

# Cambio conceptual ontológico: el uso de textos como herramienta para lograrlo

Ontological conceptual change: the use of texts as a tool to achieve it

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

**M. Cecilia Pocoví**

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia  
5150, CP 4400, Salta, Argentina.*

**E-mail:** cpocovi@gmail.com

(Recibido el 24 de agosto de 2016; aceptado el 1 de noviembre de 2016)

## Resumen

El presente trabajo resume resultados de investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Salta, en el marco de la teoría de Cambio Conceptual presentada por Chi (1992, 2005, 2008, 2013) según la cual, el aprendizaje de un concepto no se llevará a cabo mientras la ontología que posee un alumno acerca del mismo no coincida con la ontología del concepto científico (metafísico). Específicamente, se muestran algunos resultados alcanzados en investigaciones llevadas a cabo mediante el uso de textos cuyo común denominador es el de ser ricos en la descripción ontológica del concepto presentado. Se describen casos como el del aprendizaje de campo eléctrico, líneas de campo, corriente de desplazamiento y aceleración. Se concluye que, así como los textos ricos en ontología favorecen la comprensión de los alumnos, existen ciertas características de los textos que la inhiben y actividades que la promueven.

**Palabras clave:** Cambio conceptual; Textos de Física; Ontología; Nivel universitario.

## Abstract

This paper presents a summary of previous research that has been carried out through time, at the National University of Salta, based on Chi's Conceptual Change Theory (1992, 2008, 2012, 2014). According to this model, the learning of a concept will not be achieved unless the ontology of students' ideas matches the scientific concept's ontology. Within this approach, some research results that have been gathered through the use of texts whose common denominator is that of being rich in the ontological description of the target concept, are shown. Cases such as the learning of the electric field, lines of force, displacement current, and acceleration are presented. It is concluded that, as these ontology-rich texts favor comprehension, there are other characteristics of the texts that inhibit it and certain type of activities that promote it.

**Keywords:** Conceptual change; Physics texts; Ontology; University level.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de las investigaciones que se llevan a cabo en el área de Enseñanza de Ciencias, el Cambio Conceptual ocupa un lugar primordial ya que constituye un proceso fundamental para lograr el aprendizaje. En la revisión realizada por Di Sessa (2006) se afirma que, a lo largo del tiempo, han surgido distintas teorías de Cambio Conceptual que describen, explican y detallan dicho proceso centrándose en diferentes variables como lo son las creencias, las teorías y la ontología (p. 265). La importancia que reviste el Cambio Conceptual en la investigación educativa y la variedad de abordajes que engloba, también se ha puesto de manifiesto mediante la edición de manuales como el *International Handbook of Research on Conceptual Change* (Vosniadu, Ed., 2013) que, en su segunda edición, presenta los distintos abordajes teóricos que explican y describen cómo se lleva a cabo el aprendizaje.

Dentro de aquellas teorías que se centran en la ontología o naturaleza de los conceptos, se destaca aquella propuesta por Chi (1992, 2005, 2008, 2013). Este marco teórico se basa en que las entidades en el mundo son de distinta naturaleza y el aprendizaje de determinado concepto involucra el aprendizaje de su ontología por parte del alumno. En particular, en el caso del aprendizaje de conceptos científicos, un conocimiento cabal de éstos implica que la categoría ontológica asignada por los estudiantes a dichos conceptos coincide con la categoría ontológica del concepto científico (metafísico).

Uno de los materiales didácticos comúnmente utilizados por los alumnos universitarios para asistir su aprendizaje lo constituyen los textos (libros, artículos, apuntes, entre otros) (Nist y Simpson, 2000). Sin embargo, una limitación denunciada por investigadores en el área de aprendizaje a partir de la lectura es la escasez de material didáctico diseñado con base en las investigaciones previas y la consiguiente evaluación de sus efectos sobre la comprensión de los lectores (Stanovich, 2004; Alexander y Mayer, 2011). En este trabajo se presentan algunos de los resultados de investigaciones realizadas acerca de los efectos que tienen, sobre el aprendizaje, aquellos textos que incorporan la descripción de la ontología de los conceptos presentados.

## II. MARCO TEÓRICO

A continuación se describirán brevemente tres abordajes teóricos que se seleccionaron para el diseño de las investigaciones realizadas. Se considera que dichas teorías resultan complementarias y enriquecedoras unas de las otras, como se detallará luego en la descripción de los estudios realizados.

### A. Cambio conceptual ontológico

En 1992, Chi presentó por primera vez su teoría en la cual se afirma que las entidades en el mundo son de cierta naturaleza o poseen cierta ontología. Así, una silla pertenece a la categoría de conceptos tipo Materia mientras que una corriente eléctrica pertenece a la categoría de Procesos. ¿Cómo se determina la pertenencia o no de un concepto o entidad a cierta categoría ontológica? Cada categoría ontológica tiene asociado un conjunto de atributos ontológicos en forma de predicados que pueden utilizarse para formar oraciones con sentido que definen el concepto. En general, los atributos ontológicos se definen como “una propiedad que una entidad puede potencialmente poseer como consecuencia de pertenecer a determinada categoría.” (Chi y otros, 1994, p. 29). En los primeros años del desarrollo de esta teoría, Chi y su grupo centraron su trabajo en la determinación de algunos predicados asociados con la categoría tipo Materia: “posee masa”, “tiene color”, “se gasta”, entre otros (Reiner y otros, 2000). Por ejemplo, afirmar que “la silla es verde” (tiene un cierto color) forma una oración con sentido debido a que el concepto “silla” pertenece a la categoría tipo Materia. Se debe notar la diferencia que existe entre una oración con sentido y una oración verdadera. Una oración puede tener sentido, aunque sea falsa. Por ejemplo, decir “la silla es verde” cuando en realidad es marrón, forma una oración con sentido aunque sea falsa. Si, en cambio, el predicado corresponde a una categoría ontológica equivocada, la frase formada no tiene sentido, por ejemplo, decir que “la silla es alegre” no tiene sentido pues se ha usado un predicado correspondiente a la categoría de Estados Mentales para describir una entidad que pertenece a la categoría material.

