

# La compleja apropiación de la información conceptual de los gráficos cartesianos en las aulas de física en la universidad

The complex appropriation of conceptual information  
Cartesian graphs in classrooms college physics

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Ignacio Idoyaga<sup>1</sup>, Gabriela Lorenzo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Junín 956, CP 1113AAD, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>CONICET.

E-mail: iidoyaga@ffyb.uba.ar

## Resumen

Se presenta una investigación empírica realizada en un primer curso de física universitaria, con el propósito de profundizar el estudio del procesamiento que realizan los estudiantes de gráficos cartesianos. Participaron 55 estudiantes que respondieron a dos tareas de lápiz y papel diseñadas especialmente e introducidas en situación de examen. Las tareas incluían gráficos cartesianos que representaban situaciones de la mecánica clásica, sobre la que se planteaban cuestiones (cerradas y abiertas) que referían a los niveles explícito, implícito y conceptual de la información gráfica, con niveles de complejidad creciente. Si bien los estudiantes resolvieron satisfactoriamente a nivel explícito, presentaron una amplia variedad de dificultades en los otros dos, sobre todo en el nivel conceptual, en especial a la hora de describir las características del fenómeno.

**Palabras clave:** Gráficos cartesianos; Procesamiento de la información gráfica; Física; Universidad.

## Abstract

This work describes an empirical research carried out in a first course of university Physics. Its aim is to go deeper into the study of the processing of Cartesian graphs by university students. 55 freshmen students answered two paper-and-pencil tasks, specially designed, in an exam situation. Representations about classic mechanics were included in Cartesian graphs. Then a set of open and closed questions were asked. These questions explore the three levels of processing graphic information: explicit, implicit and conceptual. Students were able to answer at explicit level, but they have several difficulties in the others two levels, particularly at conceptual one, related to the description of phenomenon characteristics.

**Keywords:** Cartesian charts; Graphic information processing; Physics; University.

## I. INTRODUCCIÓN

El discurso científico, en general, y el discurso en física, en particular, se constituye a partir de distintos sistemas semióticos: lenguaje natural, lenguaje gráfico, lenguaje matemático, entre otros. Según Lemke (1997) recurrir a estos diferentes sistemas semióticos es una necesidad que impone la idea sobre la que se construye el discurso. Cada sistema permite abordar de una manera determinada el tópico en cuestión. De este modo los sistemas no resultan redundantes, sino que actúan de manera sinérgica. Por lo que, la información gráfica ocupa un lugar preponderante en la enseñanza de las ciencias naturales (Artola, Mayoral y Benarroch, 2016; Grilli, Laxague y Barboza, 2015; Gómez Llombart y Gavia Catalán, 2015).

Perales (2006) plantea la necesidad de ampliar el término entorno de aprendizaje para incluir los signos, símbolos y reglas de las representaciones gráficas como poderosas características que influyen sobre el aprendizaje y la enseñanza. Más aún, en las clases de ciencias resultaría imperativo explicitar, enseñar y aprender las reglas que conectan las representaciones con las ideas que sustituyen en el discurso (Lombardi, 2009).

El lenguaje gráfico se basa en el uso de representaciones gráficas, que, como tipo particular de representación externa, son construcciones consensuadas que refieren a objetos, fenómenos o ideas. Estas

representaciones reúnen las características fundamentales de los referentes y pueden sustituirlos para la interacción con ellos. Se trata de representaciones permanentes que pueden ser conservadas en un soporte y ofrecen una representación visual de objetos ausentes o conceptos abstractos (García García, 2005). Según la forma en que se presenta la información y su relación con el objeto o fenómeno representado pueden distinguirse distintos tipos de representaciones gráficas (Postigo y Pozo, 2000): diagramas, mapas, ilustraciones y gráficos. Estos últimos y en particular los gráficos cartesianos, representan en el espacio relaciones numéricas o cuantitativas entre variables, razón por la cual, ocupan un lugar central en el discurso de la física, en su enseñanza y en la práctica experimental.

