

Condiciones de enseñanza para el aprendizaje de contenidos procedimentales

Teaching conditions for procedure contents learning

XIOMARA ARRIETA¹, NICOLÁS MARÍN² Y MANSOOR NIAZ³

¹ Centro de Estudios Matemáticos y Físicos, Facultad de Humanidades y Educación. Universidad del Zulia. Venezuela. xarrieta@intercable.net.ve

² Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. Universidad de Almería, España. nicolas@nmarin.com

³ Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná, estado Sucre, Venezuela, niazma@cantv.net

Resumen

El propósito de este trabajo es mostrar que afrontar el reto de la enseñanza procedimental es siempre una empresa difícil que no se debe trivializar. Se sabe que enseñar los procedimientos propios de ciencias o fomentar las capacidades procedimentales del alumno es más difícil que enseñar contenidos conceptuales, puesto que requiere mayor implicación cognitiva del aprendiz, más tiempo de aprendizaje y, en consonancia, unas condiciones de enseñanza específicas que precisan de un docente bien formado. Los contenidos procedimentales a enseñar y cómo enseñarlos depende del modelo y posición epistemológica que se adopte sobre la construcción del conocimiento de ciencias, pero también depende en buena medida del modelo cognitivo del aprendiz que el educador use para diseñar las actividades de enseñanza. Comprender cuáles son los constructos o variables cognitivas que más influyen en el aprendizaje de contenidos procedimentales permiten establecer condiciones de enseñanza que pueden mejorar el rendimiento académico de los alumnos.

Palabras clave: condiciones de enseñanza, contenidos procedimentales, variables cognitivas, rendimiento académico.

Abstract

The purpose of this paper is to state that facing the challenge of procedure teaching is always a difficult enterprise which should not be trivialized. It is known that teaching scientific procedures or developing procedural capacities in students is more difficult than teaching conceptual content, because more student cognitive application is required, more learning time, and consequently, specific teaching conditions that demand well prepared teachers. The procedural content to be taught and the methodology used to teach it depend on the model and epistemological position adopted about the knowledge construction of sciences, but they also depend, in a great measure, on the cognitive model used by the teacher in order to design the teaching activities. Understanding which constructs or cognitive variables have more influence on procedural content learning allows the teacher to establish teaching conditions that can improve students' academic performance.

Key words: teaching conditions, procedural content, cognitive variables, academic performance.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad tanto expertos en educación científica (HODSON, 1988; LONGBOTTOM y BUTLER, 1999; FURIÓ, VILCHES, GUIASOLA y ROMO, 2001; ACEVEDO, MANASSERO y VÁZQUEZ, 2002; MAIZTEGUI y otros, 2002) como organismos educativos (Unesco, International Council for Science, Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, American Association for the Advancement of Science, National Research Council, entre otros) coinciden en señalar que la enseñanza de los conceptos de ciencias precisa ser complementada por contenidos y actividades procedimentales si se pretende mejorar la comprensión del alumno más allá de la simple exposición verbal de los mismos.

En general, el conocimiento de ciencias es más rico y complejo que la imagen que provee su versión declarativa, dado que los procesos de construcción cognitiva se pueden entender mejor, considerando no sólo cuestiones conceptuales sino también procedimentales y actitudinales (MARÍN, 2003). Existen importantes razones para considerar los contenidos procedimentales como parte central de la enseñanza de las ciencias:

- Los contenidos conceptuales se adquieren con significados más ricos y flexibles puesto que se da oportunidad al aprendiz para: a) trabajar más tiempo con la parte operativa de los conceptos, b) aplicarlos en diversos contextos prácticos y c) establecer relaciones causales entre ellos.
- Aportan herramientas cognitivas para generar nuevos conocimientos. En la sociedad actual donde los conocimientos cambian con tanta rapidez y donde las nuevas tecnologías proveen con relativa facilidad cantidades de información, es esencial que los futuros ciudadanos desarrollen sus capacidades de aprender a aprender. Los procedimientos son herramientas cognitivas que potencian la capacidad del aprendiz para adquirir o generar

nuevos conocimientos por él mismo (COLL y VALLS, 1992; LAWSON, 1994; POZO y GÓMEZ CRESPO, 2000).

