

Las representaciones gráficas en la enseñanza y en el aprendizaje de la física en la universidad

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Ignacio Idoyaga^{1,2}, Gabriela Lorenzo^{1,3}

¹Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Junín 956 – CP 1113 – Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

²Cátedra de Física, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Junín 956 – CP 1113 – Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

³CONICET

E-mail: iidoyaga@ffyb.uba.ar

Resumen

Se presentan la fundamentación y los resultados preliminares del plan de trabajo correspondiente a la tesis “Las representaciones gráficas en la enseñanza y en el aprendizaje de la física en la universidad” en desarrollo en el Centro de Investigación y Apoyo a la Investigación Científica de la *Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires* (FFYB-UBA). Este plan propone describir las prácticas áulicas de enseñanza y de aprendizaje de las representaciones gráficas, interpretarlas y detectar posibles dificultades para así elaborar propuestas didácticas de intervención. Las representaciones gráficas son un tema clave para la física de gran transversalidad con otras disciplinas. Consecuentemente la investigación atiende tres aspectos: su naturaleza como contenido de enseñanza y aprendizaje, las estrategias de los profesores para enseñarlas y las dificultades para su aprendizaje, así como sus interrelaciones. En este proyecto se utilizó una metodología que combina los enfoques cualitativo y cuantitativo. Los resultados preliminares mostraron que los profesores de física se centran en la construcción de gráficos cartesianos y hacen uso explicativo de las representaciones, desatendiendo su uso problémico. Los estudiantes las consideraron objetos académicos y mostraron que pueden acceder a la información explícita e implícita de los gráficos, no así a la información conceptual. Se indican las actividades previstas para avanzar en la tesis.

Palabras clave: Representaciones gráficas, Prácticas áulicas, Universidad, Enseñanza de la física, Aprendizaje de la física.

Abstract

This paper introduces the fundamentals and preliminary results about the thesis called “Graphic representations in teaching and learning physics at University”, developed by Centro de Investigación y Apoyo a la Investigación Científica that belongs to *Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires* (FFYB – UBA). Its objective consists in describing the teaching and learning practices around graphic representations, identifying the way they are interpreted, and detecting possible difficulties in order to elaborate interventional didactic proposals. Graphic representations represent one of physics’ key subjects that are shared with other disciplines. In consequence, the investigation covers three aspects: its nature as a teaching and learning content, professors’ strategies to teach them and the difficulties for its learning, and finally, its interrelationships. The methodology used combines qualitative and quantitative approaches. The preliminary results shown that physics professors tend to use cartesian graphics making an explanatory usage of representations and disregarding its problematic dimension. Students consider them as academic objects. They proved they are able to access to explanatory and implicit information on graphics, not considering the conceptual aspect of them. This work also indicates the activities to proceed with the thesis.

Keywords: Graphic representations, Classroom practices, University, Teaching physics, Learning physics.

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo de tesis tiene como objetivo general contribuir al el campo de las investigaciones en enseñanza y aprendizaje en educación superior. Más específicamente en el área de la didáctica de las ciencias naturales, particularmente de la física.

El plan se enfoca en la enseñanza y aprendizaje de las representaciones gráficas, debido a que es un tema clave para física con un gran nivel de transversalidad a lo largo de las diversas disciplinas que conforman las titulaciones universitarias en ciencia y tecnología de superior.

Las representaciones gráficas, como tipo particular de representación externa, son una construcción de los sujetos que se refiere a objetos o fenómenos con los cuales ellos entran en interacción. La representación pretende reunir las características fundamentales de los objetos o fenómenos representados. Se trata de representaciones permanentes que pueden ser conservadas en un soporte y ofrecen una representación visible de conceptos e ideas abstractas. Estas representaciones constituyen una parte central de la comunicación en física y en ciencias naturales, en general; también son cruciales en su enseñanza y en el trabajo experimental (García, 2005); por lo que el aprendizaje de muchos de los conceptos de física y de ciencias están ligados al aprendizaje de las representaciones gráficas. Sumado a esto, puede decirse que la utilización de representaciones que usan diferentes registros semióticos puede favorecer el aprendizaje propiciando la construcción de conocimiento coherente (Seufert, 2003).

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: Representan espacialmente relaciones conceptuales, se pueden mencionar cuadros sinópticos y redes conceptuales como ejemplos.

