
¿QUÉ ROL ASIGNAN LOS PROFESORES DE FÍSICA DE NIVEL MEDIO A LOS MODELOS CIENTÍFICOS Y A LAS ACTIVIDADES DE MODELADO?

ISLAS, STELLA MARIS¹ y PESA, MARTA, A.²

¹ Departamento de Formación Docente. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Campus Universitario. 7000 Tandil. Argentina
sislas@exa.unicen.edu.ar

² Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Av. Independencia 1800. 4000 Tucumán. Argentina
mpesa@herrera.unt.edu.ar

Resumen. Se presentan los resultados de una investigación exploratoria realizada con metodología cualitativa en una muestra de profesores de Física. Sobre la base de lo registrado en entrevistas semi-estructuradas, se analizan las concepciones de modelo científico, y las experiencias personales de los entrevistados respecto de la modelización. Las concepciones de modelo de estos docentes se advierten diferentes a las nociones consensuadas en la comunidad científica y en la bibliografía especializada. Finalmente, se sugieren algunas acciones a tener en cuenta para superar este tipo de dificultades en la formación docente.

Palabras clave. Investigación exploratoria, modelo científico, formación docente.

Summary. This report informs about an exploratory research done with qualitative methodology on a Physics teacher's sample. Scientific model's conception and personal experiences on modelling have been analyzed from semi-structured interview records. These teachers have shown conceptions about models that differ with those accepted within scientific community and specific bibliography. Finally, some possible actions to overcome this sort of difficulties by teacher training are outlined.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca en una investigación realizada en una población conformada por tres segmentos: investigadores en física, profesores de física de nivel secundario, y estudiantes universitarios de carreras de física, con el propósito de explorar: los significados y roles que ellos atribuyen a los modelos científicos, y sus experiencias personales en el empleo de los mismos.

Se presentan aquí los resultados obtenidos al entrevistar a docentes en ejercicio (que dictan clases de física en escuelas de la ciudad de Tandil, Argentina) y a docentes en formación (estudiantes avanzados del Profesorado en Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la misma ciudad).

Los resultados muestran la existencia de dificultades para:

- Reconocer la potencialidad de los modelos para describir, predecir y explicar el mundo físico.
- Advertir la relevancia del modelado en toda tarea de construcción del conocimiento en física
- Reconocer el empleo de modelos en la reconstrucción del conocimiento científico en el aula.
- Establecer criterios cualitativos y cuantitativos que vinculen los fenómenos físicos con el modelo (y con su expresión en lenguaje matemático).

En esta presentación se incluyen consideraciones que resultan de la comparación de los resultados que arroja el estudio de las entrevistas con docentes con los que se obtienen al entrevistar a científicos.

PERSPECTIVA TEÓRICA DESDE LA CUAL SE ABORDA EL TRABAJO

La investigación científica se vale de construcciones conceptuales que orientan toda su actividad: tanto la formulación de preguntas como las estrategias que se ponen en juego para resolverlas son guiadas por marcos teóricos de referencia que orientan su quehacer. Desde esta perspectiva, la modelización de los entes y fenómenos físicos es considerada como una actividad central en el desarrollo de la Ciencia (Bunge, 1985; Bachelard, 1991; Giere, 1990, 1999; Laudan, 1986; Toulmin, 1964, 1977; Nersessian, 1995; Snyder, 2000) ya que siempre la resolución de un problema de investigación demanda que el fenómeno que se estudia sea representado mediante un constructo: el *modelo científico*.

En los párrafos que siguen presentamos una caracterización de la noción de modelo científico que adoptamos para este trabajo.

Entendemos el concepto de modelo como una representación provisoria, perfectible e idealizada de una entidad física o de un fenómeno físico (Bunge, 1985, pág. 420; Halloun, 1996), que se elabora en el ámbito científico ante la necesidad de resolver un problema de investigación. A la luz de una cierta teoría, y teniendo en cuenta las herramientas experimentales y conceptuales disponibles, el investigador decide cuáles han de ser las variables a incorporar en el modelo y cuáles merecen el calificativo de «despreciables» (Bachelard, 1991, pág. 108). De este modo, va construyendo una representación que guarda una relación de analogía con el sistema real en estudio (Nersessian, 1995; Samaja, 1993).

Aunque en los textos frecuentemente se llama modelos a las teorías, consideramos más correcto decir que las teorías suponen modelos y que estos modelos, y no las teorías mismas, es lo que se supone que representan los correlatos de las teorías. En ese sentido una teoría se refiere a un sistema o a una clase de sistemas, y los modelos representan esos sistemas (Bunge, 1985). Giere (1990, pág. 82) describe a las teorías como familias de modelos e hipótesis que se vinculan con los fenómenos; la relación entre las declaraciones científicas y el mundo al cual aluden no es directa, sino que está *mediada* por el correspondiente modelo. El *ajuste* entre el modelo y la realidad se evalúa tomando en cuenta solamente «...*aquellos aspectos del mundo que los modelos intentan capturar*» (Giere, 1999), ya que la construcción de modelos conlleva, en sí misma, el proceso de «simplificación» de cada situación en estudio (Bachelard, 1991, pág. 108), la idealización y la aproximación que son típicas de las ciencias empíricas (Giere, 1990, pág. 78). Los constructos abstractos (modelos) así elaborados toman, como hemos dicho en el párrafo

anterior, sólo algunos de los componentes del hecho real que representan.

