

# Ontología del concepto de aceleración: su comprensión mediante el aprendizaje a partir de textos



Ledesma Liliana<sup>1</sup>, Pocovi M. Cecilia<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, CP 4400, Salta, Argentina.

<sup>2</sup>Agencia de Promoción Científica y Tecnológica, Godoy Cruz 2370 (C1425FQD) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

**E-mail:** lilianaledesma@outlook.com

(Recibido el 11 de Septiembre de 2012; aceptado el 5 de Febrero de 2013)

## Resumen

En este trabajo se estudian los efectos que los siguientes tres factores producen sobre la comprensión de la ontología del concepto de aceleración: las traducciones lingüísticas explícitas en los textos, el tipo de conocimiento previo de los lectores y la realización de Actividades que Favorecen la Comprensión (en adelante, AFC, según Brown, Palincsar y Armbruster, [1]). Dicho estudio se realizó mediante el desarrollo y la evaluación de una estrategia de enseñanza que incluye el diseño de material didáctico creado para ayudar a superar deficiencias relacionadas con los tres factores. Los efectos de esta estrategia sobre el aprendizaje, se midieron a partir del desempeño de los estudiantes en las distintas instancias evaluadoras de un curso de Física básica dictada a los alumnos que se aprestan a cursar Física I en las carreras de ingeniería.

**Palabras clave:** Ontología, comprensión de textos, aceleración, sistema lingüístico.

## Abstract

The effects that three factors produce on understanding the ontology of the acceleration concept from a written text are studied. The factors are: the explicit linguistic translations within the text, the type of knowledge that the reader holds before reading the text and the performance of Comprehension Fostering Activities (CFA, according to Brown, Palincsar and Armbruster [1]). This study was carried out through the design and evaluation of a teaching strategy that includes the design of didactic material that was created to help overcome the deficiencies related to the three factors. The effects of this strategy on learning were measured on the basis of the students' performance in different evaluations in a course of basic Physics taught to students that are about to begin Physics I at engineering careers.

**Keywords:** Ontology, reading comprehension, acceleration, linguistic system.

**PACS:** 01.40.Fk, 01.40.gb, 01.40.Ha

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Los textos científicos constituyen uno de los principales materiales de aprendizaje que se emplean en el estudio de las ciencias [2] y en particular de la Física [3]. A nivel universitario, la lectura es una actividad que se asocia al aprendizaje de nuevos conceptos por parte del alumno.

En este trabajo se estudiará, para el caso particular del concepto de aceleración, los efectos que la lectura de distintos textos, el tipo de conocimiento previo de los alumnos y la realización de actividades de carácter metacognitivo tienen sobre la comprensión de los alumnos. El aprendizaje del concepto de aceleración, ya ha sido estudiado desde otros marcos teóricos [4, 5, 6, 7, 8, 9]. En la mayoría de estos trabajos previos, se han analizado las concepciones de los estudiantes acerca de la relación entre

aceleración y fuerza (que, para muchos estudiantes, consiste en una relación fuerza-movimiento). El aporte original de esta investigación es que se realizó a partir de la combinación de tres marcos teóricos que, a criterio de las autoras no se oponen sino que se complementan: Alexander y Kulikowich [10] y Alexander y Jetton [11] fueron tomadas como referentes para el diseño de los textos experimentales; la Teoría de Chi [12, 13, 14] fue tomada como referente para definir lo que se entiende por comprensión de un concepto y por cambio conceptual y, finalmente, la Teoría de Brown et al. [1] fue tomada como referente para el diseño de actividades metacognitivas que se utilizan para complementar las lecturas y ayudar a la comprensión. A continuación se presentarán someramente estos tres marcos referenciales para mostrar las ideas más importantes de cada contribución teórica. Para ello se

resumirán algunos estudios previos correspondientes a cada uno, y se mostrará en qué contribuirá cada marco al estudio planteado.

## II. MARCOS SELECCIONADOS: TRES PARTES DE UN TODO

Investigaciones llevadas a cabo en el Área de Lectura se han abocado al estudio de las características de los textos que afectan su comprensión. Existen trabajos que han centrado su atención en la influencia de la estructura de los textos sobre la comprensión del material escrito. Por ejemplo, Kintsch [15], McNamara [16] pusieron de manifiesto que la mayor coherencia del texto (grado de claridad con la que se relacionan las ideas dentro de un texto), afecta positivamente la comprensión. Sostienen que cuando las oraciones consecutivas se superponen conceptualmente, el lector puede procesarlas más rápido y hay mayores probabilidades de que recuerde su contenido. De la misma manera, cuando las relaciones entre las ideas se explicitan mediante el uso de conectores tales como “en consecuencia”, “porque”, “asimismo” y “por lo tanto”, es más probable que el lector entienda y recuerde esas relaciones. Por su parte, Nist y Simpson [17] analizan cómo la organización y las “ayudas” existentes en el texto (resaltados en negrita, recuadros, etc.) influyen en la comprensión del mismo. Mc Keown, Beck y Blake [18] detectaron que algunos libros de texto que se utilizan en las clases de ciencias requieren, para su comprensión, información previa que los alumnos generalmente no poseen. Además, muchas veces presentan información importante de manera escueta e imprecisa, lo cual interfiere con el aprendizaje del tema. Britton y Gulgoz [19] han analizado el nivel de dificultad de los textos de acuerdo al conocimiento previo de los estudiantes y sostienen que muchas veces es necesario re-escribir los textos de manera de facilitar al lector la relación entre lo que lee y lo que ya sabe para mejorar su comprensión.

Las investigaciones sobre procesos de lectura suelen, tradicionalmente, dividirse en dos grupos: aquellas que se centran en el aprendizaje inicial del proceso de lectura y aquellas que analizan el desarrollo de la comprensión de textos más avanzados. Esta división puede notarse, por ejemplo, en las secciones y capítulos diseñados en libros fundamentales sobre investigaciones en lectura como por ejemplo, los editados por Ruddell y Unrau [20] y por Israel y Duffy [21]. Dentro del segundo grupo son importantes los estudios centrados en la comprensión de textos científicos dada la complejidad propia del contenido y las características especiales de los lectores. Por ejemplo, en una investigación llevada a cabo por Spiro, Coulson, Feltovich y Anderson [22] con estudiantes de medicina detectaron que, muchas veces, el conocimiento previo no favorece la comprensión de los textos y, en cambio, puede llegar a inhibir su comprensión, ya que los alumnos tienden a sobre-simplificar las estructuras complejas (reductive bias).

