

# Comprensión del sistema simbólico que representa *conceptos tipo proceso*

Comprehension of the symbolic system representing process-type concepts

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Ma. Cecilia Pocoví<sup>1</sup> y Liliana Ledesma<sup>1</sup>

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

E-mail: cpocovi@gmail.com

## Resumen

Este trabajo presenta un estudio sobre la comprensión que poseen alumnos universitarios acerca de la representación gráfica de *conceptos tipo proceso*; más específicamente, de conceptos que son definidos como el cambio de alguna magnitud. Las representaciones gráficas se incluyen dentro del sistema simbólico que sirve para describir un concepto. En este caso particular, se compararon las respuestas de los alumnos frente al análisis de gráficas que describen el comportamiento de una magnitud en función del tiempo y de su cambio, en función del tiempo. Con el objeto de lograr una vara de comparación, se diseñaron ambas gráficas con la misma forma. La metodología corresponde a un estudio de caso que permite la descripción cualitativa de los resultados. La encuesta realizada se diseñó con preguntas estructuradas. Los resultados muestran que los alumnos no logran interpretar correctamente las gráficas pues no parecieran comprender o tener en cuenta la componente ontológica que define al concepto seleccionado como el cambio de otro.

**Palabras clave:** Representaciones gráficas; Conceptos tipo proceso; Ontología.

## Abstract

This work shows the results of a study on the university-students' comprehension of the graphic representations of Process Type concepts; particularly, concepts that are defined as the change of some other magnitude. These graphs are included among those established as the symbolic system that serves the purpose of describing a concept. In this case, we compared the students' answers for their analysis of graphs that describe the behavior of a magnitude and its change. In order to be able to compare these two responses, both graphs were designed having the same form. The methodology corresponds to a case study that allows the qualitative description of the results. The survey had structured questions. The results show that students do not interpret correctly the graphs since they do not understand or do not take into account the ontological component that defines the selected concept as the change of another one.

**Keywords:** Graphical representations; Process type concepts; Ontology.

## I. INTRODUCCIÓN

En los cursos de Física universitaria son comunes las situaciones en las cuales se deben relacionar dos *conceptos tipo proceso* (Chi, 2013), en particular, aquellos en donde uno es derivado del otro. Por ejemplo, en el caso de la aceleración, se estudian situaciones en las que esta es constante a partir de las cuales se establece una relación lineal para la velocidad en función del tiempo y situaciones de aceleración variable (en el movimiento armónico simple, por ejemplo) con la velocidad variable asociada. Es muy común, usar representaciones gráficas como una forma de complementar la presentación de estos conceptos ya realizada de manera lingüística o con otros componentes del sistema simbólico (Alexander y Kulikowich, 1994) como lo son, las ecuaciones. Las gráficas, entonces, constituyen una parte esencial en la enseñanza y el aprendizaje de las magnitudes físicas. Así, mediante los gráficos se podrá presentar, por ejemplo, la variación de una magnitud en función de otra de manera concisa y clara.

La necesidad de que los estudiantes sean capaces de interpretar estos gráficos se intenta salvar, curricularmente, mediante el cursado de asignaturas de Matemática –previas a aquellas de Física– que sirven de introducción a la confección e interpretación de gráficos de funciones. Tal es el caso de las carreras universitarias de Ingeniería en las cuales los cursos de Cálculo generalmente preceden a aquellos de Mecánica y Electromagnetismo. Sin embargo, existen investigaciones que han detectado que el manejo de ecuaciones (Redish, 2005; Duit, 2007) y gráficos (García y García, 2005; Pala y otros, 2017) aprendidos en

cursos de Matemática no es garantía de que los alumnos puedan sumar a estos elementos, la interpretación física requerida para completar el conocimiento de algún concepto.

