

¿Comprenden los estudiantes del nivel básico universitario las gráficas cartesianas de datos experimentales?

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Marta Yanitelli, Miriam Scancich

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250. CP 2000, Rosario, Argentina.

E-mail: myanitel@fceia.unr.edu.ar

Resumen

Entre los procesos de transformación e interpretación de datos experimentales, el tratamiento de gráficas constituye un aspecto fundamental en la valoración de éstos y una de las formas de comunicación característica de la actividad científica. A partir de la definición de dimensiones de análisis y sus correspondientes variables, la investigación se orientó hacia el reconocimiento de modos de actuación que desarrollan estudiantes de Física I de carreras de Ingeniería, cuando abordan el estudio de una gráfica cartesiana de datos experimentales. Los mismos se sintetizaron en diagramas que muestran aspectos específicos, inherentes al tratamiento e interpretación de una gráfica. De acuerdo a las afinidades detectadas en tales modos se identificaron tres clases que aluden a diferentes características del proceso de comprensión desarrollado por los estudiantes.

Palabras clave: Gráficas cartesianas, Física básica universitaria, Comprensión, Situación experimental.

Abstract

The graphs treatment in the transformation and interpretation of experimental data, is a fundamental aspect for their assessment and one of the characteristic forms of the scientific activity communication. From the definition of dimensional analysis and the corresponding variables, this research was directed towards the recognition of comprehension modes developed by students of Physics I of Engineering careers when they dealt with the study of a cartesian graph of experimental data. They were synthesized in diagrams that show specific aspects of the processing and interpretation of a graph. There were identified three classes of these modes which represent different characteristics of the comprehension process that the students developed.

Keywords: Cartesian graphs, Basic university Physics, Comprehension, Experimental problem.

I. INTRODUCCIÓN

Un objetivo general de la educación actual es alcanzar la alfabetización científico visual (Perales, 2006), la cual proporciona a los estudiantes los saberes, habilidades y actitudes que les permiten comprender y apropiarse del conocimiento científico y, además, desenvolverse adecuadamente en el contexto profesional (Vilches, Solbes y Gil, 2004). Desde esta perspectiva, las imágenes y, en particular, las representaciones gráficas cartesianas son consideradas como una herramienta de enseñanza fundamental para el aprendizaje de las ciencias (Pinto y Ametller, 2002). Dichas gráficas forman parte de los recursos simbólicos que deben utilizar los estudiantes y por ello sus características, estructura, organización e interrelaciones pueden influir en su aprendizaje (García García, y Perales Palacios, 2007).

En el estudio de los fenómenos físicos, la comprensión de las gráficas cartesianas de datos experimentales, que incluye procesos relacionados con la valoración, transformación e interpretación de tales datos, constituye un aspecto fundamental en la comunicación de información asociada a la actividad científica.

En particular, este proceso de comprensión demanda identificar variables; seleccionar e interpretar escalas; interpolar entre los datos experimentales representados; extrapolar más allá de los datos experimentales; identificar la tendencia de los datos; trazar la curva que mejor ajusta los puntos de la gráfica; seleccionar la función matemática correspondiente; interrelacionar el lenguaje simbólico de la matemática con el específico de la Física y establecer vínculos con el fenómeno real analizado.

Algunos investigadores manifiestan que la comprensión que los estudiantes tienen de las gráficas cartesianas, no es la más adecuada (Goldman, 2003; Kozma, 2003; Lewalter, 2003). Otros autores sostienen que los estudiantes del nivel medio desconocen su utilidad o la confunden con la información que suministran (Núñez, Banet Hernández y Cordón Aranda, 2009). Asimismo, en el marco de una investigación realizada con estudiantes ingresantes en carreras de Ingeniería (Yanitelli, Scancich y Labanca, 2014) se han detectado dificultades en el tratamiento e interpretación de gráficas cartesianas de datos experimentales que persisten aún después de transitar por un curso de ingreso universitario de Física, y en el siguiente curso de primer año, en los que se aborda, específicamente, el estudio de gráficas cartesianas de datos experimentales.

Este estado de situación y nuestro interés por favorecer los procesos inherentes a la comprensión de gráficas cartesianas de un grupo de datos experimentales, nos motivó a formular la siguiente pregunta:

¿Qué características presentan los procesos de comprensión desarrollados por estudiantes de nivel universitario básico al abordar el análisis de gráficas cartesianas de datos experimentales?

En este contexto, la presente investigación se orientó hacia el reconocimiento de los modos de actuación que desarrollan estudiantes de Física I de carreras de Ingeniería, cuando resuelven situaciones experimentales que incluyen gráficas cartesianas.

II. REFERENTES TEÓRICOS

Una representación es una construcción que realizan los sujetos y que se refiere a objetos o fenómenos con los cuales ellos entran en interacción. La representación construida pretende reunir las características y atributos esenciales de los objetos o fenómenos representados y, de esta forma, puede ser utilizada para reemplazarlos. Este reemplazo se realiza a efectos comunicativos e intelectuales. Es decir, la representación sirve para interactuar con los objetos y operar sobre ellos sin necesidad de su presencia física.

Esta definición debe relativizarse, teniendo en cuenta la naturaleza social de los sujetos como de sus construcciones y, además, porque las representaciones construidas entran en interacción con los objetos y fenómenos que representan y con las representaciones construidas por otros sujetos sobre los mismos objetos y fenómenos, transformándose y evolucionando.

Las representaciones pueden ser divididas en externas e internas. De acuerdo con Eysenk y Keane (1990) entendemos por representación externa “...Cualquier notación, signo o conjunto de símbolos que re-presentan (vuelve a presentar) algún aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación, en ausencia de ella”. En un sentido amplio, estas representaciones son entendidas como el conocimiento y la estructura del ambiente en que se desarrollan las tareas, mientras que las representaciones internas representan el conocimiento y la estructura registrada en la memoria de un sujeto como resultado de procesos cognitivos avanzados. Como no es posible observar, en forma directa, las representaciones internas, su naturaleza sólo puede ser inferida a partir de datos indirectos.

