

Las representaciones gráficas en los exámenes de física universitaria

Graphical representations in university physics exams

Ignacio Idoyaga^{1,2}, Jorge Maeyoshimoto^{1,2}, Nahuel Moya^{1,2}, y Gabriela Lorenzo²

¹Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Departamento de fisicomatemática. Cátedra de física. Junín 954, C1113 AAD. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

²Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica. Junín 954, C1113 AAD. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

E-mail: iidoyaga@ffyb.uba.ar

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Resumen

En este trabajo se buscó realizar un primer estudio descriptivo del rol de las representaciones gráficas en los exámenes de un curso de física universitaria. A tal fin, se estudiaron los tipos de representaciones gráficas, los usos científicos y la cantidad de información de los gráficos presentes y el nivel de procesamiento necesario para responder de manera correcta a las actividades de evaluación. La metodología recurrió a un enfoque mixto. Se desarrolló especialmente una guía de observación de exámenes que permitió la identificación de las variables consideradas, propuestas a priori en base a los aportes teóricos que dieron sustento a esta investigación. El análisis de los datos recurrió a estadística descriptiva. Los principales resultados muestran que los gráficos son el tipo particular de representación más abundante en los exámenes analizados y se evidenció una marcada preponderancia de las actividades que para ser realizadas requerían acceder al procesamiento a nivel de la información conceptual.

Palabras clave: Representaciones gráficas; Física universitaria; Uso y cantidad de información de gráficos; Procesamiento de gráficos.

Abstract

In this work we sought to carry out a first descriptive study of the role of graphical representations in the exams of a university physics course. To this end, the types of graphical representations, the scientific uses and the amount of information of the present graphs and the level of processing necessary to respond correctly to the evaluation activities were studied. The methodology resorted to a mixed approach. An exam observation guide was specially developed that allowed the identification of the variables considered, a priori proposals based on the theoretical contributions that supported this research. The data analysis resorted to descriptive statistics. The main results show that the graphs are the most abundant particular type of representation in the exams analyzed and there was a marked preponderance of the activities that required access to the processing at the level of the conceptual information.

Keywords: Graphical representations; University physics; Uses and amount of information of graphs; Graphics processing.

I. INTRODUCCIÓN

En la discusión sobre la enseñanza o el aprendizaje de las ciencias naturales, la noción de representación debería estar en el centro de toda reflexión (Duval, 1999), ya que no hay conocimiento que un sujeto pueda movilizar sin realizar una actividad ligada a la semiosis.

Es posible definir funcionalmente a las representaciones como constructos de los sujetos que refieren a objetos, fenómenos, conceptos o ideas (García-García, 2005) y que reúnen los atributos de sus referentes valorados como esenciales según el tipo y la finalidad de la representación. De este modo, a los fines comunicativos o intelectuales, pueden remplazar al objeto o fenómeno cuando los sujetos interaccionan con ellas.

La perspectiva didáctica reconoce dos grandes tipos de representaciones (García-García, 2005): las externas y las internas (Duval, 1999) o públicas y privadas (Cox, 1999). Las representaciones internas son constructos mentales, de carácter idiosincrático, que se construyen tácitamente en el aprendizaje y se utilizan en la percepción, razonamiento, resolución de problemas y otras actividades cognitivas. Las representaciones externas, de carácter público, involucran complejos sistemas de signos que permiten presentar algún aspecto del mundo en su ausencia. Son construcciones culturales o tecnologías intelectuales (Debray, 2001) que sirven como instrumentos concretos y soportes para la mente, actuando como prótesis cognitivas que apoyan y amplifican su funcionamiento (Pozo, 2001). Por esta razón, resultan fundamentales para la enseñanza y el aprendizaje.

