

Rediscutir Modelos Descartados: un Recurso de Enseñanza Integrador

Jorge Paruelo

FRBA -Universidad Tecnológica Nacional – CBC -Universidad de Buenos Aires

Medrano 951

jparuelo@gmail.com

Resumen: Si se propone para la enseñanza media una formación en ciencias basada en modelos, contextualizada y que incluya la reflexión metacientífica, debemos tener profesores preparados para llevar a cabo la tarea. En el presente trabajo se propone un recurso didáctico que permite la introducción de elementos contextuales y de naturaleza de la ciencia, a la vez que se aportan herramientas para el aprendizaje de la modelización y para la integración de conocimientos de distintas áreas. La propuesta está diseñada para estudiantes de profesorado de Física a punto de egresar. Se implementó informalmente en el curso de Epistemología de la Física que los estudiantes cursan entre las últimas materias y cuyo examen final es habitualmente el último o el antelúltimo de su carrera y se cursa después de la asignatura Historia de la Ciencia que está a cargo del mismo docente. El objetivo es que estos casi profesores participen, como alumnos, de actividades de enseñanza que se espera que ellos empleen con sus alumnos. En este caso, una vez realizada la actividad se proponía un debate sobre las características del recurso empleado en la enseñanza.

Palabras clave: Naturaleza de la ciencia, contextualización, modelización, enseñanza basada en modelos, CTS.

1. Introducción

La formación científico-tecnológica que se brinde a los estudiantes depende de muchos factores, entre ellos de la posición epistemológica que se adopte. Las posturas epistemológicas se han diversificado a lo largo del siglo XX y lo que va del XXI lo que llevo a la introducción de cambios importantes en las curriculas, al menos en las últimas décadas, y en las actividades de aula, aunque en estos casos suele haber mayor resistencia a los cambios. La llamada “tradición heredada” (empiristas y positivistas lógicos fundamentalmente) sirvió como soporte a una enseñanza de las ciencias, al menos de las naturales, centrada en los productos de la ciencia (las teorías), preocupadas sólo por las formas de justificación del conocimiento científico, neutrales y, en consecuencia, independientes de todo contexto, entre las múltiples características que pueden mencionarse. Las corrientes enroladas en la llamada “nueva filosofía de la ciencia” introdujeron en el análisis de la ciencia los valores, lo procesos de producción del conocimiento y con ellos las relaciones de la ciencia con su contexto histórico, entre otros elementos. La introducción de la historia incluyó el interés por la historia interna pero también por la historia externa de la ciencia que sitúa los desarrollos científicos en un contexto socio-histórico, haciendo notar las relaciones que la ciencia tiene con el entorno que rodeó a quienes la produjeron. En la enseñanza de las ciencias las características mencionadas se expresan a través de quienes promueven, sobre todo en la enseñanza media, contenidos de CTS o CTSA (Ciencia, Tecnología y Sociedad o Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente) y quienes proponen la enseñanza de NOS (Naturaleza de la Ciencia, que involucra los contenidos metacientíficos). En la didáctica de la ciencia estos elementos forman parte de un área que se conoce como HPS (History and Philosophy of Science) que vincula los estudios metacientíficos con el trabajo en la didáctica (Mathews, M., 1994; McComas, W., 1998).

Además de la contextualización y los contenidos metacientíficos en la enseñanza de la ciencia se empezó a prestar atención a los modelos científicos. Independientemente de la relevancia que se les dé a éstos¹ para caracterizar esa actividad humana que llamamos “ciencia”, actualmente se promueve la enseñanza de las ciencias (al menos de las naturales y también de la matemática) a partir de modelos científicos. Desde la didáctica de la ciencia se promueve la enseñanza basada en modelos como recurso para la enseñanza media pero también se muestra útil para la enseñanza superior (Clement, J.J., 2000). En nuestro país, en particular, las normativas y los diseños curriculares (DCCABA, 2015) incluyen

¹ Algunas corrientes epistemológicas consideran a los modelos como un elemento central del análisis de la ciencia. Por ejemplo, las corrientes semanticistas que consideran las teorías como conjuntos de modelos. No es necesario, para lo que se propone en este trabajo tomar una posición respecto de este punto.

expresamente la modelización como recurso, y, según la orientación² que se elija una mayor o menor inclusión de contenidos CTSA y NOS³.

