciones pictóricas.
4. Representaciones matemáticas discretas (sumatorias).

Es fundamental que se representen los vectores relevantes que intervienen en el fenómeno, y los textos reflejan esta importancia, porque en su mayoría se encuentra presente la categoría N° 1.

Las representaciones simbólicas formales, en muchos casos no son explicitadas, sino que el tema es desarrollado mediante explicaciones lingüísticas. Sin embargo en [15], el tema es sintetizado mediante representaciones simbólicas formales las que incluyen las variables y magnitudes propias del modelo científico.

Respecto a cómo son presentados los principios y leyes, se observó que en pocas ocasiones éstos se plantean por medio de representaciones continuas, integrales; las leyes se trabajan en general, con representaciones discretas. Esta manera de expresar la representación matemática del modelo puede entorpecer el desarrollo de competencias que requieren del manejo de diversas representaciones matemáticas; herramientas necesarias para resolver cualquier situación problemática del campo conceptual y más allá de éste.

Sólo en [15] se establecen relaciones de los temas de estudio mediante gráficas funcionales. La relevancia de este aspecto reside en que permite la vinculación de variables y la visualización de relaciones funcionales. Podría favorecer el desarrollo de habilidades interpretativas [18].

Si se realiza una visión global de los libros de texto,[15], presenta mayor amplitud de representaciones en relación a las diversas formas que existen de expresar un mismo enunciado; lo que le permite al aprendiz desarrollar una visión generalizada y flexible del tipo de representaciones que pueden elaborarse, propiciando, posteriormente, el trabajo de situaciones problema con diversas variables.

En [16], las representaciones apuntan a explicitar los vectores que intervienen en el objeto de estudio y en presentar diagramas de cuerpo libre. En muy pocos capítulos aparecen representaciones continuas (integrales) y no existen representaciones de tipo discretas (sumatoria). Solo un tema presenta gráficas funcionales.

Como cierre de esta sección, no puede obviarse el destacar en estos textos la convivencia fundamentalmente de dos modelos científicos que atraviesan todo el campo conceptual; el modelo mecanicista y el modelo de campo magnético [17], con un fuerte sesgo hacia el primero.

## B.7. Metodología de análisis (cat. VIII)

En la mayoría de los capítulos se observaron ejemplos y ejercicios que apuntan al desarrollo de competencias para la vida profesional. Esto implica que los autores han tenido en cuenta, en algunos puntos, el proceso que debe realizar un estudiante de una carrera de nivel superior; abordando los conocimientos científicos específicos, las competencias desarrolladas y los caminos estratégicos que se propician ante la resolución de situaciones problemáticas, con el objetivo de que sea favorable trasladarlo al campo laboral de cada profesional.

## V. CONCLUSIONES

En suma, respondiendo al objetivo planteado en un comienzo, y en función de lo desarrollado durante esta revisión, se concluye en relación al campo conceptual y considerando tres ejes temáticos fundamentales como son las interacciones en términos de la Fuerza de Lorentz, las fuentes de campo magnético y la inducción electromagnética, que la temática abordada es planteada en la bibliografía, mediante representaciones de los vectores relevantes que intervienen en cada fenómeno, diagramas de cuerpo libre, representaciones pictóricas y simbólicas formales aunque con diferencias.

Respecto a cada eje:

### A. Eje 1: Interacciones (Fuerza de Lorentz).

En los tres libros, el tema aparece dentro del capítulo que desarrolla el Campo Magnético. Presentan una explicación

del fenómeno que se observa cuando una carga en movimiento se encuentra dentro de un campo magnético; y cómo esto permite establecer una relación entre el campo magnético y el campo eléctrico. El concepto se presenta como interacción entre sistemas y esta interacción es de tipo electromagnética. A su vez:

LIBRO 1 [14]:

El tema se encuentra dentro de la sección 33-2: Definición de Campo magnético, y presenta las características de campo magnético. Se concluye con las expresiones simbólicas de la Fuerza de Lorentz. En la sección: 33-3: La fuerza magnética en una corriente, se explica qué sucede cuando existe un conjunto de cargas en movimiento. Posteriormente son presentados ejemplos de alambres, espiras y torcas dentro de un campo magnético.