La definición de Eysenk y Keane (1990) tiene cuatro componentes (Markman, 1999; cita en Greca, 2000) que caracterizan a las representaciones externas:

-Un mundo representado (...algún aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación...). Asociado al contenido, que refiere al dominio sobre el que actúan las representaciones.

-Un mundo representante (...cualquier notación, signo o conjunto de símbolos...). Es el dominio que contiene la representación, se expresa por signos que “sustituyen” al mundo representado. El mundo representante puede tener características simbólicas o analógicas, y constituye un sistema que permite preservar alguna información del mundo representado.

-Reglas de representación (...vuelve a presentar...). Son las reglas que nos permiten relacionar el mundo representado con el mundo representante, es decir, son las reglas que nos permiten, a través de un proceso cognitivo, atribuir significado a las representaciones. En Física, están conformadas por las leyes, principios o teorías.

-Un proceso que usa la representación. Este elemento no aparece de forma explícita en la definición dada de representación externa, pero es inherente a la propia idea de representación. Una notación, signo o conjunto de símbolos es una representación en la medida en que exista un proceso que pueda ser usado para interpretar esa representación; sin esta componente las otras tres crean un potencial para la representación, no una representación en sí.

Las figuras, los diagramas, las gráficas cartesianas, son tipos diferentes de representaciones externas que se utilizan ampliamente en las Ciencias Naturales para proveer información necesaria para la resolución de problemas, en particular, de situaciones experimentales. Según su función las gráficas cartesianas pueden definirse como representaciones simbólicas, que ofrecen una representación visible de conceptos e ideas abstractas, más que como representaciones icónicas de los fenómenos pertenecientes al

campo factual (Jiménez y Perales, 2001). Por ello, constituyen un buen instrumento para mostrar las diferentes clases de relaciones entre las magnitudes que intervienen en el marco de diversos fenómenos y procesos. Así, las variables que intervienen en la generación de un suceso se codifican en la gráfica cartesiana, representándolas a través de sus signos y se sustituyen igualmente las magnitudes de cada una de ellas por sus símbolos correspondientes.

En este tipo de representación la relación representado - representante es arbitraria y las reglas desempeñan un papel importante para dirigir el proceso de atribución de significados.

Las representaciones gráficas como proceso se definen como una actividad de modelización (Jiménez y Perales, 2001), entendiéndose que su construcción y utilización implica el manejo de imágenes para representar y comunicar la realidad a través de conceptos y de signos. Estos autores argumentan que en el proceso de construcción de gráficas cartesianas se superponen íconos, símbolos y figuras con el fin de representar de la mejor manera posible diferentes tipos de interacciones y relaciones ya sea éstas de equivalencia, de proporcionalidad o de igualdad.

En el campo de la didáctica, las gráficas cartesianas pueden ser concebidas como herramientas eficaces para presentar información y como herramientas de razonamiento que pueden ser transferidas para la resolución de problemas en situaciones y contextos diferentes (Mayer, 1997). Así, en primer término pueden hacer de puente entre el conocimiento presentado de forma verbal (descripciones y enunciados) y las fórmulas matemáticas que generalmente se utilizan para exponer las leyes básicas que hacen al conocimiento de Física. Igualmente, conceptos referidos a las características propias de todas las gráficas cartesianas como el de pendiente y el de intersección con los ejes coordenados pueden utilizarse para analizar situaciones dentro de una amplia variedad de contextos.

Con respecto a la capacidad que pueden tener como herramientas de razonamiento Cox (1999) sugiere que permiten orientar la atención de los estudiantes hacia aspectos que aún no han sido resueltos en un problema así como también hacia la articulación de partes inconexas de información.

Desde una perspectiva sociocultural, las gráficas cartesianas pueden ser conceptualizadas como un tipo de herramientas en las que están implicados significados simbólicos compartidos (Vygotsky, 1978). Las gráficas cartesianas, en tanto invención humana, median procesos psicológicos humanos como la memoria, la comparación, la descripción, la elección y la comunicación.

De acuerdo con Shah y Hoeffner (2002) para comprender una gráfica se deben realizar tres procesos:

-Codificar el patrón visual e identificar las características visuales importantes. En esta codificación influyen las características del sistema perceptual del lector y la manera como se encuentra agrupada la información.

-Relacionar las características visuales de la representación con el sistema conceptual que representan. Si no se establece la relación apropiada es difícil comprender la información.

-Establecer el referente y asociarlo a la función codificada.

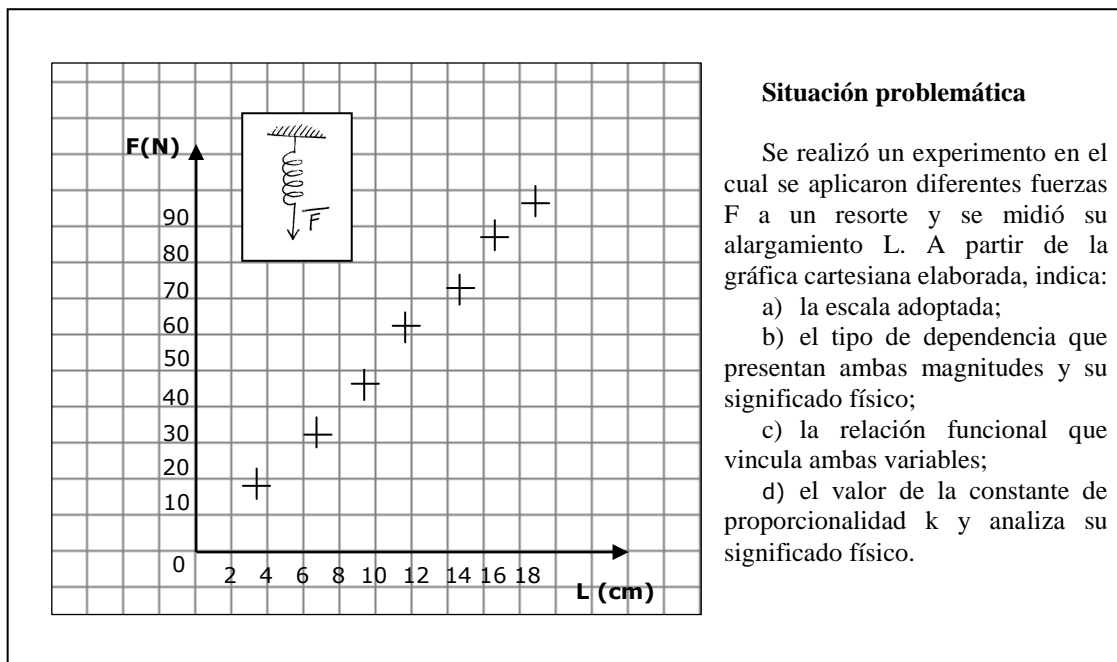
Identificados estos procesos, estos autores reconocen tres factores que influyen en la interpretación de las representaciones gráficas: a) las características visuales de las gráficas; b) el conocimiento sobre las reglas generales de las gráficas cartesianas y c) los contenidos, es decir, las reglas específicas correspondientes a cada campo de conocimiento.

