
Modelización analógica en la enseñanza de circuitos de corriente continua

Analogical modeling in the teaching of steady current circuits

RAÚL ZAMORANO ¹, HORACIO GIBBS ², JAVIER VIAU ³

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata

²Colegio "Arturo U. Illia", Universidad Nacional de Mar del Plata

³Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, B7602-AYP Mar del Plata, Argentina. Holly Trinity College, Mar del Plata, Argentina

dpfísica@mdp.edu.ar, hgibbs@mdp.edu.ar, javierstu@hotmail.com

Resumen

Desde el marco teórico se considera que resulta primordial el estudio de la modelización como línea de investigación educativa. La ciencia avanza cuando la información que se incluye en un modelo requiere ajustes por medio de analogaciones o algún principio de correspondencia. Esto se vuelve asombrosamente similar al proceso de elaboración del conocimiento del alumno a través de la evolución de sus modelos conceptuales. Si bien esta línea de investigación sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje científico ha adquirido relevancia, se nota que son pocas las aplicaciones investigativas en el aula, sobre todo en el nivel medio de enseñanza. La ficción analógica con objetos cotidianos posibilita la elaboración aproximatoria de nociones abstractas y además tiene una potencia noseológica abriendo nuevos caminos de pensamiento.

Palabras clave: aprendizaje activo, estrategias de enseñanza, electricidad, corriente eléctrica y circuitos.

Abstract

From our theoretical standpoint we consider that the study of models is of utmost importance in education research. Science advances when the information which is included in a model requires adjustments by means of analogies or of some correspondence principle. This becomes amazingly

similar to the process of construction of the students' knowledge through the evolution of their conceptual models. Although this line of investigation on the teaching processes and scientific learning has become relevant, we have observed that there are few investigative applications in the classroom, especially at the secondary school level. Analogical fiction using everyday objects facilitates the approach to the construction of abstract notions and also has an intuitive power for opening new ways of thinking.

Key words: classroom active learning; strategies for teaching; electricity; currents and circuits

INTRODUCCIÓN

Las principales nociones de electricidad, tales como el potencial o la corriente eléctrica representan conceptos de difícil interpretación para los estudiantes de nivel medio. En la enseñanza, el estudio de la corriente eléctrica y los circuitos de corriente continua aparecen, como sucedió históricamente, después del desarrollo de la electrostática. Si considerar a los modelos conceptuales elaborados previamente por los alumnos (ZAMORANO, GIBBS, 2003) y su evolución hacia los nuevos, se tendrá que partir del perfil conceptual de los estudiantes y de los enfoques brindados por la electrostática para llegar a los circuitos. Como ahora se debe enseñar que hay cargas en movimiento, se requiere una nueva conceptualización,

porque la corriente en un circuito no se explica correctamente por la separación de cargas en una pila. Hay que establecer otro "mecanismo", la fuerza electromotriz.

A pesar que los estudiantes cotidianamente utilizan circuitos eléctricos, les resultan de difícil interpretación, lo que da lugar a una serie de preguntas de difícil respuesta por parte del profesor, ante la brecha existente entre el modelo teórico y el que puede transmitirse al alumno.

Los obstáculos epistemológicos observados en los estudiantes se deben a que se ponen en juego los conocimientos previos de campo eléctrico, energía y potencial electrostático. De modo que los alumnos:

- Han recorrido el camino de la mecánica, con el manejo de conceptos como trabajo, energía y energía potencial.
- Han estudiado electrostática, enfrentándose al manejo de fuerzas variables. Comprenden el concepto de campo eléctrico como algo más esencial que el de fuerza y empiezan a reemplazar el concepto de energía potencial por el de potencial electrostático.

Sin embargo no entienden el funcionamiento de un circuito. Aparecen en escena dos nuevos conceptos a ser interpretados y modelizados: la corriente eléctrica y la fuerza electromotriz.

Las primeras explicaciones de los propios alumnos se refieren a que la diferencia de potencial de un circuito parece depender de una diferencia de cargas, focalizando en los polos de la pila, que los ven como aislados, lo esencial del circuito. También muchos suponen la circulación de un fluido y otros establecen una relación causal con la corriente como productora de la diferencia de potencial.