LIBRO N° 2 [15]:

El tema es tratado específicamente, en un apartado, sección 29-5: Aplicaciones del movimiento de partículas cargadas en un campo magnético. La Fuerza de Lorentz se utiliza como fundamentación teórica de diferentes aplicaciones (selector de velocidades, espectrómetro de masas y el ciclotrón).

El uso de representaciones gráficas de las funciones que modelizan los distintos comportamientos de las variables apoya el desarrollo conceptual y lo diferencia de los demás textos.

LIBRO N° 3 [16]:

El fenómeno en estudio es incluido en la descripción que se realiza de campo magnético dentro de la sección 28-3: Campo magnético. Como conclusión de las características de campo magnético, es presentada la Ecuación de Lorentz. En ningún momento del capítulo es en forma previa, es mencionada como tal.

En este texto, antes de introducir las aplicaciones que tiene el movimiento de cargas dentro de un campo magnético los conceptos: líneas de campo magnético y flujo magnético son presentados. El capítulo es concluido mediante ejemplos de la fuerza sobre un conductor de corriente, una espira de corriente y el motor eléctrico.

## **B. Eje 2: Fuentes de campo magnético (cargas en movimiento).**

LIBRO N° 1 [14]:

En este libro es presentado un capítulo específico para el desarrollo de estos temas: el capítulo 30: Fuentes de Campo Magnético. Es importante señalar que en el capítulo precedente, los autores describen las interacciones magnéticas. En este capítulo el origen del campo magnético, es abordado mediante el estudio de las cargas en movimiento.

Como punto de partida se realiza una descripción de la ley de Biot-Savart la que luego es aplicada en diversos ejemplos (campo magnético alrededor de un conductor, debido a un segmento de alambre, etc.).

El tratamiento de la temática se basa en la presentación de situaciones sobre interacciones entre un conductor con corriente y el campo que produce:

*“...lo que sugiere (a) que las corrientes generan campos magnéticos y (b) que los campos magnéticos ejercen fuerzas sobre la corriente.” (Ibid, Capítulo 34, pág.201, 202)*

Luego se explica la Ley de Ampère y su aplicación es demostrada en diversos ejemplos. El uso de gráficas funcionales apoya el desarrollo del tema.

LIBRO N° 2 [15]:

A diferencia del libro anterior, la temática es desarrollada dentro del capítulo 34; no se plantea la Ley de Ampère puntualmente como un tema específico, sino que éste contenido se aborda a partir de su exposición en forma lingüística. A continuación, son estudiados los efectos del campo magnético en la vecindad de un alambre, y así se describe el campo magnético que producen un solenoide y dos conductores paralelos. Al finalizar el capítulo se desarrolla la ley de Biot - Savart. El tema es introducido mediante su comparación con las leyes de Gauss y Ampère señalando que la ley de Ampère, puede utilizarse para calcular los campos magnéticos sólo si la simetría de la distribución de corriente es suficientemente grande para evaluar la integral de línea. Las limitaciones de ambas leyes frente a problemas prácticos, son señaladas y constituyen la razón del desarrollo de “otras leyes”. Ésta es la perspectiva desde la que se comienza a desarrollar la ley de Biot -Savart. Según lo analizado la temática se aborda desde el campo magnético que genera un conductor de corriente y el efecto que producen los campos magnéticos sobre las corrientes:

*“Es conveniente que usted reconozca que el campo magnético descrito en esos cálculos es el campo creado por un conductor que transporta corriente...” (Ibid, Capítulo 30, pág.867).*

LIBRO N° 3 [16]:

Como en el primer libro analizado, esta temática es desarrollada en el capítulo 29: “Fuentes de Campo Magnético”. En la introducción se plantean una serie de preguntas que son las que desencadenan el posterior desarrollo del tema:

*“¿Cómo se producen los campos magnéticos? ¿Es cierto que una carga eléctrica produce un campo magnético?” (Ibid).*

Las respuestas son fundamentadas inicialmente con el tratamiento del campo magnético de una carga en movimiento, para luego generalizar este análisis mediante el cálculo del campo producido por un conductor de “cualquier” forma.

Cuando se comienza a trabajar con elementos con corriente se presenta la ley de Biot-Savart. Las siguientes secciones son aplicaciones de esta ley a diferentes conductores.