Un cierto sistema real puede ser, entonces, representado por más de un modelo (Grosslight et al., 1991), y la preferencia por uno de ellos estará determinada por los propósitos del estudio y por las condiciones de su realización. Asimismo, cada modelo puede ser representativo de diferentes sistemas reales, cuando ellos comparten las características relevantes consideradas en el modelo (Islas-Pesa, 2000a; Snyder, 2000; Harrison-Treagust, 2000). El tipo de correspondencia entre un modelo y una porción de la realidad no es, entonces, «uno a uno»; piénsese, por ejemplo, en las diversas maneras en las que puede ser representado un átomo, todas ellas válidas para diferentes propósitos, desde la versión más sencilla del inicial modelo de Bohr, hasta las más sofisticadas que se utilizan en los estudios de física cuántica.

En razón de lo anterior, los autores citados en el párrafo anterior hablan de los «múltiples modelos» que son válidos para representar una entidad física o un proceso físico. Esta multiplicidad de modelos válidos para un mismo sector de la realidad se relaciona con el carácter de sistema conceptual del modelo, como representación idealizada de una clase de objetos, que ofrece un mapa de un sector de la realidad, actuando como mediador entre ella y los enunciados científicos (Giere, 1990).

La aplicabilidad del modelo a las entidades y fenómenos físicos que él representa es evaluada mediante el control experimental en un proceso dialéctico que algunos investigadores (Hestenes, 1992; Fuchs, 1999) denominan «cíclico» y otros «iterativo» (Van Driel -Ver Loop, 1999). Tal proceso comprende permanentes correcciones en el modelo (en su diseño, en sus rangos de validez, en su profundidad, en su poder explicativo) y en el diseño experimental que con él se relaciona. Por este camino, mediante el control de los errores experimentales, es posible «salvar la brecha» entre el modelo y la realidad (Cudmani et al., 1991).

Cada modelo así construido es sometido a la consideración de la comunidad científica y, cuando ésta lo avala, estamos ante lo que Gilbert y otros (1998) denominan *modelo consensuado*. La validación de un modelo no solamente atañe a su ajuste como representación de la realidad, sino también a la coherencia sistémica entre la estructura del modelo y la de las teorías aceptadas (Bunge, 1985, pág. 419) por la comunidad científica.

Sobre la base de los modelos consensuados, en la comunidad educativa se elaboran los «modelos pedagógicos» de los cuales se valen los docentes en sus clases, para *ayudar a los estudiantes en la comprensión de los modelos científicos consensuados* (Gilbert et al., 1998; Galagovsky et al., 2001). Estos modelos tienen como objetivo favorecer la construcción de modelos mentales (Greca - Moreira, 1998) adecuados para la comprensión de los modelos científicos y, en consecuencia, adecuado para la comprensión del mundo físico a los cuales éstos hacen referencia.

PROBLEMÁTICA DE LA MODELIZACIÓN EN LAS CLASES DE CIENCIAS

La importancia de los modelos en la ciencia no es suficientemente proyectada a las aulas, y ello es causa de algunas confusiones detectadas en estudiantes (Grosslight et al., 1991; Hestenes, 1992; entre otros), tales como: la falta de discriminación entre el modelo y la realidad que representa, el desconocimiento de los límites de validez de los modelos y de las conclusiones obtenidas a partir de su empleo.

Estas dificultades (sobre las cuales volveremos más adelante en este informe) pueden superarse gradualmente implementando estrategias de aula apropiadas (por ejemplo: Halloun, 1996), lo cual demanda cierta preparación específica de los docentes. No abundan los resultados de investigación sobre la competencia de los docentes para desenvolverse en clase con el manejo de modelos científicos (tal como consta en Van Driel-Verloop, 1999, y en nuestra propia investigación). No obstante, hemos de tener presente que la focalización del interés de la investigación en el pensamiento epistemológico de los docentes está paulatinamente intensificándose desde hace algunos años (una interesante referencia a estos estudios puede encontrarse en Mellado, 1996)

La presentación que aquí realizamos intenta ofrecer elementos para reflexionar sobre esta problemática desde el ángulo de la formación de los docentes, partiendo del planteo de algunas preguntas:

- ¿La formación docente incluye actividades que favorezcan la conceptualización de modelo científico?
- ¿Están los docentes preparados para abordar algunos de los contenidos procedimentales planteados en la Reforma Educativa Argentina, tales como: *Análisis e interpretación de situaciones a partir de modelos y principios*?
- ¿Hasta qué punto los profesores de física reconocen la actividad de modelización en todos los temas que tratan?
- ¿Están los profesores de Física preparados para adaptar los modelos pedagógicos difundidos en la bibliografía a las condiciones peculiares de su trabajo en el aula?

Esta última pregunta se relaciona con la preponderancia que tiene el libro de texto como recurso didáctico (Litwin, 1997; Blanco, 1994), y con el modo acríptico en que los contenidos de los textos suelen transferirse a las aulas.

ALGUNOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS EN EL AULA

La comunidad de investigadores en educación científica está evidenciando durante los últimos años un creciente interés por el tratamiento de los modelos en las clases de ciencias; una muestra de ello es la edición (en septiembre 2000) de un número del *International Journal of Science*

Education especialmente dedicado a los modelos como base para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, que presenta un panorama de programas de investigación sobre esta cuestión. En el editorial de dicha publicación, Gobert y Buckley (2000) toman una serie de referencias para fundamentar que en la actualidad *los modelos y la modelización se consideran parte integral de la cultura científica*. Los autores consideran que la enseñanza de las ciencias debería contemplar la coherencia entre los modelos científicos que se presentan en clase y los modelos mentales que construyen los estudiantes como resultado de su aprendizaje. En la misma publicación, Clement (2000) destaca el interés de estas cuestiones para los docentes, partiendo de la valoración de la *comprensión conceptual* (Duit, 1991) de la ciencia, que *va más allá de memorizar hechos, ecuaciones o procedimientos*; tal comprensión permite una forma de conocimiento que lo hace aplicable a problemas diversos. Esta ventaja del aprendizaje de la modelización ha sido señalada por Gilbert y otros (1998) cuando consignan que la utilización de modelos permite contar con un *marco organizacional* para el aprendizaje de la ciencia.

Estas apreciaciones de los investigadores, que resaltan la capacidad de la modelización para facilitar la comprensión de conceptos físicos, parecen tener su contrapartida en las clases de ciencias, ya que los estudios sobre la resignificación de modelos científicos en las aulas dan resultados tales como:

– Los libros de texto suelen contener expresiones muy ambiguas respecto de los modelos que emplean, así como de la relación de estos modelos con la realidad y la teoría, y de la evolución histórica de los modelos (Gilbert, 2000).

– Algunos estudiantes de profesorado en ciencias manipulan fórmulas sin una comprensión profunda de los conceptos físicos involucrados en ellas, y tienen dificultades para emplear los correspondientes modelos en la realización de experimentos. Las actividades de laboratorio destinadas a reparar estas deficiencias pueden desarrollar –en los futuros docentes– habilidades para reconocer a los modelos como representaciones de la realidad, y para conectarlos con el campo experimental (Aiello-Sperandeo, 2000).

– La visión de sentido común que los estudiantes tienen de los modelos afecta críticamente las apreciaciones de las explicaciones que los textos o los docentes proporcionan. La problemática referida a la elección de los modelos (Gilbert, 1998) requiere por parte de los docentes de un conocimiento de los alcances y limitaciones de los modelos en un campo de investigación para hacer posible la elección crítica de uno de ellos para propósitos particulares.

– Muchos estudiantes confunden al modelo con la realidad, y sus acciones de modelización son más algorítmicas que relacionales (Harrison-Treagust, 2000). Ello les impide reconocer la existencia de los «múltiples modelos» (a los cuales nos referimos anteriormente en este informe). Estos autores encuentran, además, otros inconvenientes, como por ejemplo: los estudiantes no consiguen elaborar explicaciones cualitativas de los modelos mate-

máticos, ni adscribir a los modelos científicos entre las construcciones conceptuales.

– Cuando se emplean analogías como estrategia facilitadora del aprendizaje de modelos científicos complejos y abstractos, frecuentemente los estudiantes, a diferencia de los expertos, manifiestan dificultades para interpretar alcances, limitaciones y grado de distancia entre el modelo científico propiamente dicho y su analogía. No establecen un adecuado puente cognitivo entre ambos. Galagovsky y colaboradores (2001) proponen un nuevo modelo didáctico analógico para superar estas dificultades.

Podrían enumerarse mayor cantidad de situaciones en las cuales el desconocimiento de la modelización genera obstáculos de aprendizaje; entendemos que las anteriores pueden ser una buena muestra de la información que está disponible en la bibliografía que citamos en este trabajo.

DE LOS PROBLEMAS DE LOS ESTUDIANTES, A LA PREPARACIÓN DOCENTE

El énfasis en la importancia de estimular a los estudiantes para que analicen y discutan los modelos que están empleando en sus estudios de física, fue planteado ya en 1987 por Hestenes, y sostenido en sus investigaciones y en otras tales como las de Halloun (1996) Gilbert y otros (1998).

Todo intento de cambio en los resultados de aprendizaje implica la demanda de mejorar la preparación de los docentes que habrán de orientar a sus alumnos en esta tarea (Aiello-Sperandeo, 2000). En el tema que nos ocupa este mejoramiento ha de pasar, en primera instancia, por un diagnóstico de las concepciones de modelo sustentadas por los docentes, que permitiría diagramar las acciones apropiadas, ya que sólo desde el conocimiento de las ideas del profesorado es posible programar acciones de cambio que resulten efectivas (Furió et al., 2001).

Desde esta postura, realizamos un relevamiento de las concepciones de modelo de los docentes, al cual agregamos un registro de sus experiencias personales en torno al tema de los modelos científicos.

