

LAS TEORÍAS Y MODELOS EN LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA: IMPLICANCIAS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Sonia Beatriz Concari*

Resumen: La explicación científica ha sido considerada uno de los principales problemas a los cuales la epistemología debería responder. Explicar es justamente una de las operaciones esenciales de las que se ocupa la ciencia. En esta presentación se aborda el problema de la explicación científica, analizando distintas posiciones epistemológicas con relación al problema de la explicación, al rol de las teorías y de los modelos en la explicación científica, así como sus implicancias para la enseñanza de las ciencias. Sosteniendo que la explicación y su comprensión por parte de los estudiantes pueden mejorarse a través del empleo de modelos adecuados, se propone la adopción de criterios para la selección de los modelos que se utilizan para la enseñanza.

Palabras clave: explicación científica; teorías y modelos conceptuales; enseñanza de las ciencias

Abstract: *Scientific explanation has been considered as one of the main problems epistemology should attend. Explaining is just an essential operation science deals with. Different epistemological positions related with the problem of scientific explanation and the role of theories and models in scientific explanation are analysed. The implications for science teaching are also considered. Assuming that explanation and its comprehension by students may be improved employing appropriate models, criteria for selecting teaching models are proposed.*

Keywords: *scientific explanation; theories and conceptual models; science teaching*

Introducción

Un aspecto fundamental en la Física y por ende en la enseñanza de la Física es la modelización, entendida como el establecimiento de relaciones semánticas entre la teoría y los fenómenos u objetos. Producto de una construcción humana, un modelo conceptual es concebido como una representación posible del mundo físico. En general, un modelo representa la situación real de manera incompleta, aproximada e inexacta, pero es más simple que ella. Por ejemplo, al modelizar la tierra como una partícula, o una banda de goma como un sistema elástico lineal, podemos responder a algunas preguntas relativas al movimiento de la tierra y al estiramiento de la banda respectivamente, pero no logramos resolver todos los problemas que pueden plantearse en torno de estos dos sistemas. Podemos explicar ciertos fenómenos relacionados con cada uno de estos objetos, percibidos directamente o evidenciados a través de información contenida en datos obtenidos con anterioridad.

Una gran parte de la comunidad científica y educativa en ciencias acepta la idea del conocimiento concebido no como una aproximación gradual a la verdad sino como acceso al mundo, como medio para otorgarle sentido, explicándolo y considerando que una cosa y la comprensión correcta de ella son muchas veces inseparables.

* *Professora Titular do Departamento de Ciências Naturais, Faculdade de Humanidades y Ciencias. Professora Adjunta do Departamento de Física, Faculdade de Engenharia Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina (e-mail: sconcari@fiqus.unl.edu.ar).*

No obstante, términos expresados en estos párrafos tales como modelo, conocimiento, explicación, representación y comprensión, no tienen cada uno un único significado universalmente consensuado. En esta presentación, se abordará el problema de la explicación científica, las formas que ésta adopta, el rol que le cabe en el proceso de construcción de conocimiento, su relación con las teorías y los modelos y las implicancias para la enseñanza de las ciencias naturales.

El problema de la explicación

Con relación al problema de la explicación científica, cabe preguntarnos: ¿Cómo es concebida la explicación por las distintas corrientes epistemológicas? ¿Qué respuesta ofrecen los epistemólogos al problema de la explicación científica? ¿Cuáles son sus posturas con respecto a los modelos y teorías científicas que intentan explicar el mundo?

La principal cuestión acerca de la epistemología hoy, es si se preocupa por cuestiones normativas o por cuestiones fácticas. Reconocemos que la preocupación de Popper (1976) está más relacionada con las primeras mientras que la de Kuhn (1962) atiende preferentemente a cómo él ve que los desarrollos científicos han ocurrido. Las diferentes explicaciones que los epistemólogos arrojan sobre el éxito de la ciencia se refieren, aunque de manera diferente, al poder explicativo de las teorías que la conforman, conviniendo en general acerca de que ese éxito supone su capacidad para predecir sucesos naturales y manipular objetos de la naturaleza. Este punto de vista es actualmente sólo objetado por el relativismo.¹

La polémica entre Toulmin y Nagel² sobre si la Filosofía de la Ciencia debiese ser un estado del proceso científico en vivo o un estudio de los problemas de explicación y confirmación tal como fueron formulados por la lógica deductiva, también está aún presente.

