



*Fotografías Wilson Celis Ariza  
Licenciado en Biología.  
Especialista en enseñanza de la Biología UPN*

W

# LO QUE LOS PROFESORES DE CIENCIA CONOCEN Y NECESITAN CONOCER ACERCA DE LOS MODELOS: APROXIMACIONES Y ALTERNATIVAS.

## What science teachers know and need to know about the models: approaches and alternatives.

Fecha de recepción: 12 de octubre de 2014  
 Fecha de aprobación: 25 de noviembre de 2014

Rufina Gutierrez<sup>1</sup>

### Resumen

El objetivo de este artículo es ofrecer el resultado de una revisión de la bibliografía referente a lo que los profesores de ciencias *conocen* acerca de los modelos científicos, aportando datos concretos tomados de las investigaciones revisadas. En general, se puede decir que muchos profesores tienen un concepto defectuoso o incompleto del concepto. Es evidente que los profesores *necesitan* saber éste concepto. Por esta razón, hemos analizado posibles causas de su situación, señalando dos como plausibles: la profusión de características que se expresan desde la perspectiva epistemológica del concepto y la multiplicidad de tipologías descritas para clasificarlos. Para paliar estos obstáculos, recurrimos a la perspectiva ontológica de modelo científico. Esto nos aportó una definición unívoca, general, independiente y económica de *modelo científico* y sus *funciones esenciales*. A partir de esta definición hemos diseñado y evaluado un cuestionario de respuestas abiertas, para evaluar las concepciones que tienen los profesores, sobre modelo científico y sus funciones esenciales. El instrumento resultó fiable, al comprobar que los resultados obtenidos con el mismo eran similares a los referidos en otras investigaciones; además aportó dos ventajas interesantes: a) acortar considerablemente el tiempo de respuesta; y b) a diferencia de otros instrumentos evaluativos, suscitar una gran concentración en

las contestaciones de los profesores, dentro del ámbito ontológico científico. Pensamos que la perspectiva ontológica de los modelos puede ofrecer numerosas ventajas para investigaciones futuras, tanto en el campo de la formación de profesores, como en el diseño de secuencias de aprendizaje. El resultado de las experiencias emprendidas en este campo resultan prometedoras.

### Abstract

The aim of this paper is to show the results of a review of the literature related to the teacher's knowledge about scientific models. For that, we provide with real data from several research. As a result, we can say that the knowledge of teachers about the nature and functions of scientific models is, in many cases, confuse or incomplete. But it is still a necessary concept for them to know. For this reason, we have analyzed possible sources which can be somehow responsible for the difficulties that teachers suffer when trying to understand the concept. We have identified two: the many characteristic that are assigned to the concept when we look at it from an epistemological perspective; and the multiplicity of typologies that the authors describe to classify the different models. We try to avoid these two causes resorting to an ontological definition of scientific model. Ontology provides us with an unambiguous, general, independent, and eco-

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Pedagógicos Somosaguas (IEPS). Madrid. España  
 Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM). Universidad Autónoma de Barcelona.  
 Barcelona. España. Correo electrónico: rufina.gutierrez@uab.es

conomic definition of scientific models and its essential functions. Taking advantage of this definition, we developed and validated a questionnaire, consisting on three open-answer questions aiming to evaluate teachers' conceptions of scientific models and their main functions. The reliability of the questionnaire was established by comparing our results with the results of other investigations with the same aims and different methodologies. We think that the ontological perspective in the field of models and modeling could offer new opportunities for improving teacher training and the design of teaching/ learning sequences.

**Palabras clave**

Definición modelo científico, conocimiento del profesor, aproximación ontológica.

**Key words**

Definition of scientific model, teacher's knowledge, ontological approach.

**INTRODUCCIÓN**

El título de este artículo nos lo sugiere la revisión de Oh y Oh (2011): *What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview*. Estos autores extraen de la revisión de algunos trabajos (señalan expresamente los de Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Justi & Gilbert, 2002a, b, 2003; Smit & Finegold, 1995; van der Valk *et al.*, 2007; van Driel & Verloop, 1999, 2002; Windschitl & Thompson, 2006. -Cfr. p 1111) cinco temas, que les van a servir como “lentes” preestablecidas para leer y clasificar los datos que van a encontrar más tarde en la amplia revisión que exponen en su artículo. Estos temas son: *significados de “modelo”, propósitos de los modelos, multiplicidad de modelos científicos, cambios en los modelos científicos, y usos de modelos en las clases de ciencias* (p 1111)<sup>2</sup>. En cada uno de estos temas, los autores dan cuenta de lo que encuentran en la literatura. Los resúmenes con los que acaban cada apartado del estudio reflejan los resultados globales de la revisión realizada. Intentamos resumir sus hallazgos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Sumario extraído de Oh y Oh 2011**

Significados de “Modelo”	Aunque las definiciones de modelo pueden ser diversas, un modelo se entiende como la representación de un referente. Los referentes representados por los modelos pueden ser varias entidades, como objetos, fenómenos, procesos, ideas, o sistemas. Un modelo también se considera como un puente o mediador que conecta una teoría y un fenómeno, ya que ayuda a desarrollar una teoría desde los datos, y pone en relación la teoría con el mundo natural. (Cfr. p. 1114)
Propósitos de la modelización	Un modelo científico, como instrumento para pensar y comunicarse, tiene el propósito de describir, explicar y predecir fenómenos naturales y comunicar ideas científicas a otros. Estos roles funcionales se potencian expresando los modelos con recursos semióticos no lingüísticos, usando analogías y permitiendo simulaciones mentales y externas del mismo. (Cfr. p 1116)
Multiplicidad de modelos científicos.	Para estudiar el mismo sistema se pueden construir múltiples modelos, ya que los científicos pueden tener diferentes ideas acerca de cómo es el referente y de cómo funciona. Además, existe una variedad de recursos semióticos disponibles para la construcción de modelos, lo que también contribuye a la multiplicidad de los modelos científicos. (Cfr. p 1118)
Cambios en los modelos científicos	Debe subrayarse que aunque un modelo científico puede cambiarse, debido a la aparición de nuevos conocimientos o nuevas perspectivas provenientes de evaluaciones empíricas o conceptuales, no se presenta como verdad literal o como erróneo. Esto es debido a que el modelo sólo reflejar una faceta específica de un sistema del mundo real, con un grado de precisión limitado. (Cfr. p 1120)
Uso de modelos en la clase de ciencias	En la clase de ciencias, los profesores pueden aprovechar los modelos para demostrar cómo funcionan las cosas y para explicar conocimientos científicos complejos . Los estudiantes deben tener la oportunidad de participar en actividades diversas de modelización, como explorar, expresar, construir, aplicar y revisar modelos. (Cfr. tabla-resumen, p 1124)

2 Siempre que no se advierta lo contrario, las traducciones de los textos utilizados en este trabajo son nuestras. Para ser fiel a lo que los autores quieren expresar en la lengua original, cuando sea necesario no haremos traducciones literales, sino que adoptaremos el lenguaje en castellano que más se aproxime al sentido literal de la palabra o frase utilizada por el autor.

