

CONCEPCIONES DE EXPERTOS ACERCA DE MODELOS CIENTÍFICOS* (Experts' conceptions on scientific models)

Stella Maris Islas

Departamento de Formación Docente - Facultad de Ciencias Exactas- Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires - Campus Universitario - Tandil (7000) - ARGENTINA - sislas@exa.unicen.edu.ar

Marta Azucena Pesa

Departamento de Física - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán - Av. Independencia 1800 - Tucumán (4000) - ARGENTINA - mpesa@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Reportamos los resultados de una investigación cualitativa centrada en las concepciones sobre los modelos científicos de investigadores en Física de una Universidad Argentina, quienes simultáneamente se desempeñan como profesores de Física de futuros docentes. Los datos fueron recogidos en entrevistas semi-estructuradas y se procesaron mediante un sistema de categorías de análisis. Los resultados obtenidos nos permiten ubicar a las afirmaciones de estos investigadores entre las posturas epistemológicas actualmente aceptadas. Consideran a la actividad de modelización como central en la investigación científica, como una necesaria simplificación en la resolución de problemas del mundo real. Enfatizan la importancia de los modelos como guía de la investigación, así como la existencia de múltiples modelos para explicar y predecir una cierta porción de la realidad. Estos expertos señalan que han aprendido sobre modelos en su actividad de investigación, y no a través de clases específicas en esta temática. Entendemos que este hecho debería tenerse en cuenta cuando se planifican estrategias de enseñanza de la modelización.

Palabras-clave: modelos científicos; físicos; enseñanza de la Física.

Abstract

In this paper we report on a qualitative piece of research done with currently working physicists, who teach physics to teacher-training students in an Argentinian university. They were asked how they designed and used models in their daily work. We used an unstructured interviewing strategy to collect the data, which had been processed through a system of categories. The results obtained place these researchers statements on the scope of accepted epistemological frames. 'Simplification' was highlighted as the core of model design, as a way of suiting experimental testing within the material and theoretical constraints. These physicists emphasized the importance of the guiding function of models in research tasks, as well as the existence of multiple models. These experts have learned model and modeling by doing research, not through lectures. We think that this fact must be kept in mind when planning strategies to teach modeling.

Keywords: scientific models; physicists; physics education.

Introducción

La investigación educativa ha estado interesada en el aprendizaje de modelos desde hace años (Hestenes, 1987; Grosslight et al., 1991; etc.), y en la última década la publicación de estudios referidos a esta temática ha crecido notablemente. En la introducción a un conjunto de publicaciones específicas, J. Gobert & B. Buckley (2000) afirman que los modelos y el modelado son partes integrales de la cultura científica, y señalan la necesidad de desarrollar teorías coherentes al respecto.

* Trabajo presentado en el I Encuentro Ibero-americano sobre Investigación en Educación en Ciencias, Burgos, España, 16-21 de septiembre de 2002.

Tal desarrollo teórico demanda la sistematización de datos provenientes de diferentes puntos de vista. Considerando que uno de ellos es el de los científicos, realizamos una investigación exploratoria a fin de indagar sobre la manera en que ellos diseñan y emplean modelos en su trabajo. Acordamos con N. Nersessian en cuanto a que el conocimiento de los científicos acerca de la modelización es habitualmente implícito: *"Una razón plausible por la cual los físicos no proclaman lo que ellos practican es que para un experto, el conocimiento de sus prácticas de pensamiento es mayormente tácito"* (Nersessian, 1995). Los investigadores especializados siguen reglas comunes de procedimiento en lo que respecta al alcance y a los métodos de investigación, son las *"formas de pensamiento que se han mostrado productivas... tienen fuerza generadora"* (Phenix 1973) Por todo ello, el diálogo con ellos es una forma de conocer sus concepciones sobre el tema que nos ocupa.