Sea desde lo normativo o desde lo fáctico, la explicación científica se ha considerado uno de los principales problemas al cual la epistemología debería responder. Para abordar el problema de la explicación, la primera cuestión a la que deberíamos intentar responder es qué es lo que se entiende por explicación. Claramente la preocupación se centra en un significado del término relacionado con la ciencia, es decir como explicación científica. No se alude aquí a otros significados de explicar como dar reglas de acción (por ejemplo, explicar cómo se confecciona un informe), dar el significado de una palabra (por ejemplo, explicar que significa informar), u otros del mismo tenor.

Por ejemplo, con referencia a la explicación de la experiencia de Oersted, para Kuhn la explicación *substancialista* (la descripción de la corriente eléctrica como constituida por un flujo de electrones puestos en movimiento por la energía de la pila) es considerada la explicación causal correcta: “La causa propiamente dicha reside en una substancia específica que circula realmente por el hilo, no en virtud de una ecuación matemática, como el flujo de energía que es ficticio...” Por el contrario, Halbwachs dice que el poder explicativo del *energetismo*³ es incompleto pues “permite decir cómo, en qué cantidad, según qué ley precisa tal forma de energía se transforma en tal otra, pero no puede explicarnos porqué precisamente esta forma y no otra es la que aparece en tales circunstancias”.

¹ Aún Feyerabend en sus primeras críticas acepta que el desarrollo científico está ligado a la noción de teoría y a la sucesión de ellas en la historia de la ciencia, por las más adecuadas.

² Citado por Losse (1979), p.14.

³ Halbwachs se refiere a la explicación que asigna la causa de la corriente eléctrica a la pila porque es la que proporciona la energía sin la cual no se produce corriente.

Pueden reconocerse dos posturas respecto de la explicación científica. Una postura, ya superada, ha sido sostenida por Pierre Duhem, en el sentido que las teorías científicas “representan” pero no “explican” leyes experimentales; para él, la función representativa posee valor científico.⁴ También Karl Pearson (1900) anticipaba en el prefacio de la segunda edición de su libro *The grammar of science*, que hoy nos parecería una trivialidad la afirmación que toda la ciencia es descripción y no explicación, aceptando los términos explicar y explicación científica sólo si son utilizados en el sentido de la forma descriptiva *cómo* y no en la determinativa *por qué*, con relación a la ocurrencia de los fenómenos.

La concepción actual, más generalizada, es que las teorías explican los fenómenos describiendo la realidad subyacente a ellos y prediciendo nuevos fenómenos. Klimovsky (1995) aporta a la distinción explicación – predicción, diciendo que una predicción se refiere a consecuencias observacionales que son esperables que ocurran y no constituye una corroboración del enunciado dado para ello, ni da razones para la verificación.⁵ En la explicación, el hecho ya ha ocurrido y a través de la explicación científica se intenta dar las razones por las que ese hecho, descrito por un enunciado verdadero⁶, se ha producido así y no de otra manera. La predicción y la explicación no se diferenciarían por la estructura lógica sino porque en el primer caso no sabemos que el enunciado es válido y al hacer la predicción, si ésta se cumple, se incrementa el conocimiento fundado en datos y leyes.

Para muchos físicos, la ciencia es fundamentalmente explicativa pues intenta explicar los hechos en términos de leyes y las leyes en términos de principios. Pero aún dentro de esta concepción pueden distinguirse a la vez, dos enfoques, con relación al peso que se le asigna a los supuestos o condiciones antecedentes del hecho que se explica.

Para Hempel (1965), la explicación parte de una declaración de un fenómeno a ser explicado y encuentra un conjunto de leyes y enunciados sobre condiciones antecedentes que implican una declaración. Él establece que esas declaraciones no pueden ser deducidas sólo de las leyes fundamentales, sino que es preciso incluir informaciones específicas sobre condiciones antecedentes. Esas condiciones incluyen tanto las condiciones de contorno que establecen el dominio de aplicación de la ley como las condiciones de inicio del problema a ser explicado. Hempel defiende que la forma arquetípica de la explicación se da cuando las premisas implican y explican la conclusión, lo que no ocurre por ejemplo, con las formas de explicación estadística que no suponen implicación. Él sostiene que los enunciados reciben apoyo sólo de las consecuencias que ellos mismos implican.