Alexander y su grupo de investigación se han destacado por su estudio, a lo largo de décadas, de los procesos de comprensión lectora asociados con la naturaleza de la disciplina acerca de la cual se lee [23, 24, 11]. Alexander y Kulikowich [10] clasifican a los textos de Matemática y Física como “bilingües” ya que la información se presenta utilizando modos de inscripción variados que corresponden a símbolos matemáticos e información lingüística. Estas autoras se refieren a dichos modos de inscripción como sistema simbólico y lingüístico respectivamente. Mientras que el sistema simbólico consiste en las fórmulas, gráficos y ecuaciones, el sistema lingüístico se refiere a las aclaraciones verbales que se utilizan para describir el sistema físico bajo estudio. Cuanto mayor es la cantidad de sistema lingüístico referido a estas descripciones físicas, menor es el requerimiento de procesamiento de la información durante la lectura (decodificación de símbolos) y, por lo tanto, mayor es la probabilidad de lograr la comprensión de lo que se lee. En otras palabras, el cambio conceptual de los alumnos a partir de los textos leídos está relacionado con cuán directa es la “traducción” desde el sistema simbólico al sistema lingüístico.

Ya en 1988 Dee-Lucas y Larkin [25] resaltaron una característica distintiva del sistema simbólico que se emplea en los textos de ciencias para describir la situación Física: el contenido del sistema simbólico es fácil de recordar pero difícil de comprender. En este sentido, afirman que el proceso de decodificación para obtener la representación semántica del concepto es complejo y muchos estudiantes no logran realizarlo con éxito. Investigaciones previas en el área de Enseñanza de Ciencias, han detectado que, el conocimiento de la expresión analítica del concepto a aprender no equivale a una comprensión correcta del concepto [26]. Muchas veces los estudiantes novatos tienden a centrarse en las ecuaciones matemáticas que describen los fenómenos y no en los conceptos físicos detrás de las ecuaciones [27, 28]. A pesar de estos resultados alcanzados en la investigación, Reif y Larkin [29] señalan que muchos libros de texto empleados en las clases de ciencias suelen destacar las fórmulas matemáticas, hasta el punto de mostrar sólo listas de ellas.

De lo dicho anteriormente, se justifica el primer marco de referencia que servirá para guiar la elaboración de dos textos experimentales sobre el concepto de aceleración: uno pobre y otro rico en contenido lingüístico.

La comprensión de textos, considerando sus características simbólicas y lingüísticas, también ha sido estudiada teniendo como foco la naturaleza u ontología del concepto presentado, como se explica en lo que sigue. Si bien un experto puede comprender la ontología de un concepto analizando el sistema simbólico (ecuaciones) [30] esta comprensión resulta extremadamente difícil para una persona novata en el tema, como lo son los alumnos que estudian un concepto por primera vez [31, 32]. Más aún, se ha detectado que ciertas expresiones lingüísticas pueden llevar a una mala interpretación del sistema simbólico que describe la física del problema considerado [33]. Más específicamente, estas investigaciones muestran que

algunos alumnos llegan a considerar que el concepto a aprender posee una naturaleza distinta de la científicamente aceptada. Como vemos, hace falta ahora definir el marco conceptual considerado para definir lo que entenderemos por “cambio conceptual” y por “comprensión de un concepto”. Para ello, explicitaremos algunas de las características salientes de la Teoría presentada por Chi y su equipo de investigación.

Chi [12, 13, 14], establece que las entidades en el mundo pueden asignarse a diferentes categorías ontológicas. McNamara, Sternberg [citado en [12] establecen que una categoría, es una estructura conceptual, un sistema clasificatorio que puede definirse con precisión, donde cada miembro o entidad perteneciente a la misma categoría, comparte una serie de atributos definidos (atributos que todos los miembros de la categoría deben poseer) y un conjunto de atributos ontológicos (atributos que los miembros pertenecientes a una categoría ontológica pueden potencialmente poseer). Los atributos ontológicos permiten determinar si un concepto pertenece a una determinada categoría. Por ejemplo “masa” (en el sentido de la mecánica clásica) pertenece a la categoría de conceptos tipo materia, porque los atributos asociados con esta categoría, como ser empujable, ser contenible, ocupar un lugar en el espacio, ser trasladable, entre otros, forman una oración con sentido cuando se utilizan como predicados de “masa” [12, 34, 35, 36]. Se puede distinguir las frases falsas de aquellas frases sin sentido usando la característica “potencial” que tienen los atributos ontológicos. Un trozo de vidrio (concepto tipo materia) puede ser predicado con el adjetivo “de color blanco” (atributo ontológico de los objetos materiales), y se obtiene como resultado la frase “el vidrio es blanco” que constituye una frase con sentido pero falsa, si el vidrio es transparente [13]. En cambio, si predicamos vidrio con “ocurre durante un intervalo de tiempo” (atributo ontológico de la categoría procesos) nos dará como resultado una frase sin sentido: “el vidrio ocurre en una hora”.

Dos categorías son ontológicamente distintas si los atributos de una categoría no son aplicables a los miembros de otra categoría [12, 13]. Una de las consecuencias principales, de esta teoría, es que el significado de un concepto está dado por la categoría a la cual se asigna el concepto. Keil [36], uno de los precursores de esta línea de investigación, demostró que incluso niños pequeños hacen uso de las categorías ontológicas para interpretar el mundo que les rodea con mucha eficiencia ya que les permite asignar y predecir muchas propiedades a partir de la categorización en entidades conocidas.

Siguiendo la línea ontológica planteada por Keil, Chi propone un número reducido de categorías ontológicas principales: Entidades (o Materia), Procesos y Estados Mentales [14]. Chi [12] afirma que las categorías de conceptos tipo Materia y tipo Procesos son de gran importancia en la enseñanza de Física. Estas categorías ontológicas principales difieren de las otras ya que los conceptos pertenecientes a cada una no comparten los mismos atributos ontológicos. En otras palabras, un aspecto

crítico de los atributos ontológicos es que no pueden ser aplicados a conceptos de otra categoría (los atributos ontológicos son intransferibles de una categoría a otra).

A su vez, cada categoría ontológica principal incluye un conjunto jerárquico de subcategorías. En tal sentido la categoría de conceptos tipo Proceso se subdivide en las subcategorías Procesos Secuenciales y Procesos Emergentes [14, 37, 38]. Si bien los procesos emergentes son de gran importancia entre los conceptos de Física, limitaremos (por razones de espacio) nuestra descripción a los procesos secuenciales que, como se verá resulta ser la categoría del concepto de aceleración.