Para que este proceso de comprensión se produzca el sujeto debe estar familiarizado con el gráfico que intenta interpretar; conocer las convenciones que regulan los signos que componen la representación; identificar los componentes de los signos y estar familiarizado con el fenómeno natural o hipotético que el gráfico expresa (Roth, 2002).

III. METODOLOGÍA

La investigación, de perfil cualitativo - interpretativo, se desarrolló con 26 estudiantes de primer año de las carreras de Ingeniería. Las producciones escritas e individuales asociadas al tratamiento e interpretación de una gráfica cartesiana actuaron como protocolos de la investigación. El análisis de los mismos se realizó siguiendo una técnica de análisis de contenido (Bernárdez, 1995) buscando indicadores de las representaciones activadas con el objeto de obtener una clasificación.

Se presenta a continuación la situación problemática asociada al estudio de una gráfica cartesiana de datos experimentales correspondiente a la calibración de un resorte. La misma formó parte de un examen parcial de la asignatura Física I. En la gráfica cartesiana, Figura 1, se indican los símbolos de las variables representadas y de las unidades correspondientes -entre paréntesis- en los extremos de los ejes. Mediante barras horizontales y verticales se han representado las incertezas del grupo de datos experimentales.



Situación problemática

Se realizó un experimento en el cual se aplicaron diferentes fuerzas F a un resorte y se midió su alargamiento L . A partir de la gráfica cartesiana elaborada, indica:

- a) la escala adoptada;
- b) el tipo de dependencia que presentan ambas magnitudes y su significado físico;
- c) la relación funcional que vincula ambas variables;
- d) el valor de la constante de proporcionalidad k y analiza su significado físico.

FIGURA 1. Módulo de la fuerza aplicada (F) en función del alargamiento del resorte (L) en la calibración de un resorte en el marco de la situación problemática planteada.

En tanto las gráficas cartesianas constituyen una manera de manipular, transformar y teorizar sobre el grupo de datos experimentales, permiten a los estudiantes describir la situación en estudio y elaborar predicciones del comportamiento del fenómeno. Desde esta perspectiva, se pretende el desarrollo de las siguientes actividades asociadas al análisis de la gráfica cartesiana propuesta: identificación de las variables, interpretación de la escala utilizada, determinación de la dependencia entre variables, formulación e interpretación conceptual de la relación funcional y tratamiento de incertezas a partir de la información contenida en la gráfica.

En una primera etapa de la investigación, el procesamiento de datos se efectuó en base a la definición de cuatro dimensiones de análisis, relacionadas con las demandas consignadas en la situación problemática: *Interpretación de la escala*, *Dependencia entre magnitudes*, *Relación funcional* y *Significado físico de la constante*. Las variables asociadas a cada dimensión emergieron del estudio de los protocolos. Se procedió a la triangulación de la información contenida en los protocolos (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2008) luego de un acuerdo previo de criterios de análisis entre las autoras. En la Tabla I se indican las dimensiones de análisis y su descripción; las variables detectadas con sus correspondientes definiciones y la frecuencia porcentual de cada una de ellas (Yanitelli, Scancich y Labanca, 2014).

En este contexto, el presente trabajo se centra en una segunda etapa en la que se procedió a reconocer los modos de actuación de cada uno de los estudiantes, a partir de las dimensiones de análisis definidas y sus correspondientes variables, emergentes en una primera etapa de la investigación. Los mismos se sintetizaron en diagramas que muestran aspectos específicos, inherentes al tratamiento e interpretación de una gráfica cartesiana de datos experimentales, que remiten al contexto situacional específico conformado por la escala y las unidades en las cuales las variables fueron medidas; a la dependencia entre variables y a la relación funcional establecida con el correspondiente cálculo de la constante elástica k del resorte.

De acuerdo a las afinidades detectadas en los modos de actuación de cada uno de los estudiantes, se identificaron tres “clases” con características diferenciadas. Cabe aclarar que junto con el análisis de cada una de las clases, se presenta un diagrama que sintetiza una producción representativa, es decir, la que reúne las características comunes a los constituyentes de la clase.

TABLA I. Dimensiones y variables de la investigación con sus correspondientes frecuencias porcentuales.

