

El uso y la cantidad de información de gráficos en un libro de texto de física universitaria

Use and amount of graphic information in a college physics textbook

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Jorge E. Maeyoshimoto¹, Hugo Granchetti², Ignacio Idoyaga¹

¹Departamento físico, químico, matemática, Universidad Argentina John F. Kennedy, Sarmiento 4562, C1197AAR, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

²Cátedra de matemática, Departamento fisicomatemática, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Junín 954, C1113AAD, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

E-mail: maeje2000@gmail.com

Resumen

Este trabajo plantea el estudio de las representaciones gráficas presentes en un capítulo de un libro de texto de física universitaria, 48 en total. Se identificaron los tipos de representaciones gráficas. Se identificaron los usos y la cantidad de información extrínseca e intrínseca de los gráficos. La metodología propuesta recurre a la estadística descriptiva e inferencial. Predominaron los gráficos cartesianos de uso didáctico expositivo y científico teórico. Se encontraron pocos gráficos de uso didáctico instrumental y científico experimental. Se correlacionó la cantidad de información intrínseca y extrínseca con el uso. Se encontraron diferencias significativas entre la información de los gráficos de uso teórico y experimental, siendo mayor en gráficos de uso experimental. Se planteó la necesidad de ampliar la muestra incorporando las representaciones de otros capítulos, libros o materiales.

Palabras clave: Representaciones gráficas; Libro de texto; Universidad; Física.

Abstract

This paper presents the study of graphic representations in a chapter of a textbook of college physics, 48 in total. The type of the graphic representations were identified. The use and amount of intrinsic and extrinsic information of the graphics were identified. The proposed methodology uses the descriptive and inferential statistics. Cartesian graphics of expositive didactic use and theoretical scientific use were predominated. Fewer graphics of instrumental didactic use and experimental scientific use were found. Significant difference between graphics information theoretical and experimental use were found, being higher the graphics with experimental use. The need to extend the sample to incorporate the representations of other chapters, textbooks or materials was proposed.

Keywords: Graphic representations; Textbook; University; Physics.

I. INTRODUCCIÓN

En los libros de física abundan las representaciones gráficas. Esto es consecuencia de que en la disciplina la comunicación se establece a partir de un híbrido semiótico. Como en otras ciencias naturales se recurre a diferentes sistemas de representación. Entre éstos destacan el lenguaje natural, las expresiones matemáticas y las representaciones gráficas (Lombardi y otros, 2009). Estos sistemas actúan sinérgicamente presentando cada uno un aspecto particular del tópico en cuestión (Lemke, 2002), contribuyendo a la construcción de un significado canónico (Roth, Bowen y McGinn, 1999). Las características y restricciones de cada sistema condicionan la enseñanza y el aprendizaje (Perales, 2006).

Las representaciones son constructos de los sujetos que refieren a objetos, fenómenos, conceptos o ideas. Reúnen las características fundamentales de los referentes y pueden sustituirlos en la interacción con los sujetos. Se reconocen dos grandes tipos de representaciones, las externas y las internas (Dubal,

1999). Las representaciones internas son de carácter idiosincrático, son construidas tácitamente en el aprendizaje y se utilizan en la percepción, razonamiento, resolución de problemas y otras actividades cognitivas. Las representaciones externas son notaciones, signos o conjunto de símbolos que nos vuelven a presentar algún aspecto del mundo externo o de la imaginación en su ausencia. Las representaciones externas se dividen en dos grupos, lingüísticas y representaciones gráficas.

Las representaciones gráficas, (Lieben y Downs, 1992), descriptivas (Schnotz y Bannert, 2003), incrustaciones (Roth, Bowen y McGinn, 1999), imágenes visuales (Otero, 2004), gráfico-visuales (Lemke, 1998) o no-textuales (Lombardi y otros, 2009) son algo compuesto por marcas (puntos, líneas, sombras, colores, entre otras) sobre una superficie bidimensional de tal manera que la combinación del mundo representante con las reglas de representación es capaz de promover la realización de una tarea cognitiva que permita inferir un significado, empleando como recurso semiótico las propiedades de su disposición espacial en la superficie.