El modelo nomológico deductivo de la explicación científica, o explicación por leyes, propuesto por Hempel y al cual adhieren también los popperianos, admite una variante, que es la explicación potencial, en la que las premisas-datos son reemplazadas por supuestos: se supone que el hecho ha ocurrido de determinada manera y se deduce como consecuencia, conocimiento ya aceptado (este tipo de explicación es común en estudios cosmológicos).

Este mismo procedimiento se puede considerar también como una variante de la predicción antes considerada. Peirce acuñó el término “abducción” para designar un proceso discursivo diferente a los de la deducción y la inducción y que hace referencia al modo de aventurar hipótesis en la fase inicial del razonamiento. Con ese razonamiento se intenta explicar y predecir a través del entendimiento, operación que se inicia en un estado imaginativo y creativo.

⁴ Interesantes discusiones acerca de estas concepciones superadas de la ciencia pueden leerse en Koyré (1978) y Losse (1979).

⁵ Comprobación, prueba, corroboración o validación, de acuerdo con la concepción de ciencia que se tenga.

⁶ Verificado, suficientemente probado o corroborado, validado o consensuado, de acuerdo con la concepción de ciencia que se tenga, sería más adecuado.

Según Bunge (1988), “los científicos no se conforman con descripciones detalladas: además de inquirir cómo son las cosas, procuran responder a por qué: por qué ocurren los hechos como ocurren y no de otra manera” (p.30). La explicación científica a la que alude Bunge no debe ser vista como la explicación causal, pues como él mismo aclara, ésta no es sino un tipo de explicación científica, pues la explicación se efectúa siempre en términos de leyes científicas y esas leyes no son siempre causales.

Otro tipo de explicaciones científicas lo constituyen las explicaciones funcionales, importantes tanto para la sociología como para la biología. No ahondaremos aquí sobre las explicaciones funcionales, aunque mencionaremos brevemente una posición epistemológica próxima a la de Piaget, que sostiene otro biólogo. Para Humberto Maturana (1995) las explicaciones son proposiciones presentadas como reformulaciones de experiencias que son aceptadas como tales por un oyente con respecto a una pregunta que exige una explicación. A esta definición de explicación, agrega que el uso de las explicaciones científicas para dar validez a una afirmación, es lo que hace que esa afirmación sea una afirmación científica.

Compartiendo la postura en la que los supuestos o condiciones antecedentes son menos relevantes, Rolando García (1979) establece que una explicación física consiste simplemente en demostrar que un fenómeno dado es una consecuencia de leyes ya aceptadas. Larry Laudan (1993), en su libro *La ciencia y el relativismo*, le asigna las siguientes posturas a supuestos epistemólogos. Según él, para un realista, entre los fines de la ciencia estaría “la explicación y predicción de todo lo que ocurra en el mundo natural”. Para un pragmatista, sería “producir teorías que sean cada vez más fiables⁷” (p.36). Para él, los científicos quieren teorías que expliquen y que hagan predicciones sobre el mundo que les permitan manipular el mundo en toda su diversidad de maneras. Un epistemólogo positivista reconocería que el fin de la ciencia es desarrollar teorías y leyes para correlacionar, explicar y predecir los datos observacionales. Para el propio Laudan (1986), “el objetivo de la ciencia consiste en obtener teorías con una elevada efectividad en la resolución de problemas” (p.11). Esta concepción pragmática de la ciencia, establece el poder explicativo de una teoría como su capacidad para resolver problemas, tanto empíricos como conceptuales, de modo que se constituye en una visión de ciencia más general.

Veamos con un ejemplo, cuál es la idea de explicación de las dos grandes posturas antes expuestas: descriptiva o explicativa. El espectro de emisión del átomo de hidrógeno presenta una serie de líneas; este es un hecho. La explicación del mismo de acuerdo con la posición más radical, se haría utilizando leyes y datos en el marco de modelos y teorías: el número de onda correspondiente a las líneas detectadas y la expresión de la energía correspondiente a los niveles del modelo del átomo de Bohr, a los autovalores del Hamiltoniano obtenidos por la formulación de Schrödinger, o la teoría de Dirac. Para dar una explicación, debería además justificarse la vinculación entre los datos y el suceso a explicar; en el ejemplo, esta justificación está dada por el postulado de Einstein. Desde una postura más descriptiva, podrían tal vez considerarse también explicaciones del fenómeno, a las dadas por Balmer, Paschen, Bracket y Pfund, a cada región del espectro de líneas, respectivamente.