Dimensión	Descripción	Variable	Definición	Frecuencia Porcentual
Interpretación de la escala	Expresión matemática de la escala adoptada para cada una de las variables representadas en la gráfica.	Inferir la escala utilizada	Dificultad para inferir la escala sencilla utilizada en la representación gráfica.	27%
		Establecer el factor de proporcionalidad	Dificultad para establecer el factor de proporcionalidad entre la unidad de medida a lo largo del eje coordenado y el valor de la cantidad representada.	11%
		No responde		12%
		Interpretación adecuada	Utiliza de modo apropiado el lenguaje matemático.	50%
Dependencia entre magnitudes ¹	Análisis de la correspondencia entre las variables involucradas.	Interpretar matemáticamente	Dificultad para inferir la correspondencia matemática entre las variables.	27%
		Interpretar físicamente	Dificultad para describir el comportamiento físico del sistema.	23%
		No responde		19%
		Interpretación adecuada	Explicita correctamente el comportamiento del sistema tanto física como matemáticamente.	38%
Relación funcional ²	Enunciado en lenguaje matemático de la relación funcional que vincula las magnitudes representadas. Cálculo de los parámetros.	Explicitar la relación funcional	Dificultad para identificar la ecuación matemática de la curva de ajuste.	12%
		Calcular la constante k	Dificultad para determinar los parámetros de la función matemática identificada.	46%
		Tratamiento de incertezas	Dificultad para explicitar las incertezas de los parámetros.	42%
		No responde		15%
		Interpretación adecuada	Identifica la ecuación matemática de la curva de ajuste con el correspondiente cálculo de parámetros.	23%
Significado físico de la constante	Interpretación física del significado de la constante k.	Asignación de significado	Otorga un significado ambiguo.	11%
		No responde		62%
		Asignación adecuada	Interpreta correctamente el significado.	27%

^{1,2} En relación a las dimensiones *Dependencia entre magnitudes* y *Relación funcional*, las variables emergentes no son mutuamente excluyentes.

IV. RESULTADOS

A. Primera fase.

Se consignan, a continuación, las características significativas de cada una de las dimensiones establecidas en relación con las demandas de la tarea.

Respecto de la dimensión *Interpretación de la escala* se observa que el 38% de los estudiantes evidencian dificultades para inferir la escala utilizada en la gráfica (27%) y para determinar el factor de proporcionalidad (11%); es decir, presentan dificultades en la interpretación de la información gráfica que estarían asociadas al nivel de procesamiento explícito (Postigo y Pozo, 2000). El 12% de los estudiantes “no responde”, lo cual indica que no lograron deducir los valores de las cantidades representadas que corresponden a los intervalos de longitud en los cuales están divididos los ejes. En consecuencia, estos estudiantes desarrollan una comprensión sesgada del significado conceptual de las características visuales de la gráfica.

En relación a las dimensiones *Dependencia entre magnitudes* y *Relación funcional* se detectaron casos de estudiantes que presentan dificultades para traducir la tendencia de los datos experimentales representados en la gráfica cartesiana en lenguaje tanto matemático como físico. Asimismo, se evidenciaron casos con dificultades tanto en la determinación de los parámetros de la relación funcional, en particular, de la constante elástica k del resorte (46%) como en el tratamiento de las incertezas (42%). Estas dificultades están vinculadas con el significado otorgado a la pendiente que constituye una de las características globales de la gráfica. Se evidencia que los estudiantes cuyas dificultades se encuadran dentro de estas dimensiones no han alcanzado aún un procesamiento de la información implícita (Postigo y Pozo, 2000) que demanda reconocer y codificar relaciones o propiedades inherentes al sistema en estudio.

El 62% de los estudiantes no lograron elaborar interpretaciones asociadas al *Significado físico de la constante* y un 11% le otorga significado ambiguo al consignar “ k es la resistencia que opone el resorte a ser deformado” y “*varía según el material del cual está hecho el resorte*”. Estos estudiantes presentan dificultades en el nivel de procesamiento conceptual (Postigo y Pozo, 2000) que implica una mayor demanda cognitiva ya que deben hacer uso de otros conocimientos relacionados con el contenido representado en la gráfica.

Los resultados obtenidos en esta primera fase, que dan cuenta de las dificultades que denotan los estudiantes en la comprensión e interpretación de gráficas cartesianas de datos experimentales, se constituyeron en aspectos claves para la segunda fase de la investigación centrada en el reconocimiento de modos de actuación desarrollados por los estudiantes, que derivan de la resolución de la situación problemática mencionada.

B. Segunda fase.

A partir del estudio de los protocolos se detectó que el 16% de los estudiantes abordan sólo la resolución del apartado a) de la situación problemática, relacionado con la indicación de la escala utilizada en la gráfica. Dado que no lograron avanzar en la manipulación, transformación y atribución de significados a los datos experimentales representados en la gráfica cartesiana, no se los consideró como pertenecientes a una clase en particular.

El 19% de los estudiantes conforma la clase denominada “Focalización en los puntos representados”; el 23% la nombrada como “Focalización en las características globales de la gráfica” y el 42% la designada como “Focalización en las características globales de la gráfica y en los límites de incertidumbre”. A continuación se analizan los aspectos propios de cada una de ellas relacionados con la comprensión e interpretación de una gráfica cartesiana.

En la Figura 2 se presenta el diagrama que sintetiza una producción representativa de la clase “Focalización en los puntos representados”. En letra cursiva se indican las transcripciones textuales de las proposiciones consignadas en la producción.

Se observa una inmediata definición del contexto situacional específico que se traduce en la identificación de las unidades en las cuales se expresaron los datos dentro de la gráfica y el reconocimiento de la escala utilizada en cada uno de los ejes del plano cartesiano.

Sólo en la producción del estudiante que se sintetizó en forma de diagrama en la Figura 2, se detectó que en la identificación de las variables consideró al módulo de la fuerza aplicada F como variable independiente y al alargamiento L como variable dependiente. Si bien de la lectura del enunciado donde se expresa “se aplicaron diferentes fuerzas F a un resorte y se midió su alargamiento L ”, se podría inferir que F es la variable independiente y L la variable dependiente, en el enunciado se menciona explícitamente “a partir de la representación gráfica realizada, indica...”. Es decir, esta consigna no se

constituyó en centro de su atención derivando en una interpretación ambigua de la dependencia entre variables al indicar: “El alargamiento del resorte depende de la fuerza aplicada”.