Los estudiantes de ciencias deben procesar la información contenida en los gráficos en pos de construir conocimiento a partir de ella que exceda a la propia representación. En este sentido, Postigo y Pozo (2000) han propuesto tres niveles de procesamiento de los gráficos:

1. El nivel de procesamiento de la información explícita: es el nivel más superficial de lectura del gráfico. Se trata de identificar los elementos presentes en el gráfico (título, número, nombre, tipo y los distintos valores de las variables).

2. El nivel de procesamiento de la información implícita: requiere encontrar patrones y tendencias identificando relaciones entre las variables involucradas. Este nivel exige que el gráfico sea interpretado globalmente y supone un cierto conocimiento y manejo del sistema semiótico (por ejemplo, determinar la pendiente de una recta sería uno de estos procesos).

3. El procesamiento de la información conceptual: requiere en gran medida de los niveles anteriores y está centrado en el establecimiento de relaciones conceptuales a partir del análisis global de la estructura del gráfico, lo que hace necesario ir más allá de la información contenida de modo explícito e implícito en el gráfico y recuperar otros conocimientos disponibles en la memoria a largo plazo para realizar interpretaciones, explicaciones o predicciones sobre el fenómeno representado en el gráfico.

Los dos primeros niveles de procesamiento suelen alcanzarse en la educación media y quedaría para la universidad el desarrollo de las habilidades relacionadas con el nivel de la información conceptual. Sin embargo, nuestros estudios (Autor 1 y Autor 2, 2012) muestran que el interés del profesorado universitario está más orientado a que los estudiantes alcancen otras competencias gráficas, priorizando los usos operativos de estas representaciones sobre sus posibilidades cognitivas. Lo que coincide con varias investigaciones que han puesto de manifiesto que tanto los estudiantes universitarios como sujetos titulados en ciencias, presentan dificultades para acceder a la información gráfica más allá de los dos primeros niveles (Leinhardt, Zalanvsky y Stein, 1999; García García y Perales, 2006; Pozo y Flores, 2007) e interpretarla (Font y otros, 2008), así como para construir representaciones (Álvarez Tamayo, 2011 y Solar, Deulofeu y Azcárate, 2015). La imposibilidad de acceder a la información conceptual podría ser una de las causas de los frecuentes problemas que manifiestan los estudiantes para el aprendizaje de las ciencias naturales (Suárez y Cordero, 2008; Galagovsky, Di Giacomo y Castelo, 2009; Chamizo, 2010; Matus, Benarroch y Nappa, 2011).

Este trabajo busca contribuir al campo de las investigaciones en enseñanza y aprendizaje en educación superior. Más específicamente en el área de la didáctica de las ciencias naturales, centrandose su atención en física. En esta disciplina, los gráficos, especialmente los gráficos cartesianos resultan esenciales. Las preguntas que guiaron esta investigación fueron ¿en qué niveles son procesados mayoritariamente gráficos cartesianos relativamente sencillos por un grupo de estudiantes universitarios? ¿Qué dificultades se presentan en cada nivel de procesamiento?

Lograr claridad sobre el nivel de procesamiento que alcanzan los estudiantes podría orientar a los profesores para elegir estrategias de enseñanza más adecuadas para su grupo de clase y promover el diseño y la ejecución de secuencias didácticas tendientes a propiciar el desarrollo de las habilidades relacionadas con el nivel de procesamiento conceptual.