- Ofrecen la posibilidad de crear estructuras de conocimiento más operativas y duraderas. El conocimiento construido mediante una interrelación entre contenidos conceptuales y procedimentales, confiere al aprendiz estructuras de conocimiento más flexibles, transferibles y duraderas (PIAGET, 1977a; MARÍN, 1997; POZO y GÓMEZ CRESPO, 2000).
- Las acciones que conlleva aprender contenidos procedimentales (clasificar, medir, observar y registrar, reflexionar, controlar variables) marca el ritmo rápido y lineal que imponen las exposiciones conceptuales, y la clase adopta un ritmo que se ajusta más al del aprendiz, dándole oportunidad a tantear, ensayar, rectificar, replantear, equivocarse, en definitiva, a ir construyendo su conocimiento (PIAGET, 1977b).

Si los contenidos procedimentales son incuestionables para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, también es cierto que han mostrado ser difíciles de fomentar en el aprendiz (SHAYER y ADEY, 1993; PRO, 1998; POZO y GÓMEZ CRESPO, 2000; HART *et. al.*, 2000).

En este trabajo se pretende mostrar que afrontar el reto de la enseñanza procedimental es siempre una empresa difícil que no se debe trivializar. En efecto, al menos se sabe que enseñar los procedimientos propios de ciencias o fomentar las capacidades procedimentales del alumno es más difícil que enseñar contenidos conceptuales, puesto que requiere mayor implicación cognitiva del aprendiz, más tiempo de aprendizaje y, en consonancia, unas condiciones de enseñanza específicas que precisan de un docente bien formado (POZO y GÓMEZ CRESPO, 2000).

Los contenidos procedimentales a enseñar y cómo enseñarlos depende del modelo y posición epistemológica que se adopte sobre la construcción del conocimiento de ciencias, pero también depende en buena medida del modelo cognitivo del aprendiz que el educador use para diseñar las actividades de enseñanza.

2. MODELOS COGNITIVOS Y ENSEÑANZA PROCEDIMENTAL

Una breve revisión histórica de la enseñanza de los contenidos procedimentales de ciencias muestra cambios significativos en el tipo de contenidos procedimentales que han sido objeto de enseñanza, así como en las estrategias usadas para enseñarlos. En el ámbito de la educación científica creemos que es suficientemente significativo revisar de un modo ordenado esta historia aludiendo a las teorías o tendencias que en cada época han mantenido una posición de privilegio para fundamentar la enseñanza de las ciencias, a saber:

- La teoría de PIAGET.
- La teoría del aprendizaje significativo verbal de AUSUBEL.
- Movimiento de las concepciones alternativas.
- Modelo de cambio conceptual.
- Enseñanza de las ciencias por investigación.
- Orientaciones fundadas en el procesamiento de información.

2.1. La teoría de PIAGET

Tuvo una incidencia significativa en los currículos de ciencias de la década de los años setenta. Esta teoría contiene al menos dos planteamientos teóricos que sugieren con fuerza la inserción de los contenidos procedimentales en la enseñanza de las ciencias:

- Los tipos de construcción cognitiva propuestos en la teoría de la equilibración (PIAGET, 1978), tanto en los procesos de abstracción simple para la construcción de esquemas específicos como reflexiva para los operacionales (MARÍN, 1994). Estas construcciones se fomentan básicamente con actividades y contenidos de enseñanza de carácter procedimental y muy poco mediante la exposición verbal.
- En su momento, varios trabajos (LAWSON *et. al.*, 1991; SHAYER y ADEY, 1984; ROTH, 1990; MONK, 1990; NIAZ, 1991) mostraron que la variable “nivel cognitivo”, caracterizada por un conjunto de esquemas

operacionales (PIAGET, 1977b), es un buen predictor del rendimiento académico del aprendiz de ciencias. Una enseñanza que pretenda fomentar dicho nivel precisa de actividades procedimentales donde se da oportunidad al alumno de ser más activo.

De forma natural, desde la teoría de PIAGET se perciben los contenidos procedimentales tan importantes o más que los contenidos conceptuales relativos a los diversos temas de ciencias. Además, los tipos de contenidos procedimentales que parece sugerir esta teoría para ser objeto de enseñanza son:

- Procedimientos que se alcanzan en el nivel formal (formulación de hipótesis, control de variables, comprobación experimental de hipótesis) y que, salvando diferencias, son semejantes a los que caracterizan la actividad científica.
- Procedimientos con los que esta teoría caracteriza el progreso cognitivo del sujeto (conservación de variables, lógica combinatoria, coordinación de esquemas) pero que son poco o nada significativos para explicar el desarrollo de ciencias.