Acrescentar el saber sobre estas concepciones se hace más interesante si se tiene en cuenta que muchos científicos son "profesores de futuros profesores". Tal es el caso de quienes hemos entrevistado. Las concepciones epistemológicas de ellos influyen en las de sus alumnos, y en tal sentido Trumbull & Kerr (1993) señalan: *"Examinar las conceptualizaciones de los profesores universitarios puede guiarnos hacia la identificación de las conceptualizaciones que los profesores de ciencias pueden internalizar"*. Es muy factible que esta internalización se produzca de un modo incompleto y no explícito: téngase en cuenta que durante las carreras de formación docente no es frecuente que se discutan, por ejemplo, las estrategias de la investigación científica, o se incorporen a los docentes a los grupos de investigación y, menos frecuente aún que se incluyan asignaturas de corte epistemológico (Islas, 2000). Por lo tanto, nuestra comprensión de las concepciones epistemológicas de los docentes puede mejorar si conocemos algo más sobre aquellas posturas que intervienen en su construcción. De este modo, podríamos aumentar nuestra capacidad para programar líneas de acción que permitan superar algunas de las dificultades detectadas por la investigación en la formación docente (Van Driel, Verloop, 1999; De Jong, 2001).

Asimismo, entendemos que esta presentación puede proveer datos que sean útiles para agregarse al cuerpo de informaciones sobre el aprendizaje de modelos, cuya sistematización está siendo desarrollada.

Encuadre epistemológico

La noción de modelo científico desde la cual enfocamos este trabajo está basada en los conceptos epistemológicos de Bachelard (1991), Bunge (1985), Nersessian (1992, 1995), entre otros. Expondremos brevemente el encuadre teórico de este trabajo.

Se considera al modelo científico como un constructo teórico, una representación idealizada de un sistema real, elaborada con el propósito de resolver problemas de investigación. Los modelos científicos contemplan ciertos aspectos de la realidad, y son usados para revisar ideas o teorías acerca del mundo (Meyling, 1997). En palabras de R. Giere (1990, pág.80) *"Los modelos teóricos son las formas mediante las cuales los científicos representan el mundo -tanto para ellos como para otros"*. En esta expresión aparece la dimensión comunicativa de los modelos en la ciencia, que es enfatizada también en otros trabajos (Smit, Finegold, 1995; Bunge, 1985).

Puede hacerse un sumario de la función de los modelos diciendo que al usar un modelo, los científicos cuentan con una poderosa herramienta para guiar la investigación, hacer predicciones, reunir informaciones, justificar resultados, y facilitar la comunicación de los mismos (Justi & Gilbert, 1999). Todos estos roles de los modelos se relacionan con una meta de mayor alcance, que es la de promover una mejor comprensión de la naturaleza (Smit, Finegold, 1995; Cartier et al., 2001).

Dado que los modelos son constructos mediadores entre la realidad y la teoría, pueden analizarse ciertas relaciones dentro de la tríada que ellos conforman. Se tiene así:

- (a) la relación entre modelo y teoría. Cada modelo, en tanto constructo teórico, debe ajustarse en el cuerpo sistémico de una teoría aceptada; si esto no es así, la discordancia estaría indicando que el modelo y/o la teoría deben ser revisados.
- (b) por otro lado, cada modelo guarda una relación de analogía con las entidades físicas a las cuales se refiere. La contrastación experimental propone la vía por la cual se salva la brecha entre el modelo y la realidad: en un proceso dialéctico que algunos investigadores llaman "cíclico" (ej. Hestenes, 1992) y otros "iterativo" (ej. Van Driel, Ver Loop, 1999) la relación del modelo con la realidad es revisada con el propósito de evaluar el ajuste del modelo a los hechos que él intenta representar.

Retomaremos con mayor profundidad estas cuestiones en el desarrollo del trabajo.

La construcción de modelos científicos

En el apartado anterior se han mencionado lineamientos del modelado científico que son seguidos por quienes elaboran modelos. Los científicos diseñan modelos y/o adaptan los elaborados por otros, para resolver sus problemas de investigación.

En el diseño de modelos, una tarea central es la idealización, o "simplificación": de acuerdo con los propósitos del investigador y, teniendo en cuenta las herramientas conceptuales y experimentales disponibles, se reduce el número de variables a considerar en el estudio. Este modo de conocer implica discriminar las variables relevantes y construir una representación simplificada del complejo mundo real (Smit & Finegold, 1995). Pero, para poder explicar la experiencia es preciso "*levantarse por encima de ella*" (Bunge 1985), sistematizando idealizaciones en teorías que no representan fielmente y de modo completo a sus referentes empíricos, sino que contemplan a los mismos de un modo parcial y aproximado.