Examinado el artículo y sus conclusiones, espontáneamente nos surgió una pregunta: Esto es lo que Oh y Oh (2011) concluyen que los profesores *deben saber* sobre los modelos. Pero,

-¿Qué es lo que los profesores realmente saben acerca de los modelos científicos?

El objetivo de este artículo será *intentar encontrar respuesta a la pregunta anterior, de la manera más clara y útil para los profesores de Ciencias.*

Para ello nos proponemos revisar, desde esta perspectiva, la literatura producida en los últimos años en torno a este tema. Por supuesto, no pretendemos hacer una revisión exhaustiva, pero sí analizaremos algunas de las investigaciones más significativas para nuestro propósito.

El tema es importante y se le considera vital en todas las cuestiones relativas a la enseñanza/aprendizaje de las ciencias, entendida esta tarea en el más amplio sentido. Si atendemos a las revisiones de los artículos publicados en las principales revistas especializadas en didáctica de las ciencias (Lee y otros 2009, Lin y otros 2014), el tema de “modelos”, “modelización”, se sitúa entre los primeros, por orden de frecuencias, en los últimos años. Y llama la atención que también en filosofía de la ciencia, el antiguo interés por las “teorías científicas” (Suppe 1974) haya dado paso al interés por los “modelos científicos” (Cfr. Suppe 2000, Van Fraassen 2008, monográfico de *Synthese* 172 (2), sobre *The Ontology of Scientific Models* 2010).

## Modelos y modelización en Didáctica de las Ciencias

El tema de “modelos” y “modelización” en Didáctica de las Ciencias aparece tímidamente a finales de la década de los 80 (Hestenes 1987, Halloun y Hestenes 1987) y principios de los 90 (Grosslight y otros 1991, Gutierrez y Ogborn 1992, Hestenes 1992), y va adquiriendo impulso hasta finales de la década (Wells y otros 1995, Nersessian 1995, Tiberghien y Megalakaki 1995, Smit y Finegold 1995, Halloun 1996, Kapras y otros 1997, Penner y otros 1997, Gilbert y Boulter 1998, Ogborn 1998, Nersessian 1999). Pero puede decirse que con la publicación del libro *Developing models in Science Education* (Gilbert y Boulter 2000) y el número monográfico del *International Journal of Science Education* -22 (9)-, del mismo año, sobre modelización y aprendizaje, se produce una auténtica cascada de publicaciones sobre el tema, que ha ido *in crescendo* desde entonces hasta nuestros días, impulsada, quizás, por otro monográfico sobre el tema del año 2007, de la revista *Science & Education* -16 (7-8).

Hoy están presentes en las propuestas de *diseño curricular* (Halloun 2007, 2011; Clement y Rea-Ramirez 2008; Hestenes 2009) en el *diseño de secuencias de aprendizaje* (Aliberas 2012; Bamberger y Davis 2013); en la *enseñanza/aprendizaje de las ciencias en cualquier nivel docente* (doctorandos: Ke y otros 2005; Wu, H-K., Wu, P-H. y otros 2013; licenciados: Zacharía 2005; Viennot, y Kamisky 2006; estudiantes universitarios: Marshall y Carrejo 2008; Svoboda y Passmore 2013; alumnos de secundaria: Ergazaki y otros; Lee and Kim 2014; y de primaria: Louca y Zacharia 2008; Cheng y Brown 2010). Y se considera que hay una estrecha *relación* entre la comprensión de lo *que es un modelo científico* y el *conocimiento de la naturaleza de las ciencias*: Dagher y otros 2004; Izquierdo 2005; Akerson y otros 2011; Coll y Lajium 2011; Henze y Van Driel 2011. Teniendo todo esto en cuenta, es natural que se llegue a afirmar que es difícil que un profesor pueda enseñar ciencias adecuadamente si no tiene claro qué es un *modelo científico* (Drechsler y Schmidt 2005, Develaki 2007). De ahí la pertinencia de la pregunta que guiará nuestro trabajo.

## ¿Qué es un modelo científico? Las “Aguas Turbulentas”

Cuando Oh y Oh (2011) hacen su revisión de la literatura, encuentran que la definición de modelo científico está lejos de ser clara en la mayoría de los artículos revisados, de modo que cuando intentan sacar un factor común a todas las definiciones que aparecen, eluden la cuestión de “definir” y optan por utilizar la palabra “significados” al hablar justamente de lo que es un modelo científico (Cfr. Tabla 1).

Hace algunos años escribimos un artículo sobre los distintos significados que adquiriría el concepto de “modelo mental” en la literatura producida en el campo de la Didáctica de las Ciencias (Gutierrez 2005). Entonces advertíamos del hecho de que la polisemia del término hacía que los investigadores pasaran por él, en expresión de (Seel 2001), “como un puente sobre aguas turbulentas”, impidiendo la construcción conjunta del conocimiento científico sobre el tema, ya que cada autor lo utilizaba de manera distinta (Gutierrez 2005, p 223). Algo parecido parece estar pasando con el concepto de “modelo científico” (Lemmer 2006; Adúriz-Bravo 2013; Chamizo 2013; Mendoça y Justi 2014). Mas adelante, haremos una crítica del uso del término en Didáctica de las Ciencias, ya que, en nuestra opinión, la polisemia del concepto modelo científico puede influir en lo que los profesores realmente saben sobre éste término.