Si se propone para la enseñanza media una formación en ciencias basada en modelos, contextualizada y que incluya la reflexión metacientífica, debemos tener profesores preparados para llevar a cabo la tarea.

En lo que sigue se presenta una propuesta de recurso didáctico, desarrollada a partir de un ejemplo, que permite la introducción de elementos contextuales y de NOS a la vez que se aportan herramientas para el aprendizaje de la modelización y para la integración de conocimientos de distintas áreas. La propuesta está diseñada, y tuvo una implementación preliminar, para estudiantes de profesorado de Física a punto de egresar. Se implementó en el curso de Epistemología de la Física que los estudiantes cursan entre las últimas materias y cuyo examen final es habitualmente el último o el anteúltimo de su carrera y se cursa después de la asignatura Historia de la Ciencia que está a cargo del mismo docente (lo que hace que haya una integración mayor entre ambas, frente a los intentos descuartizadores de la curricula). El objetivo es que estos casi profesores participen como alumnos de actividades de enseñanza que se espera que ellos empleen con sus alumnos. En este caso particular, una vez realizada la actividad se proponía un debate sobre las características del recurso empleado en la enseñanza.

2. Contenidos metateóricos, contexto e integración de conocimientos

La especialización y compartimentalización disciplinar de la enseñanza de las ciencias trae consigo ciertas dificultades que varían según los niveles y ámbitos de enseñanza. Una de estas dificultades es la integración efectiva de conocimientos, algo que suelen manifestar los estudiantes de los distintos niveles de formación. Si nos remitimos al nivel que nos ocupa, el de la formación de profesores, esto se evidencia en las dificultades que suelen presentar los estudiantes de profesorado para aplicar los conocimientos vistos en un área disciplinar en otras áreas a lo largo de su formación. Se esperaría que esta dificultad esté resuelta una vez que empiezan a desarrollar su actividad profesional ya que, en parte, ésta incluye la responsabilidad de dirigir al estudiantado en la construcción de una imagen de lo que es la ciencia, o una disciplina científica, lo más fidedigna posible. Parte de la tarea en las instituciones formadoras de profesores es brindar herramientas para que los futuros profesores logren desarrollar esta habilidad.

Como ya se mencionó, actualmente es reconocido que los contenidos científicos abarcan no sólo los productos científicos (teorías o modelos) sino también las prácticas científicas (metodología, recursos para la obtención de datos, etc.) y los valores inmersos en dichas prácticas. Cada uno de estos aspectos contribuye en la construcción de una imagen de ciencia (Matthews, 1994; McComas, 1998; Flick y Lederman, 2004; Adúriz-Bravo, 2005, Izquierdo-Aymerich, 2000).

Los desarrollos en filosofía de la ciencia de los últimos 50 años, en su intento de caracterizar la empresa científica, han enfatizado el rol del análisis de las prácticas científicas frente al casi exclusivo análisis de los productos científicos que constituían el eje para las principales corrientes de la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, más allá de aquellos desarrollos, la enseñanza de las ciencias sigue impregnada de posiciones y supuestos epistemológicos de las tradiciones anteriores. Tradiciones que, como dijimos, se centraban en los productos científicos antes que en las prácticas. Algunos cambios se fueron dando en los últimos tiempos, aunque en general se mantienen las posiciones epistemológicas tradicionales en la enseñanza de las ciencias. La formación de profesores ha incorporado los contenidos epistemológicos, pero habitualmente ubicándolos en el marco de asignaturas aisladas respecto de las que constituyen la formación disciplinar. Donde se implementó la propuesta de este trabajo esto se pone en evidencia pues

² En nuestro país la enseñanza media consta de tronco básico común y a partir del tercer año de un ciclo orientado conformado en parte por contenidos del tronco común y en parte por contenidos específicos de la orientación.

