
EL CONCEPTO DE MODELO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA –CONSIDERACIONES EPISTEMOLÓGICAS, DIDÁCTICAS Y RETÓRICAS

Agustín Adúriz-Bravo
Laura Morales
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires – Argentina

Resumen

En la literatura en didáctica de la física existen variadas referencias a los conceptos de modelo científico y modelo didáctico. En este trabajo se procede a una revisión de ambos tipos de modelos, que son formas de representación de los contenidos científicos de la física. Desde un punto de vista epistemológico, nos apoyamos en el concepto de representación, teniendo en cuenta las separaciones entre los distintos niveles representacionales. Desde un punto de vista didáctico, nos apoyamos en el concepto de metacognición, suponiendo que la explicitación de las operaciones utilizadas en los pasajes, entre niveles representacionales, aumenta la significatividad del aprendizaje de la física. Desde un punto de vista retórico, nos apoyamos en el concepto de metáfora, considerando el lenguaje analógico como una herramienta poderosa para comunicar significados en física.

Palavras-chave: *Modelización, modelos didácticos, epistemología, didáctica, retórica.*

Abstract

In the literature related to physics teaching there are numerous references to the concepts of scientific and didactical models. This study reviews both kinds of model, which are representations

of the scientific contents of physics. From the epistemological point of view, we base our work on the concept of representation, taking into account the separation between the different representational levels. From the didactical point of view, we base our work on the concept of metacognition, supposing that the explication of the operations used in the transitions between representational levels increases the significance of the learning of physics. From the rhetorical point of view, we base our work on the concept of metaphor, considering the analogical language as a powerful tool for the communication of meanings in physics.

Keywords: *Modelling, didactical models, epistemology, didactic, rhetoric.*

I. Introducción

En la literatura actual en la didáctica de las ciencias existen gran cantidad de referencias a los conceptos de *modelo científico* y *modelo didáctico*. Dentro de esta segunda categoría, las referencias a la subclase de los llamados *modelos analógicos* ocupan una proporción significativa (THAGARD, 1992; CLEMENT, 1993; MOREIRA; BATISTA, 1998; GRECA; MOREIRA, 2000; GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001). La intención de este trabajo es proceder a una rápida revisión teórica de los modelos científicos y didácticos en física, desde los puntos de vista epistemológico, didáctico y retórico, por cuanto se entiende que los modelos se establecen como las formas de *representación* por excelencia de los contenidos científicos. En este sentido, este trabajo se inscribe en la llamada *concepción basada en modelos de la filosofía de la ciencia actual*, particularmente desarrollada por Ronald Giere (1992, 1999).

Los modelos científicos en física constituyen una representación teórica de la realidad que es de segundo orden (MATTHEWS, 1994). El llamado *sistema físico* es una representación de primer orden que da estructura al mundo de los fenómenos, transformando los datos crudos en evidencias dentro de un padrón (DUSCHL, 1997). El modelo, a su vez, respeta la estructura sintáctica de este sistema físico, modelándolo con términos teóricos (símbolos que representan las entidades abstractas del sistema: Estany, 1993) y planteando relaciones funcionales y estructurales entre ellos.

Los modelos didácticos son representaciones de orden superior (modelos de modelos), obtenidas por *transposición* a partir de los modelos científicos. Algunos mantienen los contenidos, otros sólo las formas (la arquitectura lógica), y algunos resultan de concretar las componentes abstractas de

los modelos científicos (por ejemplo, en el caso de las *visualizaciones* y de las maquetas: ARLEGUI DE PABLOS, 1995).

En los pasajes entre estos diferentes órdenes de representación se producen *fracturas*, que funcionan como obstáculos didácticos en todos los niveles de la educación científica en el área de física. En los apartados siguientes se desarrollan algunas consideraciones teóricas acerca de estas fracturas desde tres diferentes abordajes disciplinares: el epistemológico, el didáctico y el retórico. Las fracturas se ejemplifican mediante obstáculos encontrados en una situación de enseñanza-aprendizaje en particular: la introducción de los *modelos atómicos* en la escuela secundaria. Nuestros ejemplos provienen de una investigación anterior que ya está publicada (ADÚRIZ-BRAVO et al., 1997), por lo que el contexto teórico y metodológico de dicha investigación no se desarrolla aquí. Remitimos al lector a ese trabajo para conocer nuestras preguntas de investigación y resultados principales.