Un aspecto que se destaca es que los estudiantes no apelaron a la construcción de la mejor recta que ajusta el grupo de datos experimentales sino que, restringieron su atención a un punto y sin plantearse ningún cuestionamiento sobre el punto seleccionado, procedieron a establecer la relación funcional que vincula ambas variables $F = kL$ y a calcular la constante k despejándola de dicha relación. Es decir, recurrieron implícitamente al concepto de módulo de la fuerza ejercida por un resorte como así también a que, en la posición de equilibrio del resorte, este módulo y el de la fuerza F aplicada son iguales. Cabe aclarar que estos contenidos conceptuales habían sido desarrollados previamente en las clases de teoría y aplicados en las de resolución de problemas. El tratamiento de la incerteza, Δk , quedó limitado a la propagación de las incertezas de F y L de acuerdo a la expresión algebraica que las vincula.

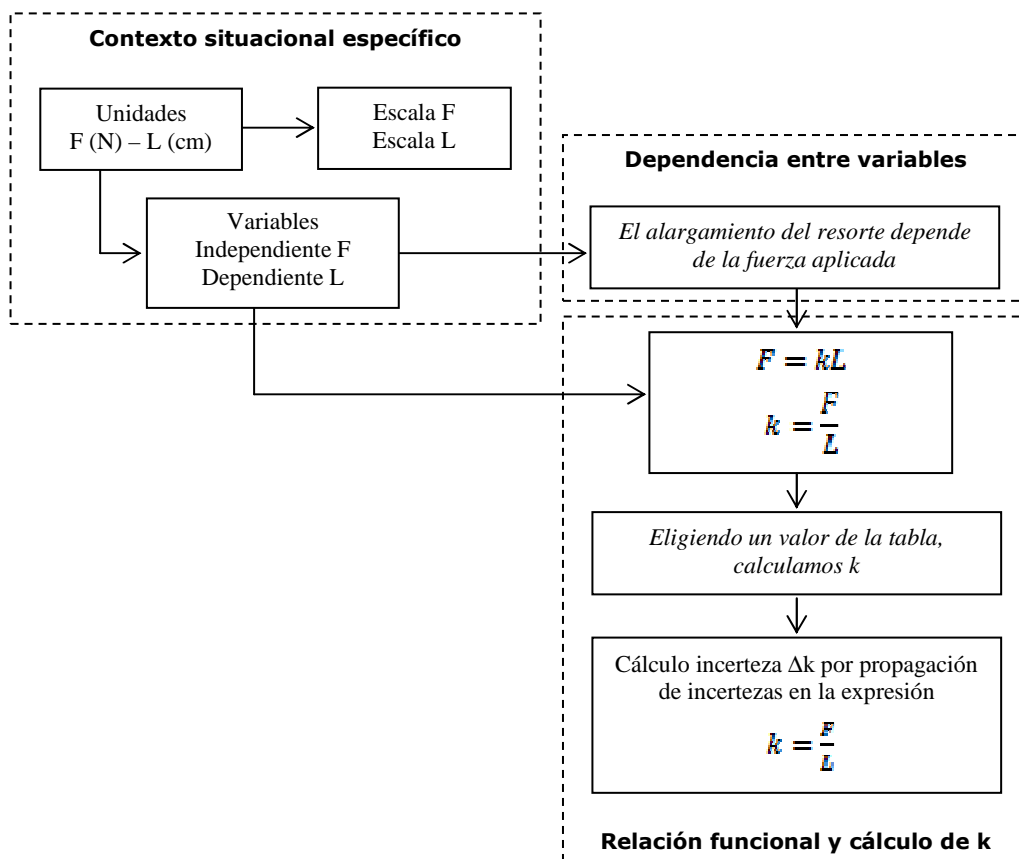


FIGURA 2. Diagrama del modo de actuación “Focalización en los puntos representados”.

Sólo en el caso del estudiante cuya producción se sintetiza en la Figura 2 se observó que, al consignar “*eligiendo un valor de la tabla, calculamos k* ”, utilizó el término “tabla” para referirse a la gráfica incluida en el enunciado de la situación problemática. Esta confusión puede deberse a que aún no ha alcanzado a diferenciar que ambas representaciones externas brindan información diferente; es decir, no ha comprendido aún que existe una distancia significativa entre la información a la que aluden tales representaciones referidas a un mismo fenómeno en estudio.

Se puede inferir de este modo de actuación que los estudiantes no han logrado aún, manejar las reglas que orientan el proceso de asignación de significados referidos a la dependencia entre las variables asociada al espacio simbólico de la gráfica cartesiana o a un espacio diferente como el constituido por la situación en estudio (mundo representado) o por la relación funcional escrita en lenguaje algebraico.

No han comprendido aún el significado de tendencia del grupo de datos experimentales representados en el plano cartesiano que implica reconocer la dependencia entre las variables (correlación); la interrelación visual continua entre la sucesión de puntos (linealidad); las posibilidades de interpolación (datos no disponibles pueden ser relacionados con datos disponibles); posibilidades de extrapolación

(datos no disponibles pueden ser relacionados con datos que están más allá de los datos disponibles) y la conexión entre la dependencia que presentan ambas variables y su interpretación.

En síntesis, la dificultad en percibir la tendencia de los datos representados no les permitió a los estudiantes, que conforman este modo de actuación denominado “Focalización en los puntos representados”, codificar el patrón visual y otorgar significado a las características visuales de la gráfica.

En la Figura 3 se presenta el diagrama que resume una producción representativa de la clase “Focalización en las características globales de la gráfica”.