Si bien desde su primera presentación en 1992, Chi estableció que la mayoría de los conceptos científicos pertenecen a la categoría ontológica de Procesos, dicha categoría no fue precisamente delimitada en ese momento y sólo algunos atributos ontológicos fueron esbozados. Por ejemplo: “resulta en”, “no tiene principio ni fin aun cuando se llega al equilibrio”, “involucra un sistema de componentes interactuantes que tienden al equilibrio” (Slotta y Chi, 2006). Con el correr de los años y la realización de más investigaciones en esta línea (Chi y otros, 1994, Chi y Roscoe, 2002, Pocoví, 2004, Chi, 2005, 2013, Chi y otros, 2012) se llegó a la determinación de más atributos ontológicos asociados a la categoría Proceso y, además, se determinaron dos subcategorías llamadas Procesos Directos o Secuenciales y Procesos Emergentes con base en las componentes de un concepto y sus interacciones.

Chi (1992, 1994) afirmó que, a pesar de que la mayoría de los conceptos científicos pertenecen a la categoría Procesos, muchos estudiantes los conciben como pertenecientes a la categoría Materia. En trabajos más recientes, Chi (2008, 2013) y Chi y otros (2012) refinaron esta teoría y explicaron que la mayoría de los conceptos científicos pertenecen a la categoría tipo Proceso Emergente pero los alumnos muchas veces los interpretan como de tipo Materia o Proceso Directo o secuencial. Según Chi, esta inhabilidad para aprender el concepto como perteneciente a la categoría ontológica adecuada se da cuando quien aprende no conoce los atributos ontológicos de la categoría adonde debe asignar el nuevo concepto. El Cambio Conceptual que se produce cuando el alumno altera la ontología de su concepto inicial se denomina Cambio Conceptual Radical. En resumen, se puede decir que una persona ha aprendido un concepto científico cuando existe un isomorfismo entre la ontología asignada (psicológicamente) y la ontología que el concepto posee (metafísicamente). A lo largo de los años se han llevado a cabo investigaciones que apuntan a que el alumno aprenda la ontología de ciertos conceptos mediante el diseño de material didáctico basado en recursos diversos entre los cuales se encuentran: softwares educativos (Slotta y Chi, 2006), videos tutoriales y tutores humanos (Craig y otros, 2009) y textos (Chi y Roscoe, 2002; Pocoví y Finley, 2003; Pocoví, 2007; Pocoví y Hoyos, 2011; Ledesma y Pocoví, 2013). Las investigaciones que se describirán en este trabajo son las realizadas con el uso de textos en el aprendizaje de distintos conceptos.

## B. Comprensión lectora

En el caso especial de los textos de Física, Alexander y Kulicowich (1994) detectaron que éstos utilizan dos lenguajes o sistemas: simbólico y lingüístico. Mientras que el simbólico incluye dibujos, esquemas, gráficos y ecuaciones, el sistema lingüístico es utilizado para explicar en palabras las situaciones referidas mediante símbolos. Dicho de otra manera, el sistema lingüístico simplifica el procesamiento de la información contenida en símbolos que debe realizar el lector para comprender: cuanto más explicado esté el sistema simbólico, menos esfuerzo cognitivo deberá realizar el lector para entender lo que lee. La descripción en palabras de los conceptos a aprender es especialmente importante en el caso de lectores en aclimatación (Alexander y Jetton, 2000) que son aquellos que leen para entender y aprender conceptos nuevos.

El sistema lingüístico también es valioso para describir y explicar la ontología o naturaleza de un concepto ya que ésta puede ser descripta mediante frases en las cuales un sujeto (en este caso, el concepto) se describe mediante un predicado (o atributo ontológico). De esta forma, el sistema lingüístico de un texto puede ayudar a comprender la ontología de un concepto, “escondida” muchas veces en las ecuaciones, esquemas y gráficos.

## C. Actividades que favorecen la comprensión

Otro factor que puede afectar la comprensión de un texto lo constituyen las actividades de carácter metacognitivo que realizan los estudiantes sobre los temas presentados en los textos. En tal sentido Holschuch y Aultman (2009) realizan una revisión de las “estrategias de comprensión” más importantes que se han investigado relacionadas con la comprensión lectora. Destacan el papel de las estrategias metacognitivas en el caso de los alumnos universitarios y establecen que la discrepancia entre los buenos y malos lectores es más notable cuando los estudiantes poseen habilidades de este tipo. Brown y otros (2004) describieron las características que poseen las actividades que complementan las lecturas y favorecen la comprensión. El nombre dado a este tipo de actividades es el de “Actividades que Favorecen la Comprensión” en adelante AFC. Algunas de las características salientes de dichas actividades se mencionan a continuación: 1) ayudan a clarificar los propósitos de la lectura, 2) activan el conocimiento previo relevante, 3) focalizan la atención en el contenido más importante del texto, 4) ayudan a revisar periódicamente la comprensión y 5) promueven la elaboración de inferencias. Una combinación de la Teoría de Brown (2004) con la Teoría de Cambio Conceptual de Chi (1992, 2013) implica que dichas actividades deberán resaltar la ontología de las magnitudes estudiadas y es en este sentido en que se diseñó la tercera investigación descrita en este trabajo.