A modo de conclusión, se plantean algunas reflexiones acerca de posibles estrategias didácticas para la articulación entre los distintos modelos físicos, y la capacidad que pueden tener estas estrategias para lograr en la clase de ciencias aprendizajes más significativos, transposiciones más articuladas y enfoques epistemológicos más consistentes.

II. Desarrollo teórico

Los análisis epistemológico, didáctico y retórico de los modelos científicos a menudo han discurrido por carriles separados. Con la aparición del llamado *modelo cognitivo de ciencia*, se han podido integrar estas perspectivas al considerarse la ciencia como la actividad cognitiva de dar sentido al mundo mediante *modelos teóricos* de carácter abstracto y analógico, comunicados a través de diversos lenguajes (GIERE, 1992; NERSESSIAN, 1992).

Actualmente, podemos considerar los modelos científicos y didácticos como *representaciones* (esto es, abstracciones no lingüísticas) del mundo, con su propia lógica interna, sus relaciones de *semejanza* con los fenómenos, y sus propios medios expresivos (los lenguajes simbólicos especializados) (ADÚRIZ-BRAVO, 1999; IZQUIERDO, 1999). Los modelos científicos y didácticos se sitúan en diferentes niveles de representación, pero los análisis teóricos que atienden a su naturaleza, su enseñabilidad y su comunicabilidad encuentran muchos puntos en común.

III. Análisis epistemológico

Para el análisis desde el punto de vista epistemológico nos apoyamos en el concepto de *representación*, que articula la filosofía de la ciencia con la ciencia cognitiva (NERSESIAN, 1992). En este contexto, se entiende que un modelo cualquiera es una entidad no lingüística que sirve al individuo a modo de representación simbólica interna y operativa, el *mapa*, de algunos aspectos del mundo (GIERE, 1992, 1999). Representación y realidad se vinculan, analógicamente, en forma más o menos estrecha. Una familia de modelos particularmente elaborados y complejos, enlazados por medio de vínculos fuertes (ligaduras), y ricamente caracterizados por medio de enunciados lingüísticos, constituye una *teoría* científica (GIERE, 1992; ADÚRIZ-BRAVO, 1999; IZQUIERDO, 1999)¹.

Ahora bien, cada nivel de representación de una teoría científica implica transformaciones conceptuales y lingüísticas sobre el nivel anterior, es decir, distintas agrupaciones estructuradas de los modelos y distintos enunciados caracterizadores (BUNGE, 1993; ADÚRIZ-BRAVO, 1999). Es importante analizar con cierto detalle los diferentes niveles de representación involucrados en la enseñanza de la física, así como tener en cuenta las separaciones entre ellos, por sus consecuencias para la didáctica de las ciencias. Estas separaciones inter-representacionales son:

1. La separación entre *realidad empírica* y *sistema teórico*, establecida al aceptar que las propiedades de completitud, complejidad, organización y estructura, no están como tales en el mundo de los fenómenos, sino que quedan determinadas por la relevancia teórica de la elección de la frontera conceptual que delimitará el sistema (KLIMOVSKY, 1995).

Esto es, frente a la idea ingenua de que un sistema está constituido por cualquier porción de la realidad que se aísla para su estudio, se propone entender al *sistema físico* como un recorte conceptualmente relevante de la realidad fenomenológica, al que se atribuye una estructura sintáctica compleja, que es susceptible de ser modelizada con el aparato teórico de la física. El sistema resulta de una primera transformación operada sobre la realidad (MATTHEWS, 1994; DUSCHL, 1997).

¹ En la llamada *concepción semántica* de la epistemología contemporánea, dentro de la que se inscribe el modelo cognitivo de ciencia al cual adherimos en este trabajo, la teoría está constituida por la clase extensional de sus modelos. Otras concepciones epistemológicas más clásicas consideran que la teoría es *anterior* a los modelos y no se reduce a ellos (GIERE, 1992; ESTANY, 1993).

2. La separación entre *sistema teórico* y *modelo científico*, apoyada en los conceptos de *simplificación* y *aproximación*, operaciones que reducen el número de variables relevantes y acotan la complejidad de sus relaciones conceptuales.

