

# CORRIENTE DE DESPLAZAMIENTO: SU PRESENTACIÓN EN TEXTOS Y SU COMPRENSIÓN POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES

POCOVÍ, MARÍA CECILIA<sup>1</sup> y HOYOS, ELENA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas

cpocovi@unsa.edu.ar

ehoyos@unsa.edu.ar

**Resumen.** Se presenta un estudio de caso genérico (Merriam, 1998) que consta de dos partes. En la primera, se analiza la presentación de la corriente de desplazamiento en los textos de electromagnetismo de nivel universitario básico. El protocolo de análisis se elaboró desde el marco teórico de Alexander y Kulikowich (1994). Los resultados muestran que, en muchos textos: a) la traducción del sistema simbólico al lingüístico es escueta o imprecisa, b) la igualdad entre la corriente de desplazamiento y la de conducción se plantea sin aclarar su validez y c) algunos ejemplos plantean un campo eléctrico que varía linealmente con el tiempo, situación que no se estudia previamente en los libros de este nivel. La segunda parte analiza la comprensión que alumnos universitarios avanzados logran acerca de la corriente de desplazamiento a partir de los textos. Se concluye que existen graves deficiencias en la interpretación de las lecturas seleccionadas.

**Palabras clave.** Corriente de desplazamiento, comprensión de textos, alumnos avanzados.

## Displacement Current: its presentation in textbooks and students' understanding of it

**Summary.** A generic case study as that defined by (Merriam, 1998) is presented here. In the first part of the work, an analysis of how college-level textbooks address the concept of displacement current was carried out. The analysis was guided by Alexander's and Kulikowich's (1994). The results show that in most textbooks: a) the translation between the symbolic and the linguistic system is very limited or not sufficiently precise, b) when the equality between the Displacement Current and the Conduction Current is set, its validity is not stated, and c) some examples of work with an electric field that has a linear variation in time while this case has not been previously treated. The second part of this work deals with the understanding that college students acquire about Displacement Current from different textbooks. This work shows that serious deficiencies can be detected in their interpretation of the selected texts.

**Keywords.** Displacement Current, reading comprehension, advanced students.

## INTRODUCCIÓN

Los textos científicos han sido caracterizados en varios trabajos de investigación en enseñanza de ciencias. Algunos textos han sido descritos como faltos de una cohesión y estructura apropiada lo cual incrementa las demandas de procesamiento para los lectores (Alexander y Kulikowich, 1994). A veces, se ha acusado a los textos de presentar conceptos importantes en forma particionada e incoherente (McKeown et al., 1992). Otros estudios

han analizado la relación entre las imágenes y el texto (Silva y Compiani, 2006).

La comprensión de textos es uno de los problemas fundamentales tratados en el área de Investigación en Lectura, como se puede apreciar en los numerosos artículos referidos al tema que componen el Handbook of Reading Research (2000). Gaffney y Anderson (2000) muestran

que cerca del 40% de los artículos del Reading Research Quarterly son investigaciones referidas a la comprensión de textos. Más específicamente, en el caso del aprendizaje de las ciencias, la comprensión de conceptos a partir de material escrito es uno de los procesos más importantes en el que se involucran los estudiantes de ciencia a nivel universitario (Kelly, 2007; Yore, 1991; Pandiella, Torné y Macías, 2004). El aprendizaje a partir de un texto de física ha sido descrito como una interacción compleja entre el que aprende (Alexander y Kulikowich, 1991) el texto (McKeown, Beck y Loxterman, 1992) y algunas variables de contexto (Wade, Trathen y Schraw, 1990).

El propósito de este trabajo es contribuir a la literatura existente sobre procesamiento de textos y el aprendizaje de física. Para ello focalizamos la primera parte de nuestro estudio en el análisis de textos de nivel universitario básico para el caso de la presentación del tema de corriente de desplazamiento. La segunda parte del trabajo se centra en la interpretación de textos que un grupo de alumnos logra en el caso de la corriente de desplazamiento.

**MARCO TEÓRICO Y PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

El modelo tetraédrico de Jenkins (1979) fue uno de los primeros en reconocer la habilidad para aprender a partir de un texto como un proceso multidimensional que ocurre gracias a la interacción entre varias variables. La interacción dinámica entre el que aprende, el texto y el contexto puede cambiar significativamente como una función del dominio científico de estudio. Esta interacción es a veces ignorada por los profesores (Shimansky, Yore y Good, 1991). Alexander y Jetton (2000) describen las distintas dimensiones que afectan a la comprensión y, además, presentan una teoría sobre cómo esa comprensión cambia en el curso de nuestra educación.

Alexander y Kulikowich (1994) presentan un estudio de dos características de los libros de texto de física que pueden contribuir a la mala comprensión de un tema. Su trabajo se centra en los efectos que producen la inclusión de información relativamente trivial pero interesante en los textos y el recuerdo que los lectores tienen acerca de lo que leen. Ellas caracterizan a los textos de física como «bilingües» (Alexander y Kulikowich, 1994, 900), ya que el lector debe moverse mentalmente entre un sistema simbólico (matemático y científico) y un sistema lingüístico. Otras investigaciones se han centrado en el análisis de las características de las imágenes (Otero, Moreira y Greca, 2002) y de los gráficos cartesianos (García García, 2005) presentes en libros de texto de física.

Otra línea de investigación también relacionada con los textos científicos se centra en el aprendizaje que los alumnos logran a partir de textos que poseen ciertas características. Maturano, Mazzitelli y Macías (2003) estudiaron las estrategias que utilizan los alumnos para lograr la comprensión de un texto científico corto. Pandiella y otros (2004) realizaron un estudio exploratorio de la incidencia de la estructura de los textos en la com-

prensión de alumnos de nivel medio; la comprensión fue evaluada mediante el desempeño de los estudiantes en la elaboración del resumen, la idea principal y el título. Goldman y Rakestraw (2000) presentan distintos tipos de procesamiento de la información leída (inducidos por el texto e inducidos por el conocimiento) mediante los cuales se construyen representaciones mentales significativas de lo que se lee.

El marco teórico presentado en Alexander y Kulikowich (1994) es autodefinido como multidimensional, ya que también incluye características de los lectores y del contexto como predictores de la comprensión de textos expositivos. Por ejemplo, se refieren a cómo influyen en la comprensión de un texto la falta de exposición a los textos científicos, el conocimiento previo y los recuerdos acerca del tema que posee la persona que lee. En Alexander y Jetton (2000) este aspecto de la teoría ha evolucionado para dar paso a la distinción entre la influencia del conocimiento previo formal y no formal del tema así como del conocimiento previo del dominio (en este caso física) en la comprensión de textos.

En este trabajo, nos centramos en los textos y su comprensión en el caso específico de la corriente de desplazamiento. Este concepto fue seleccionado por su fundamental importancia en el enunciado de las leyes de Maxwell, centrales en cualquier programa de electromagnetismo básico en el ámbito universitario.