Todos estos aspectos muestran la potencialidad de las teorías y modelos para trascender los hechos y ofrecer explicaciones cuya riqueza deriva, precisamente, del hecho de haber tomado los aspectos que constituyen el quid de los variados fenómenos a los cuales aluden, y de la delimitación de su campo de aplicación. Si se considera, por ejemplo, la formulación newtoniana de la ley de gravitación puede verse que fue preciso ir más allá de la mera descripción de la caída de los cuerpos cerca de la superficie terrestre y de la mera observación del movimiento lunar, para formular un modelo capaz de explicar ambos hechos (Islas, 2000).

La validez del diseño realizado se examina experimentalmente, evaluando su aplicabilidad a entidades físicas y, teóricamente, controlando su incorporación sistémica en una teoría aceptada.

De esta forma, el científico tiene una representación de su objeto de estudio que es un "análogo" del sistema representado. Dado que el modelado no intenta copiar tal sistema, es posible construir diferentes modelos para el mismo. Esta noción de "múltiples modelos" (Grosslight et al., 1991) es frecuentemente usada en la investigación educativa en ciencias (Snyder, 2000; Harrison, Treagust, 2000 *a-b*; entre otros) y podría considerarse como opuesta al concepto de modelo como "copia" de la realidad, que se suele encontrar en estudiantes y en docentes (Ej.: Meyling, 1997; Grosslight et al., 1991; Islas, Pesa, 2001 *b*). Si se pone atención en éste y en algunos otros errores de concepción registrados por la investigación, algunas dificultades de aprendizaje podrían ser superadas.

Los modelos científicos en las clases de Física

Acordamos con J. Gilbert et al. (1998) respecto de las relaciones entre modelo mental, modelo expresado, modelo consensuado y modelo de enseñanza, que brevemente pueden caracterizarse como sigue.

El modelo mental que un científico construye para un sistema real puede ser expresado verbalmente, matemáticamente, o a través de un diseño experimental. Este "modelo expresado" puede lograr la aprobación de sus colegas, y adquirir entonces el status de "modelo consensuado". Al adaptar este modelo a las condiciones cognitivas de los estudiantes, se tiene un "modelo de enseñanza".

Comúnmente son los autores de los libros de texto quienes realizan esta adaptación, y los docentes toman estos modelos para dar sus clases, sin realizar modificaciones sobre ellos. Este hecho puede relacionarse con los datos de investigación que revelan que los docentes no reflexionan frecuentemente sobre la construcción del conocimiento científico (Mellado, 1997; Van Driel, Verloop, 1999). La presencia de los modelos de enseñanza en las clases de Física es casi siempre tácita para los estudiantes y para aquellos docentes que han tenido muy pocas oportunidades de reflexionar sobre aspectos epistemológicos tales como: la construcción de modelos científicos, sus límites de validez, sus vínculos con las entidades físicas representadas y con las expresiones matemáticas, etc. (Islas, Pesa, 2001b).

En nuestra opinión, estudiando las concepciones epistemológicas de quienes son (o han sido) profesores de Física de los docentes, la investigación educativa podría encontrar maneras de mejorar el modo en que se aborda el modelado en las escuelas.

Metodología

El estudio se realizó en un grupo de investigadores en Física, en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro (Argentina). A través de un muestreo sustantivo (no aleatorio) se seleccionó una muestra de ocho científicos, siguiendo las ideas consignadas en Firestone (1993) en cuanto a la representatividad de la muestra en estos casos.

Usando un protocolo de entrevista semi-estructurada, se entrevistó individualmente a cada uno de estos expertos. El protocolo fue diseñado de modo que favoreciera la disposición hacia un diálogo fluido, que permitiera a cada entrevistado agregar comentarios y/o asuntos que fueran de su interés. Todas las entrevistas fueron registradas en audio, y transcritas literalmente.

El procesamiento de la información se valió de un sistema de categorías (Dey, 1993), que se fue diagramando y ajustando a medida que se reiteraban las lecturas de las transcripciones. La relación entre cada unidad de información y el sistema de categorías en el cual se la incluye quedó, así, sometida a sucesivos controles, reduciendo el riesgo de realizar una errónea interpretación de los datos al extraerlos de su contexto (Dey, 1993, pág. 130).

Resultados

Los presentamos en seis categorías, organizadas con relación al contenido de las afirmaciones registradas.