Una vez seleccionado el sistema físico a estudiar, se procede a su modelización simbólica: se postulan una serie de términos abstractos, que remiten indirectamente a observables del sistema, organizados en una red conceptual, estableciendo entre ellos las relaciones estructural-funcionales pertinentes (KLIMOVSKY, 1995). Esta red alcanza a ser un modelo del sistema complejo a medida en que resulta explicativa y predictiva y permite intervenir eficazmente sobre él. Es decir, el sistema simbólico teórico sólo es un modelo de la realidad si se establecen relaciones de *semejanza* operativas (empíricamente contrastables) entre una y otra entidad (GIERE, 1992).

3. La separación entre *modelo científico* y *modelo didáctico*, con la suposición de que para llegar a este último se producen *transposiciones* que afectan tanto a los contenidos como a las formas.

La *transposición didáctica* (CHEVALLARD, 1997) constituye la transformación del saber erudito en conocimiento a enseñar: es el proceso por el cual se escolarizan los contenidos científicos. Para construir un modelo didáctico a partir del modelo científico, hay involucrada una gran cantidad de operaciones de transposición en el plano *lógico* (de las formas) y en el plano *semántico* (de los contenidos). Algunas de ellas son: disminuir el grado de abstracción, reducir el número de variables, sustituir el modelo actualizado por modelos aproximativos vigentes en otros momentos históricos, analogar el modelo a situaciones más conocidas por los alumnos, utilizar metáforas que lo expliquen.

Los diferentes niveles de representación de los que hemos hablado, y sus respectivas articulaciones, quedan resumidos en la Fig.1.

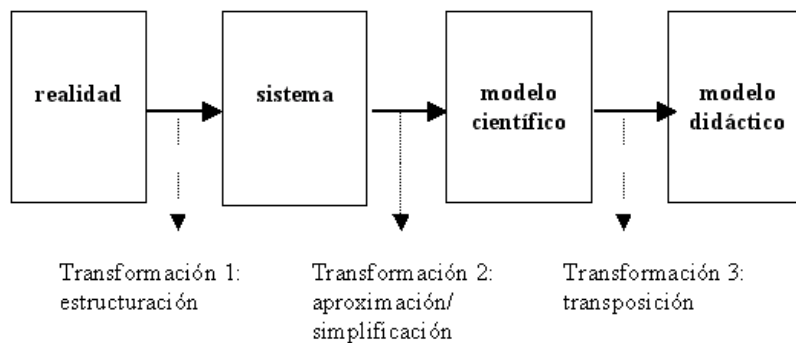


Fig.1- Diferentes niveles de representación científica en física, y sus articulaciones

IV. Análisis didáctico

Para el análisis desde el punto de vista didáctico, nos apoyamos principalmente en el concepto teórico de *metacognición* (MONEREO FONT, 1995; IZQUIERDO, 1999). Entendemos la metacognición como la *autorregulación* consciente de los procesos cognitivos superiores (SANMARTÍ, 2000). Como hipótesis de trabajo, proponemos que la concientización y verbalización de las operaciones conceptuales utilizadas en los pasajes entre niveles representacionales (científicos y didácticos) aumenta la significatividad del aprendizaje de la física y permite a los estudiantes construir una visión más crítica y dinámica del proceso de modelización científica (ADÚRIZ-BRAVO; GALAGOVSKY, 1997; GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

Al organizar en una suerte de andamiaje lógico *formal* las operaciones y estrategias cognitivas puestas en juego en el aprendizaje de la física, el uso explícito de la metacognición permite a los estudiantes independizarse, hasta cierto punto, de los contenidos específicos y conseguir transferencias estructurales hacia otros contenidos científicos aprendidos o por aprender. Esta posibilidad de desplazamiento formal es particularmente importante en el tratamiento de los llamados conceptos *estructurantes*, o *metadisciplinarios*, de las ciencias naturales (IZQUIERDO, 1999); entre ellos, sin duda, se sitúa el concepto de *modelo científico*. Las estrategias metacognitivas pueden ser vistas, entonces, como una especie de *punte* (GLYNN, 1995) entre la cognición situada (esto es, dependiente de los contenidos), y los procesos psicológicos más generales, inespecíficos del *dominio*.