-Gráficos: Representan en el espacio relaciones numéricas o cuantitativas entre variables, los histogramas y gráficos de torta pertenecen a esta categoría.

-Mapas, planos y esquemas: Representan relaciones espaciales selectivas, en general respetando una escala, en el ámbito de la enseñanza de la física, pueden destacarse los esquemas de los aparatos utilizados en los trabajos prácticos de laboratorio.

-Ilustraciones: Destacan, también, las relaciones especiales, pero su intencionalidad es de tipo reproductiva; donde la imagen presenta semejanzas con objeto de representado.

El propósito de esta investigación es describir las prácticas áulicas para la enseñanza y el aprendizaje de las representaciones gráficas, interpretarlas y detectar las posibles dificultades con el fin de elaborar propuestas didácticas de intervención. Para lograrlo se han comenzado a estudiar tres aspectos: a) La naturaleza de las representaciones gráficas como contenido que debe ser enseñado y aprendido, b) la forma en que los profesores enseñan las representaciones gráficas, y c) el aprendizaje de las representaciones gráficas por parte de los estudiantes incluyendo las dificultades que pueden surgir, y las interrelaciones entre estos tres aspectos.

Las representaciones gráficas, sobre todo los gráficos cartesianos, además de servir para representar fenómenos estudiados son usadas para comunicar resultados del trabajo científico. Entonces, sus características, su naturaleza y diversidad, al igual que las formas en que se construyen y transforman, deben ser consideradas como parte de los contenidos al aprender ciencias, lo que lo convierte necesariamente en un tema de investigación para la didáctica de las ciencias.

En relación a la enseñanza, la investigación se centra en documentar el Conocimiento Didáctico de las representaciones gráficas que poseen los profesores y su relación con el uso que hacen de ellas. Al mismo tiempo, y dado que las creencias sobre la naturaleza de determinado tópico, influyen en la constitución del conocimiento profesional de los profesores, este trabajo incluye el estudio de las creencias de los profesores sobre las representaciones gráficas.

El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), es un conocimiento que va más allá de lo disciplinar y no se limita a los saberes construidos en los procesos de formación inicial y continua de origen académico, sino que se construye desde los diferentes contextos del desarrollo experiencial y profesional del profesor, teniendo en cuenta los aportes del conocimiento interdisciplinar y sin desconocer los factores institucionales, familiares y políticos que inciden en las decisiones como profesional de la enseñanza (Lorenzo, M. G., Daza, S. y Garritz, A., 2014).

Desde que Shulman (1987) propuso el CDC como una amalgama entre el conocimiento disciplinar y el didáctico se ha consolidado el programa de investigación que busca describirlo particularmente en lo que refiere a los profesores de ciencias naturales. Es además, un conocimiento contextual que caracteriza a los buenos profesores (Talanquer, 2004) y les permite desarrollar exitosamente su tarea eligiendo analogías, ejemplos y actividades para cierto grupo de estudiantes; de allí la importancia de estudiarlo.

Desde otra perspectiva se puede pensar que las representaciones gráficas tienen diferentes usos didácticos. En líneas generales una representación gráfica puede ser incluida en clase con tres objetivos (García García, 2005). Puede presentarse en la exposición de determinados hechos, en el marco de una

situación problema o en el interior de una propuesta de trabajo experimental. Por lo que pueden definirse tres categorías para el uso didáctico de estas representaciones:

-Uso explicativo: cuando la representación se utiliza para relatar o describir principios o fenómenos.

-Uso problémico: cuando la representación se utiliza para realizar preguntas o problemas, planteados o resueltos.

-Uso instrumental: cuando la representación se usa como herramienta dentro de un proceso de aplicación experimental.

Con respecto al aprendizaje de las representaciones gráficas, se apunta a determinar cuáles son sus las condiciones para lograrlo así como las dificultades que aparecen durante el proceso. Así, los docentes podrán acceder, si tienen la oportunidad de capacitarse, a esta información para acrecentar su conocimiento didáctico del contenido ofreciendo mejores oportunidades de aprendizaje a los estudiantes.

En el caso particular de los gráficos, la investigación busca describir el acceso de los estudiantes a la información contenida en ellos en pos de construir conocimiento a partir de su procesamiento. En este sentido, los gráficos pueden ser procesados en tres niveles diferentes (Postigo y Pozo, 2000):

-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).