En algunas de las investigaciones previas citadas, se atribuye la dificultad que poseen los estudiantes de Física para comprender las ecuaciones y gráficas, al requerimiento de “*cargar de significado*” (Redish, 2005) a dichas expresiones y representaciones. En este sentido, podría suceder que estas dificultades se vieran aumentadas en el caso en que las ecuaciones y representaciones gráficas se refieren a una magnitud que, a su vez, es el cambio de otra. En este trabajo se abordó el estudio de las dificultades manifestadas por estudiantes universitarios al interpretar gráficas que poseen la misma forma pero que describen, en un caso, el comportamiento de una magnitud en función del tiempo y, en el otro, el comportamiento del cambio de esa magnitud en función del tiempo.

## II. SOPORTE TEÓRICO Y PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio del aprendizaje de conceptos, en particular, de física, puede ser abordado desde distintos puntos de vista. Un marco teórico que ha generado adeptos con el correr del tiempo es el cambio conceptual. Existen varias líneas de investigación que se engloban bajo este título y que comparten algunos elementos, pero difieren en la manera en la que se considera el conocimiento inicial de los alumnos y en la forma en la que se produce el cambio hacia las concepciones científicamente aceptadas. En esta línea, la teoría que se eligió para guiar esta investigación es aquella planteada por Chi (1992, 2005, 2008, 2013), que tiene como postulado de partida el hecho que los conceptos pueden ser identificados ontológicamente, definidos y categorizados. Así, de acuerdo a este marco teórico, un concepto pertenece a una categoría en virtud de alguna ley, principio o regularidad. Adhiriendo con esta definición, una de las aseveraciones principales de esta teoría es que el significado de un concepto está dado por la categoría ontológica a la cual se lo asigna.

Una categoría ontológica, 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), rasgos característicos y un conjunto de atributos ontológicos (atributos que los miembros pertenecientes a una categoría ontológica pueden potencialmente poseer). Las categorías ontológicas principales: *entidades*, *procesos* y *estados mentales* (Chi, 1992, Chi y otros, 2012) difieren entre sí ya que las entidades pertenecientes a cada una de estas no comparten los mismos atributos ontológicos. En el área de Física, cobra importancia la categoría de *conceptos tipo proceso* ya que existe una gran cantidad de conceptos que pertenecen a ella.

Inicialmente, las investigaciones llevadas a cabo por Chi y sus colaboradores se centraron en la descripción exhaustiva de los atributos ontológicos de la categoría *tipo materia* (Chi, 1992; Chi y otros, 1994; Chi y Slotka, 1993; Reiner y otros, 2000). Durante los últimos años se llegó a la conclusión de que para explicar por qué algunos conceptos son más difíciles de aprender que otros, era necesario definir más precisamente la categoría de *conceptos tipo proceso* (Chi, 2005). Los conceptos que pertenecen a la categoría *tipo proceso* se caracterizan por presentar componentes (Chi y otros, 2012) que interactúan entre sí, para dar lugar a un patrón observable. Los procesos, pueden ser considerados en diferentes niveles (macro y micro) (Chi, 2008), para su correcta comprensión. En el contexto científico, el patrón observado corresponde al nivel macro, mientras que las componentes, los elementos individuales del proceso corresponden al nivel micro (Chi et al., 2012). Los *conceptos tipo proceso* son más difíciles de comprender que aquellos de *tipo materia* (o *entidades*) pues para ello se necesita tener en cuenta cuestiones complejas como la interacción entre las componentes y entre las componentes y el patrón observado.

En el presente trabajo se analizaron las dificultades que manifiestan los alumnos al interpretar gráficas que representan el comportamiento de una magnitud en función del tiempo y el comportamiento del cambio de esa magnitud, en función del tiempo. Este tipo de situación se presenta, por ejemplo, cuando los alumnos deben interpretar un gráfico de velocidad en función del tiempo y otro de aceleración en función del tiempo. Tanto la velocidad como la aceleración pueden categorizarse como *conceptos tipo proceso*. Sin embargo, podría decirse que la aceleración es un proceso más complejo ya que es la derivada o el cambio de otro proceso (la velocidad); en este sentido, podría decirse que la aceleración es un proceso de segundo orden, para distinguirlo de la velocidad. En el caso de la aceleración, sus componentes ontológicas son la diferencia de velocidades y el intervalo de tiempo. Para un análisis detallado del tipo de proceso que constituye la aceleración, referirse a Ledesma y Pocoví (2013).