En algunos casos se transcriben fragmentos de los diálogos; se han preferido fragmentos cuyo significado pueda comprenderse aunque no se conozca el diálogo completo. Por otra parte, en algunos casos se han modificado ligeramente las expresiones vertidas, para evitar a los lectores no-argentinos la dificultad de interpretar locuciones propias de la región.

1) El modelo es una representación análoga de una porción de la realidad. En su diseño, la simplificación es una tarea central.

Aunque no se preguntó en forma directa sobre la relación entre modelo y realidad, las nociones de analogía y simplificación aparecen espontáneamente en el discurso de estos científicos. En reiteradas oportunidades, ellos presentan a la modelización como un proceso que toma los rasgos esenciales de la realidad bajo estudio.

Uno de ellos dice:

"La palabra clave para modelos es 'como si'. Y ahí aparece la imagen, el átomo es como si fuera una pelotita y hay otras pelotitas dando vueltas. No es así, es como si fuera; en ese sentido es una imagen, una imagen es algo que te aclara un montón de cosas. Pero después, cuidado! pues hay muchas cosas que están ahí y que pueden ser distintas a lo que quieres representar, es una representación idealizada".

Y otro de los científicos afirma:

"Yo creo que ésa debería ser una de las cosas más importantes de la carrera científica, hacer un modelo simplificado de la realidad; porque si no, no hay nadie que pueda hacer nada".

Si bien no hemos recogido datos acerca de la bibliografía que estos científicos han leído sobre Epistemología, los dos fragmentos recién transcritos nos permiten suponer que ellos estarían firmemente de acuerdo con S. Toulmin en que: *"Un modelo sólo puede ser usado para explicar el comportamiento de cosas que, en realidad, son distintas a él".* (Toulmin, 1964, p. 195)

2) Los límites de validez de un modelo se definen de acuerdo con los presupuestos teóricos, y luego se perfecciona esa definición mediante la contrastación experimental.

Al hablar de este tópico, la relación estructural entre modelo y teoría queda presentada con dos significados:

a) La teoría orienta la interpretación de los resultados experimentales obtenidos con el uso de un modelo. Por ejemplo:

b)

"Cuando yo empecé el trabajo, empecé como un físico puramente experimental. Al comienzo, no me gustaba la teoría. Después me empecé a dar cuenta de que medía y no sabía qué estaba midiendo, por qué lo hacía así y no de otra manera, faltaba algo (...) Y así salían las cosas, un montón de mediciones que no servían para nada. Entonces me metí en la teoría, para qué? Para poder compenetrarme en el mundo de la teoría y desde ahí mirar las cosas".

c) modelar un fenómeno requiere que el modelo se ajuste dentro de una teoría. El modelo es conceptualizado como una entidad teórica, no independiente de los demás constructos sistematizados en una teoría.

Más aún, dos científicos proponen una relación dialéctica entre el modelo y la teoría, mencionando la posibilidad de que una teoría aceptada sea revisada después de la aplicación de un modelo y del análisis de su aplicabilidad a la interpretación de nuevos hechos. Mientras está

explicando la forma en que él usa el interjuego teoría-modelo para afinar la definición de los límites de validez de un modelo, uno de los físicos dice:

"... yo creo que esto fue uno de los más importantes asuntos que se discutieron en los finales del siglo pasado [el XIX], las dificultades para encontrar un nuevo parámetro para encarar el estudio de nuevos fenómenos, partiendo de fenómenos conocidos. Hasta que ellos se dieron cuenta de que la única manera de salir de ese problema era encontrar una nueva teoría, un nuevo sistema de referencia desde el cual mirar el universo".

Por otro lado, los entrevistados coinciden en afirmar que cuando un investigador está satisfecho con el encuadre teórico de su modelo, generalmente vuelve a tomar medidas. El análisis de los márgenes de error en relación con el uso del modelo le permite mejorar la definición de los límites de validez. De esta forma, completa la cuantificación de esos límites, que antes había estimado cualitativamente. Asimismo, esta estrategia es la que le permite *"salvar la brecha"* (Cudmani et al., 1991) entre el modelo y la realidad.

3) La principal función de los modelos es orientar, paso a paso, la solución de los problemas de investigación (en este proceso, el control experimental señala las correcciones a realizar). Los modelos son útiles, también, para explicar y describir lo observado.