## Método de análisis

Advertimos más arriba, que no pretendíamos hacer una revisión exhaustiva de la literatura en torno a lo que los profesores saben acerca de “modelo científico”. Hemos revisado más de 300 documentos (libros, artículos de revistas, tesis doctorales, informes,...) y lo hemos hecho partiendo sólo de la pregunta que centraba nuestro trabajo: *-¿Qué es lo que los profesores realmente saben acerca de los modelos científicos?*, sin otros criterios que nos sirvieran *a priori* para agrupar los resultados. Pero, de hecho, al hacer la revisión tratando de responder a la pregunta que la motivó, nos han surgido modos de agrupamientos que, de forma natural, responden a esta otra pregunta:

*-¿Qué es lo que los profesores necesitan saber acerca de los modelos y de la modelización, para poder acometer cumplidamente su quehacer didáctico, adoptando esta perspectiva?*

La primera parte de esta pregunta está presuntamente contestada con el artículo de Oh y Oh (2011), pero no la segunda parte de la misma. Las Tablas 2 y 3 recogen una síntesis del resultado del trabajo realizado. Ambas Tablas se configuraron con las siguientes características:

1. Las Tablas no recogen exhaustivamente todo el trabajo de revisión, sino sólo los documentos que nos han parecido más adecuados para nuestro propósito.
2. A fin de aligerar los datos de las Tablas, hemos acotado sus contenidos con un criterio temporal: La Tabla 2 recoge los documentos seleccionados entre 2000 y 2009; la Tabla 3 recoge los documentos seleccionados entre 2010 y 2014.
3. En las Tablas 2 y 3 aparecen agrupamientos numerados del 1 al 15, comunes a entrambas. Puede verse claramente que los documentos aportados en los números del 1 al 5<sup>3</sup> serían los que estimamos suficientes para poder contestar a la primera pregunta:

*-¿Qué es lo que los profesores realmente saben acerca de los modelos científicos?*

Por esta razón se señalan con un trazo especial en la tabla. Responden al objetivo propuesto en este artículo.

4) En el apartado 6 se presentan alternativas a los planteamientos habituales de los cursos de formación de profesores. Este apartado adquirirá significación a medida que avancemos en la redacción de este trabajo, aunque no lo trataremos aquí por razones de espacio.

5) Los agrupamientos del 7 al 15, responderían a la pregunta que nos ha surgido durante la revisión:

*-¿Qué es lo que los profesores necesitan saber acerca de los modelos y de la modelización, para poder acometer cumplidamente su quehacer didáctico, adoptando esta perspectiva?*

---

3 En la Tabla 3 este apartado está vacío, por no aparecer referencias sobre el mismo en los documentos y en el periodo en el hemos hecho la revisión.

**Tabla 2. Selección de artículos entre los revisados de 2000 a 2009**

1.-Concepciones de los profesores acerca de los modelos científicos (investigaciones realizadas con instrumentos adecuados para obtener la información)	Harrison 2001; Taylor y Coll 2002; Justi, y Gilbert 2002, 2003; Moreno y Ferreyra 2004; Crawford y Cullin 2005; Drechsler y Schmidt 2005; Hudson 2005; Henze y otros 2007; Van Der Valk, Van Driel y De Vos 2007
2.-Concepciones de los profesores acerca de los modelos científicos (intervenciones realizadas para introducir del concepto)	Cullin y Crawford 2003; Crawford y Cullin 2004; Justi y Van Driel 2005; Zacharia 2005; Ogan-Bekiroglu 2007; Windschitl y Thompson 2006; Schwarz y Gwekwerere 2007; Schwarz 2009
3.-Características y Tipologías de modelos	Gilbert, Boulter y Elmer 2000; Harrison and Treagust 2000; Smit 2002; Gilbert, Justi y Akasela 2003; Erduran y Dusch 2004; Márquez, Izquierdo, y Espinet, 2001; Matthews 2007; Van Der Valk, Van Driel y De Vos 2007
4.-Concepciones de los profesores acerca de los modelos científicos: la perspectiva ontológica.	Gutierrez y Pinto 2005a; Danusso y otros 2006; Gutierrez y Pinto 2006, 2007, 2008, 2009;
5.-Métodos para investigar las concepciones de los profesores sobre modelos	Gutierrez y Pinto 2004; Crawford y Cullin 2005; Justi, y Gilbert 2005
6.-Propuestas para la formación de profesores. Perspectiva ontológica	Gutierrez y Pinto 2001; Gutierrez 2004d; Gutierrez 2004e,
7.-Propuestas curriculares basadas en modelos	Halloun 2004, 2007; Schwarz y White 2005; Hestenes 2006, 2009; Develaki 2007; Clement y Rea-Ramirez 2008
8.-Diseño de secuencias de aprendizaje basadas en modelos (modelización)	Saari. y Viiri, 2001, 2003; Oliva y otros 2003; Snir y otros 2003; Ergazaki y otros 2005; Felipe y otros 2005; Sins y otros 2005; Justi 2006; Zhang y otros 2006; Acher y otros 2007; Ogan-Bekiroglu 2007; Louca y Zacharia 2008; Marshall y Carrejo 2008; Verhoeff y otros 2008; Schwarz y otros 2009.
9.-Secuencias para el Descubrimiento basadas en modelos	Schwarz y White 2005; Khan 2007; Windschitl, Thomson and Braaten 2008
10.-Modelización y cambio conceptual	Gutierrez 2001, 2007b; Harrison and Treagust 2001; Chi, y Roscoe 2002; Vosniadou 2002; Nersessian 2003, 2008b; Chi 2008.
11.-Aprendizaje/construcción de modelos basado en conversaciones didácticas	Gutierrez 2003; Kawasaky y otros 2004; Khan 2007; Van den Boom y otros 2007; Clement 2008
12.-Epistemología y modelos (propuestas para entornos didácticos)	Reiner y Gilbert 2000; Justi, y Gilbert 2000; Treagust y otros 2001, 2002; Kawasaky y otros, 2004; Brinklow 2004; Izquierdo 2005; Lemmer 2006; Sensevy y otros 2008; Koponen 2007
13.-Los modelos espontáneos como base para la construcción de modelos científicos (aproximación teórica y didáctica)	Nersessian 2002, 2008a; Ogborn 2008; Nersessian y Chandrasekharan 2009,
14.-Aproximación ontológica al concepto de modelo (propuestas y aplicaciones en entornos didácticos)	Gilbert, Pietrocola y otros 2000; Harrison y Treagust 2001; Treagust y otros 2001; Reiner y Gilbert 2000; Coll y Treagust 2003; Brinklow 2004; Gutierrez 2007
15.-Relaciones entre el conocimiento de modelos y el conocimiento de la naturaleza de las ciencias (entornos didácticos)	Islas y Pesa 2002; Erduran y Dusch 2004; Dagher y otros 2004; Coll y otros 2005; Justi 2006; Develaki 2007; Taber 2008