Otro elemento importante a tener en cuenta para el análisis didáctico es la *analogía*, que juega un rol central tanto en relación con los modelos científicos cuanto como con los modelos didácticos. En el caso de los modelos científicos, la analogía puede dar cuenta de la relación de similaridad entre las teorías y el mundo, expresada lingüísticamente a través de las llamadas *hipótesis teóricas* (GIERE, 1992). En el caso de los modelos didácticos, la analogía es entendida como un mecanismo transferencial; se trata de una de las principales funciones semióticas que permiten el proceso de transposición didáctica (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

Históricamente, la analogía ha sido muy utilizada como recurso heurístico auxiliar en la enseñanza de la física y de las demás ciencias naturales (THAGARD, 1992; CLEMENT, 1993; GLYNN, 1995). La retomaremos en el siguiente apartado desde una perspectiva pragmática, es decir, de *uso*.

V. Análisis retórico

Para el análisis desde el punto de vista retórico nos apoyamos principalmente en el concepto de *metáfora*, entendiéndola como un mecanismo analógico lingüísticamente soportado, que es capaz de *trasladar* significados desde un campo semántico conocido, la *base*, hacia otro en exploración, el *blanco*. De hecho, la idea de transporte está en la etimología del vocablo de *metáfora*, que aquí es usado en un sentido más bien amplio para englobar diversos procesos analógicos complejos (DUIT, 2001).

La metáfora constituye una estrategia fundamentalmente lingüística que aprovecha la fuerza del pensamiento analógico para reconstruir las diferentes entidades y relaciones de la física erudita en el aula de ciencias. Por tanto, la metáfora se constituye en uno de los elementos fundamentales de la *argumentación* científica escolar (IZQUIERDO, 1999; MARTINS; PORTO VILLANI, 2000). La metáfora permite al profesor de física introducir a los estudiantes en los usos lingüísticos vigentes en la comunidad científica y al mismo tiempo comunicar de forma más precisa, económica y rápida los significados “empaquetados” en los modelos científicos abstractos, funcionando así como *punte conceptual* (GLYNN, 1995).

Otro elemento clave que puede ser abordado desde el análisis retórico es la voluntad de *convencer* que subyace a los textos científicos (IZQUIERDO, 1999). En este sentido, el llamado modelo *ilocutivo* de explicación científica (ACHINSTEIN, 1968; ESTANY, 1993) nos resulta particularmente útil, pues se concentra tanto en la estructura y objetivos de la explicación científica como en sus *resultados*, que constituyen la componente pragmática del proceso de modelización analógica.

VI. Problemas con los modelos

En un trabajo anterior presentamos con cierto detalle una serie de modelos didácticos que construimos para la enseñanza de la unidad temática sobre modelos atómicos a alumnos de 14 a 16 años en la escuela secundaria (ADÚRIZ-BRAVO et al., 1997). Estos modelos didácticos eran de distintas clases: analógicos, históricos, concretos (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001). El bloque del currículo de ciencias referido a los modelos atómicos ha recibido tradicionalmente un tratamiento histórico, explorando la secuencia que va desde el atomismo griego hasta la mecánica cuántica. Este enfoque diacrónico sin duda resulta de gran valor para el trabajo del concepto mismo de *modelización científica*.

En la experiencia relatada en ese trabajo, la planificación de la unidad didáctica se apoyó fuertemente en la separación explícita de los distintos niveles

de representación, elemento que fue enfatizado en cada clase del trayecto didáctico. Aun con este cuidado, surgieron problemas para el acceso de los alumnos a los diferentes modelos planteados, debido a las múltiples fracturas entre los distintos planos de contenidos explorados por el profesor en el aula. A seguir, hay una breve reflexión sobre algunas de las fracturas aparecidas, a partir del marco teórico esbozado arriba.

VII. El trabajo con modelos históricos

La “historización” de las herramientas conceptuales que el hombre ha construido sucesivamente para modelizar la realidad natural constituye una situación de conflicto frente a la visión cristalizada y acrítica de la ciencia que los alumnos elaboran durante su escolaridad (BARRÓN RUIZ, 1993; DUSCHL, 1997). Esta fuerte contradicción con las ideas del sentido común acerca de la ciencia se manifiesta como un obstáculo inicial para el acceso al concepto de modelo científico.