Las representaciones gráficas pueden clasificarse respondiendo a diferentes criterios (García y Martos, 1992; Kosslyn, 1989; Molitor, Ballsteadt y Mandl, 1989; Win, 1989). Postigo y Pozo (2000) proponen una clasificación que tiene en cuenta la clase y forma en la que es presentada la información así como la relación que esa información tiene con el objeto o fenómeno representado. Distinguen cuatro grupos de representaciones gráficas:

- Diagramas: son representaciones en el espacio de relaciones conceptuales (por ejemplo cuadros sinópticos, organigramas, diagramas de flujo, entre otras).
- Ilustraciones: son representaciones espaciales de objetos que mantienen entre sí una relación espacial en forma reproductiva, pueden tener mayor o menor grado de abstracción.
- Mapas o planos o croquis: son representaciones que expresan una relación espacial selectiva, generalmente utilizan una escala.
- Gráficos: representan en el espacio relaciones numéricas que existen entre dos o más variables a través de distintos elementos (barras, líneas, entre otras).

La posibilidad que brindan los gráficos de representar en el espacio relaciones cuantitativas entre variables los tornan de suma importancia en el discurso de las ciencias naturales (Jiménez Tejada, Sánchez Monsalve y González García, 2013; Arias, Leal y Organista, 2011). Los gráficos permiten informar sobre las variables y los valores de éstas, brindan la posibilidad de representar la experiencia de recolectar, transformar y teorizar sobre la data, permiten describir fenómenos, predecir futuros resultados y cumplen una función retórica en la comunicación científica. En física, en su enseñanza y en la práctica experimental con alta frecuencia encontramos gráficos, particularmente cartesianos.

Si bien varios investigadores (Ainley, Nadi y Pratt, 2000; Bowen, Roth y McGinn, 1999) han encontrado que el uso de gráficos al interior de los libros de textos, la mayor parte de las veces, se limita a la descripción de principios y fenómenos, García García (2005) propone que pueden ser incluidos con diferentes objetivos. Por lo que, los gráficos presentan distintos usos didácticos que refieren a la intención comunicativa con la cual el autor del gráfico lo presenta. Se presentan tres categorías excluyentes:

- Uso expositivo: cuando el gráfico se emplea para relatar o describir principios o fenómenos.
- Uso “*problémico*”: cuando el gráfico se emplea para formular preguntas o problemas planteados o resueltos.
- Uso instrumental: cuando el gráfico se emplea como herramienta dentro de un proceso de aplicación experimental desarrollado o propuesto dentro del material didáctico.
- Asimismo, se puede reconocer el propósito con el que el gráfico fue incorporado al del discurso de la disciplina. De este modo podemos discriminar entre dos categorías excluyentes de uso científico:
- Uso experimental: cuando el gráfico se usa para representar el comportamiento de un grupo de datos.
- Uso teórico: cuando el gráfico se emplea como modelo teórico sobre el comportamiento de los fenómenos.

Otro aspecto a tener en cuenta es la cantidad o volumen de información vinculado a los gráficos incorporados en los libros de texto. Se puede distinguir entre la información contenida dentro del gráfico o intrínseca y la información contenida en el entorno del gráfico, por fuera de este, en el texto que la acompaña o información extrínseca. La cantidad de información intrínseca guardará relación con el número de elementos informativos presentados dentro del gráfico (escala, título, unidades, nombre de los ejes, entre otros). La cantidad de información extrínseca refiere a la suma de los elementos informativos que se encuentran en el entorno en el cual está inserto el gráfico y en relación significativa con el mismo (referencias explícitas al gráfico, inclusión de prácticas científicas asociadas a la elaboración del mismo, entre otros).

Por lo expuesto, el propósito de este trabajo es conocer el rol de las representaciones gráficas en la enseñanza del capítulo de Cinemática, donde abunda el uso de representaciones y en un primer curso uni-

versitario de física, donde los estudiantes comienzan tomar contacto con estas. Las preguntas que guiaron este trabajo son:

- ¿Qué tipo de representaciones gráficas se incluyen en el libro de texto?
- ¿Con qué usos didáctico y científico se las presenta?
- ¿Qué cantidad de información intrínseca y extrínseca exhiben?
- ¿Cómo se relacionan los usos y la cantidad de información?