DESARROLLO DEL TRABAJO

En una investigación exploratoria realizada con metodología cualitativa, fueron entrevistados seis docentes en ejercicio y tres docentes en formación. Se adoptó el formato semi-estructurado para las entrevistas, ya que nuestro interés fue el de explorar con detenimiento la postura de los entrevistados. Para este propósito, entendemos que este formato de entrevista es el más apropiado, ya que da la posibilidad de instalar un diálogo fluido con el entrevistado, quien puede agregar los comentarios que considere pertinentes.

Las transcripciones (literales) de las entrevistas se procesaron mediante un sistema de categorías de análisis

(Dey, 1993) especialmente diseñado para este trabajo, conformando un grupo de categorías para recoger la información acerca del concepto de modelo y del rol asignado a los modelos en la construcción del conocimiento científico, y otro para las experiencias personales de los entrevistados en torno de este tema.

RESULTADOS DE ESTA INVESTIGACIÓN

Seguidamente, se presentan los puntos clave de las declaraciones de los docentes, separándolos de acuerdo con las dos variables de este estudio. En el anexo I figura un esquema que ofrece una visión panorámica de las categorías de análisis de resultados.

I) Concepción de modelo

El sistema de categorías de análisis de respuestas nos permitió organizar los resultados acerca de esta concepción, en las siguientes categorías:

Categoría 1: *Relación entre el modelo y la realidad*

En la mayoría de las expresiones recogidas, el modelo se presenta como una representación simplificada que apunta a ser una «copia» de un sistema real. Se tendría, así, un único modelo para cada sistema real, siendo el modelo una réplica de tal sistema, en la cual sólo se toman como relevantes aquellas variables que la ciencia *puede* controlar. En nuestra opinión, sería deseable que el criterio de relevancia apareciera con relación a las variables que *interesan* para los fines de un determinado estudio, pues el modelo más complejo no es necesariamente el más apropiado.

Entendemos que ha de tenerse en cuenta que el intento de «acercar» el modelo a la realidad, contemplando la mayor cantidad posible de variables e ignorando los propósitos peculiares de cada enfoque, iría en contra de la noción de múltiples modelos, a la cual nos hemos referido en páginas anteriores.

Categoría 2: *El rol de los modelos en la física*

La construcción de modelos se reconoce como una actividad destinada a *ciertos* tópicos de la física, y no a la totalidad de su campo de estudio. Entre esos tópicos, los que aparecen mencionados más frecuentemente por los docentes son los de física atómica y nuclear, habiendo sólo dos referencias a modelizaciones de entes accesibles a la percepción sensorial; se mencionan los modelos de la física clásica empleados en los estudios del movimiento (cuerpo puntual, por ejemplo).

Esta tendencia a circunscribir la modelización a estados y fenómenos que quedan fuera del alcance de la percepción directa ha sido registrada, también en otros estudios, tales como los de Harrison-Treagust (1996, 2000), entre otros.

Categoría 3: *Cómo trabajan los científicos con los modelos*

Al ser preguntados sobre este punto, la mayoría de los entrevistados señala que su contacto con los científicos ha estado reducido a la relación profesor-alumno durante la carrera de formación universitaria, y que no recuerdan haber recibido información directa sobre la actividad de investigación. Así sus respuestas están basadas, principalmente, en acciones supuestas y/o en lo extraído de lecturas sobre epistemología. De las respuestas obtenidas, consideramos importante consignar aquí lo siguiente:

a) Cuando se habla acerca de la contrastación empírica del modelo con la realidad, no se tiene en cuenta la relevancia de la metodología experimental y por lo tanto del proceso de medición y evaluación de los errores experimentales.

b) Tampoco se tiene en cuenta la importancia del control comunitario de los modelos como una actividad central en la construcción y el progreso del conocimiento científico. Esta consideración, que era esperable como resultado de algunas preguntas es, sin embargo, coherente con el tipo de actividades áulicas más usuales (esencialmente problemas cerrados de lápiz y papel) donde no se orienta el quehacer a la resolución de problemas abiertos, a la búsqueda de modelos alternativos para abordarlos y a la discusión colectiva de la eficacia y eficiencia de los mismos.

c) Varios entrevistados se manifiestan de acuerdo con la existencia de múltiples modelos para representar una misma porción de la realidad. Uno de ellos, aludiendo a la dualidad onda-partícula, dice: *...sin ser científicos nosotros, usamos dos modelos. Y creo que justamente lo hacemos porque los científicos nos dan esos dos modelos. Y hablo de este tema porque es el más trillado, no? Porque hay muchos otros.*

d) También opinan que es posible que un científico modifique el modelo que construyó para resolver un cierto problema, cuando los avances de su trabajo así lo requieren. Uno de ellos lo relaciona con los rasgos de personalidad propios de un investigador, diciendo: *y yo juzgaría, incluso... juzgaría al científico que no tiene su mente abierta como para cambiar de modelo; sería algo que no habla bien de él.*

En suma, estos docentes admitirían cierta «flexibilidad» para el modelado; pero ha de notarse que esto es inconsistente con la idea del modelo como una «copia» de la realidad, que esos mismos entrevistados habían planteado unos minutos antes.

II) Las experiencias personales de estos docentes respecto de la modelización.