Podemos concluir que aceptamos el punto de vista que describir si bien implica una comprensión de alguna(s) teoría(s), las teorías científicas no son descriptivas sino explicativas. Describir implica varias cuestiones: definir el fenómeno, sus características y componentes, así como definir las condiciones en que se presenta y las distintas maneras en

⁷ Fiabilidad entendida como la capacidad para afrontar contrastes empíricos cada vez más exigentes.

que puede manifestarse. Explicar significa incrementar el entendimiento de las causas del fenómeno, y además, refiere a la prueba empírica de las proposiciones de la teoría, a las que les da apoyo. La capacidad de predicción está asociada a la posibilidad de pronosticar eventos que aún no ocurren y que pueden ser explicados antes de que sucedan. Esta capacidad múltiple de descripción, explicación y predicción, es lo que constituye el “poder explicativo” de una teoría, o siguiendo la postura de Laudan, su capacidad para resolver problemas.

Las teorías explicativas y los modelos representacionales

Aunque según su etimología la palabra “ciencia” significa lo mismo que la palabra “conocimiento”, actualmente se utiliza la palabra ciencia para referirse sólo al conocimiento sistematizado, validado y aceptado⁸ por la comunidad científica. El conocimiento científico es una construcción humana que tiene por objetivo comprender, explicar y también actuar sobre la realidad. No puede ser dado como absoluto y está sujeto a re-construcciones. El conocimiento científico está constituido por conceptos, juicios y raciocinios, en el que las ideas son punto de partida y punto final del trabajo científico, aunque la percepción y la representación mental forman parte de las operaciones que el científico realiza para construir esas ideas. Se exige además, que esas ideas puedan combinarse de manera lógica y se estructuren en conjuntos ordenados de proposiciones, las teorías (Bunge, 1988).

La coexistencia de teorías rivales es la regla en el desarrollo de la ciencia, de modo que adoptando la posición de Laudan, la adopción de teorías, y por extensión de modelos, es primordialmente una actividad comparativa. Desde esta perspectiva, deben establecerse criterios de comparación y selección.

La preocupación central debería ser distinguir las teorías con un alcance amplio y demostrable en la resolución de problemas, de las teorías que no tienen esa propiedad sin considerar si las teorías en cuestión caen dentro del ámbito de la física, la teoría literaria, la filosofía o el sentido común. (Laudan, 1986, p.22)

Aún cuando Laudan destaca que el tema es complejo, y que cuestiones como qué hace que un problema sea más importante que otro, o los criterios para considerar algo como una solución adecuada, y la relación entre los problemas no científicos y los científicos no han sido afrontadas con el detalle que requieren, asumiendo una posición aún más pragmática, decimos que la importancia al problema la otorga quien debe resolverlo y que la mayor o menor adecuación de la solución depende de sus necesidades. Este razonamiento no está limitado al ámbito científico; en el aula de ciencias y en la actividad profesional, el estudiante y el ingeniero deben resolver problemas – de lápiz y papel, experimentales, prácticos y conceptuales – con las teorías y modelos más adecuados a cada uno de esos contextos.

El trabajo científico comienza confrontando la experiencia espontánea con ciertas otras realidades, cuya relación de analogía hace posible obtener una primera visualización de la estructura posible, la cual hubiera sido, de no mediar ese modelo, invisible. El proceso de descripción científica constituye, entonces, una primera reelaboración de la experiencia espontánea, en la medida en que traduce los hechos a “hechos” que se recortan a la luz de estos modelos.

⁸ Cualesquiera sean los criterios de validación y aceptabilidad del conocimiento científico.

Estas expresiones de Juan Samaja (1993), sintetizan el rol representacional de los modelos.