Los conceptos que pertenecen a la categoría tipo Proceso se caracterizan por presentar componentes que interactúan entre sí, para dar lugar a un patrón observable [14, 38]. La subcategoría de conceptos tipo Procesos Secuenciales posee un conjunto de atributos ontológicos que pueden ser enunciados considerando el comportamiento de sus componentes [14, 38]. Las componentes de un proceso secuencial son de diferente naturaleza, interactúan de manera restringida y secuencial, se puede identificar una terminación de la interacción y las componentes son dependientes entre sí.

También, los conceptos tipo Procesos Secuenciales pueden ser caracterizados considerando los tipos de interacciones entre las componentes y el patrón observado [14, 38]: un solo componente puede producir el patrón observado, el mecanismo que produce el patrón observado es un cambio incremental, los eventos locales y el patrón observado actúan de una forma correspondiente.

En su trabajo de 2008, Chi [14] explica cómo la relación entre la ontología inicialmente asignada por un alumno a un concepto y la ontología (metafísica) del mismo determina el tipo de proceso que deberá llevar a cabo para lograr el aprendizaje. Así, denomina “cambio conceptual” a aquel que se da cuando el aprendiz califica inicialmente al concepto a aprender dentro de la misma categoría ontológica a la que pertenece el concepto científico (aunque no en la misma rama). Por otro lado, si el concepto inicialmente no es concebido dentro de la categoría ontológica correcta, el aprendizaje se llevará a cabo mediante el proceso de “cambio conceptual radical” [14].

Investigaciones encuadradas en la Teoría de Cambio Conceptual de Chi [37,14] han determinado que si un estudiante realiza una categorización ontológica incorrecta de un concepto asignándole atributos ontológicos no adecuados, se puede decir que el estudiante no posee un conocimiento acabado de la entidad en cuestión. En otras palabras, el estudiante no ha logrado el cambio conceptual hacia las concepciones científicas.

Se han realizado investigaciones en base a distintas estrategias didácticas que se centran en la presentación de los atributos ontológicos de un concepto para su aprendizaje: Slotta y Chi [32] trabajaron con simuladores para presentar la ontología del concepto de equilibrio termodinámico, Pcoví [28] utilizó episodios de la historia de la Física para enseñar la ontología de distintos conceptos. Otra forma de presentar a los alumnos los

atributos ontológicos de una entidad es por medio de descripciones lingüísticas en textos escritos. En este caso, se estarían combinando los hallazgos de las dos áreas de investigación mencionadas hasta ahora (investigaciones sobre procesos de lectura y aquellas sobre cambio conceptual) para diseñar textos que puedan favorecer la comprensión de los lectores. Entendiendo por textos ricos en explicaciones lingüísticas a aquellos que se centran en la descripción lingüística de la ontología de un concepto, podemos preguntarnos acerca de los efectos que estos textos tienen sobre la comprensión de los alumnos (también entendida desde el punto de vista ontológico de Chi). Además, podemos también indagar acerca de las diferencias en la comprensión lograda dependiendo de las concepciones previas (ontológicamente hablando) de los estudiantes.

Antes de proceder a analizar la naturaleza del concepto de aceleración, se debe presentar otro hallazgo de las Investigaciones en Lectura que constituirá el tercer marco teórico en el que se apoya el planteo de la presente investigación.

Holschuch y Aultman [39] 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 los malos lectores es más notable en la universidad cuando se espera que los estudiantes posean habilidades de este tipo (p. 122). En 2004, Brown, Palincsar y Armbruster [1] presentaron un tipo de estrategias metacognitivas asociadas con actividades a las que denominaron Actividades que Favorecen la Comprensión (CFA: Comprehension Fostering Activities) (p. 788). Si bien los trabajos citados por ellas tuvieron como muestra a escolares de séptimo grado que leen para aprender contenido nuevo, existe evidencia [24] que muestra que estas estrategias de procesamiento de tipo profundo juegan un papel más importante cuanto más se avanza en la etapa de competencia media (no experta) en lectura, dentro de la cual se puede categorizar a los estudiantes novatos en Física. En un trabajo anterior se refieren a los problemas académicos que experimentan los estudiantes universitarios que no poseen habilidades metacognitivas [11]. Este estudio confirma nuevamente que los estudiantes universitarios pueden considerarse lectores que aprenden contenido nuevo a partir de textos y tienen problemas de comprensión similares a los presentados en estudiantes de edad escolar.

Las características principales de las actividades mencionadas (AFC) es que deben ayudar a: 1) clarificar los propósitos de la lectura, 2) activar el conocimiento previo relevante, 3) focalizar la atención en el contenido más importante del texto, 4) evaluar críticamente el contenido para probar su consistencia interna y la compatibilidad con el conocimiento previo y el sentido común, 5) revisar periódicamente la comprensión y 6) realizar inferencias [12].

Una combinación de los hallazgos de las tres áreas mencionadas (AFC, cambio conceptual y lectura) permite realizar el diseño de actividades a realizar durante el proceso de lectura de un texto rico en explicaciones lingüísticas y comparar los efectos de dicha intervención con, por ejemplo, lo comprendido a partir exclusivamente de la lectura. Aplicaremos este marco teórico combinado al caso del aprendizaje del concepto de aceleración.

### III. ANÁLISIS ONTOLÓGICO DEL CONCEPTO ACELERACIÓN

Ya que, una condición necesaria para planear una intervención didáctica, desde el punto de vista de la Teoría de Chi es conocer la ontología de la magnitud a enseñar, aplicaremos esta teoría para analizar qué tipo de concepto es la aceleración. Para ello se seguirá el lineamiento propuesto por Chi [14, 38] que sugiere el análisis de las interacciones entre las componentes y el análisis de las interacciones entre las componentes y el patrón. Se mostrará, entonces, a continuación que el concepto de aceleración pertenece a la categoría de conceptos tipo Procesos Secuenciales (según Chi [35], antes llamados Directos en Chi, [14]).

La definición cinemática de la aceleración involucra dos componentes: el cambio de velocidad y el incremento de tiempo. El patrón observado será 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 en base a 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 directo 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.

Además, en relación a la interacción componentes-patrón, la diferencia de velocidad y el intervalo de tiempo tienen estatus bien diferenciados en el rol que cumplen en el movimiento acelerado resultante. 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.