Así, la pregunta de investigación abordada en este trabajo se refiere a lograr la descripción de las dificultades referidas, específicamente, a la identificación y uso de la componente ontológica que define a un concepto como derivado de otro, en la interpretación gráficas de dichos conceptos.

El marco teórico seleccionado para fundamentar la elección de las gráficas como forma de presentación de un concepto para su aprendizaje es aquel de Alexander y Kulikowich (1994) en el cual se muestra la necesidad de que los alumnos sean capaces de hacer uso tanto del sistema lingüístico como del simbólico para describir el comportamiento de un concepto. El presente trabajo se centra en el segundo de los sistemas mencionados.

### III. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN Y SUS RESULTADOS

El estudio que se describe a continuación constó de dos etapas: el diseño de la encuesta correspondiente a la segunda etapa se basó en los resultados de la primera. Por esta razón, el presente trabajo no tendrá la estructura tradicional "planteo-resultados-conclusiones", antes bien, se incluirán dichos ítems en cada una de las etapas desarrolladas.

En todos los casos, los alumnos participantes pertenecían a dos comisiones de una asignatura de Física I de carreras de ingeniería lo cual implica que ya tienen aprobados los cursos de Análisis Matemático I y Álgebra Lineal y Geometría Analítica. Los alumnos que participaron en cada etapa corresponden a distintas cohortes pero consideramos que todos los grupos participantes son equivalentes desde el punto de vista de habilidades y contenidos adquiridos previamente ya que tanto los cursos anteriores como el de Física I, fueron llevados a cabo con los mismos docentes y los parciales son de nivel similar. Para cada una de las etapas, se diseñaron encuestas en formato estructurado cuyas preguntas estaban dirigidas a registrar si los alumnos comprenden las implicancias de la componente ontológica de un concepto tipo proceso, referida al cambio de una magnitud en el tiempo, en la descripción de las gráficas. En las dos etapas se validaron las encuestas mediante una prueba piloto realizada el cuatrimestre anterior.

#### A. Primera Etapa

Es común incluir, en las clases de cinemática a nivel universitario, problemas que requieren el análisis de gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo. Se diseñó una encuesta en la que se presentaron gráficas referidas a esos dos conceptos, con la misma "forma". Por ejemplo, una gráfica como la mostrada en la figura 1, se utilizó tanto para el caso de la velocidad (proceso de primer orden) como para el de la aceleración (proceso de segundo orden).

Por razones de espacio, en este trabajo, se muestra la forma genérica de una de las gráficas presentadas a los alumnos de manera individual, para cada caso. En los dos casos, se aclaró en el enunciado que los gráficos se refieren a una partícula que se mueve en línea recta en el sentido +x, partiendo del origen.