Las teorías científicas son conjuntos de enunciados que tienen fines explicativos y la aplicación de las teorías para explicar hechos requiere de la construcción de modelos. El modelo es la estructura supuesta, mientras que la teoría es el conjunto articulado de enunciados que describe la estructura. Particularmente en física, García (1979) remarca que cuando utilizamos los términos “representación” o “imagen” para describir las características de un modelo, lo hacemos con el significado común que estas palabras tienen, y podemos así hablar de “modelos visuales explicativos” de los fenómenos físicos. Tanto los modelos visuales como aquellos de los que no podemos construirnos una imagen (como los utilizados en la física cuántica), jamás son explicativos y su rol es el de ser un instrumento que ayuda a descubrir las relaciones que más tarde tendrán su lugar en una formulación precisa de la teoría. García subraya que un modelo físico es un sistema de relaciones con, además, una interpretación precisa de los términos que intervienen, y dado que el problema consiste en comparar una afirmación dada con un hecho, parece claro hablar de un modelo más adecuado o un modelo menos adecuado de la situación o hecho de la realidad, en contraposición a la postura positivista de considerar una teoría verdadera o falsa.

Consideremos el caso de los modelos conceptuales. La interpretación de las observaciones y resultados de fenómenos físicos es realizada a través de un proceso que incluye: la construcción teórica de ciertas entidades como sistemas objeto de estudio (por ejemplo luz, partícula, onda, fotón...), la descripción de esas entidades empleando conceptos asociados a ciertos atributos (energía, masa, carga eléctrica...), y otros que establecen relaciones entre aquellos conceptos (fuerza, trabajo, potencial...) que dan cuenta de los procesos y estados involucrados. Se construyen de este modo modelos conceptuales (cuerpo rígido, fluido ideal, orbital...) que, integrados en una teoría (teoría newtoniana, teoría cuántica...) sirven para explicar y predecir el comportamiento de los sistemas físicos que son objeto de estudio (Heisenberg, 1976; Gitterman y Harlpen, 1981; Hestenes, 1992).

Como ya fue explicitado, las operaciones de describir, explicar, comprender y representar el mundo físico no tienen igual significado. Halbwachs en *La historia de las explicaciones en física* sostiene que bajo algunas relaciones y algunos límites, se puede afirmar que la teoría física “representa” la realidad física (aquí el término representación se usa para oponerlo al término descripción, por el cual se designa una pura y simple copia). Un modelo no constituye por sí mismo una explicación de la realidad física. Representar no es describir, ni tampoco es explicar, pero las representaciones pueden ser vistas como medios para comprender y conocer.

Un modelo es concebido como una representación posible de una cosa o evento. En general, esa representación es incompleta, aproximada e inexacta, pero es más simple que ella. Como las analogías, los modelos “mapean” la estructura de diferentes dominios, por lo que frecuentemente modelo y analogía se utilizan como sinónimos (modelo planetario del átomo, por ejemplo). En esta presentación, nos referimos a un modelo cuando pensamos en una representación de un objeto o evento en general, y a modelo analógico cuando el modelo hace referencia a otro objeto o evento equivalente en otro dominio, y con el cual presenta similitud estructural. En estos últimos, las relaciones analógicas forman las bases del modelo.

El término analogía está referido a comparaciones de estructuras entre dos dominios, a través de la identificación de similaridades entre ambos. Una relación analógica establece una similitud entre estructuras de dos campos diferentes (por ejemplo, el sistema planetario y el átomo de Bohr), en la que se pueden identificar equivalencias entre elementos (sol - núcleo;

órbita planetaria - órbita electrónica). No obstante, “debe verse siempre un modelo [físico] críticamente y recordar que una analogía significa no más que: bajo ciertas condiciones especiales, el sistema físico estudiado se comporta como si” (Miller *et al.*, 1980, p.253).

Podemos entonces sintetizar que el trabajo científico consiste en gran parte, en construir modelos que sirvan de representación de los fenómenos estudiados, integrados en teorías con capacidad para resolver problemas.