Ante esta situación ¿qué modelo hay que brindarle al alumno? ¿Puede abordarse directamente algún modelo teórico? Se considera que el aprendizaje de la ciencia es una cadena de elaboraciones analógicas, que van desde los modelos conceptuales del perfil conceptual de los estudiantes, pasando por modelos intermedios, hasta llegar a los modelos teóricos. Para ir conteniendo los nuevos conceptos en los anteriores, utilizamos en la clase la intervención didáctica del profesor a través del uso de un modelo didáctico analógico.

MARCO TEÓRICO

Los procesos de modelización así como el estudio de la evolución de los modelos intuitivos de los alumnos nos brindan una interesante línea de investigación (GRECA y MOREIRA, 1998).

El estudio de las analogías, las metáforas y los modelos nos provee de las herramientas para la exploración de la continuidad del progreso científico. Su función gnoseológica les da un valor heurístico facilitando la formulación de hipótesis. Pero además, como señalamos más abajo, nos brinda la posibilidad de una planificación didáctica, contextualizando la enseñanza de los conceptos a los procesos cognitivos de los estudiantes (DUIT, 1991; DAGHER, 1995). Los factores contextuales que nos interesan son los que están directamente embebidos en el propio contenido del conocimiento, ya que en situaciones problemáticas el formalismo de los problemas puede tener una influencia significativa sobre el razonamiento. Aquí es donde aparece la necesidad de investigar los modelos de razonamiento de los estudiantes, los que describimos como *modelos conceptuales*. Un modelo conceptual es un constructo mental funcional que está asociado con un concepto, o con un tema específico, y que puede ser aplicado directamente en contextos relevantes para obtener resultados explicatorios. Están ligados a veces a representaciones proposicionales e imágenes. (JOHNSON-LAIRD, 1983; SCHWARTZ, 1999).

Nosotros distinguimos entre los modelos conceptuales de los estudiantes y los modelos enseñados, los que constituyen representaciones externas que tienden a un modelo cuantitativo. A estos modelos que se constituyen como un sistema hipotético-deductivo los llamamos *modelos teóricos*. Los modelos teóricos están contenidos dentro de una teoría general (BUNGE, 1978).

Se pretende que los alumnos adquieran prácticas metacognitivas comprendiendo su propia versión acerca de la naturaleza de su conocimiento y sobre el proceso de aprendizaje. La conceptualización no necesariamente procede por la acomodación del marco conceptual previo, sino que incorpora los conceptos independientemente de los previos. Aun en dominios científicos hay diferencias ontológicas y epistemológicas entre modelos. Aquí es donde utilizamos la noción, introducida por MORTIMER (1995), de *perfil conceptual*, que establece que un único concepto puede estar disperso entre varios tipos de pensamiento y presentar también características ontológicas diversas, de modo que todo alumno puede poseer más de un modelo conceptual que podrá ser usado en contextos apropiados. Otros investigadores hablan de facetas

(MINSTRELL, 1992), modelos mentales (VOSNIADOU, 1994) y visiones de los estudiantes (THORNTON, 1997).

Los *modelos didácticos analógicos* son recursos para facilitar el aprendizaje cuando un modelo teórico posea un grado de abstracción que impida la comprensión del alumno (GLYNN, 1995; THAGARD, 1992). Pero tiene sus limitaciones, como ocurre también con el uso de modelización analógica en la ciencia. Ya que las analogías representan puentes entre lo conocido y lo desconocido, se utilizan habitualmente para la elaboración de los modelos teóricos. Pero se debe controlar el uso de las analogías y de las metáforas como función heurística, pues a veces impiden la conceptualización de una teoría.

La estructura lógico-matemática de los modelos teóricos contiene símbolos parcialmente interpretados y alcanza un punto de desarrollo hasta que entra en conflicto con nuestro entendimiento. Así se crean metáforas que establecen la generación de nuevas estructuras de conocimiento que contienen requisitos de información analógica, particularmente imágenes visuales (KOSSLYN, 1981). Cuando los modelos se vuelven más abstractos, las nociones de intuición y de representación visual se vuelven más abstractas también.