## II. METODOLOGÍA

### A. Participantes

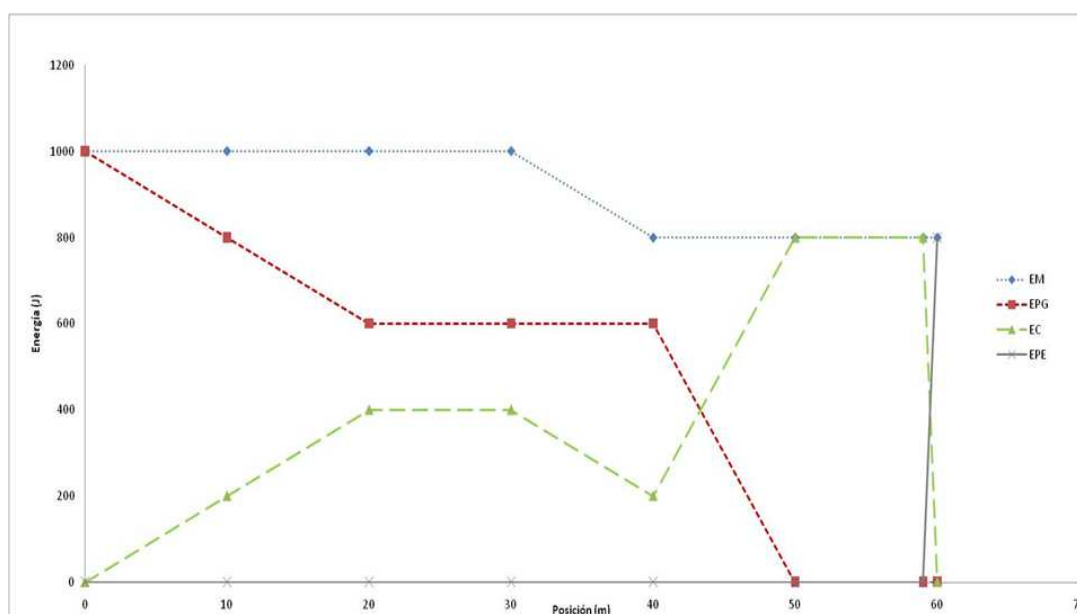
Los participantes fueron estudiantes de las carreras de Bioquímica, Farmacia y Licenciatura en Química que se dictan en una universidad privada del ámbito de la Ciudad de Buenos Aires. Participaron 55 estudiantes de 22 años de edad promedio, 29 mujeres y 26 varones, que conformaban un grupo completo de clase. Al momento de la realización de las tareas, noviembre de 2015, todos se encontraban cursando la asignatura Física A que corresponde al primer año de las carreras. La asignatura es un primer curso de física universitaria donde se abordan temas correspondientes a cinemática, dinámica y leyes de conservación. Su duración es de cuatro meses con una carga horaria semanal de cuatro horas. Los estudiantes son evaluados a través de dos exámenes escritos, dos informes de laboratorio y un trabajo final, en todas estas

instancias se espera que los estudiantes confeccionen e interpreten representaciones gráficas, particularmente gráficos cartesianos que presentan dos variables. Los profesores en las primeras clases del curso abordan cuestiones relacionadas con el uso y confección de gráficos cartesianos.

## B. Tareas

Este estudio incluyó la realización de dos tareas de lápiz y papel especialmente diseñadas. Las tareas fueron introducidas en situación de examen para disponer del espacio y tiempo necesarios para su realización. Ambas tareas se completaron en alrededor de noventa minutos.

Tarea 1: Se presentó un gráfico cartesiano (Figura 1) donde se representaban los distintos tipos de energía mecánica en función de la posición, de un bloque que se desplaza por una superficie con ascensos y descensos, donde hay zonas que presentan rozamiento y en la que se interpone un resorte. Sobre la situación representada en el gráfico 1 se realizaron siete preguntas cerradas y una abierta vinculadas a los distintos niveles de procesamiento de la información gráfica (E: explícito; I: implícito; C: conceptual). Las preguntas y el nivel asociado se muestran en la Tabla I.



**FIGURA 1.** Gráfico cartesiano incluido en la Tarea 1: “Energía asociada a una masa A”. (EM: Energía Mecánica, EPG: Energía Potencial Gravitatoria, EC: Energía Cinética, EPE: Energía Potencial Elástica).

**TABLA I.** Preguntas vinculadas a los niveles de procesamiento de la información gráfica en la tarea 1.

Preguntas referidas al gráfico 1		Nivel de procesamiento
a	¿En qué unidades se mide la variable Energía?	E
b	¿Cuál es la variable dependiente?	E
c	¿Qué energía cinética está asociada a la masa cuando se encuentra en una posición igual a 30m?	E
d	¿Entre qué posiciones la variación de la energía potencial gravitatoria es máxima?	I
e	¿Cuál es el intervalo de posiciones en las que hay rozamiento?	C
f	Explique todo lo que se presenta en el gráfico. No olvide incluir cómo es la superficie, qué tipo de transformaciones energéticas se dan, en qué parte de la superficie actúan fuerzas no conservativas y qué sucede con cada tipo de energía, con la velocidad y con la altura y por qué.	C