Implicancias para la enseñanza de las ciencias

Cómo son concebidas las explicaciones, las teorías y los modelos por parte de los docentes, tiene consecuencias directas para la enseñanza de las ciencias. En un trabajo reciente de Raúl Zamorano (1999) se presenta una interesante reseña sobre los conflictos epistemológicos suscitados en los últimos años para establecer una enseñanza constructivista. Zamorano analiza las implicaciones que tiene el forzar marcos epistemológicos que convaliden prácticas de enseñanza. Lo que aquí proponemos es que esa práctica sea coherente con la concepción de explicación, teorías y modelos que presentamos. Por otra parte, la cuestión de cómo los estudiantes comprenden las explicaciones que se les proporcionan en términos de sus propios conocimientos previos y necesidades aún no está muy evidenciada (Gilbert *et al.*, 1998).

Gilbert clasifica el tipo de explicaciones según las siguientes categorías: 1) Por qué se solicita la explicación, es decir, cuál es el problema al que se responde (explicación intencional); 2) Cómo se comporta el fenómeno explicado (explicación descriptiva); 3) De qué se compone el fenómeno (explicación interpretativa); 4) Por qué el fenómeno se comporta como lo hace (explicación causal); y 5) Cómo debería comportarse en otras circunstancias (explicación predictiva). Más que considerar si las explicaciones que se dan en la clase de ciencias son o no científicas, corresponde considerar si son o no adecuadas, o mejor aún, si son más o menos adecuadas que otras.

Dos tipos de explicaciones son principalmente propensos a ser descuidados en la clase de ciencias: las explicaciones intencionales y las predictivas. Mientras las explicaciones descriptivas (lo que hemos antes definido como descripción) son las más frecuentes, mientras las explicaciones predictivas (predicción) prácticamente no son requeridas al alumno (Gilbert, 1998). Por otra parte, las “sintaxis causales” empleadas por los estudiantes evidencian el carácter causal de sus explicaciones (Di Sessa, 1993). En las clases de ciencia los estudiantes deberían tener oportunidades de desarrollar las habilidades para proporcionar más explicaciones.

Las teorías que se enseñan son las que prescribe el currículum, y aunque éste no es permanente, no es punto de discusión de esta presentación. No ocurre así con los modelos que pueden emplearse para la enseñanza de esas teorías. Los criterios propuestos por Pozo y Gómez (1998) para seleccionar los modelos que se utilizan en el aula de ciencias son los de optar por aquellos que tengan mayor capacidad de generalización, mayor poder argumentativo o explicativo y estructuras conceptuales más complejas e integradas. Acordamos con las dos primeras, pero la mayor complejidad estructural de un modelo en general está relacionado con la menor facilidad para su empleo. La sencillez y simpleza representan una cualidad deseable en un modelo, tanto como en una teoría. Creemos que, como fue expuesto antes, el modelo debe ser adecuado tanto para el problema al que se aplica como para quien resuelve el problema. Por lo tanto, como criterios adicionales, proponemos seleccionar aquellos modelos que presenten mayor parsimonia y mayor significatividad potencial para el estudiante (Concari y Giorgi, 2000).

Esta postura de la adecuación de los modelos y explicaciones al contexto de aplicación es también asumida por Gilbert. Él sostiene en la primera parte de su trabajo "Models in explanations" que ninguna explicación es adecuada en todas circunstancias y para todos a quienes está dirigida. En este punto es importante destacar que la enseñanza de las ciencias en general pero particularmente en la universidad persigue entre otros fines, promover la comprensión de los modelos conceptuales científicos, su aprendizaje y su aplicación para resolver problemas nuevos. Pero ese aprendizaje está fuertemente influenciado por las ideas intuitivas y representaciones mentales que los estudiantes poseen. Esas representaciones internas conforman otro tipo de modelo, los modelos mentales (Gentner y Stevens, 1983; Runelhart y Norman, 1990; Gillet, 1992; Miller, 1996). Su función es la de permitir a su constructor explicar y hacer previsiones respecto al sistema representado, al fenómeno o problema al que se enfrenta.

Los estudiantes tienen dificultad en usar diferentes modelos para distintos propósitos y en desechar viejos modelos. Pozo y Gómez (1998) reconocen que el núcleo conceptual que más dificultades entraña para su aprendizaje en la química es la comprensión de los modelos corpusculares de la materia, e identifican como uno de los problemas al enseñar este tema, que "los sistemas proposicionales que se les proporcionan [a los alumnos] – matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos y, sólo en algunos casos, analógicos – no resultan suficientes" (p.157).