Los modelos didácticos son nuevas representaciones de los modelos teóricos para exponerlos ante los alumnos reduciendo su nivel de abstracción matemática y hacerlos más accesibles (ADURIZ-BRAVO y GALAGOVSKY, 1997). Sin disminuir las características conceptuales del modelo teórico, se trata de transfigurarlos mediante esquemas que utilicen sucesivas analogías, mientras que se mantiene la continuidad conceptual ya que permanecen los referentes ontológicos (PUTNAM, 1975).

El modelo didáctico deberá relacionar analógicamente y de forma estricta los componentes sustitutos y los originales. Sus relaciones funcionales también deberán analogarse. Se trata en definitiva de activar en los estudiantes la *intuición* y la *imaginación visual*. El modelaje de imágenes es una actividad creativa, utilizado también habitualmente por los científicos, que acompaña las explicaciones del profesor y va formando modelos conceptuales en el alumno. Las representaciones de imágenes mentales tienen un carácter analógico que contribuye a un desarrollo representacional que comienza en lo figurativo y termina en lo proposicional.

Por otra parte se corre el riesgo de literalizar confusamente a las metáforas. Aquí es donde el control metacognitivo debe actuar para que el proceso de analogación no se cristalice y se pueda avanzar hacia otros niveles de representación sin que fracase esta estrategia didáctica.

Analogías sobre circuitos eléctricos

Sabemos que el desarrollo de los modelos conceptuales de los alumnos y la evolución histórica de la ciencia no siguen necesariamente el mismo camino. Pero las analogías de los físicos para modelizar la electricidad, así como sus trasposiciones didácticas, siguen vigentes. Se han utilizado modelos didácticos que incluyen analogías "de corrientes opuestas", hidráulicas y gravitacionales.

El modelo didáctico, que partiendo de la electrostática, supone dos clases de corriente fluyendo desde los polos del generador en distintas direcciones, rápidamente entra en conflicto con los modelos teóricos (OSBORNE, 1981). Este modelo fue utilizado por los físicos del siglo XIX hasta 50 años más tarde de la creación de la pila de Volta, porque a ésta se la consideraba como una botella de LEYDEN que se cargaba a sí misma.

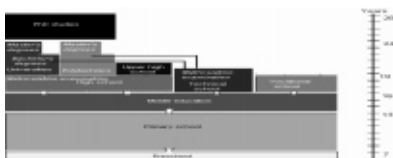
La analogía más utilizada supone la circulación de un fluido, con una bomba como generador. Surgen inconvenientes para representar la diferencia de potencial como una diferencia de presión porque no resulta intuitivo para los alumnos (BENSEGHIR y CLOSSET, 1993). A pesar de los reiterados cuestionamientos se siguen utilizando las analogías hidráulicas para enseñar circuitos, y continúa vigente la terminología de flujo de portadores, caídas (hidráulicas) de potencial, etc. (GREENSLADE, 2003).

EL MODELO DIDÁCTICO ANALÓGICO PROPUESTO

El reconocimiento del perfil conceptual de los alumnos de este nivel educativo, 3º año del polimodal o último del bachillerato (edad 17 años), nos indica que es imposible abordar directamente algún modelo teórico, semiclásico o semicuántico, tal como figuran en los textos. Nuestro modelo didáctico analógico debe dar cuenta del movimiento de cargas en un conductor y utilizará la similitud entre el comportamiento de partículas movidas por fuerzas gravitacionales y de otro tipo, y el comportamiento de electrones movidos por fuerzas de campos eléctricos. Como criterios de valoración del modelo didáctico consideramos la adecuación del mismo a los modelos conceptuales de los alumnos así como las similitudes y diferencias en el modelo teórico. Otro aspecto se refiere al sistema de proposiciones y de las explicaciones, causales o funcionales. De todos modos queremos lograr que los alumnos dispongan de un modelo conceptual previamente a los análisis cuantitativos del circuito eléctrico.