Podemos sospechar que al igual que en otros textos y materiales didácticos de ciencias naturales los gráficos cartesianos con uso expositivo y teórico en el texto de física, en particular el capítulo de cinemática, resultará el tipo de representación gráfica predominante. El conocimiento generado será de particular importancia y abonará el campo de la didáctica de las ciencias en el nivel superior.

Finalmente los objetivos de este trabajo son identificar y clasificar las representaciones gráficas presentes en el capítulo de cinemática del libro de texto recomendado en un curso de física universitaria. Determinar el uso científico y didáctico de los gráficos. Cuantificar la información intrínseca y extrínseca. Establecer relaciones entre los usos y la cantidad de información.

II. METODOLOGÍA

A. Muestra:

Para este estudio se utilizó una muestra conformada por la totalidad de las representaciones gráficas presentes en el capítulo 2, Cinemática, descripción del movimiento, del libro Física (Wilson, Buffa y Lou, 2007) que conforma la bibliografía obligatoria de la asignatura Física A de las carreras de Farmacia, Química y Bioquímica de la Universidad Argentina John F. Kennedy. Fueron 48 representaciones gráficas totales.

B. Variables de la investigación y niveles:

Tipo de representación gráfica, en base a la propuesta de Postigo y Pozo (2000). Variable cualitativa nominal. Niveles: diagramas, ilustraciones, mapas o planos o croquis y gráficos.

Uso didáctico de los gráficos, en base a la propuesta de García García (2005). Variable cualitativa nominal. Niveles: Uso expositivo, Uso “*problémico*” y Uso instrumental.

Uso científico de los gráficos, en base a la propuesta de García García (2005). Variable cualitativa nominal. Niveles: Uso experimental y Uso teórico.

Cantidad de información intrínseca de los gráficos. Variable cuantitativa continua. Esta variable refiere a la cantidad de elementos informativos presentados dentro de gráfico. Puede tomar valores de 0 a 11 según el gráfico presente:

- Escalas.
- Unidades claramente identificadas.
- Datos dentro del espacio gráfico, correspondientes a puntos de la línea gráfica o a cifras que representen otro tipo de valores.
- Nombre de los ejes (no sólo una letra).
- Título.
- Fórmulas físicas.
- Ecuaciones algebraicas.
- Datos numéricos en los ejes gráficos, diferentes a los correspondientes a las grandes divisiones de la escala.
- Diferentes tipos de íconos que se pueden referir al fenómeno estudiado o a montajes experimentales relacionados con la construcción de la gráfica.
- Términos. Estos términos pueden ser conceptos como tales o frases cortas de tipo explicativo.
- Inclusión de signos o símbolos propios del campo de la física.

Cantidad de información extrínseca de los gráficos. Variable cuantitativa continua. Esta variable representa la suma de los elementos informativos presentes en el texto, que guarden relación con el gráfico. Puede tomar valores de 0 a 6 según el texto presente:

- Referencias explícitas a la gráfica.
- Inclusión de prácticas científicas asociadas a la elaboración de la gráfica: montajes experimentales, tablas de datos, entre otros.
- Referencias a conceptos familiares pertenecientes al campo conceptual de la física y asociados a la relación expuesta en la gráfica.

- Fórmulas matemáticas referidas a funciones asociadas a la gráfica.
- Diferenciación explícita de las variables presentes en la gráfica.
- Referencias a fenómenos cotidianos relacionados con la representación gráfica.

C. Diseño:

En principio, se las clasificaron las representaciones gráficas según su tipo. En una segunda etapa se discriminaron los usos didáctico y científico de los gráficos. Luego con una guía de análisis especialmente diseñada se procedió a la cuantificación de la información intrínseca y extrínseca de los gráficos. Finalmente se procedió a analizar los datos recogidos utilizando estadística descriptiva e inferencial.