En cuanto al modo de enseñar estos tipos de procedimientos, la teoría de PIAGET se suele ligar con un método donde el alumno enriquece el significado de los conceptos de ciencias mediante una diversidad de actividades procedimentales que a la vez fomentan el desarrollo del pensamiento formal (MARÍN, 1997; ARRIETA, 2001; ARRIETA *et al.*, en prensa).

2.2. La teoría del aprendizaje verbal significativo de AUSUBEL

Basado en una estructura semántica conceptual, plantea que el producto final del aprendizaje supone una modificación tanto de las ideas previas como de los conocimientos ya enseñados (AUSUBEL, 1982; AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1986). Estos autores sugieren que la mayor parte de los conocimientos se adquieren por diferenciación progresiva de los conceptos o estructuras ya existentes. Según Pozo (1999), AUSUBEL cree que para que se produzcan las reestructuraciones entre las ideas que posee el sujeto y la nueva información, se precisa de una instrucción formalmente establecida, que presente de modo organizado y explícito la información que debe desequilibrar las estructuras existentes; de allí, la distinción entre el aprendizaje y la enseñanza debe ser el punto de partida. La teoría de aprendizaje de AUSUBEL, al centrarse casi exclusivamente en los conocimientos declarativos, da deficientes propuestas para la enseñanza de los contenidos procedimentales.

2.3. Movimiento de las concepciones alternativas

Este movimiento, posteriormente denominado *constructivismo social*, comienza a imponerse a finales de los setenta; fundamentada en epistemologías que tienen como objeto de estudio el método científico, surge con fuertes críticas a los planteamientos piagetianos (DRIVER y OLDHAN, 1986). La mayoría de los trabajos de este movimiento que se han centrado en el alumno hacen énfasis en considerar que “las concepciones específicas de los alumnos sobre los contenidos de enseñanza son importantes”, sobre todo en aspectos relacionados con los conceptos de ciencias, dejando a un lado los procedimentales. De allí que su aplicabilidad en la enseñanza procedimental es pobre.

2.4. Modelo de cambio conceptual

Propuesta por HEWSON (1981), POSNER *et al.* (1982), tuvo sus orígenes a comienzos de los años ochenta y se fundamenta en la filosofía de la ciencia. Con gran aceptación, principalmente por los seguidores del movimiento de las concepciones alternativas. Esta teoría plantea que enseñar ciencia no consiste en proporcionar conceptos a los alumnos sino en cambiar los que poseen, es decir, transformar los conceptos espontáneos en conceptos científicos. Pero el alumno no abandonará sus ideas espontáneamente hasta que encuentre otra teoría mejor que dé cuenta no sólo de lo que explicaban sus ideas previas, sino de nuevas situaciones antes no comprendidas. Por esto, no basta con exponer al alumno un modelo explicativo mejor, hay que hacerles ver qué es mejor; para ello, es preciso enfrentarlo a situaciones conflictivas que supongan un reto para sus ideas (Pozo, 1999). Dado que se aprenden no sólo conceptos, sino también procedimientos y actitudes resulta muy simple suponer que lo que cambia durante el aprendizaje es sólo el carácter conceptual. De lo anterior se deduce las limitaciones de esta teoría para ofrecer aportes para la enseñanza de procedimientos.

2.5. Enseñanza de las ciencias por investigación

La idea fundamental de este modelo es considerar que el alumno al trabajar como el científico va a mejorar su aprendizaje en ciencias, lo cual ha mostrado su eficacia a lo largo de la historia de la ciencia (MARTÍNEZ-TORREGROSA *et al.*, 1993; GIL, 1993). El principal problema que afronta este modelo es la gran diferencia entre el plano en que se mueve la cognición del alumno y el plano en que se genera el conocimiento científico, por lo

que las actividades procedimentales de observación, ordenación de datos, manipulación de variables, que utiliza el alumno, son muy diferentes a como se lleva a cabo la actividad científica. Así, la utilización del método científico para diseñar actividades no garantiza que el alumno pueda realizarlas.