Hemos procesado la información sobre esta variable tomando dos grandes grupos de categorías. Uno de ellos compila la información sobre las experiencias durante su vida de estudiantes universitarios; y el otro, las experiencias en el trabajo áulico.

IIa. En su formación universitaria de grado

Categoría 4: Reconocimiento del modelado en distintas asignaturas

Durante gran parte de su carrera de formación universitaria no advertían que en las clases de Física estaban usando modelos. La mayoría de ellos sólo recuerda haber empleado modelos en Física de partículas y en Astronomía, temas que se estudian con detalle a partir del cuarto año de la carrera de grado. Esto es, no eran conscientes por ejemplo de los modelos asociados al aprendizaje de la Física clásica en los primeros tres años de su formación. Este resultado se hace preocupante si se tiene en cuenta el lugar que ocupa la Física Newtoniana en los curriculum escolares de nuestro país, donde estos docentes son responsables de la formación científica (presente y/o futura) de muchos jóvenes.

Cuando se les pidieron ejemplos de temas en los que han manejado modelos, los únicos que se mencionan fuera de los campos de estudio antes citados, son aquéllos en los cuales el vocablo «modelo» y/o el calificativo «ideal» forman parte del léxico de clase, como: el modelo de gas ideal, el péndulo ideal, las esferas ideales (electrostática), el fluido ideal, etc.

Categoría 5: Dificultad reconocida respecto de la relación entre modelo y realidad

Una de las preguntas del protocolo les solicitaba a los entrevistados que mencionaran las dificultades que habían debido enfrentar al utilizar modelos en Física. Casi todos ellos responden que frecuentemente les ha resultado muy complejo distinguir al modelo de la realidad y, más aún, encontrar criterios para discriminar el grado de ajuste entre ambos. Este resultado se relaciona con el anterior: dado que mayoritariamente se refieren a modelos que representan entes no accesibles a la percepción directa (los usados en Física de partículas, y en Astronomía), la confusión modelo-realidad se hace más pronunciada. En este sentido, nuestros hallazgos coinciden con los de otras investigaciones (Harrison-Treagust, 2000).

Categoría 6: Los modelos, y el formalismo matemático

Al evocar su experiencia como estudiantes novatos, citan como obstáculo la dificultad para reconocer los referentes fácticos de las formulaciones matemáticas de las cuales se valían para resolver problemas de lápiz y papel. Una docente, hablando de los modelos empleados en cinemática, expresa: *...imaginar así a veces las cosas... como puntuales, bueno, uno se acostumbra por mecanismo. Pero no es algo... ya es un mecanismo que adquiere y después, con el tiempo va logrando darse cuenta de qué era. A mí me costó darme cuenta de estas cosas (...) había que recordar la fórmula, aplicarla, y uno no pensaba demasiado en el contenido físico.*

Este resultado puede complementarse con lo que aparece en la entrevista a una de las estudiantes de profesorado: cuando se está hablando de la presencia de modelos en las Físicas básicas, es preciso sugerirle la idea de «simplifica-

ción» de la situación real en estudio, para que emerja la noción del modelo como una representación simplificada de la realidad. Aludiendo al recorte de variables, recuerda que a medida que fue avanzando en su carrera, comenzó a cuestionarse por qué se hacía, qué ocurriría si se incorporaran variables despreciadas (como la fuerza de roce, por ejemplo), presentando estos cuestionamientos como surgidos de sus propias inquietudes, y no devenidos como resultados de planteos formulados en clase. Concluye diciendo: *Al principio lo aceptás, si no está mejor; es una cosa menos... En cambio, después, vos querés que esté para ver... o por qué no está, cuestionás más las cosas.*

En ambos casos, todo parece indicar que habiendo conocido con más claridad la relación: formalismo matemático-referente fáctico, estos docentes habrían mejorado tempranamente su comprensión de los fenómenos sobre los cuales versaban los problemas que resolvían

No ocurre lo mismo cuando se habla de las asignaturas más avanzadas de la carrera, donde la mayoría de los entrevistados sitúa su primer acercamiento al modelado. Más aun, dos de ellos recuerdan claramente los llamados de atención de sus profesores, tendientes a hacerles comprender el carácter representacional de los entes que manejaban para estudiar los hechos de la realidad.

Categoría 7: Reflexiones sobre modelización en las clases universitarias

Es también en las asignaturas de los últimos años donde tres de los nueve entrevistados recuerdan haber tenido alguna instancia de aprendizaje formal sobre modelado, en la cual un profesor procuró aportar a la conceptualización de modelo. Estas aportaciones son altamente valoradas por estos tres profesores. Sin embargo, la distancia entre sus nociones de modelo y las nociones de los científicos es notable.

Categoría 8: El vínculo de estos docentes con los científicos

Si bien no se preguntó explícitamente sobre este vínculo, la información recogida a través de otras preguntas muestra que los entrevistados reconocen su distanciamiento con la investigación científica como un aspecto crítico: el único tipo de interacción que han tenido con científicos en actividad, ha sido el de la relación docente-alumno. En el marco de esta relación, las discusiones sobre la construcción del conocimiento científico no son evocadas como hechos frecuentes, sino más bien como aportaciones esporádicas.