Entre los artículos encontrados en la revisión bibliográfica relacionados con la corriente de desplazamiento, algunos analizan la física involucrada en este concepto (Barlett, 1990; Biswas, 1988; French y Tessman, 1963; Gauthier, 1988; Rosser, 1983; Weber y Macomb, 1989). Otros plantean alguna alternativa para desarrollar el tema en el aula (Terry, 1981), y otros estudian el desarrollo histórico del concepto (Bork, 1963; Siegel, 1991). La revisión bibliográfica llevada a cabo muestra una escasez de artículos que analicen en profundidad los problemas de aprendizaje relacionados con este tema.

La corriente de desplazamiento es un concepto que surge cuando se plantea la modificación de la ecuación de Ampère introducida por Maxwell para incluir el caso en que, por ejemplo, un capacitor en un circuito se está cargando (o descargando). En otras palabras, el término correspondiente a la corriente de desplazamiento aparece cuando dicho circuito está en un estado transitorio mientras que desaparece, naturalmente, cuando la ecuación se integra en una distribución de corriente estacionaria (Terry, 1981). Este hecho se refleja en todos los textos mediante la expresión matemática (correspondiente al sistema simbólico) de la corriente de desplazamiento que involucra una derivada temporal del flujo de campo eléctrico, de manera que la ecuación de Ampère-Maxwell queda expresada como:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_c$$

donde  $i_c$  es la corriente de conducción en los cables del circuito.

La explicación en el sistema lingüístico (en palabras) que describe la situación física en la que esta corriente se plantea, no siempre es clara y explícita. Podría decirse que, muchas veces, se espera que el lector realice la «traducción» desde el lenguaje simbólico al lingüístico: la derivada temporal del flujo del campo eléctrico en un condensador implica que se está tratando con un sistema en estado transitorio. Así, el presente trabajo consta de dos partes que describimos a continuación.

En la primera parte de esta investigación, se realizó el análisis de los libros de texto utilizados por los alumnos a nivel universitario básico. Dicho análisis se centró en determinar cuán detalladas, abundantes y coherentes son las traducciones de los sistemas simbólicos (ecuaciones, gráficos y figuras) a los sistemas lingüísticos (explicaciones verbales) en el caso específico de la corriente de desplazamiento. La escasez de dichas traducciones en los textos hace que muchas veces los alumnos se centren en las fórmulas descuidando la explicación física que las acompaña.

En la segunda parte del trabajo, se evaluó la comprensión de textos con distinto nivel de traducción explícita entre el sistema simbólico y el lingüístico, focalizando nuestro análisis en la comprensión que los lectores logran acerca de las condiciones físicas en las que se plantea el concepto de corriente de desplazamiento.

## METODOLOGÍA

En las dos partes del trabajo, la metodología utilizada es la de estudio de caso genérico o básico tal como el definido en Merriam (1998); las características de dicha metodología son:

- «– incluye descripción e interpretación
- identifica patrones recurrentes en la forma de temas o categorías
- puede delinear un proceso» (pág. 12).

La característica descriptiva de un estudio de caso implica que el producto final de este tipo de investigación debe ser una descripción rica del fenómeno investigado. Mediante dichas descripciones, el estudio de caso ilustra algunas complejidades de la situación analizada. En la presente investigación, se describen características de los textos que afectan a la comprensión que logra el lector acerca del concepto de corriente de desplazamiento. Cabe señalar que esta descripción es realizada para un caso concreto y perteneciente a un contexto, condiciones también necesarias para este tipo de estudio. Además, según Stake (1981, citado en Merriam, 1998), los resultados de este tipo de investigación son interpretados por los lectores quienes traen consigo su propia experiencia y comprensión, logrando así la generalización a poblaciones más amplias que las estudiadas.

Según Merriam (1998, p. 179), los procesos de identificación y construcción de categorías en un estudio de caso genérico o básico, además de tener una gran componente

intuitiva, son sistemáticos y están guiados por el propósito del estudio. En este trabajo, el marco teórico seleccionado guió la elaboración del protocolo de análisis utilizado para estudiar los textos; si bien las características buscadas en los textos (y detalladas más adelante) no se denominaron «categorías» o «temas», constituyen tales ya que son propiedades de los datos analizados (en este caso los textos) y no los datos en sí.

Si bien la delineación del proceso de comprensión de textos es una tarea que excede los alcances de este trabajo, el presente estudio de caso puede contribuir a determinar algunos factores que influyen dicho proceso.

## Muestra

La selección de la muestra corresponde a una muestra «seleccionada con un propósito» («purposeful simple») como la definida por Patton (1990): «La lógica y el poder de una muestra ‘seleccionada con un propósito’ consiste en elegir casos ricos en información para su estudio. Los casos ricos en información son aquellos de los cuales uno puede aprender mucho acerca de aspectos de importancia central para el propósito de la investigación» (pág.169) (traducción de las autoras).

Para la primera parte del trabajo, se seleccionaron once libros de electromagnetismo de nivel universitario básico que son los comúnmente utilizados por los alumnos en el sistema universitario argentino. Es en este sentido en que estos libros constituyeron una muestra rica en información.

Para la segunda parte del trabajo se seleccionaron ocho estudiantes avanzados de Licenciatura en Física, que ya habían estudiado el tema de corriente de desplazamiento en un curso básico y uno intermedio, hacía por lo menos un año. Se consideró que su historia académica corresponde a casos potencialmente ricos en información ya que, por un lado, son sujetos que supuestamente no tienen el problema de «falta de exposición» (Alexander y Kulikowich, 1994, XX) a los textos de física. Esta característica hace que los sujetos seleccionados sean aquellos que poseen más habilidad para procesar los textos de esta ciencia. Desde el punto de vista del investigador, correspondería a estudiar el caso más desfavorable para la detección de problemas de interpretación de los textos. Por otro lado, si bien los estudiantes seleccionados habían recibido instrucción formal sobre el tema en cursos anteriores, se incluyeron, al principio del cuestionario, una serie de preguntas para detectar qué recordaban del tema. Se seleccionaron aquellos sujetos que no recordaban nada relevante para evitar que los recuerdos sobre el tema influenciaran la comprensión.

## Cómo se realizó el análisis de datos. Primera parte

El análisis de los textos fue llevado a cabo en función de un protocolo elaborado teniendo en cuenta que, según Alexander y Kulikowich (1994), los textos de física pueden considerarse como bilingües y la demanda de pro-

cesamiento de parte del lector es mayor cuanto menos traducción explícita exista entre los sistemas simbólico y lingüístico. Para ello, los libros fueron divididos en dos grupos y cada investigador realizó el análisis de un conjunto de libros. Posteriormente, los grupos de libros se intercambiaron y los análisis realizados fueron comparados. En general, hubo acuerdo en los análisis realizados que fueron comparados en conjunto por los dos investigadores.