Algunos autores que utilizan este tipo de modelo “mecanicista” explican la circulación de una corriente eléctrica cuando una fuerza análoga a la del campo eléctrico empuja las cargas (CARLTON, 1999), pero es abandonado al momento de aplicar los conceptos de resistencia, diferencia de potencial y principalmente la fuerza electromotriz en un *circuito cerrado*. Nosotros proponemos no abandonar el modelo hasta la explicación total del circuito de corriente continua. Como clave para la explicación y desarrollo del modelo didáctico incluimos en el mismo la utilización de elementos del aula, de la escuela y también descripciones antropomórficas que activen la intuición de los alumnos. Esto se realiza con la participación de los estudiantes quienes representan a las partículas en movimiento, electrones, dentro de los elementos del circuito. El profesor puede utilizar el antropomorfismo para promover actuaciones teatralizadas con los alumnos que mantengan el interés y el buen humor en la clase.

El modelo que habitualmente se encuentra en los textos de los alumnos considera a un hilo conductor como un tubo lleno de cargas, las que de forma caótica, se repelen unas a otras ganando y perdiendo velocidad a raíz de los sucesivos choques entre ellas y con la red cristalina del metal. No hay un flujo neto de cargas a lo largo del tubo, es decir, que no existe un transporte neto de carga a través del hilo. Si se aplica un campo eléctrico sobre las cargas libres, éstas se mueven en la dirección del campo. El número de cargas que pasan por una sección del hilo conductor, por unidad de tiempo, se llama corriente eléctrica. Este modelo teórico, empleado por los textos, se ilustra en la siguiente figura.



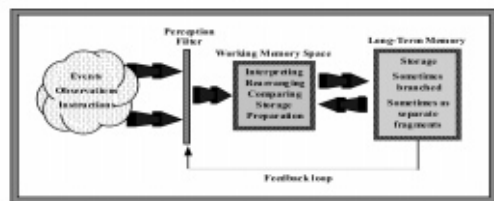
Corriente eléctrica en un hilo conductor sin campo eléctrico aplicado

En nuestro modelo, proponemos a los alumnos que piensen en los largos pasillos de su escuela, los que comunican con distintos sectores, y que ahora los considere como nuestro hilo conductor. ¿Y los electrones? Los electrones podrán ser los alumnos del establecimiento educativo, todos juntos dentro del pasillo. Pero con la salvedad que son todos iguales, todos vestidos de la misma forma y con una carga negativa.

Se debe recalcar desde un primer momento que el electrón es algo conocido y por lo tanto están establecidas sus características, es una partícula elemental con una masa y una carga que lo determinan. (Muchas veces los alumnos pierden de vista esta identidad y comienzan a preguntar sobre la masa o la carga de las partículas involucradas).

Volviendo al pasillo, ¿qué ocurre si todos los alumnos son convocados al mismo? La representación de esta situación permite un funcionamiento intuitivo del modelo, al visualizar la movilidad característica de un conglomerado de alumnos, los que van y vienen y no tienen por qué abandonar el pasillo. El profesor les recuerda que además de ser todos iguales tienen la misma carga negativa. Así el alumno podrá considerar a los choques mutuos como repulsiones que se producen con sus pares, en un pasillo lleno donde no hay mucha comodidad para moverse, dando lugar a un movimiento de tipo caótico, sin que se pueda observar un pasaje neto de alumnos hacia una punta u otra del pasillo.

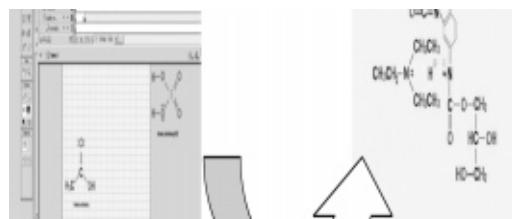
En las siguientes figuras se puede observar al que denominamos alumno-electrón, y un pasillo lleno.