**Tabla 3. Selección de artículos entre los revisados de 2010 a 2014**

1.- Concepciones de los profesores acerca de los modelos científicos (investigaciones realizadas con instrumentos adecuados para obtener la información)	Oh y Oh 2011; Danusso, Testa y Vicentini 2010.
2.-Concepciones de los profesores acerca de los modelos y la modelización (intervenciones para introducir del concepto) 2a.-Perspectiva ontológica	Akerson y otros 2011, Henze y Van Driel 2011; Nelson y Davis 2012; Waight y otros 2014; Justi, Chamizo, García, & Figueiredo 2011 Gutierrez y Whitelock 2012, 2013
3.-Características y Tipologías de modelos	Chamizo, J. A. 2010, 2013; Louca, L. T., Zacharia, Z. C. & Constantinou, C. P. (2011); Oh y Oh 2011; Adúriz-Bravo 2013; Mendoça y Justi 2014.
4.-Concepciones de los profesores acerca de los modelos científicos: la perspectiva ontológica.	Danusso, Testa y Vicentini 2010; Gutierrez y Whitelock 2012, 2013.
5.-Métodos para investigar las concepciones de los profesores sobre modelos	
6.-Propuestas y realización de formación de profesores desde una perspectiva ontológica	Gutierrez y Whitelock 2012, 2013;
7-Propuestas curriculares basadas en modelos	Halloun 2011, Svoboda y Passmore 2013,
8.-Diseño de secuencias de aprendizaje basadas en modelos (modelización)	Wu 2010; Dorneles y otros 2010; Aliberas 2012, Aliberas y otros(a) 2013, Bamberger y otros 2013, Dauer y otros 2013, López-Mota y Rodríguez-Pineda 2013, Wu, H-K., Wu, P-H., Zhang y Hsu 2013, Reinfried y Tempelmann 2014, Gómez 2011.
9.-Secuencias para el Descubrimiento basadas en modelos	Buckley y otros 2010, Campbell y otros 2012
10.-Modelización y cambio conceptual	Reinfried y Tempelmann 2014, Gadgil y otros, 2012.
11.-Aprendizaje/construcción de modelos basado en conversaciones didácticas	Louca, L. T., Zacharia, Z. C. & Constantinou, C. P. (2011).; Aliberas 2012; Sherin y otros 2012; Aliberas y otros(b) 2013
12.-Epistemología y modelos (propuestas para entornos didácticos)	Collins 2011; Adúriz Bravo 2013; Izquierdo 2013.
13.-Los modelos espontáneos como base para la construcción de modelos científicos (aproximación teórica y didáctica)	Besson 2010; Cheng y Brown 2010; Gutierrez y Pinto 2010; Lesh y Fennewald 2010; Wu 2010; Halloun 2011; Glass 2013;
14.-Aproximación ontológica al concepto de modelo (propuestas y aplicaciones en entornos didácticos)	Chen 2011; Jonker y otros 2011; Giere 2010
15.-Relaciones entre el conocimiento de modelos y el conocimiento de la naturaleza de las ciencias (entornos didácticos)	Akerson y otros 2011; Collins 2011, Gobert y otros 2011; Henze y Van Driel 2011; White y otros 2011; Chamizo 2013.
a.-Evaluación de alumnos basada en modelos,	Nelson y Davis 2012
b.-Evaluación de las epistemologías de los alumnos basada en modelos:	Lee and Kim 2014.
c.-Transferencia de aprendizaje basada en modelos	Bamberger y Davis 2013
d.-Análisis de discursos argumentativos basado en modelos	McNeill and Pimentel 2010; Passmore y Svoboda 2012; Mendoça y Justi 2013, 2014
e.-Evaluación de instrumentos de análisis de discursos argumentativos basado en modelos	Böttcher y Meisert 2011; Grünkorn y otros 2014; Mendoça y Justi 2013, 2014
f.-Relaciones entre modelos y lenguaje	Espinet y otros 2012

Cae fuera de nuestras posibilidades el intentar dar cuenta del estado de la cuestión de estas últimas temáticas. Pero pensamos que las tareas que tiene que llevar a cabo el profesor requieren tener muy claras las respuestas *integradas* a ambas preguntas. Por esta razón las mantendremos en las Tablas.

A este respecto, advertimos que los agrupamientos hechos en los apartados 7 al 15 reflejan los conocimientos que consideramos más importantes para el profesor, apoyados en nuestra experiencia de formación de profesores y en nuestro quehacer teórico sobre estos temas. Una vez más, repetimos que no pretendemos agotar la temática.

También se observará que en esta parte de las Tablas hay, a su vez, dos apartados: los señalados con los números 7 al 11 son *los que atañen directamente al quehacer del profesor*; y los señalados con los números 12 a 15 son los que atañen a *la información que necesita el profesor para realizar tareas que le son encomendadas*. Serían *la fundamentación* que diera cuenta del por qué de las decisiones tomadas para llevar a cabo las tareas señaladas en los grupos 7 al 11. Esta es la razón por la que en las Tablas también se destacan líneas delimitatorias de estos agrupamientos.

6) En la Tabla 3 hay otros agrupamientos, señalados con las letras de la “a” a la “f”. Son temas que comienzan a aparecer en las investigaciones que hemos revisado, en los últimos cinco años. Emergen con fuerza, y seguramente estarán muy presentes en el futuro. Las temáticas en sí no son nuevas. A nuestro entender, lo novedoso es que se traten en la Didáctica de la Ciencias con la perspectiva de los modelos y la modelización. Pedimos excusas a los especialistas en estos temas, pero no nos resulta posible, dada la naturaleza de este trabajo, extendernos más en aportar referencias sobre los mismos.

## RESULTADOS

Los autores citados en los dos primeros agrupamientos, como se puede inducir por los nombres de estos apartados, son los que se valen de determinados instrumentos para obtener la información deseada sobre el concepto de modelo científico que tienen los profesores, como cuestionarios, entrevistas, observación del modo de hacer en las aulas, o el examen del diseño de secuencias de aprendizaje en las que los profesores, han intentado plasmar sus perspectivas de los modelos científicos (apartado 1); o los que dan cuenta de lo que saben los profesores, de acuerdo con los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo con grupos de éstos, con la intencionalidad de

introducir el concepto de “modelo científico” mediante intervenciones diseñadas a este propósito (apartado 2); en el apartado 3 se recoge información acerca de las *características*, fundamentalmente epistemológicas, que los autores asignan a los modelos científicos, así como las *tipologías de modelos* que describen, utilizando distintos criterios; en apartado 4 se recogen propuestas intencionalmente alternativas, desde un punto de vista conceptual, a las que aparecen en los agrupamientos 1 y 2. Haremos uso de la información recogida en los apartados 3 y 4 en el momento oportuno.