El protocolo de análisis se focalizó en dos secciones existentes en los textos: I) la presentación teórica de la corriente de desplazamiento y II) los ejemplos desarrollados como aplicación del concepto presentado. En cada una de estas secciones, se buscaron las siguientes características:

a) Explicitación lingüística del estado transitorio de la corriente en la situación física analizada. La mayoría de los textos presentan el concepto de corriente de desplazamiento en el contexto de un circuito con un capacitor durante el proceso de carga o descarga, es decir, para un circuito en estado transitorio. El carácter transitorio de este circuito implica una dependencia temporal de la corriente de conducción, de la carga del capacitor, de la diferencia de potencial en el capacitor, del campo eléctrico en el mismo y del campo magnético alrededor de los cables y dentro del capacitor. En los textos, el análisis de este carácter transitorio se realiza en distintos capítulos, centrandó la discusión en aspectos aislados cada vez. Por ejemplo, durante el estudio de la carga y descarga del capacitor (anterior al estudio de la corriente de desplazamiento), el foco de la discusión en los textos se centra en la dependencia temporal de la corriente de conducción, de la carga y de la diferencia de potencial en el capacitor. En esta etapa no se menciona la dependencia temporal del campo eléctrico en el capacitor. En cambio, en el caso de la presentación de la corriente de desplazamiento, a pesar de estudiar la misma situación física, el foco de la discusión está en el análisis del campo eléctrico variable en el tiempo dentro del capacitor. En este tipo de presentación, se suelen usar expresiones lingüísticas tales como «el campo eléctrico en el capacitor varía». Debido a la diferencia de enfoques mencionada, no se consideró que una presentación basada en un circuito con capacitor implicara la inmediata asociación por parte del lector de la idea de «campo dependiente del tiempo» con la idea de «corriente dependiente del tiempo». En otras palabras, se considera que existe explicitación lingüística del estado transitorio de la corriente si, en el texto, se usan expresiones tales como «la corriente del circuito varía», «la corriente depende del tiempo» o « $i(t)$ », entre otras, con las cuales no se deja librada al lector la traducción de la idea de «campo variable» a la idea de «corriente variable». El contenido del texto en forma lingüística se analizó tanto en el texto propiamente dicho como también en las aclaraciones presentes en las figuras, gráficos y pie de página.

b) Explicitación simbólica del estado transitorio de la corriente en la situación física analizada. En este caso, se revisaron los esquemas, gráficos y ecuaciones utilizadas

para determinar si el hecho de la variación de la corriente con el tiempo es explícitamente mostrado al lector en símbolos. En forma análoga a lo trabajado en el sistema lingüístico, no se consideró como presentación explícita de la corriente transitoria la indicación en los dibujos o ecuaciones de la dependencia temporal del campo eléctrico en el capacitor.

c) Explicitación simbólica y lingüística de la variación del flujo del campo eléctrico en el capacitor. La definición de corriente de desplazamiento involucra el cambio del flujo del campo eléctrico con el tiempo, la reducción de este cambio a un cambio en el campo eléctrico se debe a que la superficie sobre la cual se integra el flujo no varía. Investigaciones previas en enseñanza de física han detectado que no es raro que los estudiantes identifiquen flujo con la magnitud que fluye, por ejemplo, flujo de campo eléctrico con campo eléctrico (Guisasola, Salinas, Almudí y Velazco, 2003). Cuando un texto se refiere a «variación del campo eléctrico con el tiempo» sin más explicaciones, supone que el lector ha realizado la traducción que involucra la constancia del área de integración.

d) Explicitación de la condición para la cual la corriente de desplazamiento se puede tomar como igual (en valor) a la corriente de conducción. Esta igualdad es común encontrarla en la presentación teórica de la corriente de desplazamiento a nivel básico. El hecho de que sólo es válida cuando el circuito considerado no está «inmerso» en un campo exterior variable no se aclara generalmente y puede generar confusión en los lectores.

### Cómo se realizó el análisis de datos. Segunda parte

Para estudiar la comprensión del concepto de corriente de desplazamiento a partir de la lectura, en la segunda parte del trabajo se seleccionaron tres textos (de los analizados en la primera parte) que serían leídos por cada uno de los participantes. Los textos se presentaron a los estudiantes en orden de traducción explícita creciente; esto es, se presentó primero un texto extraído del libro de Resnick y Halliday (1982), luego el texto de Kip (1972) y finalmente el de Serway (1999).

Entre lectura y lectura, cada participante realizó dos actividades mostradas en el anexo. La actividad 1 consiste en establecer la definición de la corriente de desplazamiento e indicar las circunstancias físicas en que este concepto se plantea. La actividad 2 involucra el análisis de las condiciones en que el enunciado de un problema es planteado. En promedio, los estudiantes tardaron 52 minutos para realizar estas actividades. Cada actividad a realizar era presentada en una hoja nueva de manera que los sujetos iban devolviendo al investigador lo que hacían a medida que avanzaban. De esta manera, el participante no podía cambiar lo ya escrito una vez que la hoja era entregada. El enunciado de las actividades fue refinado mediante dos pruebas preliminares realizadas con dos alumnos de las mismas características que los finalmente seleccionados como participantes.

## RESULTADOS OBTENIDOS Y SU ANÁLISIS

Se presentan aquí los aspectos sobresalientes de los resultados obtenidos en cada parte del trabajo y su análisis.

### Primera parte

Por razones de espacio, no se puede describir la presentación completa de cada texto. Se recomienda al lector consultar los libros seleccionados para tener una idea más cabal de cada abordaje presentado.

#### *Tipler-Mosca (2005)*

Desarrolla el tema en la sección 30.1. En este libro, se hace referencia a la continuidad de la corriente generalizada y a la discontinuidad en la corriente de conducción. Este hecho, sumado a la falta de explicitación de la dependencia con el tiempo de dichas corrientes, podría causar problemas de «traducción» en el lector: durante la instrucción acerca de circuitos de «corriente continua», el término «continua» se usa para referirse a una corriente constante, mientras que en este caso, el término «continua» se refiere a la continuidad física (a la no interrupción en el espacio) de la misma. Utiliza la igualdad entre las corrientes de desplazamiento y la de conducción, sin poner restricciones a la misma. Esta igualdad, que es usada en varias presentaciones, es válida sólo en el caso en que el campo eléctrico variable en el capacitor sea debido exclusivamente a la carga en sus placas. Si el circuito analizado se encontrara «inmerso» en una zona del espacio con campo eléctrico variable, la igualdad planteada ya no tendría validez. El texto simbólico consta de un dibujo que sólo muestra un capacitor y no detalla a qué se encuentra conectado ni en qué situación se lo analiza. No se explicita mediante símbolos la dependencia temporal de la corriente de desplazamiento. La falta de un esquema que muestre el circuito completo bajo estudio puede dificultar la «traducción» del sistema simbólico al lingüístico. Esta confusión podría potenciarse si se considera que en el primer ejemplo se plantea entre los datos un valor constante de corriente. Seguramente ese valor de corriente se presenta en el circuito en un tiempo  $t$ , pero esto no es aclarado, pudiendo inducir al lector a identificar esta situación con la de un circuito en estado estacionario.

Respecto a la variación del flujo del campo eléctrico en el capacitor, este libro utiliza el flujo del campo eléctrico a través de una superficie limitada por la curva amperiana para definir así la corriente de desplazamiento. Más adelante, utiliza la ley de Gauss para relacionar el flujo del campo eléctrico con la carga. En este paso, usa los símbolos concernientes al flujo a través de una superficie cerrada, como corresponde a la expresión de Gauss y denomina a este flujo, flujo neto. Luego calcula erróneamente la corriente de desplazamiento utilizando el flujo neto de la ley de Gauss, contradiciendo la definición correcta dada en un principio. Este error no se repite en los ejemplos, en los cuales usa correctamente el flujo a través de la superficie abierta seleccionada.