En nuestro tratamiento de la unidad didáctica de modelos atómicos, esta contradicción se manifestó repetidas veces. En una primera aproximación, los alumnos eran proclives a considerar una imaginaria “fecha de descubrimiento de los átomos” como momento inamovible, estático y clausurante de la historia de la ciencia. Tal “descubrimiento”, además, apareció fuertemente asociado a la posibilidad de *ver* los átomos, es decir, al momento de la construcción del instrumento tecnológico adecuado.

A lo largo de las clases de la unidad didáctica, muchos de los alumnos se resistieron a entender al átomo como herramienta teórica postulada para la explicación de los fenómenos físicos, y lo asociaron a una porción de la realidad accesible a la observación directa mediante instrumentos. Estas ideas resultaron un obstáculo importante en el proceso de construcción del concepto de *modelo*, que tiene un fuerte componente *ontológico* difícil de comprender. De hecho, este obstáculo conceptual muy conocido recibe actualmente la atención de la emergente filosofía de la química (SCERRI Y GUTERMAN, 2000; ERDURAN, en prensa).

A pesar de estos problemas, podemos afirmar, a partir de los resultados obtenidos en la evaluación de la unidad (ADÚRIZ-BRAVO et al., 1997), que el enfoque histórico, acompañado por la explicitación de los objetivos didácticos (SANMARTÍ, 2000), favoreció la negociación de una plataforma epistemológica más sólida y coherente para comprender el funcionamiento de la física. Este enfoque permitió a profesor y alumnos consensuar una visión más dinámica y compleja del avance de la ciencia, coherente con las ideas actuales

acerca de la naturaleza de la ciencia que se desea introducir en el currículo (McCOMAS, 1998).

VIII. El trabajo con modelos analógicos

La utilización de los llamados *análogos concretos* como sustituciones estructural-funcionales del modelo científico a enseñar permite a los alumnos acceder a los saberes científicos desde niveles de pensamiento más concretos y mejor engarzados en su estructura cognitiva (GALAGOVSKY, 1993; GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001). Para explicar estos resultados, el estudio del pensamiento analógico y metafórico en física es de central importancia.

Sin embargo, las estrategias retóricas como esta también entrañan un peligro: el de desplazar el *contenido* del modelo original hacia el del análogo, cuando no se proporciona en el aula el espacio necesario para el trabajo explícito sobre la analogación. Durante nuestro trabajo en la unidad didáctica sobre modelos atómicos, algunos alumnos forzaron la conocida analogía entre el sistema solar y el átomo de Rutherford al punto de transferir caracteres del análogo macroscópico al analogado submicroscópico (por ejemplo, aparecieron problemas en la definición de *órbita* y en la constitución interna del núcleo).

Para evitar este tipo de analogaciones forzadas, juega un rol importante el ejercicio consciente de la metacognición (GALAGOVSKY, 1993): si se explicitan las operaciones de transferencia entre modelo y análogo, este último puede jugar su papel de trampolín hacia el modelo científico sin obturar la integración teórica por mecanismos como las *metonimias* o las *sustituciones patológicas* (FRIGERIO, 1991).

IX. El trabajo con modelos concretos

Los modelos concretos son sin duda el recurso instruccional más utilizado en la enseñanza tradicional de esta unidad didáctica. Sin embargo, su utilización acarrea peligros importantes, por la falta de cuidado con que suele tratarse la componente *convencional* del proceso de representación científica.

Los heurísticos disponibles en circulación (por ejemplo, maquetas o láminas de amplia difusión en libros de texto) contienen severas transformaciones sobre los modelos científicos originales: tamaños, escalas, colores, texturas y dinámica aparecen utilizadas convencionalmente para remitir a entidades que, en principio, obedecen a un comportamiento *cualitativamente* distinto. Este problema es particularmente central en el tema que nos compete, en el cual el comportamiento semiclásico (para no hablar del cuántico) presenta grandes

dificultades para su aprendizaje significativo, por su escaso parecido con el mundo macroscópico.

Durante el trabajo con maquetas de modelos atómicos, muchos alumnos asimilaban caracteres anecdóticos de la representación (por ejemplo, la escala núcleo/órbitas, o la ubicación de las órbitas en un plano) y los transfirieron al *representamen*, esto es, al modelo científico original. Un ejercicio interesante para disminuir la incidencia de estas transferencias distorsivas consistió en examinar una vasta cantidad de representaciones convencionales (más de cincuenta imágenes de átomos extraídas de material de divulgación y especializado), explorando explícitamente las limitaciones de cada una de ellas.