Los sistemas externos de representación pueden analizarse desde una perspectiva temporal (Pérez Echeverría y Scheuer, 2009). En este sentido se pueden diferenciar dos grandes tipos de representaciones externas: las no permanentes y las permanentes (Pérez-Echeverría, Martí y Pozo, 2010). El primer grupo incluye los gestos y el lenguaje oral. Las representaciones permanentes son aquellas que se encuentran inscriptas sobre algún tipo de soporte, lo que les permite ser conservadas y percibidas hasta mucho tiempo después de su producción, incluso en ausencia de su autor. Aquí se incluyen, entre otros, el lenguaje escrito y el registro gráfico.

Las representaciones gráficas, también llamadas pictóricas (Eysenk y Keane, 1990), imágenes visuales (Otero, 2004), o no-textuales (Lombardi y otros, 2009), son el tipo particular de representaciones externas permanentes que están compuestas por diferentes elementos (puntos, líneas, manchas, colores, etc.) que se disponen sobre una superficie bidimensional y, utilizando como recurso semiótico sus características espaciales, se combinan para formar signos.

Una clasificación propuesta por Postigo y Pozo (2000) distingue entre las representaciones gráficas teniendo en cuenta tanto la forma en la que es presentada la información, así como la relación que esa información tiene con el objeto o fenómeno representado. En base a estos criterios, se pueden reconocer cuatro grupos de representaciones gráficas:

1. Ilustraciones. Representan relaciones espaciales reproductivas de un objeto o fenómeno. Ejemplos: fotografías y dibujos.
2. Diagramas. Representan relaciones conceptuales, de manera esquemática y organizada. Ejemplos: cuadros sinópticos y organigramas.
3. Mapas o planos o croquis: representan una relación espacial selectiva en la cual es fundamental la localización relativa de los diferentes elementos del mundo representado. Generalmente utilizan una escala. Ejemplos: los mapas geográficos o los planos de un instrumento científico.
4. Gráficos: representan relaciones numéricas o cuantitativas que existen entre dos o más variables a través de distintos elementos (barras, líneas, entre otras). Ejemplos: gráficos cartesianos o histogramas.

En la enseñanza de la física las representaciones gráficas ocupan un lugar preponderante (Artola, Mayoral y Benarroch, 2016). Esto obedece a que la comunicación se establece recurriendo a distintos sistemas semióticos que actúan sinérgicamente, presentando cada uno un aspecto particular del tópico en cuestión (Lemke, 2002), contribuyendo a la construcción de un significado canónico (Bowen y otros, 1999). Por lo que, las características y restricciones de cada sistema condicionan el aprendizaje (Perales, 2006).

Particularmente, los gráficos, y en especial los cartesianos, brindan la posibilidad de representar la experiencia de recolectar, transformar y teorizar sobre la data, describir fenómenos y realizar inferencias (Arias y otros, 2011; Jiménez Tejada y otros, 2013), lo que los convierte en elementos privilegiados en la comunicación disciplinar.

Los gráficos cartesianos requieren para ser construidos e interpretados el despliegue de diferentes actividades cognitivas inherentes a la semiosis. Postigo y Pozo (2000) proponen que el procesamiento de los gráficos se ve afectado por la estructura del gráfico (formato y tipo) y la estructura numérica (número y tipo de variables y relación entre ellas). Además, estudios anteriores (Idoyaga y otros, 2017) dieron cuenta de que el fenómeno representado (contenido) y la tarea también afectan las posibilidades de procesamiento. En esta línea se puede sostener que el procesamiento de los gráficos se realiza en tres diferentes niveles que forman parte de un continuo:

1. Nivel de la información explícita: es el más superficial. Se trata de identificar los elementos presentes en el gráfico: título, número, nombre, tipo y los distintos valores de las variables.
2. Nivel de la información implícita: requiere encontrar patrones y tendencias identificando relaciones entre las variables involucradas. Exige que el gráfico sea interpretado globalmente y supone un cierto manejo del sistema semiótico; por ejemplo, determinar la pendiente de una recta.

3. Nivel de la información conceptual: requiere 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 recuperar otros conocimientos disponibles en la memoria a largo plazo, relacionados con el contenido representado, para realizar interpretaciones, explicaciones o predicciones.