## D. Algunas consideraciones generales

En las investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Salta que tienen como marco teórico la teoría de cambio conceptual formulada por Chi, se ha identificado a la comprensión de un concepto por parte del alumno, con la correcta asignación de éste a la categoría ontológica aceptada científicamente. Sin bien, una asignación ontológica correcta no asegura que otros aspectos relacionados con el aprendizaje de un concepto sean conocidos por el sujeto (por ejemplo, el ser capaz de operar matemáticamente con el mismo), constituye una condición necesaria para lograr la interpretación científicamente correcta de un fenómeno físico.

Ya que la clave para determinar si un estudiante comprende o no un concepto es la ontología que éste le asigna, una parte importante de las investigaciones que se describirán más adelante, estuvieron abocadas a identificar, en distintas etapas del aprendizaje, la ontología predominante en las ideas que cada alumno posee acerca del concepto a aprender. Para lograr esta determinación se utilizó un método de clasificación de la ontología de las ideas del sujeto que aprende, introducido por Keil (1979) y posteriormente adecuado por Slotta y otros (1995) y Reiner y otros (2000) a las investigaciones en enseñanza de física. La suposición básica de esta forma de trabajo es que los predicados usados por un sujeto para describir un concepto mediante una proposición, coincidirán con aquellos correspondientes a atributos ontológicos pertenecientes a distintas categorías ontológicas y, por lo tanto, constituirán, para el investigador, un reflejo de la ontología que el estudiante asigna al concepto. Con el avance de las investigaciones en esta temática, se construyeron conjuntos base de predicados asociados con las distintas categorías ontológicas. Por ejemplo, como ya se mencionó, Reiner y otros (2000) identificaron a los atributos “posee masa”, “tiene color”, “se gasta”, “es empujable o empuja”, “es contenible o contiene”, entre otros, como propios de las entidades pertenecientes a la categoría Materia. Si un alumno afirma que “una línea de campo contiene al campo eléctrico”, esta idea será clasificada como concepto tipo Materia.

Muchas veces, sin embargo, la ontología que los estudiantes asignan a un concepto no pertenece exclusivamente a una sola categoría ontológica. Debido a esta situación, en las investigaciones se diseñan-

variables que muestran, para un estudiante, la proporción de predicados utilizados pertenecientes a una categoría ontológica frente a los pertenecientes a otra (Slotta y otros, 1995; Pocoví, 2007). Una manera común de trabajar es aquella en la que los investigadores, con base en pruebas piloto, diseñan una serie de proposiciones que describen un concepto. Entre ellas, algunas corresponden a la descripción ontológica correcta del concepto mientras que otras corresponden a expresiones ontológicamente erróneas pero comúnmente utilizadas por los estudiantes. Luego, se solicita a los alumnos que elijan aquellas oraciones que tienen sentido para ellos. Se puede, entonces, crear una variable que muestre la proporción de, por ejemplo, las oraciones tipo Materia seleccionadas por el estudiante frente a todas las que tenía para elegir. Por ejemplo, si el alumno A elige tres proposiciones tipo Materia de las 10 que tenía disponibles y una tipo Proceso, se le asignaría un puntaje "material" de 3/10 mientras que el puntaje "proceso" sería 1/10. Un alumno con estas características, evidentemente, posee más desarrollada y arraigada la idea material del concepto a aprender que aquella idea ontológicamente correcta.

A continuación, se describirán algunos resultados obtenidos en las investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Salta, mediante el diseño de textos que apuntan a explicitar la ontología de la magnitud a aprender. En particular, se presentarán los siguientes casos: 1) investigaciones relacionadas al uso de textos ricos en historia y ontología para favorecer la comprensión ontológica de los alumnos en el caso del campo eléctrico y líneas de campo; 2) investigaciones referidas al concepto de corriente de desplazamiento en las cuales se muestra cómo se inhibe la comprensión de los alumnos cuando se utilizan textos que no resaltan los atributos ontológicos de la magnitud a aprender; y 3) investigaciones referidas al concepto de aceleración que muestran la necesidad de complementar las lecturas de los textos diseñados con actividades que favorecen la comprensión del concepto a partir de los textos leídos.

### III. TEXTOS CON ALTO CONTENIDO HISTÓRICO-ONTOLÓGICO: EL CASO DEL CAMPO ELÉCTRICO Y LAS LÍNEAS DE CAMPO

Se ha explicado que la categoría de los conceptos tipo Proceso tiene atributos ontológicos como: "resulta en", "no tiene principio ni fin aun cuando se llega al equilibrio", "involucra un sistema de componentes interactuantes que tienden al equilibrio" (Slotta y Chi, 2006), entre otros. En la concepción científica actual, el concepto de campo eléctrico "*es un estado del espacio mismo*" (Nersessian, 1984, p.121) o, en otras palabras, "*asigna a cada punto en un sistema, una propiedad local*" (Purcell, 1969, p. 17). Cuando se predica el concepto campo eléctrico con los atributos ontológicos de un concepto tipo Proceso se obtienen oraciones con sentido. Por ejemplo, se puede decir que el campo resulta en una fuerza eléctrica sobre una carga de prueba colocada en ese lugar del espacio. O también tiene sentido decir que el campo eléctrico en una zona del espacio seguirá existiendo a pesar de que se haya alcanzado el equilibrio electrostático. Más aún, se puede decir que el campo eléctrico en un punto del espacio involucra la interacción eléctrica entre componentes de un sistema que tienden al equilibrio. Así, se puede calificar al campo como un concepto tipo Proceso (Pocoví y Finley, 2003).