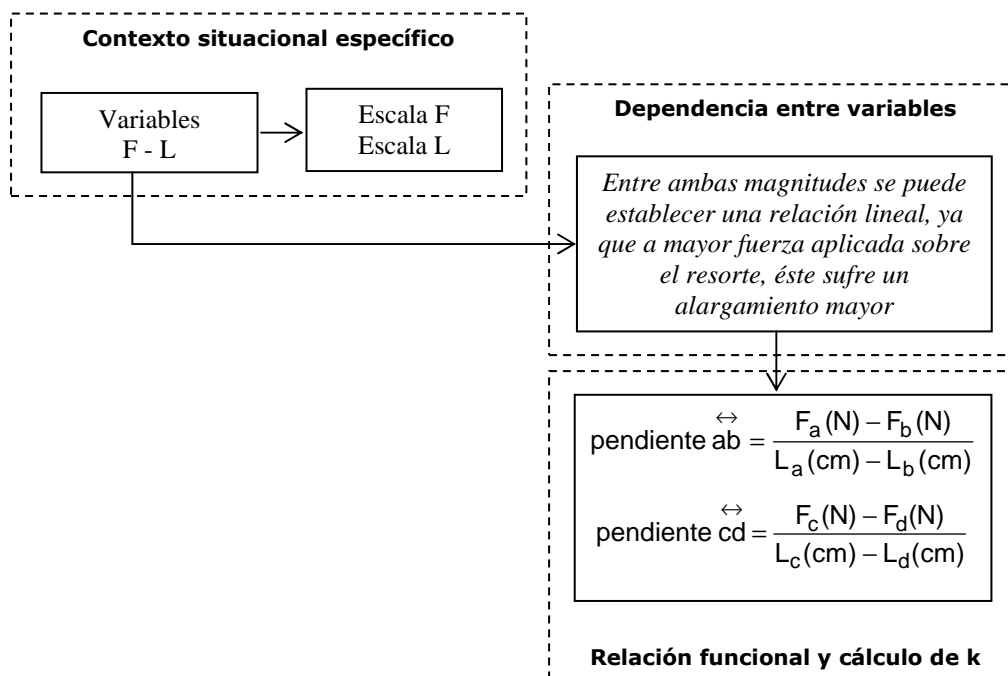


FIGURA 3. Diagrama del modo de actuación “Focalización en las características globales de la gráfica”.

Se observa que el contexto situacional específico se definió, fundamentalmente, en torno a la identificación de la escala utilizada en cada uno de los ejes coordenados cartesianos. Así, sin diferenciar entre variable independiente y dependiente, consignaron la escala para cada eje atendiendo a las unidades en que se expresan las variables y, además, al número de unidades que representan los intervalos de longitud en los cuales se dividieron los ejes.

Se destaca que los estudiantes que responden a este modo de actuación establecieron sin dificultad el tipo de dependencia que presentan las variables evidenciando que tuvieron en cuenta la tendencia general que presenta el grupo de datos experimentales representados en el plano cartesiano y, por tanto, una interpretación global de la gráfica. Este tipo de interpretación les permitió, además, interpolar nuevos valores situados entre los datos representados.

Asimismo, otorgaron significado a la dependencia lineal establecida al consignar “...a mayor fuerza aplicada sobre el resorte, éste sufre un alargamiento mayor”. Se puede inferir que estos estudiantes comprenden las reglas que permiten establecer la relación representado - representante y que orientan la atribución de significados a las representaciones.

Sin embargo, a pesar de la detección de la tendencia dentro de la gráfica y del trazado de un conjunto de posibles rectas, tienen dificultad para establecer la ecuación algebraica más adecuada para expresar la relación representada en la gráfica y que responde a un modelo matemático del sistema en estudio. Esta dificultad puede deberse a que no han logrado aún establecer las conexiones entre cada una de las variables visuales³ propias del registro gráfico del plano cartesiano (recta en cuestión) y los símbolos correspondientes a la escritura algebraica.

Un aspecto a tener en cuenta en relación con el trazado de posibles rectas, es que los estudiantes dibujaron tres líneas rectas. Una de ellas puede considerarse la línea recta que “mejor” ajusta el grupo de

³ Las variables visuales a las que se hace referencia son: el sentido de la inclinación de la recta, los ángulos del trazo con los ejes y la posición del trazo con respecto al origen del eje vertical.

datos experimentales representados y, las otras dos rectas \overleftrightarrow{ab} y \overleftrightarrow{cd} , que derivan de girar la “mejor” línea en uno y otro sentido hasta considerar que abarcan casi la totalidad de las regiones de incertidumbre del grupo de datos, constituyen los límites de incertidumbre (Baird, 1991). Se evidencia que han internalizado que es posible obtener un conjunto de líneas rectas consistente con las observaciones experimentales; aún cuando, el cálculo de pendientes efectuado revela que no han comprendido la información que brinda y por lo tanto no fueron capaces de atribuirles significado a tales pendientes desde la Física.

Cabe aclarar que sólo dos estudiantes, vinculados a este modo de actuación, trazaron únicamente la “mejor” recta que ajusta el grupo de datos representados y calcularon el valor numérico de su pendiente asociando este valor al de la constante elástica k del resorte. No se registró el trazado de las rectas que proporcionan los límites de incertidumbre, fuera de los cuales se puede estar “casi seguro” de que no se halla el valor de k .

Sintetizando, se observó que los estudiantes efectuaron un tratamiento de la gráfica cartesiana consistente con una interpretación de carácter global de la misma, de allí que, al correspondiente modo de actuación, se lo denominó “Focalización en las características globales de la gráfica”. Si bien apelaron al concepto de pendiente no lograron identificar la expresión algebraica de la recta que implica el paso desde la representación gráfica a otro tipo de representación que responde a un modelo matemático; es decir, asociar la gráfica cartesiana a una función codificada en lenguaje matemático.

En la Figura 4 se muestra el diagrama que condensa una producción representativa de la clase “Focalización en las características globales de la gráfica y en los límites de incertidumbre”.