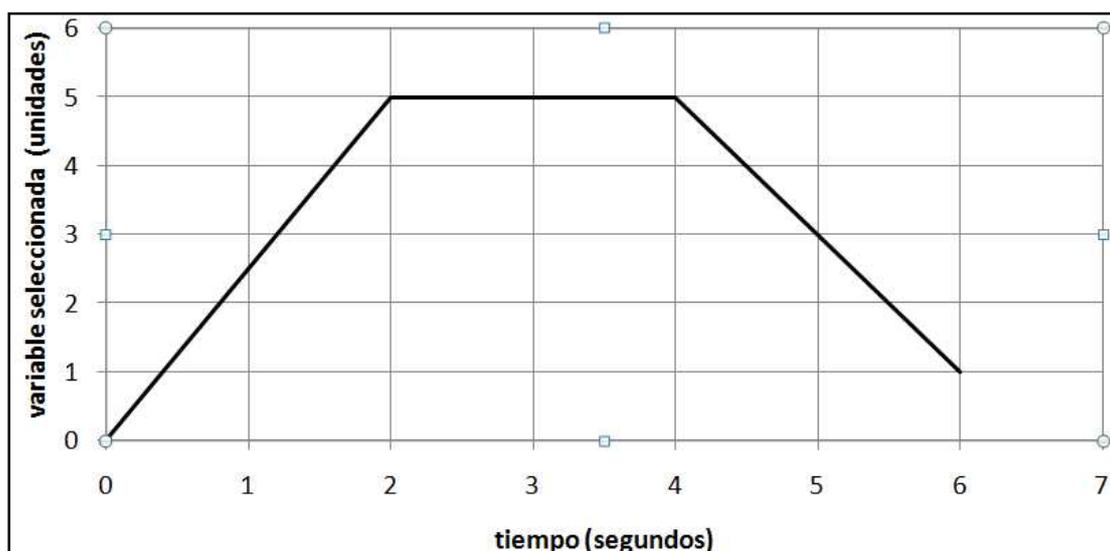


FIGURA 1. Se muestra la forma genérica de las gráficas presentadas en las encuestas, que se usó tanto para la velocidad como para la aceleración.

En ambos casos, las preguntas se refirieron al concepto de velocidad; es decir, tanto en el caso de la gráfica de velocidad en función del tiempo como en el de aquella de aceleración en función del tiempo, las preguntas fueron las siguientes:

- a) Indica, en qué momento:
- i. la velocidad presenta el mayor valor: .....
  - ii. la velocidad presenta el menor valor: .....
- b) Indica, los períodos en los cuales:
- i. la velocidad disminuye: .....
  - ii. la velocidad aumenta: .....
  - iii. la velocidad permanece constante: .....

Como se puede observar, las preguntas del inciso a) corresponden a un tiempo específico. En el caso de la representación de la velocidad en función del tiempo, estos valores corresponden al máximo y al mínimo de las funciones representadas y las respuestas son de lectura directa a partir de la gráfica. Las preguntas del inciso b) se pueden responder sencillamente si se considera un intervalo cualquiera y se calcula el incremento (positivo o negativo) de la velocidad. Se podría decir que, en ambos casos, las respuestas pueden ser dadas exclusivamente con el conocimiento matemático adquirido en el curso anterior de cálculo, sin requerir más pensamiento físico que el de otorgar un nombre relacionado con una magnitud física (velocidad) a la variable dependiente.

Sin embargo, en el caso de la representación de la aceleración en función del tiempo (un proceso de segundo orden), como las preguntas se refieren nuevamente al proceso de primer orden (velocidad), las respuestas requieren más elaboración de la información presentada en el gráfico, que la llevada a cabo en el primer caso. Es decir, en toda la gráfica, el valor de la aceleración es positivo y, entonces, la velocidad irá en aumento a medida que pasa el tiempo, sin disminuir en ningún momento y teniendo su mínimo valor en el tiempo inicial. Para comprender esto, los estudiantes deben tener presente que, ontológicamente, la aceleración es un cambio (de velocidad a medida que transcurre el tiempo) y, por lo tanto, la gráfica representada muestra si ese cambio se produce de manera constante, o si la velocidad de cambio va en aumento o en disminución. Lo mismo vale para el caso de los intervalos requeridos en b). La consideración del "cambio de la velocidad" como componente ontológica de la aceleración es la dificultad más generalizada y resistente al cambio entre los alumnos universitarios (Ledesma y Pocoví, 2013).

El número de alumnos que participaron en este caso fue de setenta y seis.

Los resultados mostraron que, para el caso en que la variable representada era la velocidad, todos los alumnos fueron capaces de identificar en qué instante la velocidad presenta el mayor valor, el menor valor y los períodos en los cuales la velocidad disminuye, aumenta o permanece constante.

Para el caso en que la figura 1 representaba la aceleración en función del tiempo, los resultados mostraron que si bien la totalidad de los alumnos reconoció el instante en el cual la velocidad posee su mínimo valor, sólo un estudiante reconoció de manera correcta los períodos señalados en el párrafo anterior. El resto de los alumnos, identificó al tiempo de 2 s como aquel de máxima velocidad y al intervalo entre 2 s y 4s como un período de tiempo en el que el valor de la velocidad se mantiene constante. Además, afirmaron que la velocidad disminuye entre 4 s y 6 s.