#### *Hetch (1998)*

Desarrolla el tema en la sección 22.2 que corresponde a ondas electromagnéticas. Comienza la descripción de la inducción electromagnética analizando la ley de Faraday. En el texto lingüístico se menciona que el campo eléctrico inducido por un campo magnético variable es no electrostático y se enumeran sus propiedades (perpendicularidad de  $E$  y  $B$ , líneas de campo  $E$  cerradas y no restringido a la región del flujo de  $B$ ). Presenta la extensión de la ley de Ampère para circuitos con capacitores en proceso de carga o descarga en forma cualitativa. Se refiere a que el campo magnético que se mide en la región entre las placas del capacitor es debido al campo eléctrico variable con el tiempo. La presentación simbólica del tema está restringida a algunos esquemas pero no hay ecuaciones. Dos de los esquemas representan situaciones abstractas de regiones en donde existen campos variables sin especificar qué dispositivos lo generan. En esos esquemas se muestra la forma creciente o decreciente de los campos pero no se explicita si la dependencia es temporal o espacial. Esta distinción, que puede parecer redundante para un experto en el tema, podría inducir a error a una persona que aprende el concepto a partir del texto. El tercer esquema muestra los campos  $E$  y  $B$  correspondientes a un capacitor en estado transitorio. No se muestra el circuito completo. En los símbolos, no se explicita la dependencia temporal de estos campos ni la dependencia temporal de la corriente con el tiempo. El sistema lingüístico que acompaña a la figura se refiere a un capacitor en proceso de carga y se explicita la dependencia temporal de la corriente y del campo  $E$  pero no del campo  $B$ . No hay ejemplos. En esta escueta presentación, se deja librado al lector la traducción de «campos variables» a «sistemas en estado transitorio» o «corriente variable».

#### *Mckelvey-Grotch (1981)*

En la sección 23.2 se menciona a la carga variable en el capacitor como causante del campo eléctrico variable entre las placas. No menciona explícitamente la dependencia temporal de la corriente de conducción. Menciona la discontinuidad en la corriente de conducción y plantea la existencia de la corriente de desplazamiento para que pueda «garantizarse la continuidad de la corriente total» (p. 945). En la deducción se utiliza la igualdad entre corriente de conducción y la de desplazamiento sin aclarar sus limitaciones. En los textos lingüísticos de las figuras se realizan comentarios generales que no aclaran los dibujos presentados. Una de las figuras mostradas es abstracta y no se representan conductores reales ni dispositivos que produzcan el campo eléctrico variable. El flujo de campo eléctrico que aparece en la deducción teórica se expresa correctamente como la integral del producto del campo por el diferencial de área. En los símbolos presentes en las ecuaciones no se explicita la dependencia temporal de  $E$  ni de  $I$ , librando al lector la traducción entre «situación transitoria de carga del capacitor» como equivalente a «corriente y campos variables en el tiempo».

En el primer ejemplo se encuentra la dependencia temporal de la corriente de desplazamiento que se establece tanto simbólicamente como lingüísticamente. Se menciona el hecho de que el voltaje es instantáneo. En el segundo ejemplo resuelto se requiere relacionar la variación espacial del campo magnético con la variación del campo eléctrico en el tiempo. La expresión del campo eléctrico como función del tiempo no aparece en forma explícita en el lenguaje simbólico. Se presenta la corriente de desplazamiento como función del tiempo. Sin embargo, el lenguaje simbólico en los dibujos es escaso: no hay figuras en el primer ejemplo y el segundo muestra un esquema de un circuito con un capacitor. No se aclara que la situación planteada corresponde a la descarga del capacitor, lo cual debe deducirse del hecho de que no existe fuente en el circuito.

#### *Giancoli (2002)*

Desarrolla el tema en la sección 32.1. En la presentación de este libro, no se explicita en forma lingüística la dependencia temporal de la corriente de conducción con el tiempo. Se limita a mencionar la dependencia temporal de la carga con el tiempo (que en realidad es la definición de cualquier corriente, sea constante o no) e iguala la corriente de conducción con la de desplazamiento sin aclarar los límites de validez de esta igualdad. Las figuras sólo muestran las superficies de integración y no representan al circuito bajo estudio. Los textos lingüísticos aclaratorios no explicitan la dependencia temporal de la corriente ni del campo. Los textos simbólicos en las ecuaciones tampoco mencionan la corriente como dependiente del tiempo. Se utiliza la igualdad entre corriente de desplazamiento y de conducción sin restricciones.

Expresa la variación de la carga con el tiempo en el capacitor usando el producto de  $\epsilon_0$  por el área y por la variación del campo eléctrico con el tiempo, expresión que luego iguala a la variación del flujo eléctrico. No se hace la aclaración lingüística de que esto es válido sólo en el caso en que el área es constante.

En el ejemplo presentado se estudia un capacitor que está en el proceso de carga y se calcula la razón de cambio de los campos  $E$  y  $B$  y la corriente sin mencionar un tiempo específico, lo cual debería resultar en una  $i(t)$ . Sin embargo, los cálculos se realizan para un cierto tiempo ( $t = 0$ ), dando por resultado un valor de corriente, de  $E$  y  $B$  constantes. Los esquemas presentados son abstractos, mostrando el sentido de  $E$  y  $B$ . No se explicita su dependencia temporal ni en el lenguaje lingüístico ni en el simbólico.

#### *Serway (1999)*

Desarrolla el tema en la sección 30.8. De los libros seleccionados, es aquel que presenta la mayor cantidad de información lingüística referida a las condiciones en que vale la ley de Ampère y en qué casos se necesita modificarla. No se limita a mencionar que la ley de Ampère sólo es válida cuando la corriente de conducción es constante en el tiempo, sino que también resalta estas explicaciones

con letra cursiva. Se refiere expresamente a la condición en que un condensador se está cargando (o descargando) para plantear la corriente de desplazamiento. También se refiere a la «discontinuidad» de la corriente en este caso, diciendo que el campo entre las placas «debe considerarse como un tipo de corriente que sirve de puente a la discontinuidad en la corriente de conducción en el alambre». Utiliza la igualdad entre las corrientes de desplazamiento y la de conducción, sin poner restricciones a la misma. Los circuitos mostrados como dibujos aclaratorios no muestran a qué están conectados los capacitores y no se indica la dependencia temporal de la corriente. El flujo de campo eléctrico involucrado en el desarrollo se define para una superficie abierta. Establece que esa superficie es igual a la de las placas del capacitor. Esta última afirmación no es cierta: la superficie amperiana puede ser cualquiera mientras esté limitada por la curva elegida.

En el ejemplo presentado, aunque carece de figuras que faciliten la comprensión de la situación estudiada, se plantea que el voltaje en el capacitor es una función del tiempo y se saca la expresión de  $I_d$  en función del tiempo tanto lingüística como simbólicamente.