IIIb. En su tarea áulica

Categoría 9: Cómo usan los modelos en las clases escolares

Algunos de ellos manifiestan que usan modelos asiduamente en sus clases, aunque no lo explicitan a sus alumnos; en tanto que otros no reconocen la actividad de

modelización en las situaciones de aprendizaje escolar de la Física. De este modo, se advierte que sus metodologías de trabajo son similares a las que utilizaron sus propios profesores.

Un comentario claro al respecto es: *vos en realidad no les estás diciendo (a los alumnos) que le estás haciendo un modelo... les decís que estamos tratando de resolver esta situación, sin decirles que la estás modelizando.* Y la apreciación de uno de los docentes en formación toma en cuenta la necesidad de hacer explícita la presencia de los modelos: *creo que se puede recalcar mucho más, y nosotros tendríamos que recalcar mucho más, a la hora de dar clase.*

Categoría 10: Cómo manejan modelos sus alumnos

Cuando se abordan cuestiones referidas este punto, los docentes en ejercicio evidencian insatisfacción al respecto, unida a una preocupación por mejorar la situación.

Siempre refiriéndose a la física de partículas, señalan a la confusión entre modelo y realidad como problema más notable. La otra dificultad mencionada es justamente la opuesta, esto es, la falta de nexo del modelo con la realidad. Una de las entrevistadas alude a ese nexo diciendo: *... me parece que ahí hay un espacio vacío, no? Hay un bache. Es como que los chicos (estudiantes) no encuentran la relación, no lo encuentran (al problema de cinemática que están resolviendo) cerca de la realidad de ellos.*

En suma, estos docentes advierten que sus alumnos están lejos de establecer apropiadamente la relación entre las entidades reales y sus representaciones científicas.

Un par de comentarios comparativos

Además de los resultados anteriores, cabe consignar que la *comparación entre docentes en formación y docentes en ejercicio* no marca diferencias importantes; el ejercicio de la función docente, así como los cursos de actualización y perfeccionamiento, parecen no haber aportado sustancialmente a la elaboración de concepciones sobre modelos.

Por otro lado, al realizar un estudio similar *con científicos* (en actividad, y en formación) se encontraron concepciones de modelo más próximas a las consensuadas en la literatura sobre epistemología y sobre investigación educativa. Aunque ninguno de ellos recuerda haber tenido instancias de aprendizaje en el aula sobre modelos, manifiestan que la tarea de investigación los ha llevado a realizar múltiples reflexiones sobre el tema (detalles sobre este último resultado pueden obtenerse consultando: Islas-Pesa, 2001).

Relación de estos resultados con los de otros estudios sobre este tema

En páginas anteriores hemos mencionado que no abundan los estudios sobre modelización en poblaciones de docentes, hecho que es señalado también por Van Driel- Ver Loop

(1999). Estos autores, en el marco de una innovación curricular proyectada para su país (Holanda), y teniendo en cuenta la escasez de investigaciones sobre este tema, resaltan la necesidad de llevarlas a cabo particularmente en épocas de reforma educativa, ya que *el conocimiento y las creencias de los profesores de ciencias acerca de los modelos y de la modelización influyen en la percepción que han de tener sobre el proyecto de innovación curricular y, en definitiva, en la forma en que ellos implementarán la innovación.*

Tanto la postura teórica frente al tema como los resultados de Van Driel y Verloop son consistentes con los de nuestro trabajo. Los autores destacan el carácter *tácito* de las concepciones docentes sobre estos asuntos, y en ello coinciden con las afirmaciones que surgen de estudios sobre otras cuestiones de corte epistemológico (tales como: la noción de ciencia, consignados en Mellado, 1997).

Por otro lado, es interesante subrayar que existen trabajos de investigación, como el de Halloun (1996) que muestran el éxito de estrategias didácticas destinadas a mejorar la conceptualización de modelo en estudiantes. Esto es: las dificultades detectadas en el aprendizaje de la modelización *tienen* solución. Ello no es tarea fácil, y es importante tener en cuenta que en estos emprendimientos han trabajado docentes especialmente involucrados en la investigación. Hemos de pensar, entonces, en alguna vía que nos permita poner al alcance de todos los docentes el conocimiento generado por la investigación educativa en ciencias.

La literatura ofrece, además, algunos ejemplos de la aplicación de estrategias fructíferas para generar nuevas conceptualizaciones en los docentes. Tal es el caso de la investigación exploratoria realizada por Aiello y Sperandeo (2000). Tomando como base la premisa de que la reconstrucción del contenido de física a ser enseñado requiere una reconstrucción de la formación docente, ellos verifican que pueden producirse cambios favorables en las nociones de modelo en estudiantes de profesorado cuando en los trabajos de laboratorio (en este caso, sobre transferencia de calor) se enfatiza el análisis de los constructos teóricos empleados.