Alumno-electrón Pasillo lleno sin campo aplicado

Corriente eléctrica en un hilo conductor con campo eléctrico aplicado

En primer lugar abordaremos la analogía del concepto de *campo eléctrico* dentro de nuestro pasillo. ¿De qué forma podríamos empujar u obligar a los alumnos a que se muevan a lo largo del pasillo? Si no olvidamos su condición de alumnos, nada mejor que una rectora, que en una punta del pasillo les ordene con su voz de mando a dejar libre el pasillo. Las siguientes figuras ilustran a nuestra generadora del campo, la rectora, y cómo empuja a los alumnos a moverse dentro del pasillo.



Rectora generadora de campo Pasillo lleno con campo aplicado

Con este modelo se entiende que la fuerza del campo está representada por una voz de mando que todo alumno reconoce, y que más allá de que continúen con sus choques, sus idas y venidas, dará lugar a su movimiento de traslación a lo largo del pasillo.

El próximo paso será modelizar con los pasillos la *resistencia eléctrica*. En primer lugar, se les propone a los estudiantes que imaginen si en un pasillo la fuerza del campo los empuja bajo distintas condiciones de temperatura. Se los invita a considerarse dentro del pasillo a muy bajas temperaturas corporales. Enseguida se darán cuenta que mientras más baja sea la temperatura, menor será su movilidad pues tendrán una tendencia a entumecerse. Esta situación provocará que sea más fácil lograr un movimiento de conjunto cuando se aplica un campo porque existirá un mayor ordenamiento de los alumnos dentro del pasillo. Por el contrario, si la temperatura aumenta, ellos se sentirán inquietos, molestos y mucho más difíciles de ser empujados por la fuerza del campo.

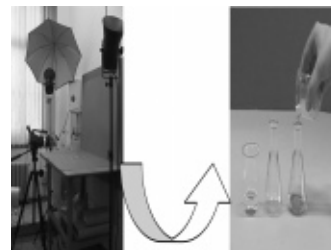
De esta forma, ven que existe una dependencia entre el movimiento que puede establecerse en el pasillo, con la temperatura de los alumnos. A mayor temperatura habrá una mayor “resistencia” al establecimiento de una corriente eléctrica dentro del hilo conductor.

Ahora, si se imaginan que la temperatura de todos permanece constante, podrán considerar su movilidad en función de las dimensiones de los pasillos, sus secciones transversales y longitudes. Si la sección transversal del pasillo fuera más pequeña, es decir, el pasillo más estrecho, los alumnos observan que será más difícil moverlos porque estarán más apretados. Esta analogía les permitirá llegar a una relación que establece una dependencia inversa entre la sección transversal del hilo conductor y la resistencia al pasaje de electrones.

Luego se invita a los alumnos a considerar su movimiento en pasillos cada vez más largos. Reconocen que cuanto mayor sea la longitud del pasillo, mayor dificultad tendrán para trasladarse a lo largo del mismo. Esta analogía les permitirá reconocer la relación directa entre la longitud del hilo conductor y la resistencia eléctrica.

Circuito cerrado

Se está ahora en condiciones de presentar un circuito cerrado, en donde una pila provee la energía necesaria para que se establezca la circulación de una corriente eléctrica. Como indica la siguiente figura, en nuestra analogía las resistencias estarán representadas por escaleras conectadas en serie, o como se muestra en el dibujo, en paralelo.



Circuito cerrado

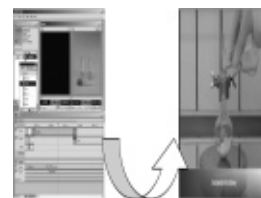
La siguiente figura permite observar con mayor detalle lo que ocurre al finalizar un pasillo con una escalera.

Escalera al fin de un pasillo

Se puede visualizar que los alumnos deberán dividirse al entrar por las escaleras, y además que por la escalera más estrecha, deberán pasar necesariamente menos cantidad de alumnos que por la más ancha. Relacionando así el hecho que la corriente eléctrica se divide en forma inversamente proporcional con la resistencia de los hilos conductores.

Las escaleras unen puntos de diferentes alturas con una diferencia de energía potencial gravitatoria, lo que en nuestra analogía significa una diferencia de energía potencial eléctrica y por lo tanto una *diferencia de potencial*.