Cabe hacer notar un descuido involuntario en el diseño de la encuesta: la correcta identificación del instante en el que la velocidad es mínima, pudo deberse a que este punto de la gráfica de la aceleración, coincide con el mínimo de la función y, por lo tanto, no resulta obvio que haya mediado un razonamiento correcto por parte de los alumnos al realizar esta elección o si simplemente lo eligieron por representar un valor mínimo en la gráfica. Este detalle de la encuesta ni siquiera fue detectado por las investigadoras en una prueba piloto realizada previamente y se corrigió en la segunda etapa.

Analizando estos resultados desde el punto de vista ontológico, se puede notar, en el caso de la representación del concepto de aceleración que pertenece a la categoría de *tipo proceso* de segundo orden, que los estudiantes no reconocen la componente ontológica que lo define, como lo es el cambio de velocidad. En su lugar, asocian a la aceleración con la velocidad misma, resultado coherente con aquellos encontrados en Ledesma y Pocoví (2013), referidos a la comprensión de la aceleración cuando es descripta en sistema lingüístico.

Las otras figuras de la encuesta fueron respondidas de manera similar.

Fueron, justamente, las dificultades manifestadas por los estudiantes en la interpretación de las gráficas referidas a la aceleración, las que dispararon la segunda etapa de la investigación. Ya que, en el caso estudiado, el proceso de segundo orden tiene un nombre propio ("aceleración") que no explicita la componente ontológica del concepto referida al cambio del proceso de primer orden (velocidad) en el tiempo ( $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ), se decidió realizar una nueva encuesta para comparar las respuestas de los alumnos entre el caso de la aceleración y otro en el cual se explicitara al proceso de segundo orden como un cambio de uno de primer orden.

**B. Segunda Etapa**

Para descartar (o no) que las dificultades en la interpretación de gráficos de *conceptos tipo proceso* de segundo orden fueran debidas a que la componente ontológica de la aceleración (cambio de velocidad) queda "escondida" al asignarle el nombre de "aceleración", se consideró presentar a los estudiantes con dos gráficos idénticos en función del tiempo: en uno, la variable dependiente es la "aceleración" y en el otro, la variable dependiente es el "aumento de la presión con el tiempo". En el caso de la aceleración, se aclaró que se trata de una partícula que se mueve sobre una línea recta, en sentido +x, partiendo del origen. Se muestran de manera individual, los dos gráficos contenidos en la encuesta, en las figuras 2 y 3. La cantidad de alumnos que participaron en esta etapa fue de ciento seis.