El enfoque del trabajo de Aiello-Sperandeo, al buscar las relaciones entre los resultados experimentales y las características de los modelos, intenta *mostrar que el origen de los modelos físicos es más racional que empírico*, y que ellos tienen el carácter de imágenes, siendo eficaces para describir, explicar y predecir hechos. Los autores subrayan la importancia de mantener la coherencia entre los modelos que han de enseñarse y el correspondiente campo experimental que provee las bases para otorgar significado físico a tales modelos. Para lograr este propósito es preciso que los futuros docentes reflexionen sobre su propio proceso de atribución de significados (tanto a los modelos como a las observaciones experimentales).

Los resultados que hemos obtenido en nuestra exploración (véase lo consignado en la categoría 6) nos permiten conjeturar que algo similar debería hacerse para mejorar la conceptualización de los futuros docentes respecto del nexo entre las entidades físicas y las expresiones matemáticas

que se generan a partir de los modelos representativos de esas entidades.

Desde este punto de vista, una formación de docentes que estimule el análisis metacognitivo sobre el modo de vincular el campo fáctico con los constructos teóricos se muestra como una opción que merece ser tenida en cuenta cuando se aspira a elevar el nivel de competencia docente en estos asuntos.

En relación con los resultados que consignamos en las categorías 7 y 8, creemos que es interesante tomar en cuenta los logros señalados por Vianna y Carvalho (2000): al generar una situación de trabajo conjunto de docentes y científicos, registran evoluciones favorables en las concepciones epistemológicas de los docentes. La dinámica de trabajo empleada es similar a la de Glasson-Bentley (1999); en ambos casos, docentes en ejercicio realizan cursos con científicos en actividad. Los científicos no se limitan a explicar los resultados de sus investigaciones, sino que se *explayan* en asuntos concernientes a la metodología científica. De este modo, los docentes participan en discusiones de corte epistemológico que constituyen ocasiones para mejorar el perfil de sus concepciones acerca de la tarea científica, reduciendo la brecha que existe entre ellas y las afirmaciones consensuadas en las comunidades de especialistas.

CONCLUSIONES

Las concepciones de modelo científico que manifiestan los docentes entrevistados en este trabajo difieren de los significados otorgados a los modelos en la comunidad científica y en la literatura sobre educación científica y sobre epistemología de la física.

Se advierte, como problema básico, que este tema no ha sido anteriormente reflexionado con detenimiento por los entrevistados. Ellos tienen dificultades en su conceptualización del modelo científico como representación de la realidad, así como para reconocer el rol de los modelos en la empresa científica.

Probablemente es ésta la razón por la cual en sus clases utilizan los modelos en forma *tácita*, creando –sin tener conciencia de ello– situaciones áulicas semejantes a aquellas que vivieron como alumnos. El modelado queda, entonces, como una estrategia aplicada por los científicos para algunos temas de física, su relevancia no es advertida y, en consecuencia, su protagonismo en las clases de física queda reducido a aquellos casos en los que el uso del vocablo «modelo» es explícito. Asimismo, esta circunstancia favorece el vaciamiento de contenido fáctico de las formulaciones matemáticas, lo cual obstaculiza la conceptualización del vínculo entre el modelo y la realidad.

Si bien algunos de estos docentes son conscientes de esta problemática, esta investigación los muestra con escasas competencias para encarar una solución a la misma. El desarrollo de tales competencias debería originarse tempranamente en las carreras de formación docente, aumen-

tando las reflexiones sobre modelización y sobre la investigación científica, y continuar durante la capacitación en servicio. Adscribiendo a la postura de Mellado (1996, 1997) acordamos con otros investigadores en la necesidad de incrementar las oportunidades para que los docentes participen de discusiones de corte epistemológico, donde se intenta poner en claro cuáles son su postura y sus conocimientos acerca de la investigación científica.

En todo momento habríamos de procurar, como lo ha señalado reiteradamente la comunidad de investigadores, que los resultados de la investigación educativa tengan efectos concretos en la preparación de los docentes.

Esta investigación exploratoria puede aportar, a nuestro criterio, algunos indicadores referidos a los núcleos centrales de dificultad de los profesores referidos a la modelización, y sugerir algunos caminos alternativos que podrían considerarse para mejorar su formación epistemológica y científica.

COMENTARIOS FINALES

En esta presentación, cuando comenzamos el análisis del tratamiento áulico de los modelos científicos manifesta-

mos nuestra preocupación por la preparación de los docentes para concretar este tratamiento. Pero ciertos resultados de investigación que comentamos nos muestran algunas posibilidades de encaminar una solución a las falencias encontradas, y que pueden ser implementadas tanto en el marco de las carreras de formación docente como en las acciones de formación permanente:

a) Durante los cursos en su formato tradicional, aumentando el número y la calidad de las discusiones sobre la dinámica de construcción del conocimiento científico (ejemplos: evitando la realización de clases experimentales disociadas del análisis teórico; demandando a los estudiantes que «llenen» de contenido fáctico a las formulaciones matemáticas; revisando las posibles modelizaciones de los fenómenos en estudio; incorporando reflexiones sobre la evolución de los modelos y su relación con la evolución de la física; etc.)