El análisis previo permite concluir que tanto las interacciones entre componentes como las interacciones componente-patrón corresponden a las de un concepto tipo Proceso Secuencial (o Directo).

#### **IV. PLANTEO DEL PROBLEMA Y DE LAS CORRESPONDIENTES HIPÓTESIS DE TRABAJO**

De lo antedicho, podemos señalar distintos aspectos de un mismo problema que serán plasmados en las hipótesis de trabajo.

Por un lado, dijimos que la Teoría de Chi [14] plantea la existencia de procesos de aprendizaje diferentes de acuerdo a los distintos tipos ontológicos de conocimiento previo de los estudiantes. Además, esta teoría afirma que, la enseñanza debe apuntar a que el alumno aprenda los atributos ontológicos correspondientes a la categoría ontológica del concepto a aprender. La descripción de dichos atributos puede realizarse utilizando el sistema lingüístico. Entonces es de esperar que, tanto en el caso de textos ricos en sistema lingüístico como en el de textos simbólicos, exista una diferencia en la comprensión lograda dependiendo de la ontología del conocimiento previo del lector y su diferencia con la ontología del concepto científico. Cabe remarcar nuevamente que, en este trabajo tomaremos una definición más restringida del sistema lingüístico presente en un texto que la que considera Alexander ya que nos interesan exclusivamente las palabras y frases que involucran la descripción de la ontología de un concepto. Por lo tanto, se pueden plantear las siguientes hipótesis de trabajo referidas a esos hechos:

- a) El nivel de comprensión alcanzado por los estudiantes, a partir de la lectura de textos tradicionales, depende de sus conocimientos previos.
- b) El nivel de comprensión alcanzado por los estudiantes, a partir de la lectura de textos con alto contenido lingüístico y con el sistema simbólico limitado a esquemas depende de sus conocimientos previos.

Por otro lado, Alexander y Kulikowich [10] y Alexander y Jetton [11] establecen en su teoría que el sistema lingüístico en los textos facilita su comprensión ya que requiere del lector un menor procesamiento de la información presentada en símbolos. En este caso, es válido plantear una tercera hipótesis de trabajo:

- c) La utilización de textos con alto contenido lingüístico y con el sistema simbólico limitado solo a esquemas mejora la comprensión de los conceptos físicos comparada con la que se logra utilizando textos con alto contenido simbólico y escasas traducciones lingüísticas.

Finalmente, Brown et al. [1] establecen que la realización de actividades de carácter metacognitivo propician la comprensión de los textos. Por lo tanto, planteamos:

- d) Las actividades que se llevan a cabo durante el proceso de lectura de un texto rico en explicaciones lingüísticas logra mejorar la comprensión de los conceptos físicos comparada con la que se logra sólo con la lectura de textos con alto contenido lingüístico.

#### **V. DISEÑO Y METODOLOGIA**

La investigación se planteó con un diseño pre-experimental o de un solo grupo [40]. La muestra de alumnos con la que se trabajó corresponde a los 56 alumnos que se aprestan a cursar Física I en carreras de ingeniería y asisten a un curso previo (no obligatorio) en el cual se imparten algunos conocimientos de Física básica. Se detallan a continuación los distintos pasos seguidos, como guiados por los marcos seleccionados y las hipótesis de investigación.

La Teoría de Cambio Conceptual adoptada predice que el proceso de aprendizaje dependerá de la ontología asignada inicialmente por los alumnos al concepto a aprender. Con esta idea en mente, se diseñó una encuesta inicial para poder clasificar el tipo de conocimiento previo de los alumnos, según su ontología. Para ello, la encuesta plantea diversas situaciones de movimiento acelerado las cuales se describen mediante proposiciones que contienen predicados correspondientes a distintas categorías ontológicas. Algunas de ellas se construyeron utilizando atributos ontológicos de la aceleración como “proceso directo” (categoría ontológica correcta) y otras con atributos que corresponden (erróneamente) a la idea de aceleración entendida como “entidad” o como “proceso erróneo”. Los enunciados de las proposiciones que no corresponden a “proceso secuencial” fueron inspiradas en las respuestas dadas por estudiantes en una prueba piloto realizada en una cohorte anterior de alumnos. Por razones de espacio, sólo presentaremos algunos ejemplos de las proposiciones mencionadas de la encuesta inicial:

- “*La aceleración del auto blanco es mayor que la aceleración del auto gris pues el cambio de velocidad del auto gris tardó más tiempo en producirse.*” (Atributo de proceso secuencial: esta respuesta se refiere a dos autos con el mismo cambio de velocidad en distintos tiempos. Muestra que la interacción entre las componentes es 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)

- “*La aceleración tendrá la dirección y sentido del cambio de velocidades.*” (Atributo de proceso secuencial: 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)

- “*La aceleración es nula pues se gastó en el movimiento.*” (Atributo de “Entidad”: el predicado gastó o agotó corresponde a una idea material del concepto).

Ledesma Liliana y Pocovi M. Cecilia

- "Para que la velocidad cambie se debe agregar un poco de aceleración." (Atributo de "Entidad: el predicado "agregar" corresponde a un concepto de tipo materia).

- "La aceleración es proporcional a la velocidad del auto." (Atributo tipo Proceso Erróneo: se considera como componente de la aceleración a la velocidad en vez de al cambio de velocidad).

- "La aceleración del auto blanco es mayor que la del auto gris pues el cambio de velocidad del gris tardó más en producirse." (Atributo tipo Proceso Erróneo: esta respuesta se refiere a dos autos con el mismo cambio de velocidad en distintos tiempos. En este caso, se considera que la aceleración es proporcional al intervalo de tiempo involucrado, algo así como  $\vec{a} = \Delta\vec{v} \cdot \Delta t$  en vez del cociente)

- "La aceleración de los dos autos es la misma sólo que uno se detuvo antes." (Atributo tipo Proceso Erróneo: se considera que la única componente de la aceleración es el cambio de velocidad, algo así como  $\vec{a} = \Delta\vec{v}$ )

Los estudiantes deben elegir todas las proposiciones que, a su criterio, describan adecuadamente las situaciones planteadas. De esta forma, se obtuvieron tres "puntajes" que reflejan la proporción de atributos de distinto tipo seleccionados, como lo muestran las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$E = \frac{n^\circ \text{ de atributos tipo entidad que selecciona el alumno}}{n^\circ \text{ total de atributos tipo entidad}} \quad (1)$$

$$P_{\text{erróneo}} = \frac{n^\circ \text{ de atrib. tipo proceso err. que selecciona el alumno}}{n^\circ \text{ total de atributos tipo proceso erróneo}} \quad (2)$$

$$P_{\text{sec}} = \frac{n^\circ \text{ de atrib. tipo proceso secuenc. que selecciona el alumno}}{n^\circ \text{ total de atributos tipo proceso secuencial}} \quad (3)$$

E representa la proporción de atributos tipo entidad que el alumno selecciona entre aquellos disponibles del mismo tipo.  $P_{\text{erróneo}}$  representa la proporción de atributos erróneos seleccionados entre aquellos disponibles del mismo tipo.  $P_{\text{sec}}$  representa la proporción de atributos tipo Proceso Secuencial (o Directo) entre aquellos disponibles del mismo tipo. Este tipo de puntajes ya han sido utilizadas en Slotta [35] y Pocoví [28].