Una de las implicancias de la teoría de Chi para la educación fue establecida desde sus primeros trabajos como que "*la instrucción (...) debe realizarse enseñando esta nueva categoría ontológica de conceptos independientemente de las concepciones pre-existentes*" y, tal vez, mediante el uso de ejemplos (Chi, 1992, p. 179). Así como existe una marcada tendencia de los alumnos a asociar los conceptos que aprenden con la categoría ontológica de Materia, la evolución histórica de los conceptos científicos muestra que, en muchos casos, la naturaleza material de los mismos asignada por sus creadores no es la que se acepta actualmente en la comunidad científica. Uno de esos casos es el del concepto de Campo Eléctrico. En este caso, se planteó la selección y el diseño de textos con ejemplos de alto contenido histórico ontológico que sirvieran para mostrar la diferencia entre la ontología de las ideas iniciales (históricamente hablando) de un concepto y la de la idea actual científicamente aceptada (Pocoví, 2004).

Por ejemplo, se diseñó el siguiente par de textos para que los alumnos, después de realizar la lectura, contestaran las preguntas expresadas a continuación de los mismos.

*Texto 1: "El campo eléctrico asigna una propiedad local a cada punto del espacio, en este sentido, si conocemos E en una región pequeña podemos, sin más, conocer qué pasará con cualquier carga en esa región" (Purcell, 1969, p. 17) Así, se puede hablar acerca del campo eléctrico en un punto del espacio a pesar de no haber cargas (o ninguna otra cosa) presente en ese punto que sienta los efectos del campo.*

*Texto 2: Durante el siglo XIX, las investigaciones en electromagnetismo fueron construidas sobre la idea de que existía un fluido (llamado éter) que permeaba todo el espacio y transmitía los efectos eléctrico y magnético de una forma mecánica. Maxwell, por ejemplo, expresó: "Me propongo examinar los fenómenos magnéticos desde un punto de vista mecánico y determinar qué tensiones*

*o movimientos en el medio son capaces de producir los fenómenos mecánicos observados” (Maxwell, 1861/1965, p. 453). Para Maxwell, el éter estaba dividido en pequeñas porciones de material que rotaban alrededor de un eje (vórtices). [...] El asignaba propiedades elásticas al éter con el objeto de explicar los fenómenos electrostáticos. En este sentido dijo: “He tenido gran dificultad en concebirla existencia de vórtices en el medio, lado a lado, girando en la misma dirección [...]” (Maxwell, 1861/1965, p. 468) “Las tensiones elásticas en el medio que eran asociadas con el campo eléctrico creaban las fuerzas apropiadas sobre las cargas eléctricas [...]” (Pocoví, 2004)*

Después de la lectura, se requirió a los alumnos que la realización de actividades que requerían la consideración de los atributos ontológicos del campo eléctrico tal como era entendido por Maxwell y como es entendido en la actualidad (Pocoví, 2000). La Tabla I esquematiza los atributos ontológicos de una y otra visión:

**TABLA I.** Comparación ontológica entre la idea actual de Campo Eléctrico y la sostenida por Maxwell.

Concepción Maxwelliana	Concepción Científica Moderna
El campo es un fenómeno mecánico	El campo existe por sí mismo y su existencia no depende de la existencia de una carga que sienta su efecto.
El campo depende de la existencia de un medio material.	El campo asigna una propiedad a cada punto del espacio.
Las propiedades elásticas del medio asociadas al campo son las que determinan las fuerzas sobre las cargas.	El conocimiento del campo eléctrico en una zona del espacio es suficiente para la determinación del problema electrostático.

La utilización de textos como los del ejemplo y las actividades diseñadas con base en ellos, todas apuntadas a remarcar los atributos ontológicos del campo eléctrico, resultó en una mejor comprensión de la ontología del mismo (Pocoví y Finley, 2003; Pocoví, 2004).

Otro ejemplo en el cual se utilizaron estos textos de tipo histórico-ontológico lo constituyen aquellos seleccionados y diseñados para el caso de las líneas de campo o líneas de fuerza. En este caso, el análisis ontológico de dicha magnitud (Pocoví y Finley, 2002) revela que pertenecen a la categoría de entidades geométricas ya que son dibujos que no toman parte en la transmisión de los efectos eléctricos y sirven para representar una situación física, siguiendo las restricciones físicas impuestas por dicha situación. Además, en el mismo trabajo se muestra que los estudiantes, luego de aprender el tema mediante textos tradicionales, asignan a las fuerzas características de materia utilizando predicados correspondientes a esa categoría ontológica. Por ejemplo: “la carga seguirá la línea de fuerza que existe en la distribución”, “la carga es transportada por la línea de fuerza”, “las fuerzas seguirán la trayectoria mostrada por las líneas”, entre otras (Pocoví, y Finley, 2002, p. 468-469).

Históricamente, las líneas fueron propuestas por primera vez por Michael Faraday en 1831. A medida que Faraday utilizaba el concepto de líneas de campo en sus informes, pasó de asignarles un carácter descriptivo a otorgarles una existencia material y física que coincide, ontológicamente hablando, con las ideas materiales expresadas por los alumnos. Se presenta a continuación un ejemplo de los textos diseñados para enseñar a los alumnos la ontología de las líneas:

*Texto 1: “En la actualidad, las líneas de campo son entendidas como entidades geométricas que nos muestran la geometría de un problema electrostático. Esto significa que las líneas son dibujos que son realizados siguiendo ciertas condiciones físicas pero no existen por sí mismas. Por ejemplo, con el objeto de dibujar las líneas que corresponden a una carga de prueba (como hicieron en teoría) la primera condición física a tener en cuenta es el valor de la carga de manera que podamos asignar un cierto número de líneas a ese valor de carga. Notar que nosotros asignamos ese número; ese número no está impuesto de ninguna manera por la naturaleza: puedo dibujar seis líneas correspondientes a  $q$  y mi compañero puede dibujar 8 líneas correspondiendo a  $q$ . Mientras nos mantengamos cada uno con su convención, nuestros dibujos serán equivalentes. Otra condición física a tener en cuenta cuando dibujamos las líneas es la simetría del problema: por un lado, el campo eléctrico es simétrico a la vuelta de la carga y los vectores campo están apuntando hacia fuera de la carga en cada punto en el espacio; por otro lado, su valor decrece a medida que nos alejamos de la carga. Estas condiciones son tomadas en cuenta si dibujamos las líneas de tal manera que el campo eléctrico en cada punto es tangente a las líneas de campo y que el número de líneas por unidad de área es proporcional a la carga. Esta es la razón por la cual las líneas de campo para una carga puntual son dibujadas radiales y apuntando hacia fuera de la carga. De nuevo, noten que las líneas son dibujos y no juegan ningún papel en la interacción electrostática.” (Pocoví, 2004).*

*Texto 2: “Mientras escribo este trabajo percibo que, en las últimas series de investigaciones [...] he usado a veces el término líneas de campo tan vagamente que el lector puede dudar de si mi intención es sólo representar la idea de fuerzas o describir el camino a lo largo del cual el poder es ejercido[...] Todavía no encuentro una razón para desear que alguna parte de mis artículos sea alterada [...]a veces uso la expresión “líneas de fuerza” para representar la disposición de las fuerzas y otras veces la uso representando la idea de un modo de transmisión físico, ésta última es la opinión hacia la que me inclino actualmente [...]” (Faraday 1851/1855,[3175]). Usando la concepción de líneas de fuerza con existencia física, Faraday decía, por ejemplo: “la acción en líneas curvas debe depender de líneas de fuerza con existencia física” o, “ciertas líneas se expanden y se separan unas de otras.”(Faraday, 1851/1955, p. 453). (Pocoví, 2004).*

Después de las lecturas se realizaron actividades centradas en la comparación de la ontología de las líneas de campo como entendidas por Faraday y como concebidas en la actualidad. La Tabla II esquematiza los atributos ontológicos de una y otra visión:

**TABLA II.** Comparación ontológica entre la concepción actual de líneas de campo y la sostenida por Faraday.

Concepción de Faraday	Concepción Científica Moderna
Líneas tienen existencia física	Las líneas son entidades geométricas.
Líneas son transmisoras de efectos físicos	Las líneas son dibujos usados para representar una situación física
Las líneas se comportan como “elásticos”	Las líneas asignadas a una unidad de carga es fijada por la persona que las dibuja.

La utilización de textos como los del ejemplo y las actividades diseñadas con base en ellos, todas apuntadas a remarcar los atributos ontológicos de las líneas de campo eléctrico, resultó en una mejor comprensión de la ontología de las mismas (Pocoví, 2004 y Pocoví, 2007).

#### IV. TEXTOS CON DISTINTA CANTIDAD DE CONTENIDO ONTOLÓGICO: NATURALEZA TRANSITORIA DE LA CORRIENTE DE DESPLAZAMIENTO

En las investigaciones realizadas sobre el aprendizaje de la ontología de un concepto, se ha comprobado que, cuando la naturaleza del concepto a enseñar no se describe explícitamente en los textos que los alumnos utilizan para aprender, se puede llegar a inhibir el aprendizaje correcto del mismo (Pocoví y Hoyos, 2011). Un caso típico es el del concepto de corriente de desplazamiento.

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. En otras palabras, se trata de un concepto tipo proceso. 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 se muestra en la ecuación (1):

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 i_c \quad (1)$$

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

La explicación en el sistema lingüístico presente en el texto (o en palabras) que describe la situación física y la ontología de esta corriente, no siempre es clara y explícita. Podría decirse que, muchas veces, se espera que el lector procese la información, realizando la “traducción” desde el lenguaje simbólico al lingüístico y comprenda así la naturaleza del concepto en cuestión: la derivada temporal del flujo del campo eléctrico en un condensador implica que se está tratando con un sistema en estado transitorio (o sea, con una corriente de conducción dependiente del tiempo). En lo que sigue se resumirán los hallazgos relacionados con el aprendizaje de este atributo ontológico (detallados en Pocoví y Hoyos, 2011), logrado a partir de la lectura de los textos. Se mencionarán, primero, las características generalizadas de la presentación en los libros de texto y luego las carencias encontradas en los alumnos al aprender a partir de ellos.

La mayoría de los textos usados en el nivel universitario básico 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 adentro del capacitor; en términos ontológicos, la corriente de desplazamiento es un concepto tipo Proceso que involucra la variación de un conjunto de magnitudes físicas al mismo tiempo.

En los textos, el análisis de este carácter transitorio se realiza en distintos capítulos, centrando 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 se centra en la dependencia temporal de la corriente de conducción, de la carga y de la diferencia de potencial en el capacitor. En estas secciones de los libros 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 es el análisis del campo eléctrico variable en el tiempo adentro del capacitor; más aún, en las secciones correspondientes a la presentación de la corriente de desplazamiento, los textos suelen usar expresiones lingüísticas tales como "el campo eléctrico en el capacitor varía". Esta diferencia de enfoques en el texto, no muestra explícitamente la inmediata asociación entre la idea de "campo dependiente del tiempo" y la idea de "corriente dependiente del tiempo".