³ Las orientaciones en Ciencias Naturales y en Matemática y Física incluyen explícitamente contenidos de CTSA y NOS. En particular la última, centra la orientación en la modelización.

se estableció que la historia y la epistemología de la física tengan espacios curriculares aparte (incluso separando la historia de la epistemología) y no hay espacios de integración por fuera de los espacios que operan como asignaturas. No están previstos, o no se realizan, talleres o ateneos.

Parece razonable abogar por una enseñanza de las ciencias que recoja los desarrollos epistemológicos más recientes a la vez que permita una integración más fluida de los conocimientos de distintas áreas.

Cuando se introducen contenidos metateóricos en las aulas de ciencia, pareciera que los profesores de las asignaturas específicas introducen más fácilmente aquellos que se refieren a la historia de la ciencia. En general, al inicio de cierta unidad de trabajo curricular (p.e., física clásica, modelos atómicos, genética clásica), se realiza una introducción histórica breve que incluyen autores y fechas relevantes. Se pueden encontrar en libros de Física para la enseñanza media recuadros con referencias biográficas que parecen albergar la intención de contextualizar y humanizar a los científicos, pero generalmente sin lograrlo. La introducción de contenidos históricos es menos sencilla de lo que parece, y al respecto se pueden revisar algunos modelos desarrollados para incorporar este tipo de contenidos (Monk y Osborne, 1997; Höttecke, Henke, Riess, 2012).

El trabajo desarrollado por los profesores en las aulas puede ser enriquecido no solo con algunas consideraciones históricas sobre las teorías (o los contenidos científicos) o alguna referencia biográfica. Los contenidos provenientes de la filosofía de la ciencia,⁴ y de historia de la ciencia, traspuestos 'didácticamente' en función de los niveles educativos y los objetivos perseguidos, pueden ser introducidos en las aulas de clase permitiendo la enseñanza no solo de las teorías y sus modelos, sino también la construcción por parte de los estudiantes de una imagen de 'ciencia, de los/as científicos/as y de su actividad', más coincidentes con los avances actuales en la filosofía de la ciencia (Paruelo, 2003; Matthews, 1991, 1992, 1994; Mellado y Carracedo, 1993; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Gallego y Gallego, 2007; Adúriz-Bravo, 2009).

3. Enseñanza basada en modelos

La enseñanza basada en modelos es un problema en discusión con varios aspectos aún difusos. Oh y Oh (Oh, P. S. y Oh, S. J., 2011) reseñan algunos de los consensos e identifican algunos problemas pendientes a la vez que sugieren algún camino para la enseñanza de la modelización. En el artículo referido se proponen cinco aspectos a analizar asociados con la modelización y su enseñanza. Estos aspectos se relacionan con la naturaleza de los modelos y sus usos en la enseñanza. Algunas de las características mencionadas coinciden con discusiones actuales en el ámbito específico de la filosofía de la ciencia: ¿qué es un modelo? ¿Qué rol cumplen los modelos en ciencia? ¿Por qué se cambian los modelos? o, lo que es similar ¿por qué un modelo es abandonado y se adopta otro? A estas preguntas podemos agregar ¿cómo se articulan los diferentes modelos no competitivos? (Magnani, Lorenzo y Nersessian, 2002; Morgan y Morrison, 1999; Suarez, 2003; Lombardi, 2009; Rivadulla, 2006).

Respecto de los usos de los modelos en la enseñanza, además de identificar formas de uso y propósitos, los autores proponen complementar una propuesta de Van Joolingen (2004) agregando que los estudiantes tengan actividades evaluativas respecto de los modelos y de desarrollo y mejora de modelos.

Coincidiendo con las líneas propuesta en el trabajo mencionado (Oh y Oh, 2011) podemos agregar que una vez que se decidió adoptar una enseñanza basada en modelos se requiere tomar una serie de decisiones de distinto nivel institucional. Sin pretender ser exhaustivo podemos mencionar algunas:

- 1 – Decidir qué enseñar. Trabajar con modelos en ciencia involucra la comprensión del modelo (que involucra modificar parámetros, explorar los límites de los modelos, aplicarlos a la

⁴ También los contenidos de la sociología de la ciencia.

resolución de problemas similares), la comparación de modelos, la modificación para aplicar el modelo a situaciones con algunas diferencias o la modelización de una situación nueva. No es un punto de interés en este trabajo, pero esta decisión se plasma en el diseño curricular y depende del nivel educativo y de los objetivos formativos, entre otras cosas.