Nuevamente, el modelado se presenta en una tríada interactiva con la teoría (dentro de la cual él se encuadra) y la experimentación (guiada por el modelo, y que es usada para evaluarlo).

La función comunicativa de los modelos aparece tan destacada como su potencialidad para explicar y describir los resultados de su empleo. Para estos expertos, los modelos explicativos y los modelos descriptivos tienen la misma relevancia.

4) Estos científicos afirman que una misma porción de la realidad puede ser representada con más de un modelo. La elección depende del tipo de trabajo que se esté haciendo. Este concepto de "múltiples modelos" (Grosslight et al, 1991; Snyder, 2000; entre otros) se discutió en las entrevistas a partir de una pregunta explícita del protocolo.

Uno de los comentarios que muestra acuerdo con esto fue:

"... por ejemplo, para el choque de átomos, para ciertos experimentos, se cumple que es como que fueran bolas rígidas. Y el mismo átomo, en otras circunstancias, ya no se comporta como una bola rígida, sino que entran en juego las cargas... a veces es esférico... depende... o sea, depende, por ejemplo, de las velocidades con que chocan."

En otro caso, el cambio de un modelo a otro se ejemplifica en el estudio de la variación de la resistividad con la temperatura:

"... los imaginamos [a los átomos] como si fueran resortes. Resuelvo un problema de resortes; por supuesto, uso la Mecánica Cuántica, y demás. Pero cuando yo lo resuelvo, me encuentro que puedo explicar que la resistividad cae, como lo predice este modelo, hasta un cierto punto. Cuando voy a muy bajas temperatura, o sea cerca del cero absoluto, la cosa no funciona, ¿qué me olvidé? Me olvidé de que estos átomos interactúan entre sí [...] entonces, tengo que agregar otros términos".

El empleo de diferentes modelos se vincula, también, con las diferentes escalas bajo las cuales se puede estudiar un cierto fenómeno. Tal es el caso de una investigadora del campo

magnético terrestre, quien distingue los modelos que utiliza según que se trate de un estudio regional de la formación de las rocas, o de un estudio local de una muestra de roca.

5) La publicación (y consecuente discusión) de un modelo en la comunidad científica otorga a su autor contribuciones altamente valoradas

Este resultado se relaciona con la función comunicativa de los modelos, mencionada en el punto 3 de este apartado.

Algunas de las frases registradas en torno a este tema son:

"la ciencia es comunicación. La tarea del científico sigue siendo tratar de ver cómo es la naturaleza, y contárselo a otros"

"... lo que siempre hace un físico es que sus resultados deben ser compatibles con los que existieron antes. Por eso es tan importante la comunicación de resultados [...] los resultados tienen que ser reproducibles en las mismas condiciones, porque uno comenta y tus pares dicen: sí, has seguido tal camino; y además otro tiene el derecho de medir, y decir: yo no encontré lo mismo".

"... la caricatura de Einstein trabajando solo, fue algo que nos ha hecho mucho mal. [...] era alguien que se salía de lo normal, la mayoría no somos Einstein. A ti se te ocurre una idea, y el que está a tu lado te dice: pero no, eso no puede ser... O sea, el intercambio con otra gente, el trabajar en un grupo, es lo... lo fundamental. [...] el tipo que trabaja solo puede hacer cosas magníficas, pero puede llegar a hacer cosas disparatadas porque no tuvo en cuenta... tal vez en el interín hubo otras medidas, que... porque los modelos ¿cómo se hacen? yo tengo una serie de puntos experimentales, graficados. Me imagino algo que ocurre, porque muchas veces es algo microscópico lo que ocurre. Y hago un modelo matemático de esa imaginación mía y contrasto con el experimento; pero si en el tiempo que pasó hubo nuevas mediciones, y el que estaba haciendo el modelo no se enteró... podría hacer un modelo de escasa validez".

Además, la opinión de los árbitros que juzgan los trabajos a difundir es calificada como muy útil para el posterior desarrollo de sus estudios.

6) Los entrevistados no recuerdan haber recibido ningún tipo de instrucción sobre modelado mientras fueron estudiantes. Comenzaron a pensar en modelos y a usarlos, cuando se iniciaron en la investigación.