El nivel de procesamiento conceptual resulta difícil de alcanzar incluso para estudiantes universitarios y sujetos titulados en ciencias (Cook y otros, 2008). Conciene a la internalización de la representación para resignificarla por lo que resulta imprescindible para la generación de conexiones con representaciones internas preexistentes y para la conversión de la representación original en otros tipos de representaciones externas. Esto cobra particular importancia si se acepta que la diversificación de las representaciones de un mismo objeto aumenta la comprensión, que aparece ligada a el reconocimiento de las invariancias entre las representaciones (Duval, 1999).

Por otra parte, existen dos aspectos más a considerar. Por un lado, los gráficos pueden contener diferente cantidad de información (García-García, 2005). La cantidad de información guardará relación con el número de elementos representacionales presentes dentro del gráfico (escala, título, unidades, nombre de los ejes, entre otros). Por el otro lado, se puede reconocer el papel que un gráfico cumple dentro del curso de la disciplina distinguiéndose entre dos categorías de uso científico:

1. Uso experimental: el gráfico se usa para representar el comportamiento de un grupo de datos.
2. Uso teórico: el gráfico se emplea como modelo teórico sobre el comportamiento de los fenómenos.

Dada la centralidad de los gráficos en la comunicación disciplinar en física, en su enseñanza y en la práctica experimental y entendiendo que el aprendizaje de la física resulta indistinguible del aprendizaje de los registros semióticos desplegados para la construcción del significado canónico de sus modelos, este trabajo presta particular atención al papel de los gráficos en la educación en física universitaria. Estas representaciones han sido estudiadas en los materiales didácticos (García-García 2005, Idoyaga y otros, 2017) y en el contexto de clase (Idoyaga y Lorenzo, 2012), y en esta oportunidad se presenta un aporte para la comprensión del papel las representaciones gráficas, en particular de los gráficos en los exámenes, sin entrar en otros aspectos más profundos, que hacen a la discusión sobre evaluación.

Por ende, se busca realizar un primer estudio descriptivo reconociendo el tipo de representaciones gráficas presentes en los exámenes de un segundo curso de física universitaria, el uso científico y la cantidad de información de los gráficos presentes, así como el nivel de procesamiento requerido para responder la pregunta de la que forma parte.

II. METODOLOGÍA

A. Materiales analizados

Se realizó un primer estudio exploratorio de carácter descriptivo sobre un compendio de 100 preguntas de examen publicado por la Cátedra de Física de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires en el año 2016. Dicha elección tuvo en cuenta que la totalidad de las preguntas seleccionadas por los docentes responsables de la cátedra para integrar el compendio fueron incluidas en exámenes parciales y finales durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2015.

B. Variables y niveles

En concordancia con los objetivos específicos planteados y tomando las propuestas de Pozo y Postigo (2000) y García-García (2005) ya comentadas, se definieron para este estudio las siguientes variables y sus correspondientes niveles:

- Actividad semiótica requerida. Variable cualitativa nominal con dos niveles: interpretación y construcción.
- Tipo de representación gráfica. Variable cualitativa nominal con cuatro niveles: Diagramas, Ilustraciones, Mapas o planos o croquis y Gráficos.
- Uso científico de los gráficos. Variable cualitativa nominal con dos niveles: Experimental y Teórico.
- Cantidad de información de los gráficos. Variable cuantitativa continua. Refiere a la cantidad de elementos informativos presentes dentro de un gráfico (García-García, 2005). Cada elemento se contabiliza de manera dicotómica (sí/no) puntuando como 1 su presencia, por ende, la variable puede tomar valores de 0 a 11 según se observen en el gráfico de los siguientes elementos:
 - Escalas.