En lo que sigue, nos ocuparemos sólo de los datos que surgen al analizar los documentos que aparecen en los apartados 1 y 2.

Podríamos hacer una síntesis de los detalles que aporta cada investigación, realizada con una u otra metodología, sobre qué conocen los profesores acerca de modelos científicos. Pero esto no nos parece viable en el espacio de que disponemos. Optaremos por el camino que vamos a llamar *de consenso*: daremos cuenta de los resultados de aquellas investigaciones que más citan los autores cuando hablan de este tema. Por ejemplo: Oh y Oh (2011), como señalamos al principio, se refieren expresamente a varios autores (Unger y otros 1991; Justí y Gilbert 2002a, 2002b, 2003; Smit y Finegold 1995; Van Der Valk y otros 2007; van Driel y Verloop 1999, 2002; Windschitl y Thompson 2006) como inspiradores de los cinco temas que van a ser los ejes desde los que hacen su revisión. Pensamos estos autores son realmente representativos. Entre ellos se encuentran, efectivamente, algunos de los más citados en la literatura, al referirse a *qué saben* los profesores de ciencias sobre modelos y modelización. Algunos de los artículos son antiguos, pero siguen citándose hoy día. Lo cual confirma la credibilidad que se le sigue dando a los resultados que obtuvieron. Nosotros utilizaremos algunos de éstos, y añadiremos otros que también han tenido y siguen teniendo repercusión en las publicaciones recientes sobre el tema.

## Presentación de resultados

Para presentar los resultados de manera fácil de leer, utilizaremos tablas. En ellas, siempre que sea posible, explicaremos: *autor/autores; muestra utilizada; método de recogida de datos; resultados; recomendaciones*<sup>4</sup>

El primer artículo que presentamos es el de

<sup>4</sup> En este apartado recogemos lo que los autores estiman que debería hacerse, a fin de mejorar la preparación de los profesores

Grosslight, I., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in Science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (8), 799-822.

Este es uno de los artículos que, aunque lejos en el tiempo, es uno de los más citados, y sigue siéndolo en la actualidad (ej. Taber 2008; Schwarz y otros 2009; Campbel y otros 2012; Chamizo 2013...). De hecho, ha dado la pauta sobre la que otros autores, también entre los más citados, han planteado sus investigaciones. De manera que merece la pena pararse un poco en presentar este artículo, antes de dar sus resultados.

A Grosslight et al (1991) le interesa la concepción de “modelo” que tienen los estudiantes para ver *qué tipo de epistemología* es la que sostiene esa concepción (p 801). Utiliza a los expertos-profesores en Ciencias, para poder comparar las concepciones del experto con las del novato. Para ello utiliza entrevistas clínicas, estructuradas en torno a las siguientes cuestiones:

1. “¿Qué es lo que te viene a la cabeza cuando oyes la palabra “modelo”?”
2. ¿Existen diferentes clases de modelos?
3. ¿Para qué sirven los modelos?
4. ¿Puedes utilizar modelos en ciencias?
5. ¿Qué es lo que tienes que tener en cuenta para construir un modelo?
6. ¿Crees que los científicos pueden tener alguna vez más de un modelo para la misma cosa?
7. ¿Pueden los científicos cambiar sus modelos?

-Se pueden poner a prueba las respuestas de los estudiantes, preguntándoles algunas cuestiones, como: *¿puedes poner un ejemplo de esto? o ¿cómo podría pasar esto?*” (p 803)

Un resumen de los resultados de la investigación de Grosslight y otros (1991) se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4

AUTORES	MUESTRA	MÉTODO
Grosslight, Unger, Jay y Smith 1991	-33 Alumnos de 14 años y 22 de 18. -4 Profesores expertos en Ciencias	-Entrevista Clínica
RESULTADOS		
A partir de los datos, establece tres <b>niveles epistemológicos</b> , en los que agrupa a los sujetos de la muestra: - <b>Nivel I:</b> Los modelos son copia de la realidad [Propio de los alumnos de 14 años] - <b>Nivel II:</b> Los modelos tienen un propósito; de manera que el que modeliza interviene en la elección de los elementos del modelo que sirven a su propósito. A pesar de lo cual, la realidad física (modelos físicamente manipulables), y no las ideas del que modeliza, es el principal foco del modelo [propio de los alumnos de 18 años] - <b>Nivel III:</b> El modelo se construye para representar ideas, más que ser una copia de la realidad (modelos abstractos); el que modeliza tiene un papel activo en la construcción del modelo; los modelos pueden ser manipulados y evaluados. Los modelos se construyen para entender, explicar y predecir los fenómenos [Propio de los expertos-profesores en ciencias].		
RECOMENDACIONES		
No hay recomendaciones referidas a los profesores, ya que éstos, según los datos, están en el Nivel adecuado		

Como dijimos antes, otros autores toman como referencia los “Niveles” de Grosslight y otros (1991) para dar cuenta de los resultados de su investigación. Así, Harrison 2001 (Tabla 5)

Tabla 5

AUTORES	MUESTRA	MÉTODO
Harrison 2001	-10 profesores de Ciencias de Secundaria con una media de 10 años de experiencia	-Entrevistas -Análisis de libros de texto
RESULTADOS		
<p>-2 prof. en el Nivel I/II; 3 prof. en el Nivel II; 2 prof. en el nivel II/III; 3 prof. en el Nivel III</p> <p>-Hay profesores que no se dieron cuenta de que utilizaban modelos hasta que realizaron la entrevista</p> <p>-8 profesores expresaron como principales funciones de los modelos científicos la de facilitar la enseñanza/aprendizaje de las ciencias (entre ellos, los 3 encuadrados en el Nivel III)</p>		
RECOMENDACIONES		
<p>-Los profesores necesitan ser introducidos expresamente en el concepto de modelo científico y de modelización</p> <p>-Los profesores situados por debajo del Nivel III no están preparados para enseñar ciencias adecuadamente.</p>		

Sin embargo, otros autores no encuentran fácil encajar los resultados de su investigación en los “niveles” de Grosslight y otros (1991). Es el caso de Van Driel y Verloop 1999 (Tabla 6)