Tarea 2: Consistió en un gráfico cartesiano (Gráfico 2) sobre el que se advertía a los estudiantes la presencia de errores por lo que se les solicitaba que los identificaran y explicaran de la manera más completa posible a que se debía el error; y, por último, que propusieran el gráfico correcto. Es decir que, en esta segunda tarea, se incluyó además del estudio de los niveles de procesamiento, una tarea de transferencia hacia la producción de una nueva representación gráfica en función de la interpretación alcanzada a partir del gráfico cartesiano original y sus propios conocimientos específicos de física de la temática

abordada. La Tabla II detalla los errores incluidos en la representación y el nivel de procesamiento con el que están relacionados (E: explícito; I: implícito; C: conceptual).

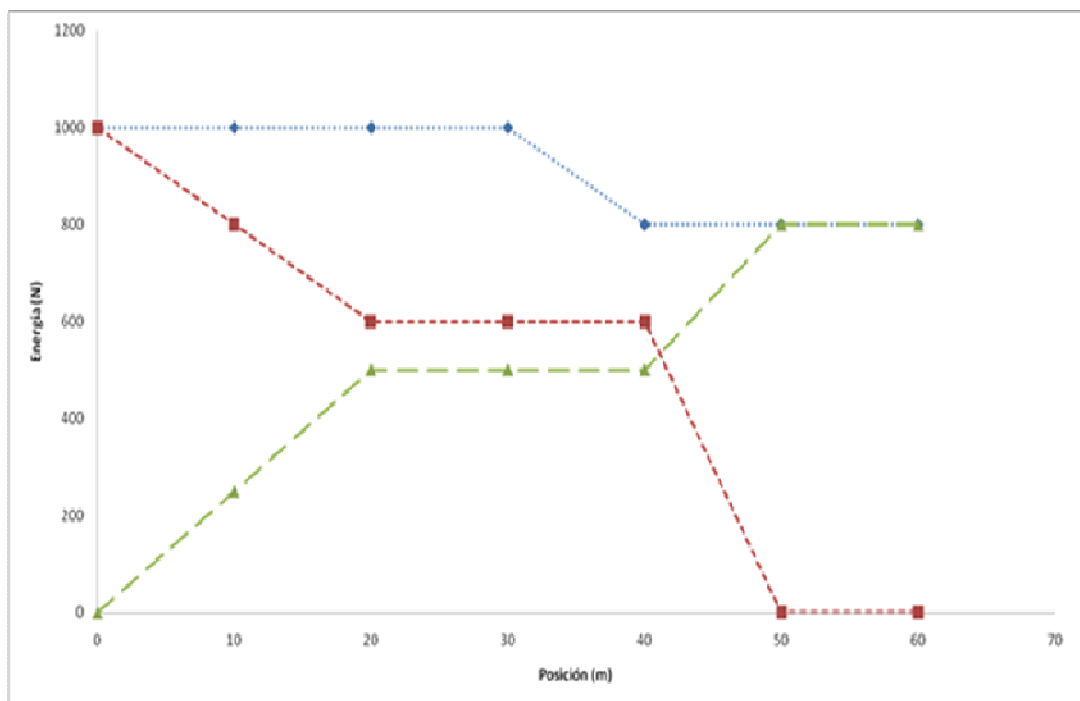


FIGURA 2. Gráfico cartesiano incluido en la Tarea 2: “Energía asociada a una masa B”.

TABLA II. Errores incluidos en el gráfico de la Tarea 2 y niveles de procesamiento asociados.