La visión que los estudiantes tienen de los modelos afectará fuertemente las apreciaciones de las explicaciones que el docente (o texto) proporcionan. El problema de la elección de modelos, como lo plantean Gilbert *et al.* (1998) requiere un conocimiento de los alcances y limitaciones de los distintos modelos en un campo de investigación, para hacer posible la elección de uno de ellos para propósitos de enseñanza particulares. Por ejemplo, Fuchs (1999) utiliza un modelo en la enseñanza de la termodinámica que, aunque simple en su estructura, es empleado en nuestro medio sólo en cursos de posgrado. Resumidamente, el sistema físico es modelado como un volumen de control que contiene magnitudes tipo cuasi-sustancia, tales como la masa, la cantidad de movimiento, la entropía, y la energía, cuyos valores se modifican de acuerdo con las corrientes de dichas magnitudes que ingresan o salen del mismo, de acuerdo con una ecuación de balance.⁹ Herrmann (1998) utiliza también el modelo de cuasi-sustancia como modelo de campos y de partículas elementales para enseñar física a estudiantes de la escuela media y de la universidad.

Duit (1991) destaca entre otras, la ventaja del empleo de analogías para facilitar la comprensión de "abstractos", así como para provocar una visualización de ellos, Herrmann y Bruno Schmid (1986), acentúan la potencialidad de su aplicación en contextos y temas diferentes pero estructuralmente análogos, mientras otros estudios muestran una utilización espontánea de analogías en las clases, en los libros de texto y en artículos de divulgación científica, predominantemente como elemento de énfasis del relato y/o como medio para explicar relaciones entre conceptos físicos a través del lenguaje común (Aragón *et al.*, 1997; Brito y Mechetti, 1998). El aprendizaje significativo es un complejo proceso que, como lo presentan Glynn *et al.* (1995), es el resultado de la interacción de procesos claves, tales como formación de imágenes, y la organización y construcción de analogías que conducen a la construcción de relaciones conceptuales.

¿Cómo se relacionan los modelos conceptuales, los modelos que utilizamos para enseñar y los modelos mentales de los estudiantes? Nuestra hipótesis es que hay distintos grados

⁹ Básicamente, se trata del modelo del continuo que se utiliza en el estudio de los denominados fenómenos de transporte (de cantidad de movimiento, calor – por entropía – y energía) en cursos avanzados de física para ingeniería.

de compatibilidad entre los modelos de enseñanza que se usan en las clases de ciencias, los modelos conceptuales y las representaciones internas de los estudiantes. Conocer las similitudes y diferencias entre estos tres tipos de modelos permitiría decidir sobre la adopción de los modelos más adecuados para enseñar. En coincidencia con Gilbert *et al.* (1998), insistimos en que deben encontrarse modos de forjar una estrecha conexión entre la naturaleza de las preguntas formuladas en la clase de ciencias, las explicaciones dadas y los modelos usados.

Conclusiones

Se han considerado distintas posiciones epistemológicas con relación al problema de la explicación, al rol de las teorías y los modelos en la explicación científica y sus implicancias en la enseñanza de las ciencias naturales.

Como hemos tratado de poner de manifiesto, la explicación y su comprensión por parte de los estudiantes puede mejorarse a través del empleo de modelos adecuados. Proponemos como criterios de selección de los modelos que se utilizan para la enseñanza, aquellos que tengan mayor capacidad de generalización, mayor capacidad para resolver problemas de interés, mayor parsimonia y que al mismo tiempo ofrezcan la mayor significatividad potencial para el estudiante.