D. Análisis de datos:

Para conocer la distribución porcentual de la variable Tipo de representación gráfica se realizó un análisis descriptivo. Se trataron de igual manera las variables Uso Didáctico y Uso Científico para aquellas representaciones categorizadas como gráficos. Para las variables Cantidad de información intrínseca y Cantidad de información extrínseca, se calcularon estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión, según las variables de clasificación Uso didáctico y científico). Asimismo, se estudió la correlación entre las variables Cantidad de información intrínseca y Cantidad de información extrínseca mediante la prueba de Pearson.

Para el análisis estadístico inferencial, en primer lugar se realizaron las pruebas de normalidad correspondientes (test de Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianzas (test de Levene). Luego según los resultados se realizó el test U de Mann-Whitney (sin normalidad) o el test de Student para muestras independientes (con normalidad y homogeneidad de varianzas) para comparar las Cantidad de información intrínseca y extrínseca según el Uso didáctico y científico.

Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software SPSS (versión 22). En todas las pruebas de hipótesis se eligió un nivel de significación alfa de 0,05.

III. RESULTADOS

A. Análisis descriptivo

El estudio de la variable Tipo de representación gráfico arrojó que de las 48 representaciones que conforman la muestra 11 fueron identificadas como Ilustraciones, 7 como Mapas o planos o croquis y 30 como gráficos. Ninguna de las representaciones gráficas que conformaron la muestra fue identificada como diagrama.

Las Tablas I y II muestran la distribución (frecuencia absoluta y porcentaje) de los 30 gráficos identificados se según su Uso didáctico y científico.

TABLA I. Distribución (frecuencia absoluta y porcentaje) de los 30 gráficos identificados según su Uso Didáctico.

	Frecuencia absoluta	Porcentaje
Expositivo	19	63,3
“Problémico”	9	30,0
Instrumental	2	6,7
Total	30	100,0

TABLA II. Distribución (frecuencia absoluta y porcentaje) de los 30 gráficos identificados según su Uso Científico.

	Frecuencia absoluta	Porcentaje
Teórico	26	86,7
Experimental	4	13,3
Total	30	100,0

La media de la variable Cantidad de información intrínseca resultó 5,90 con una desviación estándar de 1,900. En el caso de la variable Cantidad de información extrínseca la media se calculó en 3,50 con una desviación estándar de 1,408. Se verificó que se cumple el supuesto de normalidad. El coeficiente de correlación de Pearson (r) resultó 0,561, mientras que el coeficiente de determinación (r²) resultó 0,315;

es decir que la asociación explica el 31,5% de la variación de los datos. La correlación resultó significativa ($p=0,001$). La figura 1 corresponde al gráfico de dispersión de las variables.

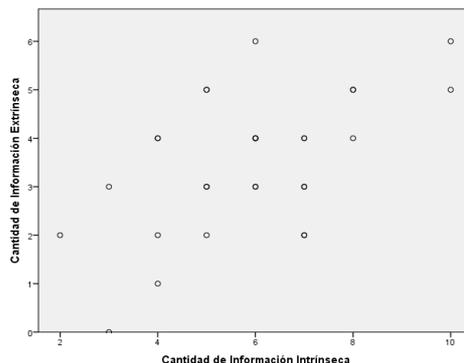


FIGURA 1. Gráfico de dispersión (Cantidad de información intrínseca vs. Cantidad de información extrínseca).

En la Tabla III se muestran los estadísticos descriptivos para las variables Cantidad de información intrínseca y extrínseca según el Uso didáctico. Las figuras 2 y 3 representan los correspondientes Box-Plots.

TABLA III. Estadísticos descriptivos para la Cantidad de información intrínseca y extrínseca según el Uso didáctico.