	Descripción del error	Nivel de procesamiento
a	Error en la unidad de la variable dependiente	E
b	Ausencia de referencia, no está aclarado que representa cada trazo	E
c	La pendiente del trazo con cuadrados debería ser de igual modulo y signo contrario que el trazo con triángulos entre 0 y 20m. Entendiendo al trazo con cuadrados como Energía potencial gravitatoria y al trazo con triángulos como energía cinética.	I - C
d	La pendiente del trazo con cuadrados debería ser de igual modulo y signo contrario que el trazo con triángulos entre 40 y 50m. Entendiendo al trazo con cuadrados como Energía potencial gravitatoria y al trazo con triángulos como Energía cinética.	I - C
e	La sumatoria punto a punto de los trazos con cuadrados y con triángulos entre 0 y 50m no coincide con el trazo con rombos. Entendiendo al trazo con cuadrados como Energía potencial gravitatoria, al trazo con triángulos como energía cinética y al trazo con rombos como Energía Mecánica.	C

### C. Diseño y análisis de datos

Las producciones escritas de los estudiantes fueron analizadas en primera instancia de manera individual por cada investigador para luego poner en común sus observaciones con el grupo de investigación. Para el análisis del contenido de las respuestas a las preguntas cerradas (a, b, c, d y e) de la tarea 1 se asentaron aquellas correctas desde una perspectiva disciplinar y se registraron las respuestas diferentes para luego reconocer en ellas factores comunes que permitieran evaluar y caracterizar la presencia de errores que dieran cuenta de las diversas dificultades. Para el análisis de las respuestas a la pregunta f se la revisó prestando atención a los aspectos listados en la Tabla III.

Para el análisis de la tarea 2 se verificó que se indicaran todos los errores presentados. Se analizaron las producciones prestando atención a los mismos aspectos listados en la Tabla III.

TABLA III. Indicadores propuestos para el análisis del ítem f de la Tarea 1.

A	Coherencia conceptual entre las distintas secciones de cada representación. Correcciones propuestas por los estudiantes.
B	Pertinente y correcta utilización de modelos físicos en la resolución.
C	Recurrencia a nuevas representaciones externas.
D	Utilización de referencias y aclaraciones de carácter semiótico.
E	Uso de multiplicidad de lenguajes.

### III. RESULTADOS

#### A. Tarea 1

Las preguntas a, b y c fueron respondidas de manera correcta desde una perspectiva disciplinar por la mayoría de los estudiantes participantes (N=50). El error más recurrente (N=3) se presentó en las respuestas a la pregunta c y pudo describirse como la realización de una interpolación incorrecta.

La pregunta d registró 45 respuestas correctas desde una perspectiva disciplinar, 6 de los estudiantes no la respondieron y las restantes respuestas no se ajustaban a lo esperado. El error más frecuente (N=4) pudo describirse como la elección de un intervalo de posiciones donde no hay variación de la energía potencial gravitatoria.

Fueron 22 los estudiantes que no respondieron la pregunta f. Solo 12 presentaron una producción que es plenamente consistente con los modelos física enseñados en la asignatura, 10 de estos estudiantes presentaron en sus producciones nuevas representaciones, fundamentalmente imágenes, que están integradas en el discurso y se las utilizan para explicitar sus interpretaciones del gráfico presentado, la Figura 3 muestra una representación incluida en la producción de un estudiante. De este grupo, algunos participantes (N=5) utilizaron una amplia variedad de referencias y aclaraciones de carácter semióticas que facilitan el uso de un lenguaje mixto con contenido verbal y gráfico, como por ejemplo un código de colores o la numeración de distintas secciones de las representaciones. En las 21 las producciones de estudiantes restantes se detectaron numerosas y variadas dificultades a la hora de interpretar el gráfico presentado utilizando los modelos físicos esperados. Encontramos incoherencias entre la explicación expuesta en lenguaje natural y las representaciones propuestas, explicaciones parciales que dejan fuera algunas porciones del gráfico, entre otras.

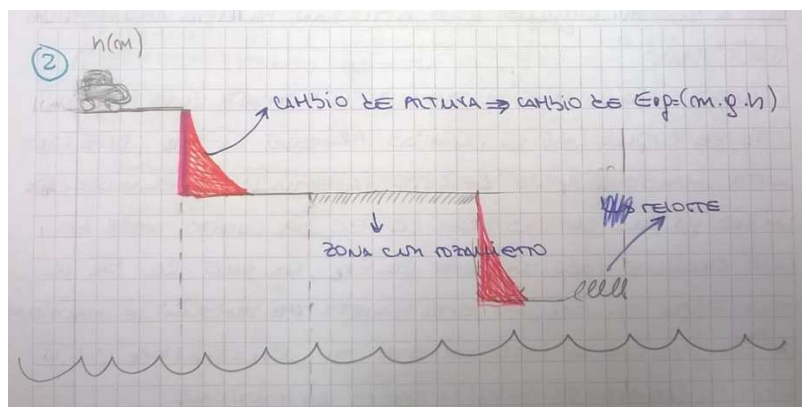


FIGURA 3. Representación incluida por un estudiante en la respuesta a la pregunta f de la Tarea 1.