2.6. Orientaciones fundadas en el procesamiento de información

Las teorías sobre procesamiento de la información (programa dominante en la psicología cognitiva actual) han desarrollado minuciosos constructos sobre los mecanismos internos con el fin de explicar cómo el sujeto procesa la información. El supuesto fundamental de estas teorías radica en considerar que cualquier proceso o ejecución cognitiva puede ser comprendido reduciéndolo a las unidades mínimas (discretas) de que está compuesto (Pozo, 1999). Estas teorías consideran la mente humana como un procesador de información análogo a un ordenador; sin embargo, por esta visión mecanicista de la analogía “*la mente como procesador simbólico*” no son genéticos ni orgánicos y se alejan, por tanto, del alumno como constructor de su conocimiento (DELVAL, 1997). De lo anterior se desprende que el procesamiento de la información mostraría dificultades para explicar la construcción de significados científicos a partir de la enseñanza de contenidos procedimentales.

3. CONSTRUCTOS RELEVANTES EN EL APRENDIZAJE DE LOS CONTENIDOS PROCEDIMENTALES DE CIENCIAS

La obra piagetiana ha sido especialmente fructífera al insertarse en su seno constructos, procedimientos y métodos inspirados en la psicología del procesamiento de la información (VUYK, 1985; CARRETERO, 1983). De allí, que algunas implicaciones didácticas relevantes, hechas desde supuestos neopiagetianos, son las siguientes:

NIJAZ (1989, 1991), señala que las capacidades intelectuales exigidas para la adquisición de los contenidos de ciencias son:

- a) Habilidad para transformar y procesar los datos del problema en varias direcciones.
- b) Capacidad para poner en juego simultáneamente los distintos esquemas que le exige el problema o tarea.
- c) Habilidad para separar información relevante de aquella que no lo es.
- d) Tener adquiridos significativamente los distintos conocimientos específicos que se ponen en juego en el problema o tarea.

La importancia de estos factores se puede apreciar en otros trabajos (LAWSON, 1983; LAWSON *et al.*, 1991; MONK, 1990; ROTH, 1990; SHAYER y ADEY, 1993;) en los que se ponen de manifiesto que factores como el nivel cognitivo (PIAGET, 1977a), el estilo cognitivo (WITKIN *et al.*, 1977) la capacidad mental (PASCUAL-LEONE, 1979, 1987) y los esquemas específicos de los alumnos (DRIVER, 1986) son buenos predictores del rendimiento del alumno en ciencias. NIJAZ, SAUD y RUIZ (2000) comprobaron que variables cognitivas como la capacidad mental y el estilo cognitivo, integradas con la creatividad, son importantes predictores en el rendimiento académico de estudiantes de secundaria.

LAWSON (1983) plantea que si se pretende un buen rendimiento en conocimiento declarativo entonces «lo que el alumno sabe» antes del proceso de enseñanza sería la variable importante a considerar, sin embargo, si lo que se quiere es el éxito en conocimiento procedimental (operativo, en un contexto piagetiano) entonces el nivel cognoscitivo es la variable más importante a considerar. LAWSON *et al.* (1991) muestran concluyentemente que para la adquisición de conceptos nuevos en un dominio específico es necesario el uso de un modelo general de razonamiento hipotético-deductivo.

Por esto, los factores cognitivos del alumno que han mostrado ser más relevantes en la adquisición de conocimientos declarativos y procedimentales son:

- **El nivel cognitivo.** Caracterizado por la capacidad operatoria del sujeto para resolver situaciones problemáticas (PIAGET, 1977b). Los esquemas operacionales son definidos como acciones interiorizadas, reversibles y coordinadas en sistemas caracterizados por leyes que se aplican al sistema como un todo (PIAGET, 1977a). Según PIAGET dichos esquemas son determinantes del comportamiento cognitivo del sujeto, sin embargo, un buen número de trabajos muestran que, a pesar de su relevancia, son sensibles al contenido del problema, por lo que factores dependientes de aspectos específicos de la cognición del sujeto deben ser también relevantes (MARÍN, 1994).
- **La capacidad mental.** PASCUAL-LEONE, en la Teoría de los Operadores Constructivos (1979, 1987) la define de dos modos diferentes: a) como la cantidad limitada de energía mental que puede utilizarse para activar los esquemas relevantes que podrían resolver un problema y b) como un espacio de memoria limitado donde se colocan los esquemas para resolver el problema. Este concepto permite explicar los desfases

piagetianos al hacer notar que tareas con la misma exigencia operatoria requieren la activación de un número diferente de esquemas. Si el sujeto no posee suficiente espacio de memoria operativa no podrá simultanear todos los esquemas necesarios (PASCUAL-LEONE, 1983).