Uso didáctico			Estadístico
Cantidad de información intrínseca	Expositivo	Media	5,84
		Mediana	6,00
		Desviación estándar	2,007
	"Problémico"	Media	5,33
		Mediana	6,00
		Desviación estándar	1,000
	Instrumental	Media	9,00
		Mediana	9,00
		Desviación estándar	1,414
Cantidad de información extrínseca	Expositivo	Media	3,05
		Mediana	3,00
		Desviación estándar	1,353
	"Problémico"	Media	4,00
		Mediana	4,00
		Desviación estándar	1,118
	Instrumental	Media	5,50
		Mediana	5,50
		Desviación estándar	0,707

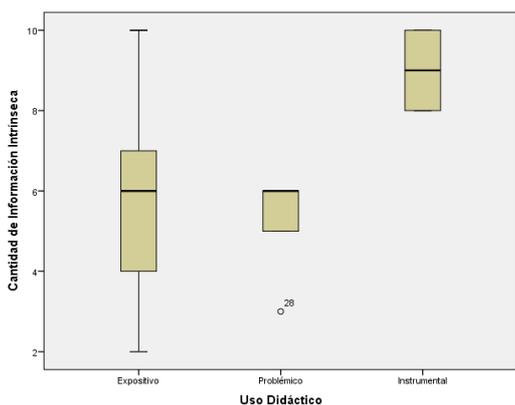


FIGURA 2. Box-Plot (Cantidad de información intrínseca según Uso didáctico).

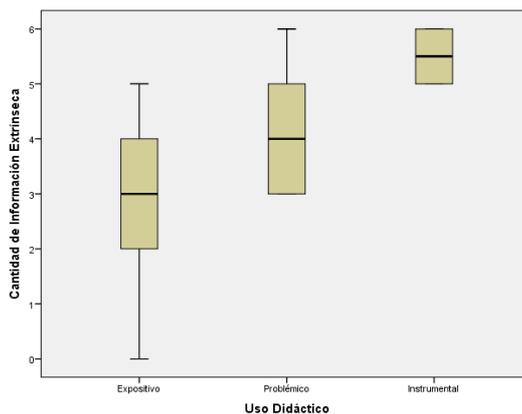


FIGURA 3. Box-Plot (Cantidad de información extrínseca según Uso didáctico).

En la Tabla IV se presentan los estadísticos descriptivos para las variables Cantidad de información intrínseca y extrínseca según el Uso científico. Las figuras 4 y 5 se muestran los Box-Plots correspondientes.

TABLA IV. Estadísticos descriptivos para la Cantidad de información intrínseca y extrínseca según el Uso científico.

Uso científico			Estadístico
Cantidad de información intrínseca	Teórico	Media	5,50
		Mediana	6,00
		Desviación estándar	1,581
Cantidad de información intrínseca	Experimental	Media	8,50
		Mediana	9,00
		Desviación estándar	1,915
Cantidad de información extrínseca	Teórico	Media	3,27
		Mediana	3,00
		Desviación estándar	1,343
Cantidad de información extrínseca	Experimental	Media	5,00
		Mediana	5,00
		Desviación estándar	0,816

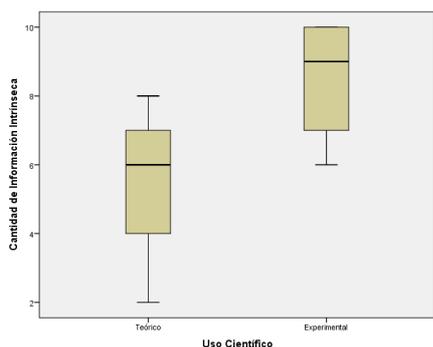


FIGURA 4. Box-Plot (Cantidad de información intrínseca según Uso científico)

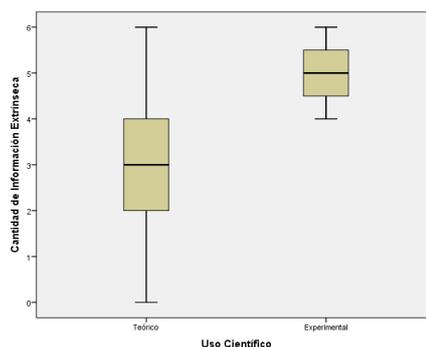


FIGURA 5. Box-Plot (Cantidad de información extrínseca según Uso científico)

B. Análisis inferencial

Las variables Cantidad de información intrínseca y extrínseca no mostraron normalidad para todos los niveles de Uso didáctico. Se descartaron los únicos dos gráficos cuyo Uso didáctico resultó Instrumental. En base al Test U de Mann-Whitney no se observaron diferencias significativas entre las representaciones de Uso Expositivo y de Uso Problemático en cuanto a la Cantidad de información intrínseca ($p = 0,368$), ni en cuanto a la Cantidad de información extrínseca ($p = 0,122$).