Antes de finalizar el capítulo se presenta la ley de Ampère, la que es introducida mediante un paralelismo con la Ley de Gauss del campo eléctrico:

“Para problemas de campo eléctrico encontramos que en situaciones en las que hay distribuciones de carga con alta simetría, a menudo era más fácil utilizar la ley de Gauss para encontrar  $E$ . Existe una ley parecida que nos permite encontrar con más facilidad los campos magnéticos producidos por distribuciones de corrientes muy simétricas...”. (Ibid, Capítulo 29, pág. 915).

Lo anterior permite concluir que el fenómeno se manifiesta a través de la generación de campos magnéticos. Los campos magnéticos son calculados mediante las leyes expuestas y el uso de gráficas funcionales apoyan el tratamiento temático.

### C. Eje 3: Inducción electromagnética

#### LIBRO N° 1 [14]:

Esta temática es desarrollada dentro del capítulo 35: “La Ley de inducción de Faraday”; 35-1: “Los experimentos de Faraday”, los que inicialmente son descriptos. Luego la definición del tema de estudio es presentada, según la visión de los autores, quienes refieren estos fenómenos en forma recurrente, a un experimento práctico entre una bobina y un imán. La sección 35-2: “La ley de inducción de Faraday”, expresa lo que Faraday considera:

(...)” el factor importante en los experimentos que se acaban de describir es el cambio del flujo magnético”. (pág. 226).

#### LIBRO N° 2 [15]:

La explicación de la “Inducción electromagnética” es incluida en el capítulo 31: “Ley de Faraday”, dentro del subtema “Ley de Inducción de Faraday”. Este autor, introduce el tema de la siguiente manera:

“Empezamos describiendo dos sencillos experimentos que demuestran que puede producirse una corriente mediante un campo magnético variable. (...) (pág. 906).

Luego diferentes ejemplos son explicitados para cerrar la temática mediante una síntesis:

(...) Faraday concluyó que una corriente eléctrica puede producirse variando un campo magnético. Una corriente no puede producirse mediante un campo magnético estable.

El tema es finalizado, especificando puntualmente aquellos elementos cuya variación permite inducir una fem.

#### LIBRO N° 3[16]:

En este texto el tema es presentado en un capítulo con el nombre de “Inducción Electromagnética”.

El argumento es introducido como un fenómeno encargado de llevar a cabo las conversiones de energías de los aparatos eléctricos utilizados en la industria y en el hogar. En forma textual se señala:

“¿Pero cómo se lleva a cabo esta conversión de energía? ¿Cuál es la física que está detrás de la producción de casi todas nuestras energías eléctricas?” (Ibid, pág. 941).

Respecto a la Inducción Electromagnética: En los libros N° 1 y N° 2 el tema se define en torno a La ley de Faraday; a partir del experimento que complementa el movimiento relativo entre el imán y la bobina, conectada, esta última, a un galvanómetro; el que indica las variaciones que se producen mediante el desplazamiento de alguno de los cuerpos. Luego de explicar el procedimiento del experimento se llega a la conclusión que lo que indica el galvanómetro es la corriente que se ha inducido a causa de este movimiento. En ambos libros (N° 1 y N° 2) se continúa desarrollando el tema, pero ya desde una perspectiva más profunda y teórica, focalizada en la Ley de Faraday, describiendo la inducción como un producto de la variación del flujo magnético. A su vez, en el libro N° 3 el tema se introduce articulando la teoría y los instrumentos eléctricos que se utilizan en forma cotidiana, lo que propicia la relación entre los contenidos físicos y su aplicación a la realidad. Por otro lado, en los libros N° 1 y 2 se describe inicialmente el fenómeno, a partir de experimentos y luego se plantea su causalidad en términos de la variación del flujo magnético. A diferencia de ello, el texto N° 3 lo plantea desde un comienzo y luego desarrolla la Ley de Faraday. Cabe destacar que en los tres libros de textos se desarrolla claramente la Ley de Faraday, lo que no permite confusión alguna en el momento de explicar la o las causas que producen el fenómeno de inducción, si bien los formatos que se utilizan son diferentes lo que puede favorecer u obstaculizar la elaboración de significados y la construcción de sus representaciones.