#### *Resnick-Halliday (1975)*

La existencia de la corriente de desplazamiento se plantea en la sección dedicada a campos magnéticos inducidos (sección 38-7). Se comienza el estudio de la corriente de desplazamiento con referencia a un campo eléctrico cambiante que puede producirse «cargando un condensador». Expresa que el  $E$  está aumentando y se refiere a que esto se logra «proporcionando carga a las placas del condensador con una rapidez constante». Expresa que la «corriente de carga  $i$  es constante». Esta situación implicaría un circuito en estado estacionario, lo cual no daría ni siquiera lugar a plantear la corriente de desplazamiento. En la sección 38-8 se utiliza la expresión «el concepto de corriente de desplazamiento nos permite retener la noción de que la corriente es continua» pero, como dijimos antes, esto puede llevar al lector a confundir corriente continua (espacialmente) con constante (en el tiempo). Estas imprecisiones en el texto lingüístico se ven reforzadas en el texto simbólico de los dibujos: en uno de ellos se muestra un esquema abstracto con vectores que representan los campos  $E$  y  $B$  (no se explicita la dependencia temporal en la figura) y en el otro, un condensador en donde no se indica a qué está conectado. Más aún, el texto aclaratorio de la segunda figura se refiere a que un  $E$  cambiante «puede producirse cargando un condensador de placas paralelas como se indica». La palabra «cargando» no está acompañada de «mientras se está» lo cual puede reforzar la idea de un estado estacionario (la  $i(t)$  tampoco se muestra en la figura).

La derivada del flujo respecto del tiempo aparece de forma correcta, esto es  $d(\mathbf{E} \cdot \mathbf{A})/dt$ , y en un paso siguiente se escribe  $A dE/dt$ , sin la explicitación lingüística correspondiente.

El ejemplo de este libro consiste en derivar una expresión para  $B$  dentro de un condensador que «se carga...».

Nuevamente, la expresión «se carga» podría interpretarse como la situación final de carga de un capacitor. Además, presenta un valor de campo eléctrico que varía linealmente con el tiempo, lo cual no corresponde a un condensador en proceso de carga mediante una fuente de voltaje (único tipo de fuente estudiado anteriormente). Debido a esto, se saca como resultado una corriente de valor constante lo cual reforzaría la idea de circuito en estado estacionario. Si bien en las ecuaciones se llega a una expresión de  $B$  en donde aparece la variación de  $E$  con  $t$ , ésta desaparece al decir que es constante.

#### *Resnick-Halliday (1982)*

Nos limitaremos a nombrar las diferencias de esta edición con la anterior. Se desarrolla el tema en la sección 40-2. La expresión «corriente constante» que se presenta en la edición 1975 de este libro es reemplazada por «corriente estacionaria». Este reemplazo no soluciona el problema señalado anteriormente ya que, en el caso de un capacitor conectado a una fuente de voltaje, el circuito se encuentra en estado transitorio. Cabe insistir en que éste es el único tipo de fuente trabajada en el curso.

#### *Eisberg-Lerner (1984)*

El tema se presenta en la sección 27-1. Este libro también utiliza el término «corriente continua» para referirse a la continuidad espacial de la corriente (mientras que hasta ese capítulo el término se ha utilizado para indicar la constancia temporal de la corriente). Por otro lado, especifica que se deben ignorar los efectos de borde en el capacitor, condición generalmente pasada por alto en otros libros. No menciona la constancia del área de integración en palabras pero el hecho es detallado en forma simbólica. En el sistema simbólico, presenta dibujos de condensadores conectados a una fuente de voltaje constante. El hecho de que los condensadores se están cargando o descargando (o sea, el estado transitorio) no se especifica en los símbolos de la figura pero sí en el sistema lingüístico. No se explicita  $i(t)$  en ninguno de los dos sistemas (simbólico o lingüístico). En el primer ejemplo, se calcula  $B$  utilizando una superficie de integración en forma de galera. En el enunciado se habla de un condensador que «se carga», siendo ésta la expresión que se usa comúnmente cuando un problema se refiere a un condensador que ya se encuentra cargado (ver, por ejemplo, enunciados problemas 10, 12, 19 del capítulo 21 del Tipler). Este problema se ve reforzado por el hecho de que no se explicita la dependencia temporal de la densidad de carga ni de la carga. En las figuras no se muestra a qué está conectado el capacitor. En el segundo ejemplo, se presenta una variación lineal de  $E$  con  $t$ , lo cual no concuerda con el caso desarrollado en teoría.

#### *Sears, Zemansky, Young y Freedman (1999)*

Desarrolla el tema en la sección 29-10. Especifica que la ley de Ampère es válida para corrientes estacionarias. Introduce el problema analizando el proceso de carga del

capacitor y explicita en el texto lingüístico que el campo eléctrico entre las placas y el flujo eléctrico a través de la superficie varían con el tiempo. Aclara que trabaja con valores instantáneos para la corriente y la diferencia de potencial. En el sistema simbólico muestra el dibujo de un capacitor pero no el circuito completo al que está conectado. Se aclara en forma de texto lingüístico que los valores de la corriente de conducción son instantáneos. En este sentido, si bien la dependencia temporal de la corriente no se escribe explícitamente, el requerimiento de procesamiento por parte del lector es menor al caso en que no se menciona en ningún momento el hecho de que la corriente varía o que toma distintos valores en el tiempo. Iguala la expresión simbólica (ecuación) de la corriente de conducción con la de desplazamiento sin establecer restricciones a esta igualdad y sin dar ningún justificativo. Usa la expresión del producto del campo por el área para describir el flujo del campo eléctrico sin mencionar que dicha expresión deriva de una integral en la cual el área es constante y el campo también. No posee ejemplos.

#### *Kip (1972)*

El tema se presenta en la sección 12.3. En la primera parte analiza la ley de Ampère para un circuito ideal de corriente continua utilizando dos superficies de integración. Luego analiza el caso en que un capacitor está conectado a un generador de alterna y en sistema lingüístico explicita el carácter alterno de la corriente. A la corriente de desplazamiento se la define como el cambio del vector desplazamiento con el tiempo. En la expresión de la corriente de conducción aparece la derivada de la densidad de carga respecto al tiempo, la cual es reemplazada por la derivada del vector desplazamiento respecto del tiempo. En este esquema de presentación no hace falta la introducción de la ecuación para el flujo y no se menciona la constancia del área de integración. En los dibujos no se explicita  $i(t)$  ni  $E(t)$  ni en símbolos ni de forma lingüística. No se presentan ejemplos.