Cuando se les preguntó acerca de cómo empezó su aprendizaje de modelos, todos coincidieron en afirmar que esto ocurrió cuando ya estaban realizando investigación. Plantean a la comprensión del modelado como una retroalimentación proveniente de su propia experiencia como investigadores. Un párrafo que puede tomarse como representativo de la opinión de estos expertos es:

"Yo creo que hasta que uno no los empieza a usar [a los modelos] no los entiende. Cuando uno escucha sobre modelos, parece que estuviera escuchando palabra escrita, nomás. Se basa en un libro, escrito por alguien... Pero cuando uno tiene que resolver un problema, entonces los empieza a usar, y empieza a repetir eso que leyó, y se da cuenta de que sí, eso de las pelotitas [partículas subatómicas] y otras cosas empiezan a funcionar como algo que uno con las manos va armando y después, cada movimiento de las manos va a significar -teóricamente lo digo- un término de la ecuación diferencial que tengo que resolver. Yo creo que uno aprende a usarlos cuando está involucrado en la investigación".

Las exposiciones de clase sobre modelización no son, en opinión de estos científicos, una buena estrategia de aprendizaje. Ellos recuerdan que han tenido dificultades con este tema cuando eran estudiantes de grado, y que las superaron cuando se abocaron a la resolución de cuestiones de investigación. (Más detalles sobre este tópico pueden encontrarse en Islas & Pesa, 2001 *a*).

Comentarios finales

El discurso de estos expertos es coherente con las ideas consensuadas en la literatura sobre modelos científicos. Pese a que la palabra "analogía" se halla solamente en algunas ocasiones, muchas otras expresiones vertidas por ellos permiten suponer que es éste el tipo de relación que conciben entre el modelo y la realidad. Estrechamente relacionada con esta idea, aparece como relevante la estrategia de reducir el número de variables a ser consideradas en el estudio de un fenómeno. Las decisiones para hacerlo están signadas por consideraciones pragmáticas (propósitos del trabajo, equipamiento experimental) y por los marcos teóricos.

El control experimental exhibe más importancia que el teórico. Pero este resultado debe interpretarse teniendo en cuenta que las preguntas del protocolo apuntaban al modelado que se emplea en el trabajo cotidiano, y no a reflexionar sobre cuestiones epistemológicas de largo alcance.

La función orientadora del modelo en la investigación se expone con mayor relevancia que la descriptiva; esta última se relaciona con la comunicación de resultados a los colegas de la comunidad científica. Los miembros de ésta realizan aportes que son altamente valorados por estos científicos, de varias maneras: como instancias de control de resultados, como validación del desarrollo de conocimiento logrado, como fuente de información confiable para su propio trabajo.

En respuesta a una de las preguntas del protocolo, estos científicos corroboran lo afirmado por Grosslight et al (1991), Snyder (2000), Harrison-Treagust (2000) respecto de los múltiples modelos. En ningún momento mencionan la noción de modelo como 'copia' de la realidad, noción que sí ha sido registrada en docentes y en estudiantes (Grosslight et al. 1991; Islas- Pesa, 2000). El concepto de múltiples modelos es consistente con la relación analógica entre modelo y realidad.

El resultado consignado en último lugar (Nº 6), si bien no se refiere al uso de modelos en la investigación, ha sido incluido aquí para estimular la reflexión en torno a un punto que parece merecer atención cuando se piensa en estrategias de enseñanza sobre modelización: En lugar de considerar la instrucción en clase como lo más eficaz para la construcción del concepto de modelo, ¿no deberíamos comprometer a los futuros docentes en tareas de investigación, acercándolos más al ámbito de creación del conocimiento de la ciencia que van a enseñar?

Esta reflexión no desvaloriza la discusión y el análisis de modelos en clase, cuya eficacia ha sido probada en muchos estudios, como el de Cartier et al. (2001). Plantear los problemas con la apertura de un científico, analizar diferentes formas de representar un fenómeno físico, discutir la determinación de variables relevantes y no relevantes, son ejemplos de prácticas importantes para el aprendizaje de la modelización.

Pensamos que estas actividades áulicas pueden ser muy bien complementadas con otras, que impliquen cierto grado de acercamiento al trabajo de un investigador. Los estudiantes de profesorado en Física podrían mejorar su comprensión de las estrategias que usan los físicos si realizaran algunas tareas junto con ellos. Tal vez, de este modo se podrían convertir en conscientes los saberes que tácitamente subyacen al conocimiento formal.