A cada alumno, entonces, se le asignaron inicialmente tres puntajes ( $E$ ,  $P_{\text{erróneo}}$  y  $P_{\text{secuencial}}$ ) y se lo clasificó de acuerdo a cuál de los puntajes es más alto. Es decir, un alumno que posee un puntaje  $E$  más alto que cualquiera de los dos  $P$  será un alumno cuyas ideas previas acerca de la aceleración poseen una gran cantidad de atributos tipo Entidad o Materia. Como la aceleración es un concepto tipo Proceso Directo, este alumno requerirá un proceso de Cambio Conceptual Radical para poder aprender el concepto de aceleración. Por lo tanto, dicho alumno fue clasificado con el nombre de CCR.

Si, por ejemplo, un alumno posee un puntaje  $P_{\text{erróneo}}$  más alto que cualquiera de los otros dos, el mismo será un alumno cuyas ideas previas acerca de la aceleración poseen una gran cantidad de atributos de un tipo equivocado de Proceso. Como esta concepción se encuentra dentro del mismo árbol ontológico que la aceleración (Proceso Directo o Secuencial), este alumno requerirá un proceso de Cambio Conceptual para poder aprender el concepto de aceleración.

Por lo tanto, dicho alumno fue clasificado con el nombre de CC.

Finalmente, si un alumno tiene el puntaje  $P_{\text{secuencial}}$  más alto que los otros dos, será un estudiante cuyas ideas previas acerca de aceleración poseen una gran cantidad de atributos correspondientes a la ontología correcta. Este tipo de alumno, a lo sumo, realizará un proceso de enriquecimiento para llegar a aprender el concepto de aceleración.

Esta clasificación inicial es necesaria para poder indagar si la comprensión de los alumnos a partir de los textos depende efectivamente de la ontología de las concepciones iniciales (primera y segunda hipótesis de trabajo).

La etapa siguiente de esta investigación correspondió a la elaboración de los textos experimentales y de las encuestas para evaluar la comprensión de los alumnos. Se diseñaron dos textos referentes al concepto de aceleración tal como es presentado en cinemática. En realidad, los textos se refieren al concepto de aceleración promedio pues se calcula a partir de incrementos finitos. El concepto de aceleración instantánea es presentado recién durante el cursado de Física I. Dichos textos fueron diseñados con un grado diferente de traducción del sistema simbólico al lingüístico. Se elaboró primero el T2, que es el que posee mayor cantidad de traducciones simbólico-lingüísticas y, a partir de éste, se obtuvo el T1 mediante la reducción a un mínimo de las explicaciones lingüísticas referidas a la ontología. Los textos fueron entregados a los alumnos en forma secuencial (primero el T1 y luego el T2) y su grado de comprensión se midió a través de encuestas similares a la encuesta inicial (centrada en los atributos ontológicos) después de cada lectura. Nótese que los datos así recogidos permiten realizar la comparación entre la comprensión que logran alumnos de distinto tipo (ontológico) a partir de la lectura de cualquiera de los textos y también realizar la comparación entre la comprensión lograda a partir de los distintos textos (sin importar el estado inicial del alumno). Los textos y las encuestas fueron probados en la cohorte anterior y se realizaron ajustes y correcciones en base a esa experiencia. También fueron examinados por otros dos investigadores independientes para controlar la validez científica de los mismos. Por cuestiones de espacio, se presentan a continuación algunas porciones del texto T2 diseñado. Las aclaraciones entre corchetes no figuran en el texto entregado a los alumnos pero fueron realizadas para mostrar el atributo ontológico que se desea resaltar.

... "Para determinar si un movimiento es acelerado debemos analizar si existe un cambio de velocidad en un cierto intervalo de tiempo. Al intervalo de tiempo lo elegimos de acuerdo al tramo que queremos analizar y siempre será la diferencia entre el tiempo final y el inicial. Por otro lado, debemos calcular la diferencia entre la velocidad final y la inicial para ver si hay un cambio en ella. Debemos notar que la diferencias consideradas siempre serán tomadas entre los valores de la situación final menos los de la situación inicial y no al revés." [Cada una de las componentes se calcula en base a diferencias que son secuenciales]

...”Notemos que las velocidades son vectores así que un cambio en la velocidad puede producirse debido a un cambio en la magnitud del vector velocidad o debido a un cambio en la dirección o el sentido del vector velocidad.” [El comportamiento de las dos componentes es de diferente naturaleza]

...”Analicemos la siguiente situación: un auto toma una curva y la magnitud de su velocidad es constante cuando pasa por los puntos 1 y 2 (ver la Figura 1). Como elegimos mirar ese intervalo de tiempo, debemos analizar los vectores velocidad correspondientes al tiempo final (en el punto 2) y al inicial (en el punto 1).” [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].

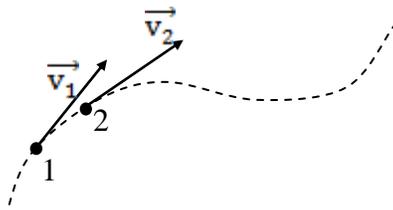


FIGURA 1. Se muestran las velocidades de la partícula en dos puntos.

...”Podemos afirmar que el vector aceleración tendrá el sentido y la dirección del vector diferencia de velocidades ( $\Delta\vec{v}$ ) ya que  $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ . Como el intervalo de tiempo  $\Delta t$  es un escalar, contribuirá a agrandar o a achicar la magnitud de la aceleración pero no a cambiar su dirección. En cambio,  $\Delta\vec{v}$  será el vector que determine hacia dónde apunta la aceleración.” [El comportamiento de algunas de las componentes se corresponde con el patrón observado].