#### *Alonso (1976)*

En la sección 17.12 se deduce la ecuación de conservación de la carga. Esa ecuación tiene un término correspondiente a la corriente de conducción y otro correspondiente a la contribución de una variación del campo eléctrico en el tiempo. A este último término no lo presenta aquí como corriente de desplazamiento. Lingüísticamente introduce la ecuación de Ampère-Maxwell con argumentos matemáticos, aclarando que la ley de Ampère se obtuvo bajo condiciones estacionarias. Deduce la ecuación completa a partir de la conservación de la carga. Se hace hincapié en la dependencia temporal del campo eléctrico. Las figuras son de carácter abstracto, ya que muestran las líneas de campo eléctrico con una curva que las encierra y sobre las cuales existe un campo magnético. No se hace referencia a cómo se obtienen en la realidad estos campos. En los símbolos dentro de la figura no se muestra la dependencia temporal de los campos. Al pie de la figura, en forma de texto lingüístico, se explicita que  $E$  depende del tiempo. En el desarrollo,

utiliza la expresión para el flujo del campo eléctrico en forma correcta y general (como la integral sobre una superficie del campo por el diferencial de superficie). En la sección siguiente, correspondiente a la ecuación de Ampère-Maxwell en forma diferencial, plantea un circuito con capacitor conectado a una fuente alterna. Se considera el caso en que la integración se realiza sobre una superficie fija y justo en ese momento se explicita en símbolos (no lingüísticamente) el resultado de la integral del flujo. Se bautiza al nuevo término como corriente de desplazamiento. No hay ejemplos.

El análisis de los textos detallado más arriba se puede condensar de la siguiente forma. De todos los libros examinados, la característica a) del protocolo de análisis no se encuentra presente en la gran mayoría de los libros. El libro de Hetch (1998) es una de las excepciones en donde la explicitación lingüística del estado transitorio de la corriente se realiza en el texto explicativo de una figura. El otro libro que menciona esta dependencia de la corriente con el tiempo es el de Serway, pero dicha mención está relegada al ejemplo al final del desarrollo teórico. Cabe aclarar que ningún libro contiene esta característica en el desarrollo del texto principal. Otro libro (Mc Kelvey-Grotch, 1981) presenta la característica a) dentro del texto del ejemplo dado. La característica b) del protocolo sólo se pone de manifiesto en un ejemplo presentado en el libro de Mc Kelvey-Grotch (1981). Con respecto a la característica c), la reducción del cambio del flujo del campo eléctrico al cambio del campo eléctrico con el tiempo, está presente en la mayoría de los textos. El libro de Alonso (1976) y el de Mc Kelvey-Grotch (1981) son cuidadosos en este aspecto, pero se limitan a tenerlo en cuenta sólo en forma simbólica, sin aclaración lingüística. La

característica d) no se encontró en ninguno de los libros de texto analizados. Ver tabla 1.

**Segunda parte**

En lo que sigue se muestran los resultados obtenidos a partir de la realización de las actividades 1 y 2 (ver anexo) por parte de los estudiantes avanzados.

La primera pregunta de la actividad 1 se caracterizó por una respuesta, de parte de todos los estudiantes, de tipo simbólico para los tres textos leídos. Este resultado era de esperar, según las dos pruebas realizadas con anterioridad. Todos los alumnos escribieron la definición matemática de la corriente de desplazamiento. Algunos detallaron qué significaba cada símbolo (I,  $\phi$ , E, etc.).

La segunda pregunta, en la cual los alumnos deben elegir una o varias opciones, tuvo respuestas variadas según el texto leído. Se presenta la tabla 2 de contingencia que muestra la frecuencia absoluta de elección de los alumnos para las dos variables: el campo eléctrico y la corriente. A pesar de que estas dos variables están relacionadas, su dependencia no siempre es detallada en los textos y, mientras que una de ellas (E) aparece explícitamente en la ecuación matemática que describe la corriente de desplazamiento, la otra no. Esto quiere decir que, mientras la traducción del símbolo de la derivada del campo E respecto del tiempo puede asociarse fácilmente con un campo variable, la «traducción» de este símbolo a la explicación lingüística relacionada con la idea de corriente variable presenta algunos problemas. Notar que a veces las frecuencias no suman ocho, pues los alumnos en alguna ocasión eligieron dos opciones para la misma variable.

Tabla 1  
Contingencia entre la existencia de las características analizadas y los textos.

| CARACTERÍSTICAS | LIBROS |          | TIPLER |                               | HETCH                 |          | MCKELVEY-GROTCH |          | GIANCOLI |          | SERWAY |          | RESNICK-HALLIDAY (1975 y 1982) |          | EISBERG-LERNER |          | SEARS  |          | KIP    |          | ALONSO                |          |
|-----------------|--------|----------|--------|-------------------------------|-----------------------|----------|-----------------|----------|----------|----------|--------|----------|--------------------------------|----------|----------------|----------|--------|----------|--------|----------|-----------------------|----------|
|                 | Teoría | Ejemplos | Teoría | Ejemplos                      | Teoría                | Ejemplos | Teoría          | Ejemplos | Teoría   | Ejemplos | Teoría | Ejemplos | Teoría                         | Ejemplos | Teoría         | Ejemplos | Teoría | Ejemplos | Teoría | Ejemplos | Teoría                | Ejemplos |
|                 | a      | -        | -      | Sí (en el texto de la figura) | -                     | -        | Sí              | -        | -        | -        | -      | -        | -                              | -        | -              | -        | -      | -        | -      | -        | -                     | -        |
| b               | -      | -        | -      | -                             | -                     | Sí       | -               | -        | -        | -        | Sí     | -        | -                              | -        | -              | -        | -      | -        | -      | -        | -                     | -        |
| c               | -      | -        | -      | -                             | Sí (sólo en símbolos) | -        | -               | -        | -        | -        | -      | -        | -                              | -        | -              | -        | -      | -        | -      | -        | Sí (sólo en símbolos) | -        |
| d               | -      | -        | -      | -                             | -                     | -        | -               | -        | -        | -        | -      | -        | -                              | -        | -              | -        | -      | -        | -      | -        | -                     | -        |

Como se puede apreciar en la tabla 2, la opción de campo constante no fue elegida en ninguna ocasión por los alumnos. Esto puede relacionarse con el hecho de que en la primera pregunta, todos los estudiantes describieron correctamente la corriente de desplazamiento como una derivada temporal del campo E. Tal vez, esto se debe a que en el caso del campo, la traducción al sistema lingüístico es casi directa. En cambio, en el caso de la corriente, hace falta relacionar el campo variable dentro del capacitor con su proceso de carga, lo cual a su vez está relacionado con una corriente transitoria en el circuito.

Tabla 2

Contingencia entre las opciones elegidas para campo E y corriente del circuito.

|             | RESNICK     |            | KIP         |            | SERWAY      |            |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|             | I constante | I variable | I constante | I variable | I constante | I variable |
| E constante | 0           | 0          | 0           | 0          | 0           | 0          |
| E variable  | 8           | 1          | 4           | 7          | 1           | 8          |

Llama también la atención que la elección de corriente constante (junto con campo variable en el capacitor) se presenta tras la lectura del libro de Resnick y Halliday (1982). En el análisis realizado en la primera parte de este trabajo se mostraron algunas características del texto que pueden inducir a esa interpretación.

Después de la lectura del libro de Kip (1975), siete de los ocho alumnos opinan que es necesario plantear el concepto de corriente de desplazamiento cuando el circuito está en estado transitorio, con la corriente variando con el tiempo. Sin embargo, tres de estos alumnos eligieron al mismo tiempo la opción de corriente constante. El hecho de que el texto incorpora una situación en donde se conecta el circuito a una fuente de alterna parece ser el disparador para que los alumnos seleccionen la opción de corriente variable.