2 – Si se decide enseñar algunos modelos, es necesario seleccionar qué modelo (o tipos de modelos) se decide enseñar. Esta decisión depende también de cómo se organizan los contenidos y según el grado de libertad institucional puede ser tomada a nivel del diseño curricular, de la institución educativa o del docente.

3 – Una vez que se tomaron las decisiones anteriores queda por elegir la forma de llevar a cabo la enseñanza. Puede haber lineamientos en el diseño o institucionales, pero acá la decisión termina en la planificación de las actividades áulicas.

La extensión de este trabajo y el tema central abordado no permiten que nos extendamos sobre estas decisiones, pero si cambiamos de la enseñanza de teorías a la enseñanza de modelos y nos limitamos a desarrollar una imagen de la ciencia que sea un conjunto de modelos acabados (en lugar de un conjunto de teorías), no debatibles, caeríamos en un gatopardismo y no estaríamos haciendo lo que proponemos. La idea es enseñar a ‘pensar’ mediante modelos, es decir que buscamos que los estudiantes logren entender los modelos, discutirlos y en última instancia hacer sus propios modelos (de sencillez acorde al nivel educativo, la especificidad de la formación, etc). En el caso de la formación de profesores, esto es crucial para que puedan luego llevarlo al aula.

4. Dos modelos en pugna

El problema entonces es disponer de un recurso que nos permita una enseñanza basada en modelos, contextualizada y que integre contenidos metacientíficos.

La actividad implementada con los egresantes⁵ de profesorado de física que se mencionó antes, fue propuesta luego de revisar contenidos de historia de la mecánica y la cosmología y revisar conceptos epistemológicos de contrastación, articulación de teorías y de reparar en la imposibilidad de verificar y falsar hipótesis universales. El desarrollo de los contenidos de historia de la mecánica y la cosmología involucran el análisis de la revolución científica del siglo XVII con el cambio de la ciencia antigua a la ciencia moderna, un análisis con eje en el trabajo de Galileo Galilei en su doble rol de precursor de la física postaristotélica y promotor de la nueva forma de hacer ciencia. La actividad puede presentarse de diferentes maneras, pero el objetivo es proponer que un grupo defienda uno de los modelos en disputa y cuestione el otro. Las defensas y ataques no tienen límites preestablecidos, se puede argumentar a partir de datos empíricos, de apoyos metafísicos, de articulación teórica, de simplicidad o cualquier otro elemento que los participantes consideren útiles. A posteriori se hará la discusión metateórica analizando los argumentos presentados. Los modelos elegidos son presentados en el contexto correspondiente según se describe a continuación. Se presenta una descripción resumida que no coincide con la forma en la que se presentaron en la actividad.

Antes de la aparición de Torricelli había una explicación para varios fenómenos que a partir de su teoría son atribuidos a la presión atmosférica. El marco histórico en el que se planteó la discusión y el lenguaje empleado resultan interesantes para poner en igualdad de posiciones dos modelos, uno que fue dejado de lado y otro que resultó exitoso.

⁵ El neologismo responde a la condición de los estudiantes: están cursando las últimas materias que casi con certeza aprobarán en la próxima instancia de final y en la mayoría de los casos ya están cubriendo suplencias en enseñanza media, dada la falta de docentes de Física que hay en la actualidad.

La confrontación de estos modelos nos lleva a los años de la revolución científica del SXVII. En su *Diálogos sobre dos nuevas ciencias* (Galilei, G., 2005), Galileo hace referencia a una serie de problemas físicos y pone en boca de Sagredo sus ideas.

Un problema que se suele mencionar cuando se busca contextualizar el surgimiento de la teoría de Torricelli es el de las dificultades para extraer el agua de los pozos. Este es uno de los problemas señalados por Galileo. Hay un límite infranqueable de 10,33 m. Más allá de esa altura el agua no sube sin ayuda.