- Unidades claramente identificadas.
- Datos dentro del espacio gráfico.
- Nombre de los ejes completos o con sus correspondientes abreviaturas (no sólo una letra).
- Título.
- Fórmulas físicas.
- Expresiones algebraicas.
- Datos numéricos en los ejes (diferentes a las grandes divisiones de la escala).
- Íconos (que refieran al fenómeno estudiado o a montajes experimentales relacionados con la construcción del gráfico).
- Términos (conceptos o frases cortas de tipo explicativo).
- Signos propios del campo de la física.
- Nivel de procesamiento requerido. Variable cualitativa nominal con 3 niveles: explícito, implícito y conceptual.

C. Recolección de datos

El documento fue analizado utilizando una guía de observación de materiales especialmente diseñada cuya confección consideró los aportes teóricos anteriormente mencionados. De este modo, se identificaron los niveles de las variables pertinentes para cada una de las preguntas y de las representaciones gráficas encontradas en los materiales estudiados.

La guía propuesta constó de cinco partes. La parte A se aplicó a la totalidad de las preguntas de examen incluidas en el compendio y permitía que los investigadores registren si la pregunta requería para ser contestada correctamente la construcción o la interpretación de representaciones gráficas. La parte B constaba de una clave dicotómica (figura 1) que permitía diferenciar y tipificar las representaciones gráficas presentes según la clasificación utilizada y se aplicó tantas veces por pregunta como representaciones gráficas se encontraron.

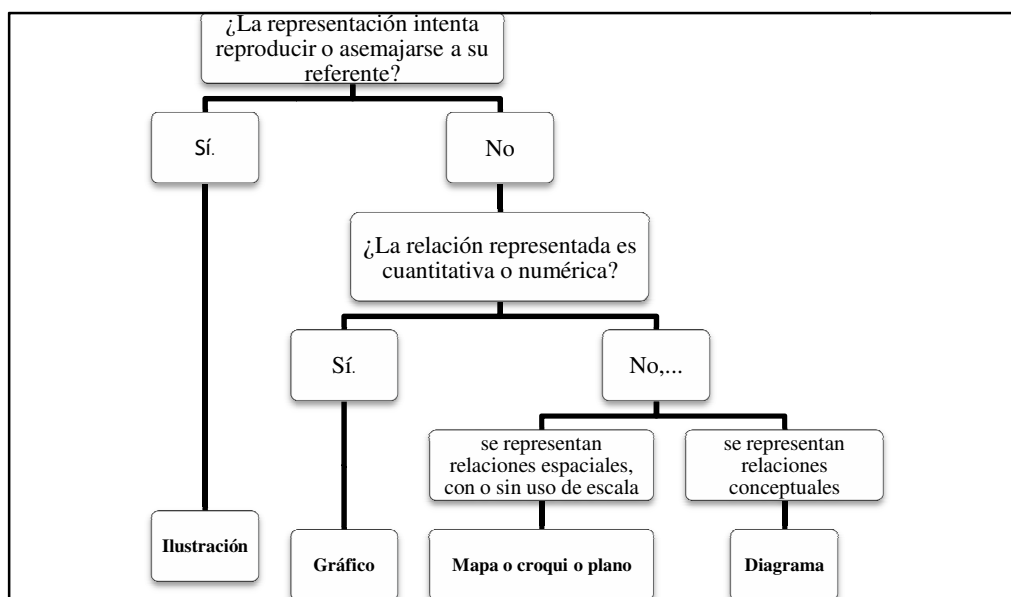


FIGURA 1.Clave dicotómica incluida de la parte B de la guía de observación con el fin de diferenciar y tipificar las representaciones gráficas presentes.

La parte C de la guía de observación se aplicó únicamente a aquellas representaciones tipificadas como gráficos (pudiendo ser más de una por pregunta) y presentaba una segunda clave dicotómica para el registro de su uso científico como teórico o experimental (figura 2).

Asimismo, la parte D contaba con un *autoscore* para cuantificar la cantidad de información (tabla I). Cabe mencionar que la aplicación de esta parte se hizo más de una vez por pregunta en función a la cantidad de gráficos presentes.