- **La dependencia-independencia de campo (DIC).** Según WITKIN y GOODENOUGH (1981) y WITKIN *et. al.* (1982) este es un constructo que mide la habilidad de desenmascaramiento de tareas perceptivas, permitiendo diferenciar a los sujetos según una variable continua y bipolar en dependientes de campo, dominados fuertemente por la percepción global del campo perceptivo de forma que lo asimilan tal cual, y los independientes de campo, que consiguen distinguir y analizar por separado las partes que integran el campo perceptivo. Este factor está relacionado en la teoría de PIAGET con el concepto de centramiento y la dependencia de los esquemas no operatorios de los aspectos figurativos.
- **El bagaje de conocimientos específicos.** Aun cuando no sean el factor más relevante, los conocimientos específicos del sujeto (ideas previas, concepciones alternativas, esquemas alternativos, esquemas cognoscitivos) son de interés en la adquisición de conocimientos. La noción de esquema se ajusta mejor al modo con que el sujeto organiza su cognición fruto de sus experiencias cotidianas y dan cuenta tanto del conocimiento declarativo como del procedimental (MARÍN, 1997).
- **Condiciones de enseñanza para fomentar el desarrollo de constructos implicados en las adquisiciones procedimentales**

De lo anterior se desprende que los constructos más relevantes que intervienen en la adquisición de contenidos declarativos y procedimentales son:

- Esquemas específicos.
- Esquemas operatorios.
- Capacidad mental.
- Dependencia-independencia de campo.

Revisando cada uno de estos constructos permitiría hacer una propuesta fundamentada sobre qué condiciones de enseñanza mejoraría las distintas capacidades del alumno.

4.1. Enseñanza relacionada con los esquemas específicos

Con relación a la enseñanza de este constructo, es necesario tener presente que la integración de un nuevo dato en la estructura cognitiva, supone la activación de algún esquema cognitivo en consonancia con la naturaleza del dato, dándose un proceso de asimilación a dicho esquema y, puesto que el dato posee unas connotaciones particulares, se hace necesario un proceso de acomodación del mismo a estas peculiaridades sin que la estructura pierda continuidad ni su anterior capacidad asimiladora (PIAGET, 1978). Esta teoría, además de dar pautas para diseñar actividades de enseñanza con el fin que los contenidos académicos sean comprendidos por parte del alumno (participando éste lo más posible en su propio aprendizaje), contiene orientaciones bien fundamentadas para que los nuevos contenidos sean asimilados y acomodados a los esquemas del alumno, de forma que este conocimiento pueda ser transferido a otros contextos.

4.2. Enseñanza relacionada con los esquemas operatorios

Las operaciones mentales son más complejas y requieren mayor tiempo que la formación de esquemas específicos, ya que están íntimamente relacionadas con la adquisición del conocimiento procedimental (inferencias, verificación, control de hipótesis, relaciones causales). Según PIAGET (1981) las operaciones proceden por abstracción refleja de la coordinación de las acciones. Así, el desarrollo de los esquemas específicos, generados por abstracción empírica a partir de las interacciones del sujeto con su medio, es relativamente más rápido que el de los esquemas operacionales que requiere una reestructuración lenta, por lo que no se pueden esperar grandes resultados en períodos de aprendizaje relativamente cortos. Por esto, si no se crean las condiciones adecuadas en la enseñanza, considerando el tiempo de aprendizaje de los alumnos, las operaciones tendrán un desarrollo pobre o simplemente se estancarán (SHAYER y ADEY, 1984).