La explicación que se disponía antes de Torricelli de por qué el agua, o cualquier líquido, asciende a lo largo de un tubo, sea la bombilla del mate o un sorbete en la gaseosa, era que el líquido ocupaba el lugar del aire que se sacaba para, de ese modo, evitar que se produjera vacío en el tubo. Esta explicación apelaba a lo que se consideraba una característica de la naturaleza que era el llamado “horror al vacío”. Desde Aristóteles se sostenía que el vacío era imposible en el Universo y que la materia acudía para cubrir cualquier intento de producción de vacío. La imposibilidad del vacío funcionaba como un ‘principio de la naturaleza’. Al absorber por la bombilla se quita el aire, lo que genera un vacío que la naturaleza evita haciendo subir el agua. Un modelo similar explica por qué no se pueden separar dos placas bien pulidas cuando se las colocó una sobre la otra quitando toda burbuja de aire entre ellas. El vacío que se intenta generar entre las placas hace que la naturaleza lo ocupe cohesionando fuertemente las dos placas. También permite explicar la cohesión entre las distintas partes de un material.

Generalmente cuando se presenta la teoría de Torricelli se sostiene, erróneamente, que resolvía un problema del que no podía dar cuenta la teoría del ‘horror al vacío’: el límite de 10,33m. Un Galileo ‘aristotélico’ da una respuesta que permite sostener el límite e incluso predecir qué ocurriría con el mercurio en un tubo, tal como hizo Torricelli. La hipótesis que agrega Galileo se puede resumir diciendo que la columna de agua se comporta de la misma manera que una tira de cualquier material sometida a su propio peso. Si se forma un cilindro con algún material maleable (masa, arcilla, plastilina) y se lo incrementa en longitud colocado verticalmente llegará un momento en que el cilindro se rompe. Esta rotura para Galileo es producto de su peso contra lo que lo retenía, el horror al vacío. Lo mismo ocurre, siempre según la propuesta de Galileo, con un líquido en un tubo. Es inmediato que se hagan proporciones con pesos específicos y alturas, si el agua llega a 10,33 m sin ‘romperse’ entonces el mercurio llegará a 0,76m y se detendrá en su ascenso antes de romperse.

5. La actividad en el aula

La actividad consiste en trabajar con los modelos, proponer modificaciones para defenderlos, argumentar y experimentar en lo que sea posible y necesario. En clases posteriores se discute lo hecho. De esa manera los casi profesores se entrenan en la discusión y modificación de modelos a la vez que trabajan en la contextualización y la enseñanza de NOS en una misma actividad. La discusión obliga a justificar por qué cada uno elige el modelo Torricelli, si es que lo hace, frente al horror al vacío y a la vez revisar por qué en la historia de la ciencia prevaleció ese modelo. Estas argumentaciones y contraargumentaciones conduce a rever las diferencias entre la ciencia antigua y la moderna, a ubicar en su justo lugar el valor de los datos empíricos y a identificar cómo las características de la ciencia y del contexto histórico intervienen en la elección entre modelos. Una virtud de los modelos en disputa de este caso es que su debate no requiere de conocimientos matemáticos avanzados, basta con tener conocimientos de proporcionalidad para poder llevar a cabo la actividad.

La experiencia llevada a cabo, bastante informalmente, sirvió para ver algunas dificultades. Una de ellas es lo complicado que les resultó defender el modelo del horror al vacío. Conociendo a Torricelli e incluso algunos de los estudiantes enseñándolo a sus propios alumnos, no podían ponerse en el lugar de los defensores del otro modelo. De todas maneras, esta dificultad la manifiestan en otros casos pues no fue

la única actividad propuesta a lo largo de la cursada⁶. Un objetivo de la actividad es que los alumnos adquieran destreza para argumentar desde algún modelo sobre el que no están convencidos pero puedan entenderlo, algo así como ponerse en el lugar de lo que piensa el otro, como una forma de entrenarse en darle coherencia a los modelos que proponen los alumnos⁷.