Por último, la parte E presentaba una clave dicotómica que se aplicaba para cada gráfico encontrado (incluso más de una vez por pregunta si la pregunta tenía más de un gráfico) a fin de discriminar entre los niveles de procesamiento de la información de los gráficos requeridos para responder a la pregunta.

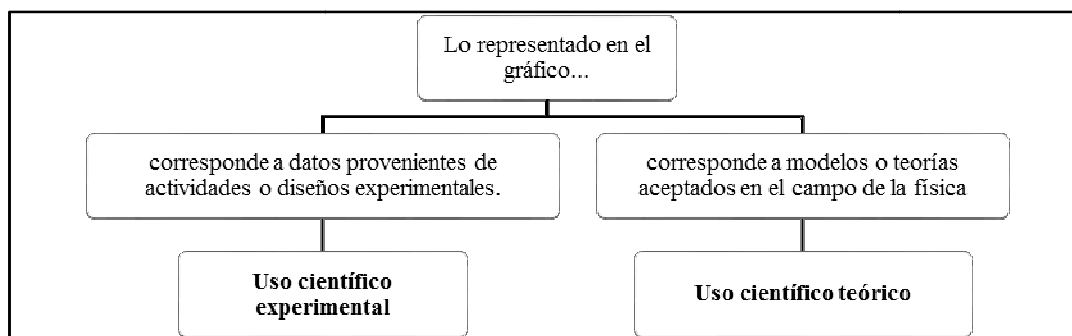


FIGURA 2. Clave dicotómica incluida de la parte C de la guía de observación con el fin de diferenciar el uso científico de los gráficos.

TABLA I. Ejemplo de la aplicación del score utilizado en la parte D de la guía de observación para calcular la cantidad de información de un gráfico.

¿Se incluyen dentro del gráfico los siguientes elementos informativos?	SI (1 punto)	NO (0 puntos)	Puntaje asignado
Escalas	x		1
Título	x		1
Fórmulas físicas en el área de trazado		x	0
Unidades claramente identificadas	x		1
Datos dentro del área de trazado		x	0
Nombre de los ejes completos o con sus correspondientes abreviaturas (no sólo una letra)	x		1
Expresiones algebraicas		x	0
Datos numéricos (diferentes a las grandes divisiones de la escala)		x	0
Íconos (que refieran al fenómeno estudiado o a montajes experimentales relacionados con la construcción del gráfico)		x	0
Términos (conceptos o frases cortas de tipo explicativo) en el área de trazado.		x	0
Signos propios del campo de la física.	x		1
Total	-	-	5

D. Análisis de datos

Cada investigador analizó el compendio, de manera independiente, utilizando la guía de observación descripta. Luego pusieron en común sus consideraciones para llegar a los acuerdos necesarios (triangulación de investigador). Se realizó un análisis estadístico descriptivo. En primer lugar, se calculó la frecuencia absoluta para las variables *Tipo de actividad semiótica* y *tipo de representación gráfica*. Luego, para aquellas representaciones categorizadas como *Gráficos*, se calcularon las frecuencias absolutas de las variables *Uso científico de los gráficos* y *Nivel de procesamiento requerido*. Por último, se calcularon los estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión para la variable *Cantidad de información de los gráficos* y lo mismo según la variable de clasificación *Uso científico de los gráficos*.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer término, de las 100 preguntas estudiadas, 67 requerían para ser respondidas satisfactoriamente construir o interpretar una o más representaciones gráficas. Es decir, dos de cada tres preguntas incluidas deliberadamente por los profesores de la cátedra en el compendio precisan por parte de los estudiantes desplegar actividades cognitivas vinculadas a la semiosis en el registro gráfico. Esto constituye una evidencia de la centralidad de las representaciones gráficas, no solo en los circuitos comunicacionales de la disciplina, sino también en los procesos de construcción de significado a los que podría estar apuntando una pregunta de examen. En el mismo sentido, se podría pensar que los autores de estos exámenes consideran que la construcción e interpretación de representaciones gráficas es un elemento a evaluar en la educación formal en física, particularmente en el nivel superior.