La situación descrita en el párrafo anterior, implica un riesgo potencial para lograr la comprensión del concepto de corriente de desplazamiento por parte del lector ya que éste podría llegar a asociarlo exclusivamente con un flujo de campo variable en el tiempo y no con una corriente en la misma situación. Si el alumno, a partir del texto, llegara a tener una concepción de estas características, no podría afirmarse que ha logrado la comprensión cabal del concepto de corriente de desplazamiento; i. e., si bien su concepción posee las características de un Proceso (variación del flujo del campo), éste no corresponde al científicamente aceptado pues no se le ha asignado el atributo ontológico que implica la variación de la corriente.

En la investigación realizada en Pocoví y Hoyos (2011), se utilizaron textos con distinto grado de explicitación lingüística de la naturaleza transitoria de la corriente de conducción que constituye una condición indispensable para la existencia de la corriente de desplazamiento en un capacitor. Entre lectura y lectura se solicitó a los participantes realizar actividades cuyas respuestas revelarían la comprensión ontológica del concepto. Por ejemplo, una de las actividades consistió en la resolución de un problema clásico limitado a la operatoria matemática para calcular la corriente de desplazamiento entre las placas de un capacitor circular y el campo magnético inducido. Luego, se requirió a los alumnos lo siguiente:

*EN BASE A LA LECTURA REALIZADA, establece qué condiciones físicas deberían plantearse en el enunciado del problema anterior y porqué, 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. (Pocoví y Hoyos, 2011)*

Las respuestas de los alumnos fueron evolucionando desde una combinación de las ideas de "campo eléctrico variable y corriente constante", luego de la lectura con menos cantidad de ontología explicitada, hacia "campo eléctrico variable y corriente variable", luego de la última lectura con alto contenido ontológico descripto de forma lingüística.

Estos resultados muestran que la comprensión del atributo ontológico de la corriente de desplazamiento como un concepto tipo Proceso de carácter transitorio y asociado con magnitudes transitorias en el circuito, es mejor comprendido cuando se explicita este carácter en forma lingüística en el texto. Más aún, se puso de manifiesto que la falta de explicitación del atributo ontológico ("ser transitorio") indujo a los alumnos a considerar que la corriente de conducción existe pero es constante, mostrando que la falta de conocimiento ontológico de una magnitud impide el conocimiento profundo de la situación física.

## **V. LECTURA RICA EN ONTOLOGÍA, COMPLEMENTADA CON ACTIVIDADES QUE FAVORECEN LA COMPRESIÓN: EL CASO DE LA ACELERACIÓN**

Las referencias relacionadas con el aprendizaje del concepto de aceleración abundan desde hace tiempo en las Investigaciones en Enseñanza de Ciencias (Trowbridge y Mc Dermott, 1981; Mc Dermott, 1984; Driver, 1986; Giorgi y otros, 2005; Reif, 2008). La mayoría de estos trabajos previos se han centrado en el análisis de las concepciones de estudiantes acerca de la relación entre aceleración y fuerza (que, para muchos estudiantes, consiste en la relación movimiento implica la existencia de una fuerza). El estudio del aprendizaje de la definición cinemática de la velocidad desde el punto de vista de la Teoría del Cambio Conceptual Ontológico se está desarrollando desde hace unos años y, para hacerlo, se ha usado un

marco teórico que complementa al recién mencionado y a la visión de Alexander y Kulikovich (1994) sobre los textos científicos. Éste es el presentado por Brown y otros (2004) y se refiere a actividades que promueven la metacognición y que han sido denominadas, por estos autores "Actividades que Favorecen la Comprensión" (en adelante, AFC) y que se realizan luego de una lectura.

El planteo de estas investigaciones consistió, primeramente, en el análisis ontológico de la definición cinemática de la aceleración para poder, a partir de éste, diseñar y planear una intervención didáctica acorde. Para ello, siguiendo la innovación de la Teoría de Chi presentada en 2008 y 2013 y en Chi y otros (2012), se analizaron las componentes ontológicas del concepto para determinar si el tipo de Proceso asociado con el mismo es Secuencial o Emergente. A continuación se describen de manera resumida, las características de la aceleración que resultan en categorizarla como un concepto de tipo Proceso Secuencial (Ledesma y Pocoví, 2013), considerando que esta descripción también ayudará a comprender cómo se realiza el análisis ontológico de un concepto.

La definición cinemática de la aceleración involucra dos componentes: el cambio de velocidad y el incremento de tiempo. El patrón observado es un movimiento acelerado.

En cuanto a las interacciones entre las componentes, se puede notar que el comportamiento de las mismas es de diferente naturaleza ya que una, el cambio de velocidad, es una magnitud vectorial mientras que la otra, el intervalo de tiempo, es una magnitud escalar. La interacción entre las componentes del concepto aceleración no es azarosa sino restringida ya que corresponde a un cociente en donde el numerador siempre es el cambio en la velocidad y el denominador es siempre el intervalo de tiempo considerado. Cada una de las componentes se calcula con base en diferencias que son secuenciales: la velocidad inicial se resta de la final, y lo mismo para el intervalo de tiempo. La interacción entre las componentes de un Proceso Secuencial termina cuando no existe patrón; es decir, el cociente entre el cambio de velocidades y el intervalo de tiempo es nulo cuando el movimiento no es acelerado. La interacción entre las componentes de la aceleración es dependiente ya que las velocidades involucradas en la diferencia del numerador corresponden a los tiempos involucrados en la diferencia del denominador. Todas las características enumeradas anteriormente corresponden a la forma de interacción de las componentes de los conceptos tipo Proceso Secuencial según Chi (2008 y 2013) y Chi y otros (2012).