Las variables Cantidad de información intrínseca y extrínseca mostraron normalidad para ambos niveles de Uso científico y homogeneidad de varianzas. Se observaron diferencias significativas entre las representaciones de Uso Teórico y de Uso Experimental en cuanto a la Cantidad de información intrínseca ($p = 0,002$), y en cuanto a la Cantidad de información extrínseca ($p = 0,019$). En ambos casos la Cantidad de información resultó mayor para aquellas representaciones de Uso Experimental.

IV. DISCUSIÓN

Como se esperaba, sobre el total de representaciones gráficas del capítulo estudiado (48), una importante proporción fue tipificada como gráficos (30). Esto concuerda con lo que reporta la bibliografía. La posibilidad que brindan para mostrar relaciones cuantitativas los convierte en herramientas comunicativas fundamentales en el discurso de las ciencias naturales. Es oportuno señalar que en su totalidad de estos gráficos pueden ser entendidos como cartesianos. Llama la atención la ausencia de diagramas. Este tipo particular de representación plasma relaciones conceptuales. Su ausencia podría responder a la tradición en los libros de texto y ameritaría posteriores estudios.

Según se muestra en la Tablas I el Uso didáctico expositivo predomina sobre el “*problémico*” e instrumental. El uso didáctico “*problémico*” está bien representado en la muestra ($N=9$), sin embargo sólo se identificaron dos gráficos con uso didáctico instrumental. El capítulo analizado incluye gráficos en el planteamiento de problemas pero sólo en un par de casos los gráficos fueron incluidos en el marco de una propuesta o análisis de una actividad experimental. En la Tabla II se ve que el Uso científico teórico predomina claramente sobre el experimental.

Estos resultados podrían representar un obstáculo para que los estudiantes comprendan que los gráficos resultan elementos indisociables de la práctica experimental. Podrían llevar a entender este tipo de representación como un elemento propio de lo teórico o modélico, como un producto terminado y ausente en el quehacer del experimentador, propiciando un entendimiento deformado del papel de los gráficos en el marco de la producción de conocimiento científico. Por ende, al trabajar con este tipo de textos resultará fundamental que el docente remarque los aspectos instrumentales y experimentales de estas representaciones. La conjunción de los resultados expuestos en las tablas I y II refuerza la hipótesis de partida.

La cantidad de información intrínseca y extrínseca de los gráficos analizados se distribuyó normalmente alrededor de 5,90 sobre 11 y 3,50 sobre 6, respectivamente. Estos valores responden a la metodología utilizada que permite tratarlas como variables cuantitativas continuas. El test de Pearson deja claro que existe una relación lineal entre las dos variables. En consecuencia los gráficos con mucha información en su interior están asociados a una gran cantidad de información en el texto en el que están insertos. Esta tendencia puede verse claramente en la Figura 1. De lo antedicho se desprende que es probable encontrar gráficos donde la cantidad de información intrínseca y extrínseca esté en el mismo orden y menos probable que una supere en mucho a la otra.

El análisis descriptivo de la cantidad de información intrínseca y extrínseca según el uso didáctico se muestra en la Tabla III, las Figura 2 y 3 presentan los correspondientes Box-Plot. Una primera aproximación podría indicar que la cantidad de información es mayor en el caso del uso instrumental. Sin embargo dado el bajo número de gráficos con este uso es conveniente excluirlos en los análisis inferenciales. Al aplicar el correspondiente test se encontró que no existen diferencias significativas entre la cantidad de información intrínseca y extrínseca para los usos expositivo y “*problémico*”.