La pérdida de la energía potencial gravitatoria será restablecida por una escalera mecánica, la que proporcionando una energía externa adicional,



lleva a los alumnos nuevamente al nivel superior. La utilización de la escalera mecánica nos llevará a modelizar la *fuerza electromotriz*.

En el trabajo de GUIASOLA, MONTERO y FERNÁNDEZ (2005) se analizan las dificultades de alumnos y graduados para diferenciar claramente entre fuerza electromotriz (fem) y diferencia de potencial. La analogía de la escalera mecánica con una batería nos lleva a explicar el circuito desde el punto de vista energético. Se transforma energía mecánica en energía eléctrica con fuerzas no conservativas, así como en una batería la disociación química produce trabajo transportando las cargas positivas de regreso al terminal positivo. La fuerza de la acción química lleva las cargas positivas a través de la batería en contra del potencial eléctrico, opuesto a la batería, y sabemos que un campo electrostático solo no puede mantener una corriente estacionaria.

Es decir, se debe recalcar que la producción de la circulación de corriente eléctrica en un circuito cerrado necesita de una fuente de energía para compensar las variaciones de energía en las resistencias. Y además servirá para mover a los electrones a lo largo de todo el circuito, *incluso dentro de la pila*. Por lo que el campo eléctrico necesario no será un campo electrostático conservativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trabajó con alumnos del tercer año del polimodal del Colegio Arzobispo de San Alberto (30 estudiantes) a quienes se les instruyó a través del modelo didáctico analógico, y del Holly Trinity College (30 estudiantes) a quienes se les explicó el tema con los modelos (teóricos) tradicionales de los textos. En ambos casos, fue el mismo profesor quien se encargó de dictar las clases correspondientes. Se utilizó como grupo de control, a los alumnos del tercer año del polimodal del Colegio Nacional Arturo U. Illia dependiente de la Universidad Nacional de Mar del Plata, a quienes se les tomó un cuestionario diagnóstico cuyos resultados fueron utilizados como control de los obtenidos en las otras clases.

Luego de la instrucción, se realizó una investigación cualitativa sobre el conocimiento de los estudiantes para detectar los modelos conceptuales así como las concepciones científicas correctas. La elaboración del perfil conceptual prevé una estructuración de las ideas en zonas que suponen diversos compromisos epistemológicos y ontológicos. Para caracterizar las zonas del perfil conceptual se tomaron datos empíricos a través de encuestas de respuestas múltiples. Los resultados fueron organizados, para cada pregunta, en una matriz con el fin de describir los modelos conceptuales, los modelos teóricos y los modelos nulos. Se considera como modelo nulo el que proviene de errores que no representan conocimientos constituidos y por lo tanto no son tomados como modelos conceptuales. Los modelos nulos no forman parte del perfil conceptual.

Las zonas fueron clasificadas según el análisis epistemológico de RIBEIRO AMARAL y MORTIMER (2004).

El siguiente cuadro, resume las principales zonas del perfil conceptual de los alumnos.

Después de la enseñanza del tema se compararon con los cursos cuyos alumnos fueron instruidos a través del modelo analógico didáctico con el grupo que recibió la enseñanza tradicional. Los resultados muestran una clara diferencia

entre ambos cursos, ya que los primeros presentaron un 82% de modelos teóricos en su perfil conceptual, contra un 43% de modelos teóricos en el grupo que recibió la enseñanza tradicional. El grupo que recibió instrucción con el modelo analógico didáctico alcanzó en forma rápida un manejo y reconocimiento de los distintos elementos del circuito. Lo más relevante de lo observado, es el aprendizaje por parte de los alumnos del concepto de potencial. Asimismo, les permite visualizar fácilmente puntos

de iguales potenciales dentro del circuito y reconocer diferencias de potencial.

El proceso metacognitivo, es decir, la adquisición conciente por parte de los alumnos de su propio perfil, y de la utilización de distintos modelos, es un aspecto difícil de la enseñanza ya que involucra una buena dosis de abstracción. Pero así los estudiantes toman conciencia de las limitaciones de sus modelos conceptuales, aunque no los abandonan necesariamente, por lo menos hasta que ya no puedan utilizarlos cuando alcanzan un nuevo nivel de su perfil.