Tal ejercicio resultó sumamente fructífero. A modo de ejemplo, podemos comparar las respuestas de dos alumnos a la siguiente consigna: *Representa un átomo y explica qué representaste* (adaptada de LEDERMAN; O'MALLEY, 1990).

El primer alumno, tomado como control, que aprendió los contenidos del bloque en una secuencia histórica tradicional, dibujó el átomo “planetario” que se presenta típicamente en la literatura de divulgación científica. Al respecto, escribió:

Esta figura representa un átomo. El átomo está constituido por un núcleo con protones y neutrones, y los electrones girando en órbita.

La segunda alumna atravesó la secuencia didáctica que hemos mencionado, en la cual se hacía hincapié explícito en el concepto de representación. Su dibujo es muy similar al del alumno control. Sin embargo, ella escribió lo siguiente acerca de su dibujo:

Esta figura representa el modelo de Rutherford. Está constituido por un núcleo (protones y neutrones), y los electrones giran en órbitas alrededor del núcleo.

Diferencias entre imagen y modelo:

Imagen:	Modelo:
* Está agrandada.	* Es muy pequeño (no se ve a simple vista ni al microscopio).
* Es inmóvil.	* El átomo es móvil.
* La distancia entre el núcleo y los electrones es pequeña.	* La distancia entre núcleo y electrones es muy grande. El radio del núcleo es 10000 veces más chico que el radio de la órbita más cercana.

Con este ejemplo, pueden ilustrarse las grandes diferencias entre dos modelos implícitos acerca de lo que es un modelo. En el caso del primer alumno,

el modelo didáctico es una sustitución directa de la realidad (se dice que lo representado es *el átomo*), no existen mediaciones. En el segundo caso, la representación considera sólo una de las posibles analogías del representamen, aquella debida a Lord Rutherford. Además, se explicitan las mediaciones entre este primer modelo científico y su contrapartida didáctica que, tanto es concreta que necesita de una serie de convenciones para capturar la entidad abstracta.

Otra idea importante que se intentó trabajar en nuestra unidad didáctica es la de la *tentatividad* de las representaciones científicas (LEDERMAN; O'MALLEY, 1990). Creemos que la existencia de una colección tan amplia de modelos teóricos sobre el átomo, que abarca veinticinco siglos, hace de esta temática una de las más apropiadas para trabajar contenidos sobre la naturaleza de la ciencia en el aula de física (McCOMAS, 1998).

X. Algunas conclusiones

En la introducción del trabajo, hemos considerado que los modelos analógicos son una clase particular de modelos didácticos, muy difundida en la enseñanza de la física. Sin embargo, puede entenderse que la analogía es un mecanismo general de producción de significados que está en la base de cualquier modelo didáctico y forma parte integral del proceso de transposición didáctica.

El trabajo sobre el concepto estructurante de *modelo* resulta poco significativo si no se aclara sobre el contenido específico de un modelo físico en particular. En este sentido, la serie histórica de los modelos atómicos proporciona un contexto muy fructífero para examinar en el aula de ciencias las herramientas conceptuales de las que se vale la física para su representación de la realidad natural.

Sin embargo, desde esta realidad empírica hasta el contenido a aprender en el aula, se juega una cantidad importante de saltos entre niveles de representación escalonados que entrañan transformaciones conceptuales complejas entre uno y otro. El trabajo atento del profesor sobre las posibles fracturas entre estos niveles puede conllevar un aumento en la significatividad del aprendizaje de los alumnos.

Por último, es importante destacar la utilidad del trabajo sobre la *convencionalidad* de las representaciones. A través de él, los alumnos se llevan una visión complejizada del sistema físico, que sólo resulta *representable* en el entendimiento de que se establecen ciertas reglas que ponen en correspondencia analógica la visualización concreta con el modelo abstracto.

XI. Referencias

ACHINSTEIN, P. **Concepts of science: a philosophical analysis**. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1968.

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias**. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona, 1999.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; GALAGOVSKY, L. Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. Parte 1: Consideraciones teóricas. In: REUNIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN EN FÍSICA, X, 1997, Mar del Plata, Argentina. **Actas**.

ADÚRIZ-BRAVO, A., MORALES, L.; GALAGOVSKY, L. Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. Parte 2: Un ejemplo sobre modelos atómicos. In: REUNIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN EN FÍSICA, X, 1997, Mar del Plata, Argentina. **Actas**.