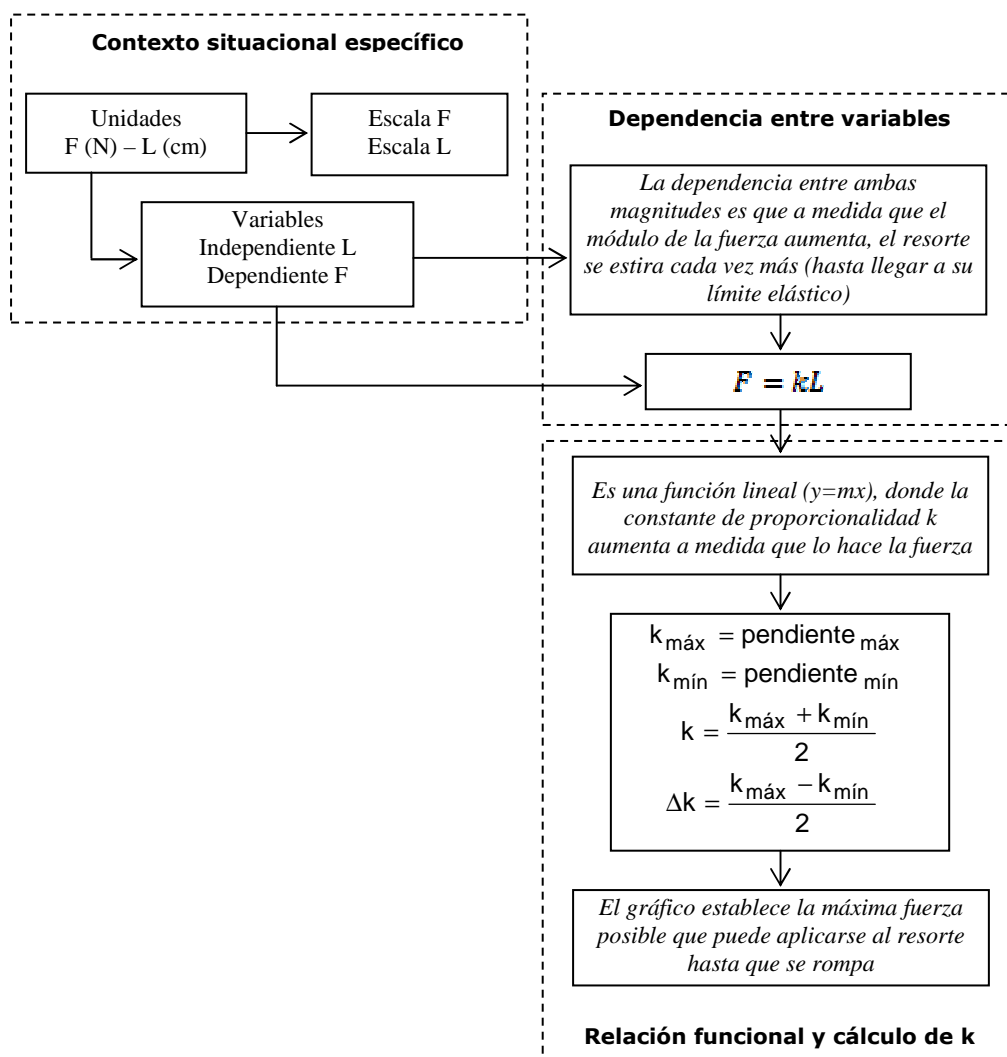


FIGURA 4. Diagrama del modo de actuación “Focalización en las características globales de la gráfica y en los límites de incertidumbre”.

Los estudiantes parten de un planteo adecuado del contexto situacional específico que les permitió identificar las variables representadas en cada uno de los ejes coordenados cartesianos con sus correspondientes unidades de medida y las escalas utilizadas en la gráfica. Este planteo derivó en un tratamiento global del grupo de datos experimentales representados en el plano cartesiano y, por consiguiente, en el reconocimiento de la dependencia entre variables.

En la producción del estudiante que se sintetiza en la Figura 4, se observa que al atribuirle significado a la dependencia que presentan las variables incluye la proposición “...(*hasta llegar a su límite elástico*)”. Esta aseveración estaría indicando un proceso de extrapolación orientado por los contenidos conceptuales abordados previamente, asociados a la interpretación de la gráfica de la componente de la fuerza que ejerce un resorte en función de su deformación, incluida en uno de los libros de texto utilizados en el marco del curso de Física I (Creus, Massa y Cortés, 2004).

Se observa que los estudiantes que responden a este modo de actuación, al pasar de la gráfica a la formulación de la ecuación de la recta lo hacen restringiendo su atención sobre una función lineal del tipo $y = mx$ donde m es la pendiente de la recta, sin considerar su forma general $y = mx + h$ donde h es la ordenada al origen, lo cual demandaría apelar al proceso de extrapolación de datos; es decir, prolongar el trazado de la recta hasta su intersección con el eje Y. Esto podría estar relacionado con una posible resistencia de los estudiantes a imaginar nuevos puntos en una gráfica construida a partir de datos experimentales que les dificultaría efectuar transformaciones sobre la gráfica, como es el caso de la extrapolación de datos.

Además de asociar la pendiente de la recta a la constante elástica k del resorte, los estudiantes trazaron las rectas que constituyen los límites de incertidumbre y calcularon el valor numérico de sus pendientes. La pendiente más pronunciada (límite superior), $\text{pendiente}_{\text{máx}}$ en la Figura 4, la identificaron como el máximo valor que puede adoptar la constante elástica $k_{\text{máx}}$ del resorte y la pendiente menos pronunciada (límite mínimo), $\text{pendiente}_{\text{mín}}$ en la Figura 4, la identificaron como el mínimo valor que puede adoptar la constante elástica $k_{\text{mín}}$ del resorte. Luego, tuvieron en cuenta que estos valores extremos del intervalo de incertidumbre son aproximadamente equidistantes del valor central, lo cual les permitió calcular $k \pm \Delta k$.