Para medir la comprensión lograda a partir de cada texto (primero T1 y luego T2), los alumnos contestaron dos encuestas similares a la inicial luego de cada lectura. Estas encuestas también se referían a la aceleración en distintas situaciones que eran descritas mediante proposiciones. Las proposiciones son idénticas a las que figuraban en la encuesta inicial y que, como ya se dijo, corresponden a concepciones de aceleración con distinta ontología.

La comprensión de los alumnos se midió a través de la variable  $C$  (ecuación 4):

$$C = \frac{n^{\circ} \text{ de respuestas correctas seleccionadas}}{n^{\circ} \text{ de rtas correctas posibles} + n^{\circ} \text{ de rtas incorrectas seleccionadas}} \quad (4)$$

Se debe recordar que por respuesta correcta se entiende, desde este marco, aquella en la cual los atributos que se usan como predicado del concepto pertenecen a la categoría ontológica correcta del concepto científico. La variable  $C$ , entonces, es una medida de cuán acertada es la

caracterización ontológica que el alumno asigna al concepto a aprender.

Es decir, si un alumno elige solamente atributos de tipo “entidad”, su puntaje será cero mientras que, si un alumno elige solamente atributos de tipo “proceso directo”, su puntaje será uno. Cualquier otro caso, corresponderá a un valor intermedio que, cuanto más cerca de uno, corresponderá a una mejor comprensión de la ontología del concepto a aprender.

Los resultados de las encuestas realizadas después de leer los textos T1 y T2 fueron también utilizados para comparar la comprensión de los alumnos con estos dos tipos de texto, independientemente de la situación inicial de los mismos (tercera hipótesis de trabajo).

Finalmente, para poder testear la cuarta hipótesis referente al efecto de AFCs sobre la comprensión, se diseñaron una serie de actividades sencillas que apuntan a reforzar lo leído con respecto a los distintos atributos ontológicos del concepto de aceleración. Estas actividades fueron realizadas en forma grupal y, posteriormente los alumnos contestaron una encuesta análoga a las anteriores para medir su comprensión.

## VI. RESULTADOS

### A. Clasificación inicial de los alumnos

La encuesta inicial permitió determinar que 36 alumnos poseen ideas sobre aceleración que corresponden a una ontología tipo Entidad, y 20 alumnos poseen ideas que corresponden a un Proceso Erróneo. Ningún alumno tuvo un puntaje  $P_{secuencial}$  más grande que los dos otros puntajes. Se puede notar, entonces, que la situación inicial de la mayoría de los alumnos implicará procesos de Cambio Conceptual (Radical o no) que, como se dijo, involucra el aprendizaje de la ontología correcta del concepto “aceleración”.

### B. Hipótesis a) e Hipótesis b)

La comparación entre la comprensión que logran los estudiantes que corresponden a distintas situaciones ontológicas iniciales se realizó mediante un análisis de varianza no paramétrico (prueba de Kruskal –Wallis) realizado con los puntajes  $C$  obtenidos en la encuesta tomada después de la lectura del texto T1. Para testear la primera hipótesis de trabajo se postuló la correspondiente hipótesis estadística nula: “No existe diferencia estadísticamente significativa en la comprensión lograda a partir de la lectura de un texto pobre en sistema lingüístico, entre los estudiantes que poseen conocimientos previos tipo Entidad y aquellos que poseen conocimientos previos tipo Proceso Erróneo”. En símbolos,  $\mu_{CCRI} = \mu_{CCI}$ , en donde el subíndice “uno” fue utilizado para referirnos a la encuesta realizada después de leer el primer texto, la sigla CCR corresponde a Cambio Conceptual Radical y CC corresponde a Cambio Conceptual.

En la Tabla I, se muestra el resumen de los valores obtenidos para esta prueba.

**TABLA I.** Resumen del Análisis de Varianza no paramétrico. Prueba de Kruskal Wallis.

Variable de Clasificación	N	Medias	D.E	H	p
CC	20	4,81	7,63	0,48	0,33
CCR	36	3,68	9,02		

Estos resultados muestran que no se puede rechazar la hipótesis nula planteada. El nivel de comprensión alcanzado por los estudiantes, a partir de la lectura de textos tradicionales parece no depender del tipo de conocimiento previo de los estudiantes; tanto los estudiantes que tienen conocimientos previos mayormente tipo "Entidad" como aquellos que poseen ideas mayoritariamente de tipo "proceso erróneo" logran el mismo nivel de comprensión a partir de textos pobres en explicaciones lingüísticas.

La comparación entre la comprensión que logran los estudiantes que corresponden a distintas situaciones ontológicas iniciales se realizó mediante un análisis de varianza no paramétrico (prueba de Kruskal –Wallis) realizado con los puntajes C obtenidos en la encuesta tomada después de la lectura del texto T2. Para testear la segunda hipótesis de trabajo se postuló la correspondiente hipótesis estadística nula: "No existe diferencia estadísticamente significativa en la comprensión lograda a partir de la lectura de un texto rico en sistema lingüístico, entre los estudiantes que poseen conocimientos previos tipo Entidad y aquellos que poseen conocimientos previos tipo Proceso Erróneo". En símbolos,  $\mu_{CCR2} = \mu_{CC2} = \mu_2$  en donde el subíndice "dos" fue utilizado para referirnos a la encuesta realizada después de leer el segundo texto. En la Tabla II, se muestra el resumen de los valores obtenidos para esta prueba.

**TABLA II.** Resumen del Análisis de la Varianza no paramétrico. Prueba de Kruskal Wallis.

Variabes de clasificación	N	Medias	D.E	H	p
CC	20	17,55	27,18	0,98	0,26
CCR	36	9,76	16,46		

Estos resultados muestran que no se puede rechazar la hipótesis nula planteada. El nivel de comprensión alcanzado por los estudiantes, a partir de la lectura de textos ricos en el sistema lingüístico parece no depender del tipo de conocimiento previo de los estudiantes; tanto los estudiantes que tienen conocimientos previos mayormente tipo Entidad como aquellos que poseen ideas mayoritariamente de tipo Proceso Erróneo logran el mismo nivel de comprensión a partir de textos ricos en explicaciones lingüísticas.

### C. Hipótesis c)

La hipótesis c) apunta a determinar si existe diferencia en la comprensión que se logra a partir de textos ricos y pobres en contenido lingüístico (apuntado a la ontología), sin importar la condición inicial de los estudiantes (también referida a la ontología de sus conceptos previos). Para testear esta hipótesis de trabajo, también se debió enunciar la hipótesis estadística nula de la siguiente manera: "No existen diferencias estadísticamente significativas en la comprensión que se logra a partir de textos con alto contenido lingüístico y la comprensión lograda a partir de textos con alto contenido simbólico". En símbolos,  $\mu_1 = \mu_2$ . Los subíndices 1 y 2 corresponden a la primera y segunda encuesta.