4.3. Enseñanza relacionada con la capacidad mental y con la dependencia-independencia de campo

Las condiciones para mejorar el rendimiento de la capacidad mental y la dependencia-independencia de campo (DIC) penden, en buena medida, de las que permiten desarrollar los esquemas, tanto específicos como operatorios, por varios motivos:

- La teoría de PASCUAL-LEONE es un modelo general que permite resolver las deficiencias de la teoría cognitiva, como por ejemplo, la transición entre las edades de una etapa a la otra.
- Los procesos encaminados a potenciar la atención y motivación del

alumno permiten mejorar el rendimiento de la memoria a corto plazo (POZO, 1992).

• La DIC es una variable del sujeto que evoluciona poco a lo largo de su desarrollo cognitivo, de forma que un dependiente de campo a los 7 años tiene una gran probabilidad que lo siga siendo durante toda su vida (WITKIN *et. al.*, 1977).

• La independencia de campo no depende sólo del estilo cognitivo sino que es el resultado del aumento del espacio mental del sujeto, de modo que la adquisición de contenidos depende tanto de la capacidad analítica del sujeto como de la amplitud del espacio mental, y por lo tanto, la DIC sería una dimensión cognitiva no esencialmente evolutiva, lo que se traduce en una dificultad para encontrar condiciones de enseñanza adecuadas que posibiliten un progreso de este constructo (PASCUAL-LEONE, 1979).

5. Conclusiones para la enseñanza práctica de ciencias

Siendo las prácticas de laboratorio o actividades experimentales, el escenario ideal para la enseñanza-aprendizaje de contenidos procedimentales, se deben trazar orientaciones didácticas fundamentadas, coordinando adecuadamente estos contenidos procedimentales con los conceptuales, para que el experimento sea un recurso didáctico útil. La teoría de PIAGET, al abordar el problema de cómo el sujeto construye sus esquemas a partir de sus interacciones con el medio, aporta orientaciones para el desarrollo de las actividades experimentales (ARRIETA y MARÍN, 2002). Esta teoría está fundamentada a su vez en una representación del alumno con una estructura cognitiva bien organizada en esquemas específicos y operatorios, los cuales utiliza tanto para asimilar nueva información antes de ser almacenada en la memoria a largo plazo, como recuperarla. Esta visión del alumno coherente, que reacciona de inmediato para resolver conflictos cognitivos, procurando estructuras cada vez más estables (PIAGET, 1978), permite predecir y explicar en buena medida su rendimiento académico. Es importante resaltar que esta teoría es la más utilizada en aquellas investigaciones llevadas a cabo en el dominio de la enseñanza de las ciencias que poseen contexto teórico (MOREIRA, 1994).

Dada la complejidad de la estructura cognitiva de los conceptos científicos es importante que nuestras teorías psicológicas y didácticas traten de incorporar el conocimiento procedimental de una manera explícita.

Agradecimiento

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación nº 0614-2003, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES), de La Universidad del Zulia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, J., MANASSERO, M. y VÁZQUEZ, A., Nuevos retos educativos: hacia una orientación CTS de la alfabetización científica y tecnológica, *Revista pensamiento educativo*, [30], pp.15-34, 2002.
- ARRIETA, X., *Propuesta y evaluación de algunas estrategias para la enseñanza aprendizaje de Fundamentos de Física*, en *Educación Básica Integral*, trabajo de ascenso, Universidad del Zulia, 2001.
- ARRIETA, X. y MARÍN, N., Del experimento al concepto, *Encuentro Educativo*, **9**, [2], pp. 125 -146, 2002.
- ARRIETA, X., MARÍN, N., LÚQUEZ, P. Una propuesta para taxonomizar los contenidos procedimentales en las prácticas de física, *Investigación y posgrado*, en prensa.
- AUSUBEL, D., *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, México, 1982.
- AUSUBEL, D., NOVAK, J. y HANESIAN, H., *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, México, 1986.
- CARRETERO, M., Las teorías neopiagetianas, 207-224, en A. MARCHESI, M. CARRETERO y J. PALACIOS, *Psicología evolutiva. I. Teorías y métodos*, Alianza Editorial, Madrid, 1983.
- COLL, C. y VALLS, E., El aprendizaje y la enseñanza de los procedimientos, pp. 81-132, en COLL, C., POZO, J.I., SARABIA, B. y VALLS, E. (eds.), *Los contenidos en la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*, Santillana, Madrid, 1992.
- DELVAL, J. Tesis sobre el constructivismo, pp. 15-24, en M.J. RODRIGO y J. ARNAY (comp.), *La construcción del conocimiento escolar*, Paidós, Barcelona, 1997.
- DRIVER, R., Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Enseñanza de las ciencias*, **4**, [1], pp. 3-15, 1986.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V., A constructivist approach to curriculum development in Science, *Studies in Science Education*, **13**, pp. 109-120, 1986.
- FURIÓ, C., VILCHES, A., GUIASOLA, J. y ROMO, V. Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, **19**, [3], pp. 365-376, 2001.
- GIL, D., Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, **11**, [2], pp. 197-212, 1993.
- HART, C., MULHALL, P., BERRY, A., LOUGHARM, J. y GUNSTONE, R., What is the Purpose of this Experiment? Or Can Students Learn Something from Doing Experiments?