-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 sintáctico de los diversos tipos de gráficos (por ejemplo, determinar la pendiente de una recta sería uno estos procesos).

-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, relacionados con el contenido representado, para realizar interpretaciones, explicaciones o predicciones sobre el fenómeno representado en el gráfico.

Distintos investigadores afirman que los estudiantes pertenecientes al nivel superior, así como sujetos titulados en ciencias, presentan dificultades para acceder a la información gráfica más allá de los niveles elementales (Leinhardt, Zalanvsky y Stein, 1990), por lo que resulta de importancia conocer el procesamiento que hacen los estudiantes para así proponer intervenciones superadoras.

II. OBJETIVOS

Los objetivos del plan de tesis son:

1. Describir y analizar el Conocimiento Didáctico de las representaciones gráficas de profesores de diversas clases universitarias de física. Estudiando paralelamente el uso didáctico y las condiciones de uso de distintos tipos de representaciones gráficas en las prácticas de enseñanza. Así como las creencias y concepciones de los profesores sobre representaciones gráficas y su relación con el CDC.

2. Evaluar los recursos didácticos a los que recurren los profesores para enseñar representaciones gráficas. Identificado los elementos presentes en las representaciones gráficas, así como en el contexto en el que están insertas, estableciendo relaciones entre la calidad y cantidad de información, el tipo de representación, el uso didáctico y el uso científico de las representaciones gráficas.

3. Investigar las dificultades y los obstáculos para el aprendizaje de las representaciones gráficas por los estudiantes. Analizando las relaciones entre el aprendizaje y las creencias de los estudiantes con respecto a las representaciones gráficas y la influencia del discurso del profesor en la construcción de conocimiento y de significados por parte de sus estudiantes.

4. Proponer estrategias didácticas para el mejoramiento de la enseñanza y el aprendizaje de las representaciones gráficas en física, en particular, y en asignaturas científicas, en general, en el nivel superior y para la formación docente.

III. METODOLOGÍA

Esta investigación se realiza principalmente en el marco de la asignatura Física de la FFyB. Los sujetos participantes son los profesores y estudiantes de la asignatura, con excepción de los estudios que incluyen análisis comparados a los que se incorporan los estudiantes del CBC o los de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (FADU) de la Universidad de Buenos Aires.

La asignatura es un segundo curso de física universitaria donde la casi totalidad de los temas desarrollados pertenecen a la física clásica, haciendo una breve introducción a algunos tópicos de física moderna, con orientación hacia las ciencias de la salud. Su duración es de cuatro meses con una carga horaria semanal de ocho horas, cuatro de las cuales se dedican al trabajo de laboratorio, además, se realiza un intenso trabajo en un aula virtual. Incluye trabajos de laboratorio, y un intenso trabajo en un aula virtual. A lo largo de todo el curso se pretende que los estudiantes confeccionen e interpreten representaciones gráficas, particularmente gráficos cartesianos que presentan dos variables, para lo cual se incluye una clase al inicio del curso para discutir el uso y confección de gráficos cartesianos.

Se utilizó una metodología que combina el enfoque cualitativo para profundizar en el objeto de estudio, con el enfoque cuantitativa para un mayor carácter de generalidad. Así se plantea una investigación plurimetodológica que complementa ambos enfoques y permite la corrección mutua de posibles sesgos metodológicos.

Globalmente participaron 26 profesores de física de la FFyB y un total de 357 estudiantes, según se detalla en la TABLA I.

TABLA I. Participantes.

	<i>Profesores FFYB-UBA</i>		<i>Estudiantes</i>		
	<i>JTP</i>	<i>Ayudantes</i>	<i>FFyB</i>	<i>CBC</i>	<i>FADU</i>
<i>Estudio 1</i>	16	10	-	-	-
<i>Estudio 2</i>	-	-	50	30	-
<i>Estudio 3</i>	-	-	107	78	92

A. Estudio 1: Conocimiento Didáctico de las representaciones gráficas

La metodología usada para describir y analizar el Conocimiento Didáctico de las representaciones gráficas de profesores estuvo basada en la propuesta por Loughran, Mulhall y Berry (2004) recuperada por Garritz (2007). Se realizaron una serie de actividades:

1. Se realizó la observación no participante de 10 clases de la asignatura Física de la FFyB sobre el tema representaciones gráficas con audiograbación de las mismas, fueron clases de carácter obligatorio, tuvieron una duración aproximada de 70 minutos y contaron con alrededor de 35 estudiantes cada una.