Referencias

- BACHELARD, G.: 1991, *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI Editores. México.
- BUNGE, M.: 1985, *La investigación científica*. Ed. Ariel – España
- CARTIER, J. - RUDOLPH, J. - STEWART, J.: 2001, 'The Nature and Structure of Scientific Models' (Working Paper) University of Wisconsin-Madison. Disponible en <http://wcer.wisc.edu/ncisla>
- CLEMENT, J.: 2000, 'Model based learning as a key research area for science education' *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053
- CUDMANI, L. - SALINAS, J. - PESA, M. :1991. *Modelo y realidad*. Material de trabajo. VII Reunión Nacional de Educación en Física. Mendoza. Argentina.
- DE JONG, O.: 2001, 'How to teach scientific models and modelling: a study of prospective chemistry teachers' knowledge base'. Conferencia dictada en el *Springtime Seminar. Chemical Education Research Group*. London, marzo 2001
- DEY, I.: 1993, *Qualitative Data Analysis*, Ed. Routledge
- FIRESTONE, W.: 1993, 'Alternative Arguments for Generalizing from Data as Applied to Qualitative Research', *Educational Researcher*, 22(4), 16-23
- GIERE, R.: 1990, *Explaining Science. A cognitive approach*. University of Chicago Press. Chicago.
- GILBERT, J. – BOULTER, C. - RUTHERFORD, M.: 1998, 'Models in explanations, Part 1: Horses for courses?', *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97
- GOBERT, J. - BUCKLEY, B.: 2000, 'Introduction to model-based teaching and learning in science education', *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894
- GROSSLIGHT, L. - UNGER, C. - JAY, E.: 1991, 'Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts', *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822
- HARRISON, A. - TREAGUST, D.: 2000(a), 'Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry', *Science Education*, 84(3), 352-381
- HARRISON, A. - TREAGUST, D.: 2000(b), 'A typology of school science models', *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026
- HESTENES, D.: 1987, 'Toward a modeling theory of physics instruction' *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454
- HESTENES, D.: 1992, 'Modeling games in the Newtonian World'. *American Journal of Physics*, 60(8), 732-748
- ISLAS, S.: 2000. 'El empleo de modelos en Física: un estudio sobre grupos de estudiantes, docentes y científicos'. Tesis de Magister Scientiae en Metodología de la Investigación Científica. Universidad Nacional de Entre Ríos.
- ISLAS, S. - PESA, M.: 2001 a, 'The learning of modelling: a scientists' vision' *Proceedings First International Girep Seminar*. Udine (Italy). Disponible en www.uniud.it/CIRD/GirepSeminar2001
- ISLAS, S. - PESA, M.: 2001 b 'Futuros docentes y futuros investigadores se expresan sobre el modelado en Física', *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Sociedade Brasileira de Física. 23(3), 319-329

- JUSTI, R. - GILBERT, J.: 1999, 'History and Philosophy of Science through Models: The case of Chemical Kinetics', *Science and Education*, 8, 287-307
- MELLADO, V.: 1997, 'Preservice Teachers' Classroom Practice and Their Conceptions of the Nature of Science', *Science & Education*, 6, 331-354
- MEYLING, H.: 1997, 'How to Change Students' Conceptions of Epistemology of Science', *Science & Education*, 6, 397-416
- NERSESSIAN, N.: 1995, 'Should Physicists Preach What They Practice?', *Science & Education*, 4, 203-226
- PHENIX, P.: 1973, *La arquitectura del conocimiento*. De "La Educación y la estructura del conocimiento". Recopilación de S. Elam. Ed. El Ateneo, Buenos Aires.
- SMIT, J. - FINEGOLD, M.: 1995. 'Models in physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African universities', *International Journal of Science Education*, 17(5), 621-634
- SNYDER, J.: 2000, 'An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics', *International Journal of Science Education*, 22(9), 979-992
- TOULMIN, S.: 1964, *La Filosofía de la ciencia*. Ed. Compañía General Fabril Editora, Argentina.
- TRUMBULL, D. - KERR, P.: 1993, 'University Researchers' Inchoate Critiques of Science Teaching: Implications for the Content of Preservice Science Teacher Education', *Science Education*, 77(3), 301-317
- VAN DRIEL, I. - VERLOOP, N.: 1999, 'Teachers' knowledge of models and modelling in science'. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153