Tabla 6

AUTORES	MUESTRA - MÉTODO
Van Driel y Verloop 1999	- 15 profesores de Ciencias de Secundaria: Cuestionario abierto, basado en Grosslight <i>et al.</i> 1991 (7 items). Tratamiento cualitativo -71 profesores de Ciencias de Secundaria - Escala de Likert (32 items). Tratamiento estadístico.
RESULTADOS	
<p><b>-Del análisis del cuestionario:</b> Los profesores coinciden en que <i>un modelo es una representación esquemática o simplificada de la realidad</i>. Pero cuando se especifica con modelos científicos, presentan una gran confusión acerca de los modos de representación adecuados; En cuanto a las <i>funciones del modelo científico</i>, apenas mencionan la predictiva, subrayando, en cambio, las funciones descriptivas y explicativas. Algunos profesores mencionan la función “ejemplar” del modelo. Los profesores mostraron diferentes posturas epistemológicas (constructivistas, positivistas), pero con falta de coherencia.</p> <p><b>Del análisis de la escala de Likert:</b> Tres “escalas” para agrupar a los profesores: 1) positivistas: (los modelos, copias de la realidad); 2) Apariencia física de los modelos (dibujos, escalas, fotografías); 3) Constructivistas: los modelos son construcciones humanas en contextos sociales</p> <p>-No se encuentra relación entre los años de experiencia docente y estas escalas</p> <p>-No hay coherencia entre los profesores encuadrados en las distintas escalas (por ejemplo, un profesor explicita que un modelo es copia de la realidad, pero que se construye en un contexto social)</p> <p>Debido a la falta de coherencia en las concepciones de los profesores, no se puede utilizar los “Niveles” de Grosslight et al (1991) para dar cuenta de los resultados.</p>	
RECOMENDACIONES	
<p>-Suministrar a los profesores literatura sobre el tema; diseñar de cursos para fomentar el pensamiento crítico acerca de los modelos, a fin de que caigan en la cuenta de sus inconsistencias. Es necesario introducir cursos de epistemología en la formación de profesores.</p>	

Justi y Gilbert se encuentran también entre los autores más citados en relación a las concepciones de modelo científico que tienen los profesores. Las más interesantes, desde nuestro punto de vista, se refieren a las que dan cuenta de un estudio realizado con una muestra de profesores brasileños de distintos niveles de enseñanza y

de diferentes preparaciones académicas. Entre los artículos que publican dando cuenta de los resultados de esta investigación, hemos elegimos para analizar el que nos parece más completo: Justi y Gilbert 2003. Presentamos la síntesis de este trabajo en la Tabla 7.

Tabla 7

AUTORES	MUESTRA	MÉTODO
Justi y Gilbert 2003	-10 prof de Primaria; - 10 prof de Secundaria (Lic en Quim, Biol y Fís); 10 est. Univ. que se preparan para ser prof de Ciencias en Secundaria; 9 prof de Química de la universidad	-Entrevista semiestructurada, con ítems que amplían los de Grosslight <i>et al.</i> 1991. Análisis con NUDIST (cualitativo y posterior tratamiento estadístico)
<b>ALGUNOS RESULTADOS GLOBALES</b>		
-Consideran que el modelo es; -un modo de explicar a otros sus ideas, 82 %; -la reproducción o copia de algo 58%; -un ejemplo a seguir 60%. Sólo 38% se refiere a cómo se evalúa un modelo; y de éstos, la mayoría piensa que “ <i>el que evalúa es quien lo construye</i> ” (ninguna relación a la comunidad científica).		
<b>RESULTADOS POR GRUPOS, SEGÚN EL BACKGROUND ACADÉMICO</b>		
<p>-<i>Profesores de Primaria</i>: “los modelos son principalmente reproducción de objetos” (100%); “Los modelos se utilizan como ejemplos a seguir” (75%) (Cfr. p 1380); tienen función predictiva (50%)</p> <p>-<i>Biólogos</i>: “Un modelo es la reproducción de o copia de algo”, 75%; “es un ejemplo a seguir” y “sólo un modelo es posible”, 50%; tienen función predictiva 70% (p 1380-81)</p> <p>-<i>Físicos o Químicos</i>: “un modelo es una imagen mental” más del 75%; “un determinado modelo es sólo uno de los posibles” más del 50%; “la predicción es una de las funciones del modelo”, más del 86% (p 1381).</p> <p>-<b>En relación a los Niveles</b> de Grosslight et al 1991: No es posible establecer perfiles para los profesores. Quizás puedan distinguirse los que estarían en el Nivel I; pero son imposibles de identificar los que estarían en los niveles II y III. Esto puede significar falta de coherencia epistemológica y ontológica (p 1382).</p>		
<b>RECOMENDACIONES</b>		
-Los profesores deben ser formados en todos los aspectos relativos a la noción de modelo. Para ello necesitan: 1) Instrucción directa acerca de lo que es un modelo; 2) Instrucción indirecta, por ejemplo, llevando a cabo alguna investigación científica auténtica; 3) Darles la oportunidad de que reflexionen críticamente sobre los dos aspectos mencionados anteriormente.		

Aunque no citados por Oh & Oh (2011), la investigación de Cullin y Crawford (2003) y Crawford y Cullin (2004), ha sido profusamente citada por los autores interesados en nuestro tema, tanto inmediatamente después de sus publicaciones como en la actualidad (por ejemplo, Gobert y otros 2011; Justi y otros 2011; Nelson y Davis 2012; Waight y otros 2014). Por esta razón y porque se trata no sólo de una investigación, sino de una *intervención* para inten-

tar mejorar el concepto de modelo que tenían los sujetos de su muestra, presentamos en la Tabla 8 un resumen de sus resultados.

Tabla 8

AUTORES	MUESTRA	MÉTODO
Cullin & Crawford 2003; Crawford & Cullin 2004	-14 Lic. en ciencias que se preparan para ser profesores de Secundaria en el contexto de un curso avanzado en la universidad. Duración: un trimestre	--Cuestionario abierto, basado en Grosslight et al 1991, antes y después del tratamiento. -Tabajo de modelización con "Model it" <sup>1</sup> . 9 horas -Entrevistas a 6 profesores voluntarios -Respuestas escritas a preguntas sobre sus impresiones acerca de la modelización
RESULTADOS		
<p>-Pre-test: 13 profesores en el Nivel II; 1 profesor en el Nivel I/II (p 1392). Caracterizan el modelo, fundamentalmente, como "ayuda para explicar a los alumnos" ("models as pedagogical tools")</p> <p>-Después de utilizar "Model it": los sujetos utilizan un vocabulario más científico para referirse a los modelos (importancia de variables y relaciones entre ellas), y añaden la posibilidad de que el construye un modelo lo haga para <i>entender</i> el fenómeno que modeliza. Pero siguen creyendo que sólo hay <i>un modelo correcto</i> para cada fenómeno. (p 1395)</p> <p>-Pos-test: analizando las respuestas de cada profesor en su conjunto, se constataron avances, pero ninguno pasó completamente del Nivel II al Nivel III. Particularmente, ninguno señaló que los científicos usan los modelos para evaluar <i>ideas</i>. (p 1393). Expresan su intención de <i>enseñar</i> utilizando modelos, pero rehúsan la posibilidad de enseñar a sus alumnos <i>qué es</i> un modelo. (p 1399).</p>		
RECOMENDACIONES		
<p>-Es posible mejorar el concepto de modelo en un periodo relativamente corto de tiempo ("Model it")</p> <p>-El tratamiento con experiencias auténticas de modelización puede mejorar el concepto de modelo científico que tienen los profesores</p> <p>-Los Niveles de Grosslight et al (1991) no son suficientemente "finos" como para dar cuenta de los cambios que experimentaron los profesores. Hace falta más investigación sobre ello.</p> <p>-Los profesores necesitan ser ayudados a desarrollar una filosofía (sic) que les haga comprender que el aprendizaje, por parte de los alumnos, de <i>qué es</i> un modelo científico, es importante.</p>		