ARLEGUI DE PABLOS, J. La modelización y la simulación de fenómenos físico-naturales. Aproximación didáctica, en AA.VV. Aspectos didácticos de Física y Química, 6. Zaragoza: ICE, 1995.

BARRÓN RUIZ, A. Aprendizaje por descubrimiento: principios y aplicaciones inadecuadas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 1, p. 3-11, 1993.

BUNGE, M. **La ciencia, su método y su filosofía**. Buenos Aires: Siglo XX, 1993.

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado**. Buenos Aires: Aique. (edición original de 1990), 1997.

CLEMENT, J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 10, p. 1241-1257, 1993.

DUIT, R. On benefits and pitfalls of analogies in teaching and learning physics, en Pintó, R.; Suriñach, S. (eds.). **International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000. Selected contributions**, p. 11-18. París: Elsevier, 2001.

DUSCHL, R. **Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo**. Madrid: Narcea. (edición original de 1990), 1997.

ERDURAN, S. Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. **Science & Education**, (en prensa).

ESTANY, A. **Introducción a la filosofía de la ciencia**. Barcelona: Crítica, 1993.

FRIGERIO, G. **Curriculum presente, ciencia ausente. Tomo I: Normas, teorías y críticas**. (comp.) Buenos Aires: Miño y Dávila, 1991.

GALAGOVSKY, L. **Hacia un nuevo rol docente. Una propuesta diferente para el trabajo en el aula**. Buenos Aires: Troquel, 1993.

GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 2, p. 231-242, 2001.

GIERE, R. **La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo**. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (edición original de 1988), 1992.

GIERE, R. Del realismo constructivo al realismo perspectivo. **Enseñanza de las Ciencias**, número extra, p. 9-13, 1999.

GLYNN, S. Conceptual bridges. Using analogies to explain scientific concepts. **The Science Teacher**, v. 62, n. 9, p. 25-27, 1995.

GRECA, I.; MOREIRA, M. A. Mental models, conceptual models, and modelling. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 1, p. 1-11, 2000.

IZQUIERDO, M. **Memoria de acceso a la plaza de catedrática**. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona, 1999.

KLIMOVSKY, G. **Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología**. Buenos Aires: A-Z Editora, 1995.

LEDERMAN, N.; O'MALLEY, M. Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use and sources of change. **Science Education**, v. 74, n. 2, p. 225-239, 1990.

MARTINS, I.; PORTO VILLANI, C. Onda ou partícula: Argumentação e retórica na aprendizagem da natureza da luz. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VII, 2000. Brasil. **Atas**.

MATTHEWS, M. **Science teaching. The role of history and philosophy of science.** Nueva York: Routledge, 1994.

MCCOMAS, W. **The nature of science in science education. Rationales and strategies.** Dordrecht: Kluwer, 1998.

MONEREO FONT, C. Enseñar la conciencia. ¿Hacia una didáctica metacognitiva? **Aula de Innovación Educativa**, v. 34, p. 74-80, 1995.

MOREIRA, M. A.; BATISTA, M. D. C. Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: Tres casos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 3, p. 83-106, 1998.

NERSESSIAN, N. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science, en Giere, R. (ed.). **Cognitive models of science.** Minneapolis: University of Minnesota Press, 1992.

SANMARTÍ, N. Aprender una nueva manera de pensar y de aplicar la evaluación: un reto en la formación inicial del profesorado. SIMPOSIO SOBRE LA FORMACIÓN INICIAL DE LOS PROFESIONALES DE LA EDUCACIÓN, 2000, Girona, España. **Actas**, p. 321-345.

SCERRI, E.; GUTERMAN, L. Waxing philosophical about chemistry. **Chemistry**, p. 17-20, 2000.

THAGARD, P. Analogy, explanation and education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 6, p. 537-544, 1992.

JÁ LHE PERGUNTARAM...

4) ...quais são os efeitos biológicos da radiação por raios X?

5) ...se um efeito mutagênico (mutação no DNA), causado pela radiação de raios X, pode atingir somente o paciente que se expôs na radiografia?

6) ...se é verdade que a chance dos raios X terem efeitos colaterais são desprezíveis, haja visto que o corpo humano é transparente a eles?