2. Se obtuvieron las transcripciones de las audiograbaciones en formato electrónico utilizando el software Transana 2.41 VD.

3. Se realizó un primer análisis de los discursos completos de los profesores encargados de las clases en estudio, a partir de las transcripciones enriquecidas por los datos obtenidos por la observación.

4. Se construyó el patrón temático de las clases y se procedió al estudio de los mismos por el grupo de investigación con el objeto de identificar las características generales de las clases.

5. Se completó el cuestionario de la representación del contenido (ReCo) (Loughran, Mulhall y Berry, 2004), teniendo en cuenta el análisis del discurso a través de la individualización de indicadores en el texto siguiendo la metodología propuesta por Farré y Lorenzo (2009).

6. Se entrevistó a cinco de los profesores siguiendo el protocolo de pensamiento en voz alta y solicitándoles que respondan la ReCo.

B. Estudio 2: Procesamiento de la información gráfica

Para investigar las dificultades y los obstáculos para el aprendizaje de las representaciones gráficas por los estudiantes, se realizaron las siguientes actividades:

1. Se diseñaron tareas de lápiz y papel que proponían la construcción e interpretación de diferentes representaciones gráficas para evidenciar el dominio de las reglas de los gráficos cartesianos y para evaluar el nivel de procesamiento alcanzado. Las tareas diseñadas guardaban relación con actividades que los estudiantes realizaron durante sus cursos de física, particularmente se relacionaban con los sistemas de cañerías alimentadas por un tanque y con un extremo abierto a la atmósfera analizados en los cursos.

2. Se realizaron entrevistas a cuatro estudiantes siguiendo protocolos de pensamiento en voz alta sobre las mismas tareas.

3. Las tareas fueron analizadas por el equipo de investigación y se propusieron indicadores de que se alcanzó el procesamiento conceptual.

C. Estudio 3: Creencias y Concepciones de estudiantes sobre representaciones gráficas

Para conocer las creencias y concepciones de los estudiantes con respecto a las representaciones gráficas se llevaron adelante diversas actividades:

1. Se diseñó un cuestionario abierto conformado por ocho preguntas que ofició de pre test para el diseño de un cuestionario cerrado. Se aplicó el cuestionario en contexto de aula y con una duración de cuarenta minutos.

2. Se analizaron los resultados entre los miembros del equipo de investigación.

3. Se preparó un cuestionario cerrado que indagaba las creencias y conceptualizaciones de los estudiantes sobre las representaciones gráficas. El cuestionario estuvo compuesto por treinta y seis enunciados de los cuales se pide que se exprese grado de acuerdo entre 1 y 5. Se pretendió indagar tres aspectos: concepto de representación gráfica, creencias sobre potenciales usos de representaciones y reconocimiento de dimensión personal de uso de representaciones gráficas. Se aplicó en contexto de aula, con una duración de alrededor de veinte minutos.

4. Se analizaron los datos utilizando la estadística descriptiva por medio del programa IBM SPSS versión 19. Entendiendo que las variables involucradas eran de tipo ordinal, se procedió al cálculo de la mediana y la moda como estadísticos descriptores de la tendencia central de la muestra y se calcularon máximos y mínimos para tener idea de la dispersión. Se utilizaron los gráficos de frecuencias para profundizar en el análisis del comportamiento de la muestra. Para poder descartar la independencia entre las valoraciones de los distintos aspectos se confeccionaron tablas de contingencia y se aplicó la prueba de Chi-cuadrado de Pearson.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Estudio 1: Conocimiento Didáctico de las representaciones gráficas

Las actividades del estudio permitieron detectar características manifiestas en el CDC de los profesores muy similares, donde se destacan el interés por la construcción de gráficos cartesianos bidimensionales por parte de los estudiantes. Predomina la elección de una modalidad expositiva donde abunda la enunciación de directivas. Las ideas previas de los estudiantes fueron escasamente indagadas o tenidas en cuenta durante las explicaciones, tampoco se observaron preguntas u otras formas de evaluación, la ausencia de elementos que permitiera corroborar en el aula la comprensión en clase ni vinculaciones o conexiones explícitas con los contenidos de otras asignaturas o con el desarrollo profesional.