CONCLUSIONES

La modelización didáctica constituye un recurso de extrema importancia para la enseñanza de la ciencia porque al recurrir a dominios de la experiencia cotidiana favorece la formación de imágenes mentales de lo comprendido y se comprobó que ayuda a la conceptualización de los temas científicos. La ficción analógica con objetos cotidianos posibilita la elaboración aproximativa de nociones abstractas y además tiene una potencia noseológica abriendo nuevos caminos de pensamiento. Por otra parte, fue verificado que las explicaciones a través de mecanismos analógicos de tipo cualitativo establecen una etapa previa necesaria para un conocimiento cuantitativo.

Presentado al "IX Encontro de pesquisa em ensino de física", octubre 2004, Jaboticatubas, MG, Brasil.

BIBLIOGRAFÍA

- ADURIZ-BRAGO, A. y GALAGOVSKY, L., "Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales", *Actas X REF* 1c 05, 1997.
- BENSEGHIR, A. y CLOSSET, J.L., "Pregnance de l'explication electrostatique dans la construction du concept de circuit électrique" *Didaskalia* 2, 31-47, 1993.
- BUNGE, M., *Filosofía de la física*. Barcelona Editorial Ariel, 1978.
- CARLTON, K., "Teaching electric current and electrical potential", *Phys. Educ.* 34 (6) 341-345, 1999.
- DAGHER, Z.R., "Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education" *Science Education* 79 (3) 295-312, 1995.
- DUIT, R., "On the role of analogies and metaphors in learning science", *Science Education* 75 (6) 649-672, 1991.
- GLYNN, S., "Conceptual bridges, Using analogies to explain scientific concepts", *Science Teacher*, 69 (9) 25-27, 1995.
- GUIASOLA, J., MONTERO, A., FERNÁNDEZ, M., "Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto "olvidado" en la enseñanza de la electricidad: la fuerza electromotriz", *Enseñanza de las ciencias*, 23 (1) 47-60, 2005.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A., "Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo", *Enseñanza de las ciencias*, 16 (2) 289-303, 1998.
- GREENSLADE, T. B., "The Hydraulic Analogy for Electric Current", *The Physics Teacher* 41, 464-466, 2003.
- JOHNSON-LAIRD, P., *Mental Models*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1983.
- KOSSLYN, S.M., *Image and Mind*, Harvard Univ. Press, Cambridge, 1981.
- MINSTRELL, J., *Facets of students knowledge and relevant instruction*, Edited by R. DUIT, IPN, Kiel, Germany, 1992.
- MORTIMER, E., "Conceptual change or conceptual profile change?", *Science and Education*, 4, 267-285, 1995.
- OSBORNE R., "Childrens ideas about electric current", *Res. Sci. Technol. Educ* 1(1) 73-82, 1981.
- PUTNAM, H., *Mind, Language and Reality: Philosophical papers*, vol. 2, Cambridge Univ Press, Cambridge, U.K, 1975.
- RIBEIRO AMARAL, E., MORTIMER, E.F., "Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de química", *Educación Química* 15 (3) 218-233, 2004.
- SCHWARTZ, D., "Physical Imagery: Kinematics versus Dynamics Models", *Cognitive Psychology*, 38, 433-464, 1999.
- THAGARD, P., "Analogy, explanation and education", *Journal of Research Sci. Teach.* 29 (6) 537-544, 1992.
- THORTON, R.K., *Conceptual dynamics: changing student views of force and motion*, (ed. by E.F. REDISH. New York. Wiley), 1997.
- VOSNIADOU, S., "Capturing and modeling the process of conceptual change", *Learning Instruction*, 45-69, 1994.
- ZAMORANO, R., GIBBS H., VIAU J., "Descubriendo los modelos conceptuales de los alumnos: un ejemplo de electrostática", *Visiones Científicas* 5 (2) 11-22, 2003.

Received: 23.11.2004 / Approved: 6.08.2005