<sup>1</sup> Programa informático preparado especialmente para ayudar a los usuarios en la construcción de modelos. Utiliza tres componentes básicos: objetos, variables y relaciones entre variables. Los sujetos pueden elegir entre estos componentes para construir modelos (modelizar)

Introducimos aquí los resultados de otro estudio, llevado a cabo por Henze y Van Driel (2011), con intención de ver otra metodología para analizar las concepciones de los profesores acerca de "modelo" y modelización", y por

ser más cercana a la actualidad en este tema. Aunque, como veremos en la síntesis presentada en la Tabla 9, los resultados no difieren mucho de los expuestos en los estudios anteriores

Tabla 9

AUTORES	MUESTRA	MÉTODO
Henze and Van Driel 2011	-9 profesores de Secundaria: 3 Físicos, 3 Químicos, 3 Biólogos. Experiencia docente: entre 8 y 26 años. <i>Contexto:</i> antes de la investigación, estuvieron en un curso de un año preparándose para la asignatura “ <i>Comprensión pública de las ciencias</i> ”, que incluye el tema de modelos y modelización. Docencia con alumnos de 16 años	-Observación de profesores en el aula durante un año. - <i>Repertory Grid Instrument</i> (Kelly 1955) <sup>2</sup> , pasados en 2002 y 2004 -Entrevistas semiestructuradas, en 2002, 2003, 2004.

### ALGUNOS RESULTADOS GLOBALES

-*Repertory grid Instrument* (2002): Tres tipos de profesores: *Tipo 1)* El aprendizaje de los contenidos se conecta con discusiones acerca de las similitudes y diferencias entre los modelos y los fenómenos y sobre las características de los modelos científicos en general -**2 prof.** *Tipo 2)* La observación de los fenómenos por parte de los estudiantes se combina con la producción y discusión de modelos a escala y el manejo de los mismos, para facilitar la comprensión de los contenidos-**3 prof.** *Tipo 3)* La producción de modelos a escala por parte de los estudiantes se combina con el aprendizaje de los contenidos- **4 prof.** *Comparación con los resultados de 2004:* No se registran cambios significativos (p 251-252)

-*Entrevista 2002:* Dos tipos de profesores: Tipo I) Fundamentalmente preocupado por la transmisión de modelos acerca del contenido -**5 prof.** Tipo II) Adquisición del conocimiento basado en la construcción de modelos; debate sobre la naturaleza de los modelos en general -**5 prof.** *Comparando con los resultados de 2003 y 2004:* Profesores Tipo I: desarrollaron más estrategias de enseñanza, basados fundamentalmente en los resultados de la evaluación de los estudiantes. Profesores Tipo II: desarrollaron más estrategias de enseñanza, basados en la evaluación de los estudiantes y en la comprensión de los contenidos que éstos adquirirían. En general, no hubo cambios muy significativos.

-*Combinando ambos resultados:* Dos diferentes tipos de profesores: Tipo A: Las tareas de enseñanza/aprendizaje, focalizadas en transmitir contenidos. Este contenido se dirige a ayudar a los estudiantes a entender los modelos relativos al contenido -**5 prof.** Tipo B: las tareas de enseñanza/aprendizaje focalizadas a que los estudiantes produzcan modelos a escala y también a la creación y revisión de modelos sencillos, basados en sus propias observaciones, para facilitar la comprensión del contenido y naturaleza de modelos específicos -**4 prof.** (p 255-257)

-*Posible causa de las diferencias:* los años de docencia y experiencia de haber enseñado a alumnos de más edad.

### RECOMENDACIONES

-Diseñar cursos de formación de profesores en los que se impartan historia y filosofía de las ciencias y se promuevan sus habilidades para producir y revisar modelos. Diversificar los niveles en los que enseñan los profesores, para ampliar su experiencia docente

<sup>2</sup> Instrumento diseñado para el estudio en profundidad los constructos personales. En este caso, de los profesores y, particularmente, de sus conceptos acerca de modelos y modelización en la enseñanza.

Con esta muestra de análisis más detallados de los resultados de las investigaciones de autores que consideramos representativos, hemos intentado recabar datos para contestar a la pregunta que guiaba nuestra revisión:

**-¿Qué es lo que los profesores realmente saben acerca de los modelos científicos?**

No vamos a contestarla haciendo otra síntesis, parecida a la de Oh & Oh (2011). Los lectores pueden sacar sus propias conclusiones. Nuestra percepción, junta con la de otros autores, es la de que, con independencia de las fechas en que se ha hecho la investigación y de las metodologías utilizadas, los datos apuntan a que el conoci-

miento del concepto de modelo científico sigue siendo, para más profesores de los que sería de desear: confuso (Van Driel y Verloop 1999), incoherente (Justi y Gilbert 2003), inadecuado (Justi y Van Driel 2005); incompleto (Nelson y Davis 2012); reflejando en muchas ocasiones una perspectiva positivista (Pro 2003; Taylor y Coll 2002) y experimentando las mismas dificultades de comprensión que las que manifiestan los alumnos (Justi y Gilbert 2005; Zhang, Liu y Krajcik 2006)

Estos resultados hacen que uno pueda cuestionarse: ¿Es realmente tan difícil el concepto de modelo científico? Nos cuesta pensar que así sea. Debe haber algunos factores que expliquen, al menos plausiblemente, el estado de la

cuestión. Creemos que en literatura pueden localizarse algunos de ellos: nos referimos a “*las aguas turbulentas*” que existen en este campo. Para ello nos serviremos de los datos recogidos en el apartado 3 de nuestras Tablas 2 y 3: *Características y Tipología de modelos*.