Finalmente, la tabla 2 muestra que después de la lectura del libro de Serway (1992) todos los alumnos asocian el planteo de la corriente de desplazamiento a los casos en que la corriente es transitoria. Uno de ellos todavía eligió, en este caso, la opción de corriente constante. El texto de Serway (1992) se caracteriza por explicitar en forma lingüística los límites de la validez de la ley de Ampère, la relación entre el campo variable y la corriente en el circuito y la situación física bajo estudio.

Las respuestas obtenidas acerca de las condiciones físicas del problema planteado en la actividad 2 presentan un patrón similar al de las respuestas del cuestionario (actividad 1). Después de leer el libro de Resnick y Halliday (1982), los ocho alumnos notaron que el campo eléctrico debía ser variable en el problema planteado. En cuanto a la corriente, ninguno hizo sugerencias acerca de la situación transitoria ya sea interpretada como carga o

descarga del condensador o como corriente variable en t. Esta situación se va revirtiendo con las lecturas siguientes hasta que después de leer el libro de Serway (1992) los alumnos plantean que se debe aclarar el estado transitorio del circuito en cuanto al campo y a la corriente.

### COMENTARIOS FINALES

Se pueden señalar en los textos algunas características que demandan un mayor procesamiento por parte de los lectores, dificultando la comprensión de la corriente de desplazamiento:

i) las explicaciones presentadas en el sistema lingüístico son, en la mayoría de los casos estudiados, carentes de precisión y confusas. Por ejemplo, se utiliza el término «corriente continua» para referirse a una corriente que no tiene interrupciones espaciales, mientras que hasta el momento el estudiante ha identificado corriente continua con corriente constante en el tiempo. Los sistemas lingüísticos debieran ayudar al lector en su interpretación de los sistemas simbólicos. Esto no parece cumplirse cuando los textos no mencionan explícitamente el carácter transitorio del problema estudiado. La segunda parte de este trabajo muestra que, efectivamente, los estudiantes avanzados tienen problemas para interpretar esta situación como transitoria. La derivada temporal del campo que aparece en las ecuaciones no se relaciona lingüísticamente con una corriente variable en el circuito, en la mayoría de los casos. Los dibujos que acompañan al texto son a veces incompletos y carentes de símbolos que muestren la dependencia temporal de las variables.

ii) existen condiciones planteadas en el sistema simbólico que no se traducen al sistema lingüístico. Por ejemplo, tal es el caso de la igualdad entre la corriente de desplazamiento y la corriente de conducción, para el cual no se aclara la validez de dicha suposición.

iii) algunos de los ejemplos presentados en los textos plantean situaciones muy diferentes a la que ha sido analizada en el desarrollo teórico; por ejemplo, un campo eléctrico que varía linealmente con el tiempo es una situación que no se presenta en un condensador que se está cargando con una fuente de voltaje (caso analizado en el desarrollo teórico). Esta diferencia no es explicitada lingüísticamente y los sistemas simbólicos que acompañan el ejemplo carecen de símbolos que distinguan esta situación de la planteada teóricamente.

Al ser éste un estudio de caso, no sería pertinente realizar ninguna generalización. Sin embargo, este tipo de análisis puede servir para plantear hipótesis que se utilicen como punto de partida en investigaciones futuras (Merriam, 1998, p. 11). Por ejemplo, en muchos casos, los alumnos leen un texto una vez que han tenido una clase acerca del tema. Sería interesante investigar hasta qué punto las relaciones que los profesores hacen entre los sistemas simbólicos y los lingüísticos mejoran o enturbian la comprensión de los textos por parte de los alumnos. Este estudio espera haber contribuido a señalar algunos aspectos del texto que pueden influenciar en su comprensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, P.A. y JETTON, T.L. (2000). Learning from Text: A multidimensional and developmental perspective, en Kamil, Mosenthal, Pearson, Barr (eds.). *Handbook of Research of Reading Research*, vol III, pp. 285-311. NJ: LEA, Inc.

ALEXANDER, P.A. y KULICOWICH, J.M. (1991). Domain-specific and strategic knowledge as predictors of expository text comprehension. *Journal of Reading Behavior*, 23, pp. 165-190.

ALEXANDER, P.A. y KULICOWICH, J.M. (1994). Learning from a Physics text: A Synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 9, pp. 895-911.

ALONSO, M. y FINN, E.J. (1976). *Física. Volumen II: Campos y Ondas*. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano S.A.

BARLETT, D.F. (1990). Conduction current and the magnetic field in a circular capacitor. *American Journal of Physics*, 58, pp. 1168-1172.

BISWAS, T. (1988). A direct derivation of the displacement current. *American Journal of Physics*, 56, pp. 373-374.

BORK, A.M. (1963). Maxwell, Displacement Current, and Symmetry. *American Journal of Physics*, 31, pp. 854-859.

EISBERG, R. M y LERNER, L.S. (1984). *Física. Fundamentos y Aplicaciones*, Vol. II, Madrid: McGraw-Hill.

FRENCH, A.P. y TESSMAN, J.R. (1963). Displacement Current and Magnetic Fields. *American Journal of Physics*, 31, pp. 201-204.

GAFFNEY, J.S. y ANDERSON, R.C. (2000) Trends in reading research in the United States: Changing intellectual currents over three decades, en Kamil, Mosenthal, Pearson, Barr (eds.). *Handbook of Research of Reading Research*, vol III, pp. 53-76. NJ: LEA, Inc.

GARCÍA GARCÍA, J.J. (2005). El uso y el volumen de información presentadas en los libros de textos de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), pp. 181-199.

GAUTHIER, N. (1988). A direct derivation of the displacement current. *American Journal of Physics*, 56, p. 871.

GIANCOLI, D.C. (2002). *Física para universitarios. Volumen II*. 3.ª edición. México: Pearson Educación.

GOLDMAN, S.R. y RAKESTRAW, J.A. (2000) Structural aspects of constructing meaning from text, en Kamil, Mosenthal, Pearson, Barr (eds.). *Handbook of Research of Reading Research*. Vol III, pp. 311-337. NJ: LEA, Inc.

GUISASOLA, J., SALINAS, J., ALMUDÍ, J.M. y VELAZCO, S. (2003). Análisis de los procesos de aplicación de las leyes de Gauss y Ampère por estudiantes universitarios de España y Argentina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2).

HETCH, E. (1998). *Física 2. Álgebra y Trigonometría*. 2.ª edición. México: International Thomson Editores.

JENKINS, J.J. (1979). Four Points to remember: A tetrahedral model of memory experiments, en *Levels of Processing in Human Memory* (eds. Cermak y Craik). Nj: Erlbaum. pp. 429-446.

JETTON, T.L. y ALEXANDER, P.A. (2000). Learning from Text: A multidimensional and developmental perspective, en *Handbook of Reading Research*. (Editores: Kamil, Mosenthal, Pearson, y Barr), Vol III, pp. 285-310. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

KELLY, G.J. (2007). *Discourse in Science Classrooms*, en Abell y Lederman (eds.). *Handbook of Research on Science Education*, pp. 443-470. Londres: LEA, Publishers.

KIP, A.F. (1972). *Fundamentos de Electricidad y Magnetismo*. México: McGraw-Hill.