Esta comparación se realizó mediante una prueba Wilcoxon para muestras apareadas, es decir, se aparearon los puntajes C de cada estudiante correspondientes a la primera y segunda encuesta.

**TABLA III.** Resumen de la prueba no paramétrica. Prueba de Wilcoxon.

O1	O2	N	Suma (R+)	E (R+)	Var(R+)	Z	p
C2	C3	56	9,0	798,0	14958,8	6,45	0,0001

O sea que la utilización de textos con alto contenido lingüístico y con el sistema simbólico limitado sólo a esquemas mejora significativamente la comprensión de los conceptos físicos comparada con la que se logra utilizando textos con contenido simbólico y escasas traducciones lingüísticas. Se debe remarcar que esta conclusión es independiente de la clasificación ontológica inicial realizada de los alumnos.

### D. Hipótesis d)

La cuarta hipótesis de trabajo apunta a determinar si las actividades que se llevan a cabo durante el proceso de lectura de un texto rico en explicaciones lingüísticas logra mejorar la comprensión de los conceptos físicos comparada con la que se logra sólo con la lectura de textos con alto contenido lingüístico. Para ello, después de completar la segunda encuesta (después de leer T2) los alumnos realizaron una serie de actividades para favorecer la comprensión (según Brown, 2004). Posteriormente, contestaron nuevamente una encuesta similar a las anteriores y se midió su comprensión mediante la variable C (análogamente a cómo se hizo anteriormente).

La comparación estadística, en este caso, se llevó a cabo entre los resultados de la encuesta tomada luego de la lectura T2 y los obtenidos luego de realizadas las AFC. La hipótesis nula de esta instancia de investigación es: Las actividades (AFC) que se llevan a cabo durante el proceso de lectura de un texto rico en explicaciones lingüísticas no mejoran la comprensión de los conceptos físicos comparada

con la que se logra sólo con la lectura de textos con alto contenido lingüístico. En símbolos:  $\mu_2 = \mu_3$ .

El análisis de esta cuarta hipótesis se realizó por medio de una prueba no paramétrica Wilcoxon. La tabla IV presenta la tabla resumen del análisis de la Prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras apareadas ( $\alpha = 0,01$ ).

**TABLA IV.** Resumen de la prueba no paramétrica. Prueba de Wilcoxon.

O (1)	O (2)	N	Suma (R+)	E (R+)	Var (R+)	Z	p
C1	C2	56	323,5	798,0	14592,6	3,9	0,0001

Los resultados muestran que las actividades que se llevan a cabo durante el proceso de lectura de un texto rico en explicaciones lingüísticas logran mejorar significativamente la comprensión de los conceptos físicos comparada con la que se logra sólo con la lectura de textos con alto contenido lingüístico.

## VI. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede ver que los mismos confirman sólo las hipótesis c) y d) planteadas en este trabajo no así las a) y b).

Se confirma que los textos que poseen alto contenido lingüístico favorecen la comprensión respecto de aquellos sin explicaciones lingüísticas. Este resultado se evidenció sin tener en cuenta el tipo de conocimiento inicial de los alumnos. Recordemos que las explicaciones lingüísticas, en este trabajo, están enfocadas a la descripción de los atributos ontológicos del concepto a aprender. Así, se puede decir que la confirmación de esta hipótesis soporta lo predicho por las teorías de Chi y Alexander seleccionadas.

Además, los resultados también muestran que las AFC realizadas mejoran todavía más la comprensión de los alumnos comparada con la que se logra sólo leyendo un texto rico en explicaciones lingüísticas. Ya que las AFC diseñadas en esta investigación apuntan a recalcar los atributos ontológicos del concepto a aprender, se puede decir que los resultados de esta investigación acuerdan con lo esperado de una combinación de la Teoría de Chi y de Brown, para el caso del concepto de aceleración.

Finalmente, notamos que las hipótesis a) y b) no han sido confirmadas. Recordemos que los alumnos fueron inicialmente clasificados de acuerdo a la ontología predominante de sus ideas respecto del concepto de aceleración. Así, aquellos con ideas predominantemente tipo “Entidad” fueron clasificados como CCR ya que deberán realizar un cambio conceptual radical para lograr la comprensión. Aquellos con ideas predominantemente tipo Proceso Erróneo fueron clasificados como CC ya que el cambio conceptual que se realiza dentro de un mismo árbol ontológico es, supuestamente más fácil de llevar a cabo. En

base a los resultados obtenidos, pareciera que no hay diferencia de comprensión entre los alumnos CCR y los CC. En este caso, existen dos opciones para el investigador. La primera es aceptar el resultado y, en todo caso, realizar repeticiones del experimento que podrían llevar finalmente a rebatir parte de lo planteado por Chi. La segunda, que es tal vez con la que acordamos más en este momento, es revisar profundamente la ontología que poseen las ideas de los alumnos clasificados como CC en este trabajo. Es decir, se puede revisar cuán apartadas, ontológicamente hablando, están las ideas de los estudiantes que corresponden a procesos entendidos de forma incorrecta de las ideas científicas. Tal vez, una distancia ontológica demasiado grande entre las dos ideas, aunque estén dentro del mismo árbol ontológico, implica el mismo esfuerzo para lograr el aprendizaje que el requerido entre árboles de distinta naturaleza. De todas formas, estas cuestiones serán planteadas en investigaciones futuras en esta misma línea de trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

[1] Brown, A. L., Palincsar, A. S. y Armbruster, B. B., Instructing Comprehension-Fostering Activities in Interactive Learning Situations. En Ruddell y Unrau, (Eds.), *Theoretical Models and processes of Reading*, (International Reading Association, Newark, 2004), pp.780 – 809.

[2] Concari, S. B. y Giorgi, S. M., *Los problemas resueltos en textos universitarios de Física*, Revista Enseñanzas de las Ciencias **18**, 381-390 (2000).

[3] Pandiella, S., Torné, P. C. y Macías, A., *Las características de los textos de física y su incidencia en la comprensión*, Investigaçoes em Ensino de Ciências **9** (1), marzo (2004).