#### B. Tarea 2

Del total de 55 alumnos, 16 no respondieron esta tarea, 39 identificaron al menos uno de los errores presentados. Fueron 30 los estudiantes que identificaron el error a y 22 los que identificaron el error b. Solo 16 estudiantes lograron identificar todos los errores del gráfico presentado. Solo 8 participantes pudieron además de identificar los errores, explicar claramente por qué los consideraron de ese modo y proponer un gráfico alternativo que no incluyera errores. La Tabla IV muestra la cantidad de estudiantes que lograron identificar cada error.

**TABLA IV.** Estudiantes que detectaron los errores del gráfico de la Tarea 2.

Error:	a	b	c	d	e
N:	30	22	19	18	18

Las dificultades para explicar claramente la naturaleza de los errores y presentar un gráfico alternativo fueron numerosas y variadas. Por ejemplo, la falta de coherencia interna en las representaciones sugeridas para reemplazar el gráfico con errores por 20 de los estudiantes, se trata de representaciones que no son compatibles con los modelos físicos utilizados para abordar los fenómenos presentados. Se observaron gráficos donde la energía mecánica aumenta a lo largo del dispositivo, donde los cambios de energía cinética aparecen no compensados por cambios en otros tipos de energía, entre otros. Del mismo modo 15 de las representaciones sugeridas carecen de las referencias necesarias para su comprensión.

#### IV. DISCUSIÓN

En la Tarea 1, los estudiantes participantes mostraron estar familiarizados con los gráficos cartesianos, como surge del análisis de sus respuestas a las preguntas que hacen referencia al nivel explícito (50 las responden correctamente). Esto es atribuible a su proceso de escolarización a través del cual pudieron desarrollar habilidades relacionadas con los dos primeros niveles de procesamiento de la información gráfica. Las pocas dificultades encontradas tienen que ver con la identificación de la variable dependiente, una temática solo abordada lateralmente en el curso de física. La pregunta relacionada con la información implícita registró solo algo menos de respuestas de respuestas consideradas correctas (45), lo que puede estar relacionado con la complejidad creciente entre los niveles.

Dentro de las principales dificultades para responder la pregunta f se encontró la falta de conexión entre la representación y los modelos físicos, es decir que los modelos utilizados para generar las explicaciones no coincidían con la representación presentada. Esto podría atribuirse no sólo la poca apropiación de los conceptos, sino también al poco dominio del sistema representacional y a la imposibilidad de realizar un procesamiento conceptual de la representación. Así mismo la inclusión de ecuaciones y tratamientos analíticos no requeridos en la resolución de la tarea podría reflejar el modo de trabajo al que los participantes están habituados en sus cursos.

Estos resultados se podrían explicar, en parte, considerando que sí bien, desarrollar las habilidades relacionadas con el nivel de la información conceptual debería ser uno de los objetivos de la educación superior, muchas de las actividades planteadas en el curso están relacionadas con los usos operativos de estas representaciones.

Los pocos estudiantes que lograron completar la totalidad de la tarea sin incurrir en inconsistencias desde una visión disciplinar y respetando los tiempos estipulados mostró denominadores comunes: incluyeron un amplio juego de referencias y recurrieron a una variedad de representaciones, como manifestaciones externas de la resignificación de los gráficos presentadas; característica del procesamiento a nivel de la información conceptual.

En la tarea 2, fueron pocos los estudiantes que lograron responder al requerimiento, y mayormente son los mismos que obtuvieron buenos resultados en la tarea 1. Esto último reforzaría la idea que alcanzaron el nivel de procesamiento conceptual. En estas resoluciones aparecieron, claras vinculaciones con modelos físicos, pero además los ajustes realizados al gráfico o la presentación de un gráfico alternativo pusieron de manifiesto que comprendían el carácter representacional del mismo.