6. Conclusiones

La contextualización, la enseñanza de NOS y la enseñanza de la modelización constituyen actualmente elementos indispensables de la alfabetización y la educación científica. El egresado de un profesorado de ciencias debe tener una formación adecuada para trasladar estos elementos al aula. El diseño de estrategias de integración de conocimientos en estas áreas requiere de bastante desarrollo actualmente sólo para la implementación de los diseños curriculares actuales (en particular en los bachilleratos orientados en ciencias naturales y en matemática y física).

La revisión de modelos abandonados resulta una herramienta útil para cumplir con esos objetivos. Revisando en la historia de la ciencia es factible encontrar otros modelos en disputa que pueden llevarse al aula.

Referencias

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una Introducción a la Naturaleza de la Ciencia: La Epistemología en la Enseñanza de las Ciencias Naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Adúriz-Bravo, A. (2009). Hacia un Consenso Metateórico en torno a la Noción de Modelo con Valor para la Educación Científica. *Enseñanza de las Ciencias*, N° extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 2616-2620.

Clement, J.J. (2000). Model based learning as a key research area for Science Education, *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1041-1053.

DCCABA (2015) *Diseño Curricular Nueva escuela secundaria-Ciudad de Buenos Aires. Ciclo orientado Matemática y Física*. Buenos Aires: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Flick, L. y Lederman, N.G. (comps.)(2004). *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Gallego, P. & Gallego, R. (2007). Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. *Ciência & Educação*, 13(1), 85-98.

Galilei, G. (2005). Diálogo sobre dos nuevas ciencias. En Hawking, S. (2005). *A hombros de gigantes. Las grandes obras de la Física y la Astronomía*. Barcelona: Crítica. (Traducción de la versión original de 1638).

Höttecke, D., Henke, A. Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21, 1233-1261.

Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F.J. Perales, F.J. y P. Cañal (comps.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, 35-64, Marfil: Alcoy.

⁶ En otra actividad se planteaba una experiencia clásica, la experiencia de la vela, que pretendía que los alumnos busquen un modelo conocido, o uno que propongan para dar cuenta de lo observado (...). Las dificultades de proponer modelos explicativos o ponerlos en discusión se manifestó nuevamente. Un detalle interesante es que una de las estudiantes propuso el horror al vacío para explicar lo ocurrido en la experiencia de la vela y a continuación se dio cuenta de la incompatibilidad de esto con otros modelos aceptados, pero no ocurrió esto con el resto de los cursantes.

⁷ Los alumnos pueden proponer modelos coherentes aunque apelando a recursos sobrenaturales, enteleguías o principios metafísicos. Nada de eso invalida la condición de modelo de lo que proponen pero abre la puerta para discutir el carácter científico, según nuestro concepto actual de ciencia, de la propuesta.

Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.

Lombardi, O.(2009). La noción de modelo en ciencias. *Educación en ciencias*. 2 (4). 5-13.

Magnani, L. Nersessian, N. (eds.) (2002). *Model-Based reasoning: Science, Technology, Values*. Dordrecht: Kluwer.

Matthews, M. (1991). Un Lugar para la Historia y la Filosofía en la Enseñanza de las Ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11(12), 141-155.

Matthews, M. R. (1992). History, Philosophy, and Science Teaching: The Present Rapprochement. *Science & Education*, 1(1), 11-47.

Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of science*. New York: Routledge.

McComas, W. (Ed.) (1998). *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Mellado V. y Carracero D. (1993). Contribuciones de la Filosofía de la Ciencia a la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 331-339.

Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science & Education*, 81, 405-424.

Morgan, M. Morrison, M. (1999) *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge. Cambridge University Press.

Oh, P.S. y Oh, S.J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An Overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.

Paruelo, J. (2003). Enseñanza de las ciencias y filosofía. *Enseñanza de las ciencias*, 21(2), 329-335.

Rivadulla, A. (2006) “Metáforas y modelos en ciencia y filosofía”, *Revista de filosofía*. 31(2).189-202.

Suarez, M. (2003) “Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism” *International Studies in the Philosophy of Science*.17. 225-244.

Van Joolingen, W. (2004) “Roles of modeling in inquiry learning”. Comunicación presentada en el IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Joensuu, Finland. Citado en Oh, P. S. y Oh, S.J. (2011).