[4] Trowbridge, D. E. y Mc Dermott, L. C., *Investigation of Student Understanding of the Concept of Acceleration in One Dimension*, American Journal of Physics **48**, 242-253 (1981).

[5] Mc Dermott, L. C., *Research on Conceptual Understanding in Mechanics*, Physics Today, 24-32 (1984)

[6] Jones, T. A., *Investigation of Students’ Understanding of Speed, Velocity and Acceleration*, Research in Science Education **13**, 95-104 (1983).

[7] Driver, R., *Psicología cognitiva y Esquemas conceptuales de los alumnos*, Enseñanza de las Ciencias **4**, 3-15 (1986).

[8] Giorgi, S., Concari, S., Pozzo, R., *Un estudio sobre las estudiantes acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento*, Ciência & Educação **11**, 83-95 (2005).

- [9] Reif, F., *Applying cognitive science to education: Thinking and learning in scientific and other complex domains*, (MIT Press., Cambridge, MA, 2008).
- [10] Alexander, P.A. y Kulikowich, J. M., *Learning from a Physics text: A Synthesis of recent research*, Journal of Research in Science Teaching **31**, 895-911 (1994).
- [11] Alexander, P.A. y Jetton, T.L. Learning from Text: A multidimensional and developmental perspective. En Kamil, Mosenthal, Pearson, Barr, (Eds.), *Handbook of Research of Reading Research. Vol III*. (LEA, Inc., NJ, 2000), pp. 285-311.
- [12] Chi, M. T. H., Conceptual Change Within and Across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. En Giere, R. (Eds.) *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* Vol. XV, 129-186, (University of Minnesota Press, Minneapolis, 1992).
- [13] Chi, M.T.H., *Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust*, Journal of the Learning Sciences **14**, 161-199 (2005).
- [14] Chi, M.T.H., Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. En S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. (Erlbaum, Hillsdale, NJ, 2008), pp. 61-82.
- [15] Kintsch, W., The Construction-Integration Model of Text Comprehension and its Implications for Instruction. En Ruddell y Unrau, (Eds.), *Theoretical Models and Processes of Reading*. (International Reading Association Inc., Newark, 2004), pp. 1271-1328.
- [16] McNamara, D. S., *Suppressing irrelevant information: Knowledge activation or inhibition?*, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition **30**, 465-482 (2005).
- [17] Nist, S. L. y Simpson, M., College Studying. En *Handbook of Reading Research*. Vol. III Kamil, Mosenthal, Pearson, y Barr (Eds.), (Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 2000), pp. 645-666.
- [18] McKeown, M. G., Beck, I. L., & Blake, R. K., *Rethinking Reading Comprehension Instruction: A Comparison of Instruction for Strategies and Content Approaches*, Reading Research Quarterly **44**, 218-253 (2009).
- [19] Britton, B. K & Gulgoz. S., *Using Kintsch's computational model to improve instructional text: Effects of repairing inference calls on recall and cognitive structure*, Journal of Education Psychology **83**, 32-345 (1991).
- [20] Ruddell R. B. y Unrau N. J (Eds.), *Theoretical models and processes of Reading*, (DE, Newark, 2004).
- [21] Israel S. E. y Guffy G. (Eds.), *Handbook of research on reading comprehension*, (Routledge, New York, 2009).
- [22] Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. Y., Anderson, D. K., Cognitive flexibility theory: advanced knowledge acquisition. En Ruddell y Unrau, (Eds.), *Theoretical Models and Processes of Reading*. (International Reading Association Inc., Newark, 2004), pp. 640-653.
- [23] Alexander, P. A., A cognitive perspective on mathematics: Issues of perception, instruction, and assessment. En J. P. Ponte, J. F. Matos, J. M. Matos, & D. Fernandes (Eds.), *Mathematical problem solving and new information technologies*, (Springer-Verlag, New York , 1992), pp. 61-76.
- [24] Alexander, P., *A The path of competence: A lifespan developmental perspective on reading*, Journal of Literacy Reserch **37**, 413-436 (2005).
- [25] Dee- Lucas, D. y Larkin, J. H., *Attentional strategies for studing scientific texts*, Memory and Cognition **16**, 468-479 (1988).
- [26] Duit, R., Niedderer, H. y Schecker, H., *Teaching Physics*. En Abell S. K. y Lederman, N.G., (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, (Lawrence Erlbaum Associates, Inc., N. J., 2007), pp. 599-630.
- [27] Arons, A. B., *Teaching Introductory Physics*, (Wiley & Sons, NY, 1996).
- [28] Pocoví, M. C., *Research on the effects of a history based curriculum on the students' concepts of electric field and lines of force*, (ProQuest Company. Ann Arbor, Michigan, 2004).
- [29] Reif, F. y Larkin, J. H., *Cognition in scientific and everyday domains: comparison and learning implications*, Journal of Research in Science Teaching **28**, 733-760 (1991).
- [30] Chi, M. T. H. & VanLehn, K. A., *The content of physics self-explanations*, Journal of the Learning Sciences **1**, 69-105 (1991).
- [31] Shaffer, P. S. y McDermott, L. C., *A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts*, American Journal Physics **73**, 921-931 (2005).
- [32] Slotta, J. D. y Chi, M. T. H., *The impact of ontology training on conceptual change: Helping students understand the challenging topics in science*, Cognition and Instruction **24**, 261-289 (2006).
- [33] Pocovi, M. C. y Hoyos E., *Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes*, Revista de Enseñanzas de las Ciencias **29**, 275-288 (2011).
- [34] Slotta, J. D., Chi, M. T. H., Joram, E., *Assessing students' misclassifications of physics concepts: an ontological basis for conceptual change*, Cognition and Instruction **13**, 373-400 (1995).
- [35] Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H. & Resnick, L. B., *Naive physics reasoning: a commitment to substance – based conceptions*, Cognition and Instruction **18**, 1-34 (2000).
- [36] Keil, F., *Semantic and conceptual development: An ontological perspective*, (Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1979).
- [37] Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D., The processes and challenges of conceptual change. En M. Limon and L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, (Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2002), pp. 3-27.

- [38] Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., Chase C. C., *Misconceived causal explanations for emergent processes*, *Cognitive Science* **1**, 61 (2011).
- [39] Holschuh, J. P. y Aultman, L. P., Comprehension Development. En Flippo y Caverly, (Eds.), *Handbook of*

*College Reading and Study Strategy Research*, (2° Ed.) (Routledge, NY, 2009), pp. 121-144.

[40] Cohen, L. y Manion, L., *Research Methods in Education*, (Routledge, NY, 1994).