b) Durante algunas acciones de formación no tan «tradicionales» tales como la generación de espacios de interacción de los docentes con los científicos, bajo la forma de seminarios, pasantías, talleres, en los cuales los docentes tengan acceso a los ámbitos de producción del conocimiento que enseñan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIELLO-NICOSIA, M.L. y SPERANDEO-MINEO, R.M. (2000). Educational reconstruction of physics content to be taught and of pre-service teacher training: a case Study. *International Journal of Science Education*, 22(10), pp. 1085-1097.
- BACHELARD, G. (1991). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI Editores.
- BLANCO, N. (1994). *Materiales curriculares: los libros de texto*, en: Angulo, F. y Blanco, N. *Teoría y desarrollo del curriculum*. España: Ediciones Aljibe.
- BUNGE, M. (1985). *La investigación científica*. España: Ed. Ariel.
- 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.C. de, SALINAS, J. y PESA, M. (1991). *Modelo y realidad*. Material de trabajo para el Taller desarrollado durante la VII Reunión Nacional de Educación en Física. Mendoza.
- DEY, I. (1993). *Qualitative data analysis*. USA: Ed. Rotledge.
- DUIT R. (1991) On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, pp. 649-672.
- FUCHS, H. (1999). *The Continuum Physics Paradigm in Physics Instruction* (Part I: Images and models of continuous change). Switzerland: Zurich University of Applied Sciences.
- FURIÓ, C., VILCHES, A., GUIASOLA, J. y ROMO, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las Ciencias en la secundaria obligatoria, ¿alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3): 365-376.
- GALAGOVSKY, L. y ADURIZ-BRAVO A. (2001). Modelos y analogías en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 231-242.
- GIERE R, N. (1990) *Explaining Science*. University of Chicago Press, Chicago, USA.
- GIERE, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra: pp. 63-70.

- GILBERT, J.K., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 83-97.
- GLASSON, G. y BENTLEY, M. (1999). Scientists' Views of the Nature of Science in Relation to their own Research. *Proceedings Annual conference of the National Association for Research in Science Teaching*. Boston. <http://www.tandl.vt.edu>
- GOBERT, J. y BUCKLEY, B. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 891-894.
- GRECA, I. y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 289-303.
- GROSSLIGHT, L., UNGER, C. y 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), pp. 799-822.
- HALLOUN, I. (1996). Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), pp. 1019-1041.
- HARRISON, A. y TREAGUST, D. (1996). Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science Education* 80(5), pp. 509-534.
- HARRISON, A. y TREAGUST, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026.
- HESTENES, D. (1992). Modeling games in the Newtonian World. *American Journal of Physics*, 60(8), pp. 732-748.
- ISLAS, S. y PESA, M. (2000a). El manejo de modelos científicos en las clases universitarias. *Memorias del V Simposio de Investigadores en Educación en Física*. Santa Fe, Argentina.
- ISLAS, S. y PESA, M. (2000b). La resignificación de los modelos científicos en las aulas: ideas de docentes sobre el modelado en Física. *Memorias del II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*. Córdoba, Argentina.
- ISLAS, S. y PESA, M. (2001). The learning of modelling: a scientists' vision. *Proceedings First International Girep Seminar*. Udine (Italia). <http://www.fisica.uniud.it/%7esanti/GirepSeminar2001/>
- JUSTI, R. y GILBERT, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of atom. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 993-1009.
- LAUDAN, L. (1986). *El progreso y sus problemas*. España: Encuentro.
- LITWIN, E. (1997). *Las configuraciones didácticas*. Buenos Aires: Ed. Paidós.
- MELLADO, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 289-302.
- MELLADO, V. (1997). Preservice Teachers' Classroom Practice and Their Conceptions of the Nature of Science. *Science & Education*, 6, pp. 331-354.
- NERSESSIAN, N. (1995). Should Physicists Preach What They Practice? *Science & Education*, 4, pp. 203-226.
- SAMAJA, J. (1993). *Epistemología y Metodología*. Buenos Aires: Eudeba.
- SNYDER, J. (2000). An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 979-992.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana* (Tomo 1: El uso colectivo y la evolución de conceptos). Madrid: Alianza Editorial.
- TOULMIN, S. (1964). *La filosofía de la ciencia*. Buenos Aires: Ed. Compañía General Fabril Editora, SA.
- VAN DRIEL, I. y VERLOOP, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), pp. 1141-1153.
- VIANNA, D.M. y CARVALHO, A.M.P. (2000). Formação permanente: a necessidade da interação entre a ciência dos cientistas e a ciência da sala de aula. *Ciência & Educação*, 6(1), pp. 31-42.

ANEXO

Resumen de las variables y sus categorías de análisis.

Categorías de análisis de resultados para cada variable

Variable I: Concepción de modelo

- 1: Relación entre modelo y realidad
- 2: El rol de los modelos en la Física
- 3: Cómo trabajan los científicos con los modelos

Variable II: Experiencias personales con la modelización

II.a. en su formación universitaria de grado

- 4: Reconocimiento del modelado en diferentes asignaturas
- 5: Dificultad reconocida respecto de la relación modelo-realidad
- 6: Los modelos, y el formalismo matemático
- 7: Reflexiones sobre modelización en las clases universitarias
- 8: El vínculo de estos docentes con los científicos

II.b. en su tarea áulica

- 9: Cómo usan los modelos en las clases escolares
- 10: Cómo manejan modelos sus alumnos