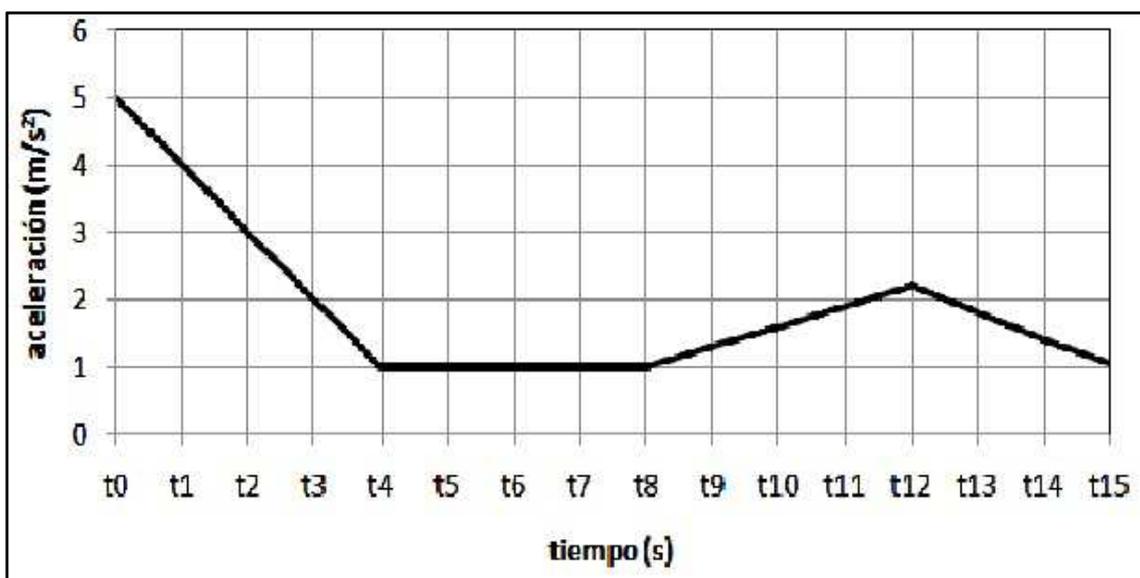


FIGURA 2. Gráfico de aceleración en función del tiempo.

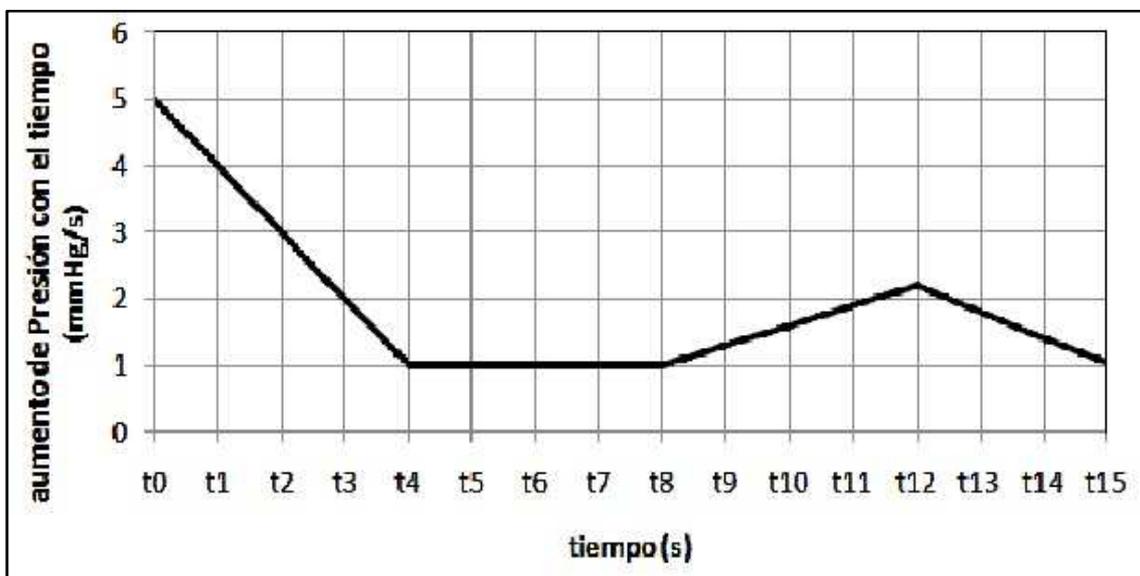


FIGURA 3. Gráfico del aumento de la Presión con el tiempo, en función del tiempo.

En esta segunda etapa, también se tuvo cuidado en no hacer coincidir el tiempo en que el valor de la velocidad (y de la presión) son mínimos, con el tiempo correspondiente a un mínimo de la función representada.

Las preguntas realizadas acerca de los gráficos, fueron del mismo tenor que las realizadas en la primera etapa de la investigación, pero esta vez, para ambos gráficos, estuvieron relacionadas con el proceso de primer orden (velocidad y presión) asociado a aquel representado en cada gráfico:

- a) Indica, en qué momento:
  - i. la velocidad (la presión) presenta el mayor valor: .....
  - ii. la velocidad (la presión) presenta el menor valor: .....
- b) Indica, los períodos en los cuales:
  - i. la velocidad (la presión) disminuye: .....
  - ii. la velocidad (la presión) aumenta: .....
  - iii. la velocidad (la presión) permanece constante: .....

En ambos casos, el tiempo para el cual la velocidad y la presión tienen un valor mínimo, corresponde al tiempo  $t_0$  que, como se dijo anteriormente, se eligió de manera no coincidente con el mínimo de la función representada en el eje de las ordenadas.