MATURANO, C.I., MAZZITELLI, C.A. y MACÍAS, A. (2003). ¿Los estudiantes verifican la consistencia interna de los textos científicos o retienen la primera información que leen? *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(1).

McKELVEY, J.P. y GROTCHE, H. (1981). *Física para Ciencias e Ingeniería Tomo II*. México, D.F.: Harla.

McKEOWN, M.G., BECK, I.L. y LOXTERMAN, J.A. (1992). The contributions of prior knowledge and coherent text to comprehension. *Reading Research Quarterly*, 27, pp. 79-93.

MERRIAM, S.B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco: Jossey – Bass Inc.

OTERO, M.R., MOREIRA, M.A. y GRECA, I.M. (2002). El uso de las imágenes en textos de Física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(2).

PANDIELLA, S., TORNÉ, P.C. y MACÍAS, A. (2004). Las características de los textos de física y su incidencia en la comprensión. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9(1).

PATTON, M.Q. (1990). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. 2.ª edición. Londres: Sage.

RESNICK, R. y HALLIDAY, D. (1975). *Física. Parte II*. 1.ª ed. en español de la 2.ª edición en inglés. Argentina: Compañía Editora y Distribuidora del Plata S.R.L.

RESNICK, R. y HALLIDAY, D. (1982). *Física Parte 2*. 3.ª ed. en español de la 3.ª edición en inglés. México: Compañía Editorial Continental.

ROSSER, W.G.V. (1983). The displacement current. *American Journal of Physics*, pp. 51-1149.

SEARS F.W., ZEMANSKY, M.W., YOUNG, M.A. y FREEMAN, R.A. (1999). *Física Universitaria*, volumen 2. 9.ª edición. México: Pearson Educación.

SERWAY, R.A. (1999). *FÍSICA, Tomo II*, 4.ª edición, México. D.F.: McGraw-Hill.

SHYMANSKY, J.A., YORE, L.D. y GOOD, R. (1991). Elementary school teachers' beliefs about perceptions of elementary school science, science reading, science textbooks, and supportive instructional factors. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 305-313.

SIEGEL, D. (1991). *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory*, Cambridge University Press, Cambridge.

- SILVA, F. K. y COMPIANI, M. (2006). Las imágenes geológicas y geocientíficas en libros didácticos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp. 207- 217.
- TERRY, W.K. (1981). The connection between the charged-particle current and the displacement current. *American Journal o Physics*, pp. 742-744.
- TIPLER, P. A. y MOSCA, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología. Volumen 2A. Electricidad y Magnetismo*. 5.<sup>a</sup> edición. Barcelona: Ed. Reverté.
- WADE, S.E., TRATHEN, W. y SCHRAW, G. (1990). An analysis of spontaneous study strategies. *Reading Research Quarterly*, 25, pp. 147-166.
- WEBER, T.A. y MACOMB, D.J. (1989). On the equivalence of the Laws of Biot-Savart and Ampère. *American Journal of Physics*, 57, p. 57.
- YORE, L.D. (1991). Secondary science teachers' attitudes toward and beliefs about science reading and textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 55-72.

[Artículo recibido en diciembre de 2008 y aceptado en octubre de 2009]

ANEXO

Actividad 1: Este cuestionario fue diseñado para ser contestado por personas que *no* hayan estudiado el concepto de *corriente de desplazamiento* recientemente. Nos interesa relevar qué elementos involucrados en ese concepto se recuerdan más fácilmente. Para eso, lee la sección del libro ... donde se presenta la corriente de desplazamiento subrayando las ideas que te parecen más importantes. Después de subrayar, devuelve la lectura al entrevistador.

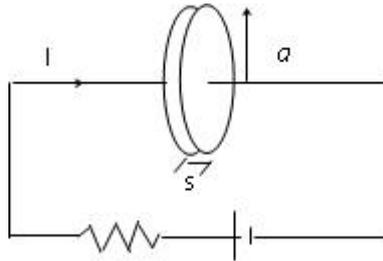
¿Podrías contestar las siguientes preguntas? Nos interesa que escribas TODO lo que recuerdes, incluso si te parece que no es totalmente correcto o claro.

- 1) ¿Qué es la corriente de desplazamiento? (definición, variables o magnitudes involucradas, lo que sea).
- 2) Indica con una cruz la o las circunstancias físicas en que es necesario plantear este concepto:

- Campo eléctrico variable en el capacitor.
- Campo eléctrico constante en el capacitor.
- Corriente variable en un circuito con capacitor.
- Corriente constante en un circuito con capacitor.

Actividad 2: Lee atentamente el enunciado del siguiente problema:

Un capacitor hecho de placas circulares paralelas de radio  $a$  y separación  $s$  es insertado en un circuito por el que circula una corriente  $I$  (ver figura).



- a) Encuentra la corriente de desplazamiento entre las placas.
- b) Calcula el campo magnético inducido a una distancia  $r$  ( $r < a$ ) desde el centro.

BAÑÁNDOTE EN LA LECTURA REALIZADA, establece qué condiciones físicas deberían plantearse en el enunciado del problema y por qué, con respecto a los siguientes ítems:

- 1) el campo  $E$
- 2) la corriente  $I$

Si consideras que la lectura realizada no te sugiere ninguna condición física para incluir en el problema, coloca «ninguna» al lado del ítem correspondiente.

## Displacement Current: its presentation in textbooks and students' understanding of it

POCOVÍ, MARÍA CECILIA<sup>1</sup> y HOYOS, ELENA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas

cpocovi@unsa.edu.ar

ehoyos@unsa.edu.ar

### Summary

A generic case study as that defined by (Merriam, 1998) is presented here. In the first part of the work, an analysis of how college-level textbooks address the concept of Displacement Current was carried out. The sample of books consisted of eleven textbooks usually used by students in our classes. The analysis was performed with a protocol that was designed following Alexander's and Kulikowich's (1994) theoretical framework. The analysis focused on two sections that are present in most books: I) the theoretical section that introduces the concept of Displacement Current and, II) the examples where the concept is applied to particular physical situations. In each of these sections the following characteristics were searched for: *a*) explicit linguistic statements that show the transient state of the electric circuit being studied, *b*) explicit symbolic expressions that show the transient state of the physics situation, *c*) explicit statements (symbolic and linguistic) about the change in time of the electric field within the capacitor, and *d*) explicit reference to the limitations of equality between the value of the Conduction Current and the Displacement Current.

The results show that in most textbooks: a) the translation between the symbolic and the linguistic system is very limited or not sufficiently precise, b) when the equality between the Displacement Current and the Conduction Current is set, its validity is not stated, and c) some examples focus on situations where an electric field has a linear variation in time while this case has not been previously treated.

The second part of this work studies the understanding that college students acquire of Displacement Current from different textbooks. In order to do this, three of the eleven texts analyzed in the first part of this work were selected based on the level of explicit linguistic translation about the concept of Displacement Current and related situations. Students read each of the three texts (from the least translated to the most) and answered a questionnaire at the end of each reading. Serious deficiencies in the students' understanding of the selected texts can be found, the main one being the association of constant current in the circuit with a capacitor that is being charged by a voltage source. It is speculated that some characteristics of the texts might lead students to these misunderstandings.