El hecho que, en las respuestas de este grupo, aparezcan nuevas representaciones que van más allá de las requeridas en ambas tareas, como imágenes y una gran variedad de referencias, resultan evidencias de que se han apropiado de la carga conceptual de las representaciones presentadas, de que las han procesado y resignificado dando origen a representaciones internas que externamente se manifiestan a través de un lenguaje mixto, verbal, analítico y gráfico.

#### V. CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

En síntesis, este estudio muestra a través de los indicadores utilizados (el uso de múltiples representaciones en las explicaciones, la existencia de coherencia interna en la representación, las correcciones propuesta por los estudiantes participantes en la Tarea 2 y el uso de sistemas de referencia) que la mayoría de los estudiantes acceden a la información explícita e implícita, pero que el acceso a la información conceptual sólo lo logra una minoría.

Estas consideraciones deberían orientar la práctica de los profesores para generar actividades tendientes a que sus estudiantes hagan propias las habilidades relacionadas con el procesamiento de gráficos a nivel de la información conceptual. Esto permitiría a los alumnos aprender por medio de gráficos y superar los obstáculos para construir aprendizajes cuando las estrategias de enseñanza impliquen la utilización de representaciones con importante carga conceptual, como es habitual en los estudios superiores en ciencia y tecnología.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo forma parte del plan de tesis de doctorado de su primer autor. Fue realizado en el marco de los Proyectos UBACYT (2014-2017) N° 20020130100073BA.; CONICET- PIP (2014-2016) N° 11220130100609CO.

## **REFERENCIAS**

Artola, E., Mayoral, L. y Benarroch, A. (2016). Dificultades de aprendizaje de las representaciones gráficas cartesianas asociadas a biología de poblaciones en estudiantes de educación secundaria. Un estudio semiótico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 36-52.

Álvarez Tamayo, O. (2011). Incidencia de las representaciones múltiples en la formación del concepto Transporte celular en estudiantes universitarios. (Tesis inédita de Maestría). Universidad de Manizales. Colombia.

Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.

Font, V., Acevedo, J., Castells, M. y Bolite J. (2008). Metáforas y ontosemiótica. El caso de la representación gráfica de funciones en el discurso escolar. En P. Lestón (Ed.) *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 21. México, DF: Colegio Mexicano de Matemática Educativa A.C. y Comité Latinoamericano de Matemática Educativa A.C.

Galagovsky, L., Di Giacomo, M.A. y Castelo, V. (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 1-22.

García García, J. (2005). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 23(2), 181-199.

García García, J. J. y Perales, F. (2006). ¿Cómo usan los profesores de química las representaciones semióticas? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 247 - 259.

Gómez Llombart, V. y Gaviria Catalán, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 441-455.

Grilli, J., Laxague M. y Barboza, L. (2015). Dibujo, fotografía y Biología. Construir ciencia con y a partir de la imagen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 91-108.

Leinhardt, G., Zalanvsky, O. y Stein, K. (1990). Functions, graphs and graphing: Tasks, learning and teaching. *Review of Educational research*, 60(1), 1-64.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia: Lenguaje, Aprendizaje y Valores*. México: Paidós, 1997.

Lombardi, G., Caballero, C. y Moreira, M. (2009). El concepto de la representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de investigación*, 66(1), 152-185.

Matus, L., Benarroch, A. y Nappa, N. (2011). La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 178-201.

Solar, H., Deulofeu, J. y Azcárate, C. (2015). Competencia de modelización en interpretación de gráficas funcionales. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 191-210.

Suárez, L. y Cordero, F. (2008). Elementos teóricos para estudiar el uso de las gráficas en la modelación del cambio y de la variación en un ambiente tecnológico. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 3(1), 51-58.

Perales, F. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 13-30.

Postigo, Y. y Pozo, J. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: la interpretación de gráficos por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 90(1), 89-110.

Pozo, J. I. y Flores, F. (Coords.) (2007). *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid: Antonio Machado.