Tanto la presión como la velocidad, alcanzan un valor máximo en  $t_{15}$ , en ningún momento se mantienen constantes ni disminuyen. Sus valores, aumentan permanentemente, desde  $t_0$  hasta  $t_{15}$ .

Para poder mostrar claramente la relación que existe entre las respuestas dadas en el caso de la aceleración y del aumento de presión, por cada alumno, se representaron los resultados en la forma de una tabla de contingencia, tabla 1.

En la misma se puede apreciar que, con respecto a la identificación del tiempo correspondiente al valor mínimo, tanto de velocidad como de presión, la gran mayoría de los alumnos lo establece en el tiempo correspondiente al mínimo de las funciones representadas que, valga la redundancia, muestran el concepto *tipo proceso* de segundo orden y no, el de primer orden. Este resultado confirma las sospechas generadas en la primera etapa respecto a que la única pregunta que fue contestada correctamente por todos los alumnos puede haber sido respondida adecuadamente, aún si no se tenía en claro el concepto.

**TABLA I.** Contingencia entre las distintas respuestas dadas por los alumnos para el caso del aumento de presión y de la aceleración.

	El menor valor de la Velocidad corresponde al tiempo $t_0$	El menor valor de la Velocidad es el mínimo de la gráfica	El mayor valor de la Velocidad es corresponde al último tiempo	El mayor valor de la Velocidad es corresponde al tiempo $t_0$ o al $t_{12}$	La Velocidad no es constante en ningún momento.	La Velocidades constante cuando la recta el horizontal	La Velocidad aumenta entre $t_0$ y $t_4$ y entre $t_8$ y $t_{15}$	La Velocidad aumenta cuando la pendiente es positiva	La Velocidad no disminuye en ningún momento	La Velocidad disminuye cuando la pendiente es negativa
El menor valor de la Presión corresponde al tiempo $t_0$	2									
El menor valor de la Presión es el mínimo de la gráfica		104								
El mayor valor de la Presión corresponde al último tiempo			1							
El mayor valor de la Presión corresponde al tiempo $t_0$ o al $t_{12}$				105						
La Presión no es constante en ningún momento					0					
La Presión es constante cuando la recta es horizontal						106				
La Presión aumenta entre $t_0$ y $t_4$ y entre $t_8$ y $t_{15}$							0			
La Presión aumenta cuando la pendiente es positiva								106		
La Presión no disminuye en ningún momento									0	
La Presión disminuye cuando la pendiente es negativa										106

Como se puede apreciar en la tabla 1, la mayoría de los estudiantes eligieron el tiempo para el cual la velocidad o la presión tienen el máximo valor, como aquel correspondiente a los tiempos ( $t_0$ ,  $t_{12}$ , o ambos) para los cuales la gráfica de aceleración y de aumento de presión poseen un máximo. Esto puede

interpretarse como que los alumnos no tienen en claro que las gráficas representan conceptos que son de *tipo proceso* de segundo orden, es decir, que representan el cambio de los conceptos de velocidad, en un caso y de presión, en el otro y no, directamente a la velocidad y a la presión.

Algo similar sucede con el caso del reconocimiento de los intervalos para los cuales la presión y la velocidad son constantes, crecientes o decrecientes. La totalidad de los alumnos identifican estos intervalos con aquellos mostrados para el concepto *tipo proceso* de segundo orden, sin hacer distinción entre un concepto y su cambio en el tiempo.

Recordemos que en esta segunda etapa de la investigación, apuntamos a determinar si los resultados descriptos en la primera etapa podían deberse a que en ella, la variable representada como concepto *tipo proceso* de segundo orden tenía un nombre (aceleración) que no muestra de forma manifiesta que corresponde a la variación de otro concepto (velocidad) con el tiempo; expresado de otra manera, la palabra "aceleración" no explicita la componente ontológica del concepto (cambio de la velocidad con el tiempo). Los resultados obtenidos parecieran indicar que la representación de otra magnitud que presenta en su nombre ("aumento de la presión") la componente ontológica de cambio que la define, no ayuda en absoluto a la interpretación de la forma en que se comporta el concepto *tipo proceso* de primer orden. Antes bien, pareciera que la respuesta de los alumnos se realiza de manera automática asociando la palabra "aumenta" con una función creciente, aunque dicha función no represente el comportamiento de la magnitud que se desea describir.