Una mirada más minuciosa sobre el asunto mostró que 43 de las 67 preguntas que requerían actividades semióticas apuntaban a la interpretación de una o más representaciones, mientras que solo 24 requerían construirlas. Cabe aclarar que una pregunta puede requerir interpretar y también construir representaciones. Este marcado interés por la interpretación parece estar en consonancia con las ideas que sostienen que el aprendizaje requiere reconocer los elementos que aparecen como regularidades en los diferentes registros semióticos. Sin embargo, no coinciden con los resultados de investigaciones previas (Idoyaga y Lorenzo, 2012) que sostienen que el interés de los profesores en clase está centrado en los aspectos requeridos en la construcción de las representaciones, lo que podría indicar algún punto discordante entre la enseñanza y la evaluación.

En segundo término, la guía de observación permitió la tipificación de las 68 representaciones gráficas encontradas en el compendio (figura 3). Cabe recordar que una pregunta puede contener más de una representación. El tipo de representación más abundante resultó ser el gráfico, de los cuales se encontraron 46, todos cartesianos. En segundo lugar, aparecieron los planos o croquis o mapas (20), todos ellos referidos a instrumental de laboratorio que los estudiantes usaron durante las actividades experimentales propuestas en el curso o a circuitos eléctricos. Mucho menor fue el número de ilustraciones (2), que también referían a instrumental de laboratorio. Por último, no se encontró ningún diagrama.

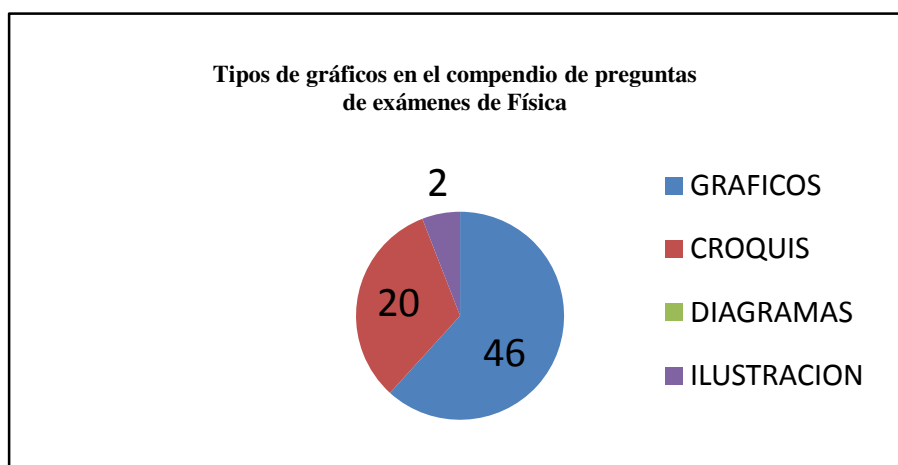


FIGURA 3. Tipo de representación gráfica encontradas en el compendio de preguntas de exámenes de física.

La abundancia de los gráficos, particularmente cartesianos, da cuenta de su centralidad en el discurso de la disciplina, que obedece a su versatilidad para representar la experiencia de recolección de datos o para presentar de forma estilizada los modelos. Además, considerando la finalidad del material estudiado, se podría pensar que los gráficos son reconocidos como elementos propios de la educación en física, por lo que aparecen recurrentemente en las instancias de evaluación. Adicionalmente, la aparición de mapas, planos o croquis referidos al instrumental de laboratorio podría estar indicando la intención de los profesores de incluir en la evaluación los aspectos vinculados a los Trabajos Prácticos desarrollados en el curso, destacando el carácter experimental de la disciplina. La ausencia de diagramas podría estar reflejando la tradición en la comunicación de la disciplina. Todos estos resultados coinciden con lo encontrado en estudios anteriores realizados sobre diversos tipos de materiales didácticos (Idoyaga y otros, 2017) en lo que los diagramas estuvieron muy poco representados en todos los materiales estudiados.