Cabe aclarar que la relación entre la constante k y la fuerza aplicada establecida por el estudiante, cuya producción se sintetiza en la Figura 4, “...*la constante de proporcionalidad k aumenta a medida que lo hace la fuerza*” y la interpretación sobre la gráfica “...*establece la máxima fuerza posible que puede aplicarse al resorte hasta que se rompa*”, no son correctas. Se evidencia que no ha comprendido aún las reglas que orientan el proceso de atribución de significados. Esta aseveración se extiende a la mayoría de los estudiantes que conforman este modo de actuación.

Sintetizando, los estudiantes abordaron el tratamiento de la gráfica cartesiana apelando a una interpretación de carácter global que derivó en la estimación de los límites de incertidumbre de allí que a este modo de actuación se lo denominó “Focalización en las características globales de la gráfica y en los límites de incertidumbre”. La interpretación de carácter global efectuada estaría sesgada por un efecto de fijación de la atención sólo en los datos que están representados en el plano cartesiano, dificultándoles por ello la tarea de extrapolación de datos.

V. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar los procesos asociados a la comprensión desarrollados por estudiantes de primer año de carreras de Ingeniería al abordar tareas de interpretación de gráficas cartesianas de datos experimentales. El concepto de representación externa se constituyó en un aspecto clave de esta caracterización. Según Schnotz y Bannert (2003) las representaciones externas desempeñan un papel relevante en el proceso de comprensión.

Las afinidades detectadas en los modos de actuación de cada uno de los estudiantes que participaron en la investigación permitió identificar tres clases, cada una de ellas da cuenta que se han establecido relaciones diferentes entre el mundo representado (situación en estudio) y el representante (gráfica cartesiana). Así, los estudiantes que conforman la clase “Focalización en los puntos representados” restringen su atención a un punto en lugar de hacerlo sobre la tendencia que presentan los datos experimentales lo cual no les permitió codificar el patrón visual correspondiente a una línea recta y establecer relaciones fundamentadas con la situación en estudio; es decir, desarrollar procesos propios de la comprensión e interpretación de las gráficas cartesianas.

Por otra parte, si bien los estudiantes que componen la clase “Focalización en las características globales de la gráfica” efectuaron una interpretación global de la misma, se evidencian debilidades para traducir la “mejor” línea que ajusta los datos experimentales representados al lenguaje simbólico de la matemática y construir significados en torno a la situación en estudio. En la clase “Focalización en las

características globales de la gráfica y en los límites de incertidumbre” se observó, básicamente, un tratamiento sesgado en el proceso de modelado matemático dado que al seleccionar la expresión algebraica de la recta, los estudiantes no atendieron a una posible extrapolación de datos que valide que la línea que ajustaron pasa por el origen de coordenadas.

Finalmente, el análisis de los resultados evidencia que, en general, los estudiantes tienen dificultades para inferir la información conceptual incluida en el interior de las gráficas que va más allá de establecer el contexto situacional específico conformado por la escala y las unidades en las cuales las variables fueron medidas; la dependencia entre variables y la relación funcional más adecuada.

Es nuestra intención, continuar y profundizar en la caracterización de los procesos asociados a la comprensión e interpretación de gráficas cartesianas de datos experimentales dado que consideramos que puede aportar elementos para fortalecer los fundamentos teóricos y metodológicos al delinear estrategias que contemplen una mayor incorporación, integración y aprovechamiento de las gráficas cartesianas en la formación de los estudiantes universitarios.

REFERENCIAS

- Baird, D.C. (1991). *Experimentación. Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*. Segunda Edición. México: Prentice - Hall Hispanoamericana, S.A.
- Bernárdez, E. (1995). El papel del léxico en la organización textual. *Publicación de la Universidad Complutense de Madrid*.
- Creus, E., Massa, M., Cortés, A. (2004). *Mecánica*. UNR Editora.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalized cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, pp. 343-363.
- Eysenck, M. y Keane, M. (1990). *Cognitive Psychology a student's handbook*. Lawrence Erlbaum Associates Ltd., Publishers. 2da reimpresión.
- García García, J. J. y Perales Palacios, F. J. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), pp. 107-132.
- Goldman, S.R. (2003). Learning in complex domains: when and why do multiple representations help? *Learning and Instruction*, 13(2), pp. 239-244.
- Greca, I. (2000). Representaciones Mentales. *I Escuela de verano sobre investigaciones en enseñanza de las ciencias. Programa Internacional de doctorado en Enseñanza de las Ciencias*. Moreira, M.A.; Caballero, C. y Meneses, J. (organizadores) UBU.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2008). *Metodología de la investigación*. Chile: McGraw-Hill Interamericana.
- Jiménez, J. y Perales, J. (2001). La representación gráfica de la magnitud fuerza, *Alambique*, 28, pp. 85-94.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), pp. 205-226.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13(2), pp. 177-189.
- Markman, A. (1999). *Knowledge representation*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mayer, R. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32, pp. 1-19.

Núñez, F., Banet H., y Cordón Aranda, R. (2009). Capacidades del alumnado de educación secundaria obligatoria para la elaboración e interpretación de gráficas. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), pp. 447-462.

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

Pinto, R. y Ametller, J. (2002). Students difficulties in reading images. Comparing results from four national research groups, *International Journal of Science Education*, 24(3), pp. 333-341.

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

Roth, W. M. (2002). Reading graphs: contributions to an integrative concept of literacy, *Journal of Curriculum Studies*, 34, pp. 1-24.

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

Shah, P. y Hoeffner, J. (2002). Review of graph comprehension research: implications for instruction. *Educational Psychology Review*, 14, pp. 47-69.

Vilches, A., Solbes, P. y Gil, D. (2004). Alfabetización científica para todos contra ciencia para futuros científicos. *Alambique*, 41, pp. 89-98.

Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.

Yanitelli, M., Scancich, M. y Labanca, S. (2014). Interpretación de gráficas. Buscando elementos para explicar las dificultades de los estudiantes. *Memorias IV Cuartas Jornadas de Ingreso y Permanencia en Carreras Científicas Tecnológicas*. Rosario, Argentina.