La insistencia de los profesores por la construcción de las representaciones, los lleva a sobredimensionar aspectos estéticos del gráfico, dejando de lado cuestiones relacionadas con su análisis y finalidad. Esto podría estar relacionado con la falta de comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza representacional y los aspectos semióticos.

Las respuestas de los profesores en las entrevistas mostraron que conciben las representaciones gráficas fundamentalmente como herramientas operativas, ignorando el potencial uso cognitivo que los estudiantes podrían hacer de éstas.

El uso didáctico que los profesores hacen de las representaciones corresponde al tipo explicativo o instrumental, este último aparece fuertemente relacionado a las instancias de trabajo práctico, MIENTRAS QUE el uso problémico de las representaciones ES ESCASO con la consecuente falta de actividades destinadas a que los estudiantes ejerciten las habilidades necesarias para la comprensión de las representaciones.

B. Estudio 2: Procesamiento de la información gráfica.

Los estudiantes se mostraron altamente familiarizados con los sistemas de representación que se propusieron en las tareas. Sin embargo el estudio puso en evidencia las numerosas dificultades de los estudiantes de la FFyB y del CBC a la hora de trabajar con las representaciones, problemas para seleccionar una escala adecuada que permita la elaboración de un gráfico fácilmente legible, un inadecuado nivel de referencias y el incumplimiento de las convenciones sobre como ubicar las variables.

Puede decirse que los estudiantes acceden a lo que Postigo y Pozo (2000) llamaron información explícita e información implícita de las representaciones gráficas, pero sólo unos pocos logran procesar la información a nivel conceptual. No se observaron diferencias entre la resolución de los estudiantes de la FFyB y del CBC. Así mismo del análisis de estas tareas y de las entrevistas surgió una propuesta de indicadores para evaluar el nivel de procesamiento conceptual en las producciones escritas de los estudiantes, a través de la detección de indicadores tales como la presencia de aclaraciones semióticas, la

inclusión de diversas representaciones, y el uso de lenguaje mixto con contenido verbal y gráfico.

C. Estudio 3: Creencias y Concepciones de estudiantes sobre representaciones gráficas.

Con respecto a las creencias de los estudiantes, apareció una diferencia marcada en la valoración del gráfico cartesiano con respecto a los otros tipos de representaciones gráficas en los estudiantes de la FFyB y del CBC, no así en los de FADU. Los estudiantes de todas las unidades académicas parecen estar familiarizados con los sistemas de representación presentados, los entienden como herramientas propias del ámbito académico y del ejercicio profesional. No vislumbran las posibilidades cognitivas de las representaciones ni su valor comunicacional. La baja valoración del uso en lo cotidiano de estas representaciones, particularmente del gráfico cartesiano que se muestra en la FIGURA 1, refuerza la idea de la necesidad de llevar adelante un proceso de alfabetización gráfica.