- Journal of Research in Science Teaching*, **37**, [7], pp. 655-675, 2000.
- HEWSON, P., A conceptual change approach to learning science, *European Journal of Science Education*, **3**, pp. 383-396, 1981.
- HODSON, D., Toward a philosophically more valid science curriculum, *Science Education*, **72**, [1], pp. 19-40, 1988.
- LAWSON, A., "Predicting science achievement: the roll of developmental level, disembedding ability, mental capacity, prior knowledge, and beliefs", *Journal of Research in Science Teaching*, **20**, pp. 117-129, 1983.
- LAWSON, A., MC ELRATH, C., BURTON, M., JAMES, B., DOYLE, R., WOODWARD, S. y KELLERMAN, L., Hypothetic-deductive reasoning skill and concept acquisition: Testing a constructivis hypothesis, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, [10], pp. 953-970, 1991.
- LAWSON, A., Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**, [2], pp. 165-187, 1994.
- LONGBOTTOM, J. y BUTLER, P., Why teach science? Setting rational goals for science education, *Science Education*, **83**, [4], pp. 473-492, 1999.
- MAIZTEGUI, A., y otros. Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada, *Revista Iberoamericana de Educación*, **28**, pp. 129-155, 2002.
- MARÍN, N., Elementos cognoscitivos dependientes del contenido, *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, [20], pp. 195-208, 1994.
- MARÍN, N., *Fundamentos de didáctica de las ciencias experimentales*, manuales, Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones, España, 1997.
- MARÍN, N. Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 43-55, 2003.
- MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., DOMÉNECH, J. y VERDÚ, R., Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza de las ciencias física y química, *Curriculum*, [6], pp. 67-89, 1993.
- MONK, M., A Genetic Epistemological Analysis of Data on Children's ideas about DC electrical circuits, *Research in Science & Technological Education*, **8**, [2], pp. 133-143, 1990.
- MOREIRA, M., Diez años de la revista *Enseñanza de las Ciencias*: de una ilusión a una realidad, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**, [2], pp. 147-153, 1994.
- NIAZ, M., The relationship between M-Demand, Algorithms, Problem Solving: A Neopiagetian Analysis, *Journal of Chemical Education*, **66**, [5], pp. 422-424, 1989.
- NIAZ, M., Correlates of formal operational reasoning: a neo-piagetian analysis, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, [1], pp. 19-40, 1991.
- NIAZ, M., SAUD, G. y RUIZ, I., Academic Performance of High School Students as a function of Mental Capacity, Cognitive Style, Mobility-Fixity Dimension, and Creativity, *The Journal of Creative Behavior*, **34**, [1], First Quarter, pp. 18-29, 2000.
- PASCUAL-LEONE, J., La teoría de los operadores constructivos, pp. 208-228, en JUAN DELVAL, *Lecturas de psicología del niño*, Alianza Universitaria, Madrid, 1979.
- PASCUAL-LEONE, J., Problemas constructivos para teorías constructivas, la relevancia actual de la obra de PIAGET y una crítica a la psicología basada en la simulación del procesamiento de información, pp. 363-392, en M. CARRETERO y J.A. GARCÍA MADRUGA, *Lecturas de psicología del pensamiento*, Alianza Editorial, Madrid, 1983.
- PASCUAL-LEONE, J., Organismic processes for neo-Piagetian theories: A dialectical causal account of cognitive development, *Internacional Journal of Psychology*, [22], pp. 531-570, 1987.
- PIAGET, J., *La explicación en las ciencias*, Martínez Roca, Barcelona, 1977a.
- PIAGET, J., *Epistemología genética*, Solpin, Argentina, 1977b.
- PIAGET, J., *La equilibración de las estructuras cognitivas*, «Problema central del desarrollo», Siglo XXI, Madrid, 1978.
- PIAGET, J., *Psicología y epistemología*, Ariel, Barcelona, 1981.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. y GERTZOG, W., Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of conceptual change, *Science Education*, **66**, [2], pp. 211-227, 1982.
- PRO, A., ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, **16**, [1], pp. 21-41, 1998.
- POZO, J., *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias*, MEC, Madrid, 1992.
- POZO, J., *Teorías cognitivas del aprendizaje*, 6ª edición, Morata, 1999.
- POZO, J. y GÓMEZ CRESPO, M., *Aprender y enseñar ciencia*, 2ª edición, Morata, Madrid, 2000.
- ROTH, W., Neo-piagetian predictors of achievement in physical science, *Journal of research in science teaching*, **27**, [6], pp. 509-521, 1990.
- SHAYER, M. y ADEY, P., *La ciencia de enseñar ciencia*. "Desarrollo cognoscitivo y exigencias del curriculum", Narcea, Madrid, 1984.
- SHAYER, M. y ADEY, P., Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students IV: three years after a two years intervention, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**, [4], pp. 351-366, 1993.
- VUYK, R., *Panorámica y crítica de la epistemología genética de PIAGET 1965-1980*, Alianza Universitaria, Madrid, 1985.
- WITKIN, H., MOORE, C., GOODENOUGH, D. y COX, P., Field-dependent and field-independent, cognitive styles and their educational implications, *Review of Educational Research*, **47**, [1], pp. 1-64, 1977.
- WITKIN, H. y GOODENOUGH, D., *Cognitive styles: Essence and origins*, International Universities Press, New York, 1981.
- WITKIN, H., OLTMAN, P., RASKIN, E. y KARG, S., *Test de figuras enmascaradas*, TEA, Madrid, 1982.