En cuanto al tipo de ejercicios, ejemplos y problemas que presentan los textos, se observa que en general se inclinan por la realización de actividades que propician el desarrollo de competencias metodológicas como: buscar, seleccionar y utilizar los recursos disponibles y usar habilidades propias del pensamiento lógico-formal para obtener conclusiones a partir de datos. También existen propuestas que requieren de competencias científico-técnicas, como es el caso del manejo del lenguaje científico específico de cada disciplina con el fin de obtener información a partir de diagramas, ecuaciones, gráficos, etc. En menor medida se encuentran actividades relacionadas con el desarrollo de competencias vinculadas a la resolución de problemas y en particular al desarrollo de estrategias. Desde un punto de vista didáctico, y si bien más allá del recurso, depende de cómo el profesor lo utilice, dentro de las limitaciones de este trabajo, es de recomendar que en la redacción de textos de este tipo, se expliciten con mayor claridad las condiciones de trabajo o límites de validez de los modelos científicos que se presentan. En forma análoga se insiste en la decodificación de las distintas representaciones simbólicas que los expresan.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con apoyo de los Proyectos PICT 2006-1427 y SecytUNC06-L067. Se agradece además la colaboración de la Srta. Noelia Ruiz.

## REFERENCIAS

- [1] Campanario, J. M., *El control de la comprensión en el aprendizaje de textos científicos*, (Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá: Alcalá de Henares, 1993).
- [2] Jiménez, J.D., El análisis de los libros de texto, en Perales, F. J. y Cañal, P. (Eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (Alcoy, Marfil, 2000).
- [3] Concari, S., Pozzo, R. y Giorgi, S., *Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario*. Enseñanza de las Ciencias **17**, 273-280 (1999).
- [4] Concari, S. y Giorgi, S., *Los problemas resueltos en textos universitarios de física*, Enseñanza de las Ciencias **18**, 381-390 (2000)
- [5] Kofman, H. y Concari, S., *Dificultades conceptuales con la Ley de Ampère: análisis bibliográfico y simulación como propuesta*, Memorias V Simposium Investigación en Educación en Física (Argentina, 2000) pág. 82.
- [6] Moreira, M., *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*, Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, **7(1)**, <http://www.if.ufrgs.br/ienci>. (2002). Consultado el 20/03/08
- [7] Vygotski, L. S., *Langage et Pensée*. (Paris, Editions Sociales Messidor, 1986).
- [8] Vergnaud, G. y Ricco G., *Didáctica y Adquisición de conceptos matemáticos. Problemas y Métodos*, Revista Argentina de Educación, AGCE..Año 4, **6.**, 67-92 (1985).
- [9] Vergnaud, G., *La théorie des champs conceptuels*. Recherches en Didactique des Mathématiques **10**, 133-170. (1990).
- [10] Merino, G., *Desarrollo y evaluación de estrategias conceptuales y procedimentales*, (Archivos de UNLP, La Plata. Argentina, 1999).
- [11] Ander, E., *Técnicas de Investigación social*, (Lumen, Argentina, 1995).
- [12] Concari, S. y otros., *La fuerza de rozamiento: ¿efecto retardador o acelerador del movimiento*, (Memorias de la IX Reunión Nacional de Educación en Física -REF IX-, Salta (Argentina), 1995).
- [13] Bardin, L., *Análisis de Contenido*, (AKAL, Madrid, 1977).
- [14] Resnick, R. y Halliday, D. *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería*, Vol II, edición, (Compañía Editorial Continental, México, 1982).
- [15] Serway, R., *Física*, Tomo II, 2da edición en español, (McGraw Hill, México, 1992).
- [16] Sears, F., Zemansky, M., Young, H., y Freedman, R., *Física Universitaria*, Vol II, 9º edición, (Ed. Addison Wesley Longman, México, 1999).
- [17] Pozo, J., *Aprendices y Maestros*, 1ra. Edición (Alianza Editorial, Madrid, 1999).
- [18] Almudí, J. M., Guisasola, J., Zubimendi, J. L., Zuzá, K., *Campo magnético: diseño y evaluación de estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje como investigación orientada*, Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas **23**, 303-320. (2005).