Además, el análisis ontológico se debe completar considerando la interacción componentes-patrón de la siguiente manera. La diferencia de velocidad y el intervalo de tiempo tienen estatus bien diferenciados en el rol que cumplen en el movimiento acelerado resultante; mientras la aceleración es proporcional al cambio de velocidad, es inversamente proporcional al intervalo de tiempo. El comportamiento de las componentes afecta en forma directa el patrón observado ya que un cambio en el valor de cualquiera de las componentes resulta en un movimiento acelerado diferente. Las componentes son de carácter incremental. El comportamiento de algunas de las componentes se corresponde con el patrón global observado: el cambio de velocidad corresponde a la dirección y sentido de la aceleración del movimiento resultante. Las interacciones componente-patrón enunciadas previamente, corresponden a las que posee un concepto tipo Proceso Secuencial según Chi (2013).

El análisis descripto previamente permite concluir que tanto las interacciones entre componentes como las interacciones componente-patrón del concepto aceleración, corresponden a las de un concepto tipo Proceso Secuencial (o Directo). Una vez realizado el análisis ontológico del concepto a aprender, se procedió a elaborar los textos ricos en el sistema lingüístico y apuntados a describir los atributos ontológicos de la aceleración, recién mencionados (Ledesma y Pocoví, 2013). Con base en este texto y mediante la reducción a un mínimo de las explicaciones lingüísticas, se obtuvo el texto pobre en descripción ontológica. Una primera comparación de la comprensión lograda por los alumnos con uno y otro texto reveló que, existe una mejora en la misma cuando los sujetos aprenden con base en el texto rico en especificaciones ontológicas realizadas mediante traducciones lingüísticas. Sin embargo, en el trabajo citado se detectó que algunos de los alumnos que iniciaban el aprendizaje con ideas sobre la aceleración correspondientes a la categoría de conceptos tipo Materia, todavía no lograban el cambio conceptual después de la lectura del texto rico en explicaciones ontológicas en el sistema lingüístico. Más aún, se determinó que estos alumnos realizaban un primer cambio conceptual correspondiente al corrimiento desde una idea material de la aceleración hacia una idea tipo Proceso pero que no coincide con el aceptado científicamente; i.e., estos alumnos pasaban de usar predicados materiales como "la aceleración se gasta" a describirla como un proceso dependiente de la velocidad y no de su cambio. Se decidió, entonces, diseñar e implementar AFC (Brown y otros, 2004) de manera de obtener una mejora aún más notoria en el número de alumnos que lograban realizar el cambio conceptual hacia la idea científica de aceleración. Estas AFC fueron diseñadas con el objeto de reforzar, luego de la lectura, las distintas relaciones componente-componente y componente-patrón que definen la ontología de la aceleración y fueron realizadas en grupos de alumnos. Por razones de espacio, sólo se presentará un ejemplo en el cual se han agregado entre corchetes las relaciones que se desean resaltar:

Justifica, en cada una de las siguientes situaciones, por qué no es posible determinar la aceleración del móvil.

○ Un automóvil, que se desplaza a lo largo de una ruta recta de derecha a izquierda, acelera desde el reposo hasta alcanzar una velocidad de magnitud 20 m/s. [identificación del intervalo de tiempo como componente de la aceleración]

○ Un automóvil, que circula en una pista recta, disminuye la magnitud de la velocidad a la cual circula, hasta finalmente detenerse al cabo de 3 s. [identificación del intervalo de tiempo como componente de la aceleración]

○ Una partícula, se desplaza a lo largo del eje de las  $x$ , acelera de manera que la magnitud de la velocidad a la cual circula aumenta de 20 m/s a 30 m/s en 6 s. [el comportamiento de la componente "cambio de velocidad" es de diferente naturaleza que el comportamiento del "intervalo de tiempo", ya que la primera es una magnitud vectorial mientras que la segunda, es una magnitud escalar].

○ Una partícula se mueve de manera tal que la magnitud de la velocidad a la cual circula aumenta de 5 m/s a 15 m/s. El cronómetro marca 2 s cuando se mide la velocidad inicial. [La interacción entre las componentes de la aceleración es dependiente ya que las velocidades involucradas en la diferencia del numerador deben corresponder a los tiempos involucrados en la diferencia del denominador].

Una medida de la comprensión lectora lograda luego de la realización de estas actividades mostró que ésta se incrementó significativamente, comparada con aquella lograda exclusivamente a partir de la lectura de un texto rico en contenido ontológico-lingüístico (Ledesma y Pocoví, 2013).

## VI. CONCLUSIONES

El propósito de este artículo fue mostrar algunos resultados de una línea de investigación en la que se ha desarrollado en la Universidad Nacional de Salta, desde hace tiempo. En este sentido, se ha mostrado la manera en que la naturaleza de un concepto puede explicitarse mediante textos ricos en historia y ontología. Para este caso, se eligieron dos ejemplos, campo eléctrico y las líneas de campo, con los cuales se ha trabajado mediante la comparación entre las ontologías de las nociones históricas con las actuales. Además, se mencionó otro ejemplo, referido a la corriente de desplazamiento, en el cual se estudió el efecto de textos con distinta cantidad de explicitación ontológica. En este caso se estableció que, para lograr una mejor comprensión del concepto, se necesita explicitar la naturaleza transitoria de los circuitos en los cuales existe (durante cierto tiempo) una corriente de desplazamiento. Más aún, la falta de esta explicitación induce a los alumnos a pensar en una situación de equilibrio que no corresponde al tipo de proceso estudiado. Por último, se describió el caso correspondiente al aprendizaje del concepto de aceleración en el cual se mostró que la comprensión de la naturaleza del concepto a partir de textos ricos en ontología se ve todavía mejorada con el uso de AFCs centradas en resaltar los atributos ontológicos del concepto a aprender.