En tercer término, los resultados muestran que los 46 gráficos cartesianos encontrados se dividen 26 gráficos cartesianos de uso científico teórico, que presentan de modo estilizado un modelo físico y 20 cartesianos de uso científico experimental, que se construyen desde la data y representan la experiencia de recolectar datos. Esto refuerza la idea de versatilidad de este tipo particular de representación y muestra una diferencia en lo reportado en la bibliografía (García-García, 2005) con respecto a una marcada y mayor preponderancia del uso teórico sobre el experimental.

En cuarto término, la cantidad de información presente en los gráficos estudiados fue relativamente baja (Media=3,11; SD=0,94), lo que en principio no sería esperable teniendo en cuenta que estas representaciones deben interpretarse con el fin de encontrar múltiples elementos informativos que permitan resolver el problema planteado en el examen. La tabla II presenta los estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión para la variable cantidad de información empleando el uso científico como variable de clasificación.

Como se presumía por su naturaleza empírica, los gráficos de uso científico experimental registraron una cantidad de información de más de un punto por encima de los gráficos de uso científico teórico. Esto concuerda con los resultados de investigaciones anteriores (Idoyaga y otros, 2017) y puede atribuirse a

información referente al contexto de obtención de los datos que dan origen a la representación de carácter experimental.

TABLA II. Cantidad de información empleada en los usos científicos en los gráficos contenidos en el compendio de exámenes de física universitario.

Cantidad de información empleado en el uso científico teórico	Media= 2,47; SD=0,70
Cantidad de información empleado en el uso científico experimental	Media=3,58; SD=0,75

Por último, el estudio de la variable *Nivel de procesamiento requerido* arrojó una marcada preponderancia de las actividades que para ser realizadas requerían acceder al procesamiento a nivel de la información conceptual. De los 46 gráficos estudiados, 43 debían procesarse conceptualmente, 2 a nivel de la información implícita y 1 a nivel de la información explícita. Es menester resaltar que este resultado muestra que el nivel de procesamiento requerido en los exámenes es fundamentalmente el más sofisticado. Es decir, se requiere a los estudiantes la internalización de una representación externa para ponerla en tensión con representaciones internas preexistentes de modo de poder resignificarlas. Este tipo de procesamiento requiere un alto grado de alfabetización en el registro gráfico y en las representaciones de la disciplina, y según se reporta en la bibliografía (Pozo y Postigo, 2000), muchas veces no se alcanza en personas con titulaciones en ciencia y tecnología. Sería esperable que para incluir este tipo de procesos cognitivos en las evaluaciones de carácter sumativo se lleve adelante una enseñanza de la física que no solamente ponga el acento en lo disciplinar, sino también fuertemente en los aspectos representacionales de la disciplina, ya que las ideas de la ciencia son difíciles de disociar de sus representaciones. Además, sería necesario evaluar formativamente a los estudiantes para conocer sus habilidades para el procesamiento de gráficos y así ajustar las estrategias de enseñanza.

IV. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Este trabajo permitió comenzar la documentación del rol de las representaciones gráficas, y particularmente de los gráficos cartesianos, en los exámenes de física universitaria. Si bien en sí mismo resulta un pequeño aporte a la comprensión de la complejidad representacional del circuito comunicativo que se despliega cuando se enseñan y se aprenden las ciencias naturales, y en particular física, avanza en un aspecto crucial como es la evaluación. Las tensiones encontradas entre lo observado en este trabajo con respecto al rol de las representaciones en la evaluación y lo que reporta la bibliografía con respecto a cómo se despliegan las representaciones en clase, constituyen un valioso aporte para la reflexión docente. Además, adicionar estudios sobre el carácter representacional de la evaluación a la constelación de trabajos que abordan la investigación de las representaciones en distintas áreas de la educación científica ayuda a construir un panorama más claro que pone en relieve lo fundamental de las actividades semióticas ligadas a la cognición para construir conocimiento científico.