Referências bibliográficas

- ARAGÓN, M. M. *et al.* Las analogías como estrategia didáctica en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, n. extra, 1997, p.235-236.
- AUSUBEL, D.; NOVAK, J. & HANESIAN, H. *Psicología Educativa*: un punto de vista cognitivo. 5ª Reimpresão. México: Trillas, 1991.
- BRITO, P. e MECHETTI, M. El concepto de "modelo" en la enseñanza de las ciencias experimentales. *Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*, 1, *Libro de Actas...* La Serena, Chile, p.94-96, 1998.
- BUNGE, M. *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo XX, 1988.
- CONCARI, S.; GIORGI, S. La potencialidad significativa de los modelos que se emplean en la enseñanza. *Revista del IRICE*, v.15, 2000. (no prelo)
- DISESSA, A. A. Toward an epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*. v.10 (2&3), p.105-225, 1993.
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, v.75, p.649-72, 1991.
- FUCHS, H. U. The continuum physics paradigm in Physics instruction. I. Images and models of continuous change. (Zurich University of Applied Sciences, Switzerland).
- GARCÍA, R. La explicación en Física. In: PIAGET, J. (Ed.) *Tratado de lógica y conocimiento científico. IV Epistemología de la física*, Buenos Aires: Paidós, 1999.
- GENTNER, D. e STEVENS, A. (Ed.). *Mental Models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Ass., 1983.
- GILBERT, J. Models in explanations, Part I. Horses for courses? *International Journal of Science Education*, v.20, n.1. p.83-97, 1998.
- GILBERT, J., BOULTER, C. & RUTHERFORD, M. Models in explanations. Part 2. Whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, v.20, n.2, p.187-203, 1998.

- GILLET, G. *Representation Meaning and Thought.*, Oxford: Clarendon Press, 1992.
- GITTERMAN, M. e HALPERN V. *Qualitative Analysis of Physical Problems.* USA: Academic Press, 1981.
- GLYNN, S.; DUIT, R.; e THIELE, R. Teaching science with analogies: a strategy for constructing knowledge. In: *Learning science in the schools: research reforming practice.* New Jersey: Erlbaum Ass., 1995.
- HEMPEL, C. *La explicación científica.* Buenos Aires: Paidós, 1965.
- HEISENBERG, W. *La imagen de la naturaleza en la física actual.* Cidade, España: Ariel, 1976.
- HERRMANN, F. *Modelo de sustancia como herramienta para abordar conceptos abstractos de la física.* (Conferencia). Santa Fe, Argentina. 1998.
- HERRMANN, F. e SCHMID, B. Analogy between Mechanics and Electricity, *Eur. Journal of Physics*, v.6, p.16-21, 1986.
- HESTENES, D. Modeling games in the newtonian world. *American Journal Physics* v.60, n.8, p732-48, 1992.
- KLIMOVSKY, G. *Las desventuras del conocimiento científico.* Una introducción a la epistemología. 2.ed., Buenos Aires: A Z Editora, 1995.
- KOYRÉ, A. *Estudios de historia del pensamiento científico.* México: SigloXXI, 1978.
- KUHN, T. S. *La estructura de las revoluciones científicas.* Madrid: Fondo de Cultura Económica, 1962.
- LAUDAN, L. *El progreso y sus problemas.* Madrid: Encuentro, 1986.
- _____. *La ciencia y el relativismo.* Madrid: Alianza, 1993.
- LOSSE, J. *Introdução histórica à filosofia da ciência.*São Paulo: EDUSP/Belo Horizonte: Itatiaia. 1979.
- MATURANA, H. R. *La realidad, objetiva o construida. I. Fundamentos biológicos de la realidad.* Universidad Iberoamericana-ITESO, Barcelona: Anthropos, 1995.
- MILLER, G. Contextuality. In: OAKHILL, J. e GARNHAM, A. *Mental models in cognitive science.* UK: Psychology Press, 1996.
- MILLER, F.; DILLO, T. e SMITH, M. *Concepts in Physics.* New York: Harcourt, 1980.
- PEARSON, K. *The grammar of science.* 2.ed. Londres: Black, 1900.
- POPPER, K. *La lógica de la investigación científica.* Madrid: Tecnos, 1976.
- POZO MUNICIO, J. I. e GÓMEZ CRESPO, M. A. *Aprender y enseñar ciencia.* Madrid: Morata, 1998.
- RUNELHART, D.; NORMAN, D. Representation of knowledge. In: AITKENHEAD, A. e SLACK, J. *Issues in cognitive modeling.* UK: Open University Setbook, 1990.
- SAMAJA, J. *Epistemología y metodología.* Elementos para una teoría de la investigación científica. Ed. Ampliada. Buenos Aires: Eudeba, 1993.
- ZAMORANO, R. Constructivismo y modelos de cambio científico. *Educación en Ciencias.* v.3, n.7, p.65-77, 1999.