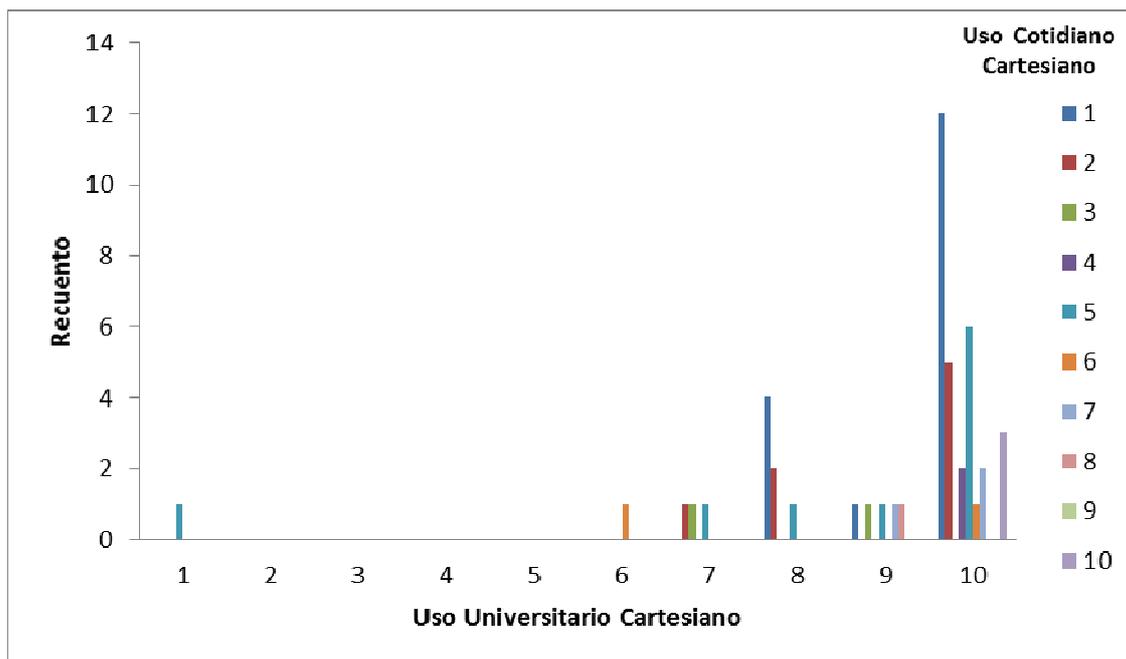


FIGURA 1. Número de individuos en función del grado de valoración del uso universitario del gráfico cartesiano y de su uso cotidiano.

IV. PLAN DE AVANCE, ACTIVIDADES PREVISTAS Y PERSPECTIVAS

Uno de los puntos en los que está previsto avanzar es en la recolección de material didáctico para estudiar las características y el rol que desempeñan las representaciones gráficas, como así también el modo en que son utilizadas tanto por los profesores como por los estudiantes.

También se espera continuar con los registros de clases y la recolección de datos referidos a las creencias de los profesores, para poder estudiar las interrelaciones entre ellos en una etapa posterior.

En función de los resultados obtenidos, hemos planificado llevar adelante un estudio de tipo longitudinal (en breve lapso) con el propósito de observar posibles regularidades o cambios en el discurso de los profesores en la clase correspondiente a las representaciones gráficas con diferente grupo de estudiantes a lo largo de dos o tres años. Este nuevo enfoque metodológico aportará información relevante tanto sobre las creencias de los profesores en cuanto al contenido y al rol del estudiante, que incidieran en la constitución de su CDC.

Se espera incrementar la evidencia empírica sobre cada uno de los aspectos referidos a la información gráfica, su naturaleza, su enseñanza y su aprendizaje, de modo de poder encarar el análisis de las interrelaciones que se producen en el aula entre profesores, estudiantes y el contenido en cuestión.

De este modo, se dispondrá de una descripción desde un enfoque sistémico de la realidad del aula, que permitirá formular nuevas propuestas y ensayarlas, en un proceso dinámico en busca de mejores alternativas para enseñar física.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos UBACYT B-055, UBACYT B-20020100100010; CONICET- PIP (2010-2012): 11220090100028; y fue incluida como parte de los proyectos presentados a las convocatorias 2013 UBACYT y PIP-CONICET “La co-construcción de conocimiento científico en clases de ciencias naturales y de la salud. Profesores y estudiantes en interacción”.

REFERENCIAS

Farré, A. y Lorenzo, G. (2009). Another piece of the puzzle: The relationship between beliefs and practice in higher education organic chemistry. *Chemical Education Research and Practice*, 10 (2), pp. 176–184.

García García, J. 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), pp. 181-199.

Garritz, A. (2007). Análisis del conocimiento pedagógico del curso “Ciencia y Sociedad” a nivel universitario. *Revista Eureka*, 4(2), pp. 226-246.

Leinhardt, G., Zalavsky, O. y Stein, M.K. (1990) Functions, graphs and graphing. Task a learning and teaching. *Review of educational research*, 60(1), pp. 1-64.

Lorenzo, M. G., Daza, S. y Garritz, A. (2014). ¿Transposición didáctica o conocimiento didáctico del contenido o conocimiento pedagógico del contenido? “A rose by any other name”. Un recuerdo de Sandy Abell. En Lorenzo, M. G., Daza, S. y Garritz, A. (Ed.), *Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamericana*. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.

Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), pp. 370–391.

Postigo, Y. y Pozo, J. I. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 90, pp. 89-100.

Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction*, 13(2), pp. 227-237.

Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of a new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 21-36.

Talanquer, V. (2004). ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química? *Educación química*, 15 (1), pp. 60-66.