La abundancia de representaciones gráficas y la preponderancia de los gráficos cartesianos dan cuenta de dos aspectos. Por un lado, de la constitución de un híbrido semiótico (Lemke, 2002) que no solo se despliega únicamente en las clases, sino también en las de evaluación y que se sostiene fuertemente en la tradición de la disciplina. Por otro lado, de las potencialidades del registro gráfico para constituirse como elementos propios de la retórica teórica o instrumentos inherentes al proceso de obtención, tratamiento y expansión de los datos experimentales.

Para finalizar, esta propuesta busca propiciar la reflexión sobre los niveles de procesamiento de la información gráfica requeridos a los estudiantes en las diferentes instancias de la educación, y destacar la relevancia de toda investigación que reconozca el carácter fuertemente representacional de la educación científica y la necesidad de realizar futuros trabajos que incluyan otras instancias de evaluación.

REFERENCIAS

- Arias, C., Leal, L. y Organista, M. (2011). La modelación de la variación, un análisis del uso de las gráficas cartesianas en los libros de texto de biología, física y química de secundaria. *Revista de Ciencias*, 15, 93-128.
- 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.

Bowen, G.M., Roth, W.M. y Mc Ginn, M. K. (1999). Interpretations of graphs by university biology students and practicing scientist. Toward a social practice view of scientific representation practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9),1020-1043.

Cook, M., Wiebe, E. N. y Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, 92(5),848-867.

Cox, R. (1999). Representation construction, externalized cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9(4),343-363. doi: 10.1016/S0959-4752(98)00051-6

Debray, R. (2001). *Introducción a la mediología*. Barcelona: Paidós.

Duval, R. (1999). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Cali, Colombia: Universidad del Valle y Peter Lang S.A.

Eysenck, M. W. y Keane, M. T. (1990). *Cognitive psychology: A student's handbook*. Estados Unidos: Lawrence Erlbaum Associates.

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),181-199.

Idoyaga, I. y Lorenzo, M. G. (2012). *Enseñar a graficar para la permanencia en la universidad, en ingreso y permanencia en carreras científico tecnológicas*. San Juan, Argentina: UNSJ.

Idoyaga, I., Maeyoshimoto, J., Moya, C. N., y Granchetti, H. (2017). Uso y cantidad de información de gráficos en materiales didácticos de física. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra),1821-1826.

Idoyaga, I., Moya, C. N., y Lorenzo, M. G. (2017). La información en gráficos cartesianos. Procesamiento conceptual e influencia del contenido. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra),4907-4912.

Jiménez-Tejada, M. P., Sánchez-Monsalve, C., y González-García, F. (2013). How Spanish primary school students interpret the concepts of population and species. *Journal of Biological Education*, 47(4),232-239.

Lemke, J. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes y acciones. En M. Benlloch (Comp.), *La educación en ciencias: Ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Paidós.

Lombardi, G., Caballero, C. y Moreira, M. A. (2009). El concepto de representación ex-terna como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, 33(66),147-186.

Otero, M.R. (2004). Investigación en imágenes en la educación en ciencias. Imágenes, palabras y conversaciones. Conferencia en el IV Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, Brasil. <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Conf/OTERO.pdf> Sitio consultado en julio de 2019.

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

Pérez Echeverría, P. y Scheuer, N. (2009). External representations as learning tools. An introduction. En C. Andersen, N. Scheuer, M. P. Pérez Echeverría y E. V. Teubal(Eds.), *Representational Systems and Practices as Learning Tools*. Londres, Inglaterra: Sense Publishers.

Pérez-Echeverría, M. P., Martí, E. y Pozo, J. I. (2010). Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educación*, 22(2),133-147.

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*, 90,89-100.

Pozo, J. I. (2001) *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid, España: Morata.