La descripción de la cantidad de información intrínseca y extrínseca según el uso científico se presenta en la Tabla IV. Los correspondiente Box-Plot se visualizan en las Figuras 4 y 5. Al aplicar el test indicado se demuestra que existen diferencias significativas entre la cantidad de información intrínseca y extrínseca para gráficos de uso teórico y experimental, siendo este último mayor en ambos casos.

Los resultados permiten pensar que la cantidad de información que se adiciona o sustrae a un gráfico o a su entorno dependerá del uso científico asignado a la representación. Posiblemente una muestra con mayor número de representaciones hubiera permitido incluir a los gráficos de uso instrumental en los análisis y esta inclusión podría mostrar, también, diferencias significativas en la cantidad de información según el uso didáctico. La idea que la cantidad de información de un gráfico depende de la intencionalidad de uso se ve reforzada por la correlación entre las variables Cantidad de información intrínseca y extrínseca, lo que mostraría coherencia.

V. CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

En síntesis, en el capítulo estudiado predominan los gráficos cartesianos de uso expositivo y teórico. Se demostró que la cantidad de información guarda relación con el uso científico. Al realizar la tipificación

de las representaciones se encontraron dificultades, por lo que resultaría interesante proponer una nueva clasificación de las representaciones especialmente diseñada para textos de física.

Resulta imprescindible, ya probada la metodología, ampliar la muestra incluyendo todas las representaciones de este y otros libros y demás materiales didácticos utilizados en el curso. De este modo mejoraría la potencia de los test y probablemente se encontrarán otras relaciones significativas a partir de las cuales se podrían reorientar las prácticas en lo que respecta al uso de materiales.

REFERENCIAS

- Ainley, J., Nadi, H. y Dave, P. (2000). The construction of meaning for trend in active graphing. *International Journal of Computers for Methematical Learning*, 5, 85-114.
- 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, 93-118.
- Bowen, G.M, Roth, W.M. y McGinn, M.K. (1999). Interpretations of graphs by university biology students and practicing scientist. Towards a social practice view of scientific representation practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 1020-1043.
- Duval, R. (1999). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Colombia: Universidad del Valle y Peter Lang S.A. Cali.
- García García, J. J. (2005). El uso y volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 181-200.
- García, G. y Martos, E. (1992). *Utilización de los gráficos en el aula: métodos y ejemplos*. Badajoz: Alborán.
- Jiménez Tejada, M., 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.
- Kosslyn, S.M. (1989). Understanding charts and graphs *Applied Cognitive Psychology*, 3, 185-226.
- Lemke, J. (1998). *Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text*. J.R.Martin & R.Veel (Eds.), *Reading science: critical and functional perspectives of discourses of science* (87-111). New York: Routledge.
- 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* (159-186). Barcelona: Paidós.
- Lieben, L.S. y Downs, R.M. (1992). Developing an understanding of graphic representations in children and adults: the case of GEO-graphics. *Cognitive Development*, 7, 331-349.
- Lombardi, G., Caballero, C. y Moreira, M.A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de investigación*, 66, 147-186.
- Molitor, S., Ballstaedt, S. P. y Mandl, H. (1989). Problems in knowledge acquisition from text and pictures. En H. Mandl y J. R. Levin (Eds.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (3-35). Amsterdam: North-Holland.
- Otero, M.R. (2004). Investigación en imágenes en la educación en ciencias. Imágenes, palabras y conversaciones. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*. España. <http://www.reec.uvigo.es>
- Perales, F.J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 13-30.

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.

Roth, W.M. y Bowen, G.M. (1999). Of cannibals, missionaries and covert: graphing competencies from grade 89 to professional science inside (classroom) and outside (field/laboratory), *Science, Technology & Human Values*, 24(2), 179-212.

Roth, W.M., Bowen, G.M. y McGinn, M.K. (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 977-1019.

Schnotz, W. y Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.

Winn, W. D. (1989). The design and use of instructional graphics. En H. Mandl & J.R. Levin (Eds.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (125-144). Amsterdam: North-Holland.

Wilson, J.D., Buffa, A.J. y Lou, B. (2007). Cinemática: Descripción del movimiento. *Física*. México: Pearson Educación.