#### IV. CONCLUSIONES GENERALES

A partir de las dos encuestas realizadas se puede concluir que los estudiantes manifiestan serias dificultades en la interpretación de gráficos que representan los conceptos de *tipo proceso* (Chi, 2013) de segundo orden como el de aceleración y el de variación de la presión. En particular, las encuestas apuntaron a determinar si los alumnos son capaces de hacer uso de las gráficas de estos conceptos, en función del tiempo, para sacar conclusiones acerca de los conceptos de tipo proceso de primer orden asociados, como lo son, la velocidad y la presión.

En ese sentido, los estudiantes participantes demostraron no distinguir entre el comportamiento del concepto de segundo orden de aquel de primer orden, asociando, por ejemplo, un máximo valor del primero con un máximo del segundo o un valor constante de uno con un valor constante en el otro. Pareciera que, al no reconocer esta componente ontológica, las respuestas a las preguntas formuladas se reducen a una mera asociación mecánica de la palabra "máximo" con el máximo de una función (cualquiera ella sea) y, en general, a la interpretación vacía de contenido físico de la forma de una gráfica, cuestión ya denunciada por Redish (2005) para gráficas más sencillas.

Como se dijo al comienzo de este trabajo, las gráficas no sólo complementan aquel conocimiento que puede haberse adquirido a partir de material didáctico que se basa en el sistema lingüístico sino que tienen importancia en sí mismas como instrumentos que permiten visualizar de manera clara y concisa el comportamiento de magnitudes en función de otras. A partir de los resultados de esta investigación, se planteará a futuro, el diseño de material didáctico para facilitar el aprendizaje de este tipo de gráficas, combinando el sistema simbólico y el lingüístico con una fuerte componente ontológica; en particular, se diseñará material basado en textos que describan lingüísticamente las ecuaciones y gráficos sobre aceleración y velocidad para, posteriormente, reforzar la lectura con actividades que favorecen la comprensión de lo leído.

#### REFERENCIAS

- Alexander, P.A, y Kulikowich, J. (1994). Learning from a Physics text: A synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9),895-911.
- Chi, M. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. En R. N. Giere, y H. Feigl (Eds.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-186). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. y Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive Physics. *Cognition and Instruction*, 10,249-260.
- Chi, M. T., De Leeuw, N., Chiu, M. H., y La Vancher, C. (1994). Eliciting Self Explanations Improves Understanding. *Cognitive Science*. 18,439-477.

- Chi, M. T. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14,161-199.
- Chi, M. T. (2008). Three types of conceptual change. Belief Revision, Mental Model Transformation and categorical shift. En Vosniadu (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. (pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T., Roscoe, R., Slotta, J., Roy, M., y Chase, M. (2012). Misconceived causal explanations for "emergent" processes. *Cognitive Science*, 36,1-61.
- Chi, M. T. (2013). Two kind and four sub-types of misconceived knowledge way to change it, and learning outcomes. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 49-70). Londres: Routledge Handbooks.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science y Technology Education*, 3(1),3-15.
- García García, J. y Perales Palacios, F. (2005). ¿Afectan los usos didáctico y científico de las gráficas cartesianas a su comprensión? Un estudio con alumnos de bachillerato y universidad, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 19,57-74.
- Ledesma, L. T. 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.
- Pala, L., Scancich, M. y Yanitelli, M. (2017). Desarrollo de habilidades cognitivas asociadas a las gráficas de datos experimentales en estudiantes de ingeniería: su incidencia en la modelización. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29(Extra),197-206.
- Redish, E. F. (2005). *Resolución de Problemas y el uso de Matemática en los cursos de Física*. Conferencia en *World View on Physics Education*. Nueva Delhi, 21 a 26 de agosto.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. y Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18,1-34.