Received 08.12.2003 / Approved 06.09.2004

Students' understanding and use of gradient in kinematic graphs La comprensión y uso de gradiente por los estudiantes en los gráficos de la cinemática

REINHARD FRAUENKNECHT¹, FAAN JORDAAN²

¹ Edgemoad High School, South Africa

² Faculty of Education, University of Stellenbosch, South Africa.

ASJ@sun.ac.za

Abstract

The concept of gradient as an indicator of "rate of change" is crucial to the understanding and interpretation of any graphically represented data. This article investigates the degree to which students spontaneously focus on the gradient of a graph in order to obtain information about a motion or, alternatively, to construct a different but related graph. A brief summary of the finding of a number of researchers is followed by a report on an own empirical study involving 273 students. The results show that learners are extremely reluctant to employ the gradient concept in order to solve kinematic graphing problems. The main reason for this is that they seldom associate gradient with rate of change.

Key words: gradient, kinematic graphs, rate of change, education of physics

Resumen

El concepto de gradiente como un indicador de la razón de cambios es crucial en la comprensión e interpretación de cualquier representación de datos. Este artículo investiga el grado en que los estudiantes hacen su enfoque en la gradiente de un gráfico para obtener la información sobre un movimiento o, alternativamente, para

construir un gráfico diferente pero relacionado. Un resumen breve de resultados de varios investigadores se sigue con un informe del propio estudio empírico que involucra a 273 estudiantes. Los resultados muestran que los aprendices son sumamente renuentes a emplear el concepto de gradiente para resolver los problemas gráficos de cinemática. La razón principal es que ellos raramente asocian la pendiente con la proporción de cambio.

Palabras clave: gradiente, gráficos de cinemática, cambios, educación en física

INTRODUCTION

The graphical representation of the relationship between variables is important, not only in mathematics and the physical sciences, but also the economic sciences and indeed in most other disciplines. It clearly shows the pattern between the variables and also critical values such as maxima and minima stand out immediately.

The gradient (or slope) of a linear or curvy-linear graph is a key concept because it gives the rate of change of the dependant variable that is being represented. Graphs thus provide an easy and accessible vehicle to prop-