Las propuestas realizadas en este trabajo pretenden mostrar una opción posible para contribuir al desarrollo en las investigaciones en Enseñanza de Física. Sería valioso, en el futuro, poder ampliar este tipo de investigaciones a más temas y buscar otras líneas de investigación que complementen lo establecido en lo presentada aquí.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a Enrique Coleoni por sus valiosos comentarios y sugerencias sobre este artículo.

## REFERENCIAS

Alexander, P.A. y Kulikowich, J.M. (1994). Learning from a physics text: A synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 895-911.

Alexander, P.A. y Jetton, T.L. (2000). Learning from text: A multidimensional and developmental perspective. En Kamil, M. y otros (Eds.) *Handbook of research of reading research. Vol III*. NJ: LEA, Inc.

- Alexander, P. A. y Mayer, R. E. (2011). Introduction to research on instruction. En Mayer y Alexander, (Eds.) *Handbook of research of learning and instruction*. NY: Routledge.
- Brown, A. L., Palincsar, A. S. y Armbruster, B. (2004). Instructing Comprehension-Fostering Activities in interactive learning situations. En Ruddell y Unrau, (Eds.), *Theoretical models and processes of reading*. Newark: International Reading Association.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. En Giere, R. (Ed.) *Minnesota studies in the philosophy of science* Vol. XV. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14,161-199.
- Chi, M. H. T. (2008). Three types of conceptual change: belief revision, mental model transformation, and categorical shift. En Vosniadou, S. (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. H. (2013). Two kinds and four sub-types of misconceived knowledge, ways to change it, and the learning outcomes. En Vosniadou, S. (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (2nd ed.). New York, NY: Routledge Press.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D. and de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4,27-43.
- Chi, M. T. H. y Roscoe, R.D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. En Limon, M. y Mason, L. (Eds.), *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Chi, M. H. T., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., y Chase, C. C. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, 36(1),1-16.
- Craig, S., Chi, M. T. H., y VanLehn, K. (2009). Improving classroom learning by collaboratively observing human tutoring videos while problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 101(4),779-789.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. En Sawyer K. (Ed.), *Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Driver, R. (1986). Psicología cognitiva y Esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1),3-15.
- Faraday, M. (1851/1955). Experimental researches in electricity. En Maynard Hutchings (Ed.) *Great books of the western world*. London: Encyclopedia Britannica Inc. (Trabajo original publicado en 1851).
- Giorgi, S., Concari, S., Pozzo, R. (2005). Un estudio sobre las estudiantes acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento. *Ciência & Educação*, 11(1),83-95.
- Holschuh, J. P. y Aultman, L. P. (2009). Comprehension development. En Flippo y Caverly, (Eds.), *Handbook of college reading and study strategy research*, (2° Ed.) NY: Routledge.
- Jones, T.A. (1983). Investigation of students' understanding of speed, velocity and acceleration. *Research in Science Education*, 13,95-104.
- Keil, F. (1979). *Semantic and conceptual development: An ontological perspective*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Ledesma, L. y Pocoví, M. C. (2013). Ontología del concepto de aceleración: su comprensión mediante el aprendizaje a partir de textos. *Latin American Journal of Physics Education*, 7(1),68-78.

- Ledesma, L. y Pocoví, M. C. (2015). Diferencias entre los procesos de aprendizaje de los alumnos con ideas iniciales de categorías ontológicas distintas. *Actas de la X Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*. Mayo, 2014, Salta.
- Mc Dermott, L. C. (1984). Research on Conceptual Understanding in Mechanics. *Physics Today*, 24-32.
- Nersessian, N. (1984). *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Nist, S.L. y Simpson, M. (2000). College Studying. En Kamil, M. y otros (Eds.) *Handbook of Reading Research*. Vol. III. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pocoví, M. C. (2000). Students' ideas about electric field after traditional instruction. *Proceedings of the VII Interamerican Conference on Physics Education*. Versión CD (s/n de página) Porto Alegre, Brasil, Julio 3-7.
- Pocoví, M. C. (2004). *Research on the effects of a history based curriculum on the students' concepts of electric field and lines of force*. Editorial: ProQuest Company. Ann Arbor, Michigan.
- Pocoví, M. C. (2007). The effects of a history-based instructional material on the students' understanding of field lines. *Journal of Research in Science Teaching*, 4(1), 107-132.
- Pocoví, M. C. y Finley, F. (2002). Lines of force: faraday's and students' views. *Science and Education*, 11(5), 459-474.
- Pocoví, M. C. y Finley, F. (2003). Historical Evolution of the Field View and Textbook accounts. *Science and Education*, 12(4), 387-396.
- Pocoví, M. C. y Hoyos, E. (2011). Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes, *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 29(2), 275-288.
- Purcell, E. M. (1969). *Electricidad y Magnetismo*. (Carrera, M: P, traductor) España: editorial Reverté.
- Reif, F. (2008). *Applying cognitive science to education: Thinking and learning in scientific and other complex domains*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H. y Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: a commitment to substance – based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34.
- Slotta, J. D. y Chi, M.T.H. (2006). The impact of ontology training on conceptual change: Helping students understand the challenging topics in science. *Cognition and Instruction*, 24(2), 261-289.
- Slotta, J. D., Chi, M. T. H. y Joram, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13, 373-400.
- Stanovich, K.E. (2004). Matthew effects in reading: some consequences of individual differences in the acquisition of literacy register. En Ruddell, R.B. y Unrau N. J. (Eds.) *Theoretical Models and Processes of Reading*. Newark, DE: International Reading Association.
- Trowbridge, D.E. y Mc Dermott L. C. (1981). Investigation of Student Understanding of the Concept of Acceleration in One Dimension. *American Journal of Physics*, 48, 242-253.