-Casi todas las investigaciones que hemos examinado plantean una “definición” de “modelo científico” basada en *características epistemológicas*. Esto propicia que cada autor defina el concepto de manera diversa. Por ejemplo, Van Driel y Verloop (1999) describen 7 características; Smit (2002) señala 12 características; Gilber, Justi y Aksela (2003) describen en este artículo 11 características de los modelos; 5 funciones de los modelos; 5 niveles de comprensión de los modelos, y 3 niveles de capacidades para “visualizar” modelos. Todo esto, sin que se especifique qué es lo esencial y qué es accesorio en la definición de “modelo científico”. Los autores están de acuerdo en la confusión que esto puede crear. Así Lemmer (2006) escribe: “*Aunque los modelos científicos se mencionan y se usan continuamente en didáctica de la física, existe muy poca reflexión sobre qué son realmente estos modelos y en cómo se relacionan con la realidad*” (p 540). De igual manera, Grünkorn y otros (2014) afirman que la discrepancia encontrada entre los autores, hace muy difícil una lectura unificada del concepto. Estamos en “*aguas turbulentas*”. Indudablemente, esto puede explicar, al menos en parte, la confusión de los profesores.

-Otras *aguas turbulentas* pueden producirse cuando nos introducimos en las llamadas “*tipologías de modelos*”. Por ejemplo: Harrison y Treagust (2000) describen 8 tipos diferentes de modelos analógicos; Coll y Lajium (2011) describen 11 tipos de modelo, según sus finalidades; Gilbert, Boulter y Elmer (2000) presentan 8 tipos de modelos siguiendo *criterios ontológicos*, y Boulter y Buckley (2000) 10 tipologías de modelos según sus *modos de representación*; Mendoça y Justi (2014) describen 8 tipologías basadas en las funciones de los modelos; Chamizo (2013) recoge y describe hasta 18 tipos de modelos diferentes. Advertimos que muchas de estas tipologías *no son disjuntas*, y que la tipología “modelo científico” aparece descrita de muy distinta manera, según los autores. No es extraño que en publicaciones lejanas en el tiempo, haya autores que se expresen de manera similar en relación a este tema: Así, Treagust, Chittleborough y Mamiala (2001:2 electrónica) escriben “*Sin caer en la cuenta, clasificamos y agrupamos todo lo que encontramos utilizando nuestro personal criterio y perspectiva*”. Y Aduriz-Bravo (2013:1602) afirma: “*Muchos textos clásicos en didáctica de las ciencias comienzan con una definición aparentemente aceptable de lo que es un modelo científico y a continuación, rápidamente, empiezan a hacer clasificaciones*”. De

nuevo pensamos que nada de esto ayuda a aclarar las ideas del profesor.

Los autores mantienen, como dijimos al principio, que sin una adecuada comprensión de lo que es un modelo científico, difícilmente el profesor podría acometer la enseñanza de las ciencias de manera aceptable. Aportamos aquí, sobre las ya señaladas, la afirmación de Develaki (2007)

“Y sin embargo, adoptar la perspectiva de los modelos como fundamentación de una conceptualización de la didáctica de las ciencias presupone una clara comprensión de la noción de modelo y de modelización” (p 745)

¿Cómo proseguir, entonces? Schwarz y Gwekwerere (2007) comentan de

“*los esfuerzos de los profesores para incorporar modelos [en sus diseños de secuencias de aprendizaje] sin una clara comprensión de cuál es la naturaleza de éstos*” (p 170)

Pensamos que hay que buscar alternativas que ayuden a superar este estado de la cuestión.

## LA APROXIMACIÓN ONTOLÓGICA. ¿UN PUENTE SOBRE LAS AGUAS TURBULENTAS?

Todo lo expuesto hasta aquí, nos ha ayudado a desvelar lo que los profesores *saben* sobre modelos científicos. Quizás sea este el momento de emprender la búsqueda de algunas de las cosas que realmente *deben saber*.

En su extensa revisión sobre las distintas aproximaciones epistemológicas al concepto de modelo científico que se dan en la actualidad, Adúriz-Bravo (2013) concluye, en relación al uso de la “tipología de los modelos”:

“*Brevemente traigo aquí estas tipologías (...) porque, en mi opinión, su uso continuado en didáctica de las ciencias, requeriría un discusión anterior o simultánea de la cuestión ontológica acerca de qué es un modelo científico*” (p 1602. Énfasis nuestro)

En este requerimiento de perspectiva ontológica, es en el que llevamos trabajando varios años en el CRECIM<sup>5</sup>. El motivo que nos movió a ello fue el siguiente: 1) el hecho de la polisemia en la comprensión y en las definiciones de “modelo científico”, basados en criterios epistemológicos,

5 CRECIM: Centre per a l'Educació Científica i Matemàtica. Universidad Autónoma de Barcelona. España.

que aparecían en los distintos autores; 2) la multiplicidad de tipologías y clasificaciones de “modelos” encontrada en la literatura, sin claros criterios de demarcación entre cada una de ellas; 3) la dificultad de los profesores en tener una idea clara sobre qué es un modelo científico.

No es difícil aventurar que exista una *relación directa entre los tres hechos anteriores mencionados*: La única perspectiva que podía ayudar a evitar tales “exuberancias” y, por lo tanto, eliminar las confusiones generadas por las mismas, era llegar a dar con una definición completa, concisa y general de lo que es un modelo científico. Y, en nuestra opinión, esta cuestión sólo se resuelve *recurriendo a la ontología*.

Ontología significa etimológicamente “*ciencia del ser*”: Es la ciencia que se ocupa de *las cosas, de las entidades, del ser, en cuanto a sus atributos esenciales*; es decir, se ocupa sólo de lo que hace que una cosa sea lo que es y no otra.

En relación al término que nos ocupa, la definición de modelo científico desde la ontología nos aportaría:

-*Univocidad en la definición del término*, cualquiera que sea el universo epistemológico en el que se aplique y al área de conocimiento al que esté referido

-*Independencia del término en relación a otros constructos*, ya que si el “modelo científico” es una entidad ontológica posee existencia en sí mismo.

-*Economía*, ya que sólo formarían parte en su definición los atributos esenciales del concepto.

La definición ontológica constituiría una *instancia crítica* desde la que valorar las variadas definiciones de modelo científico y de las funciones atribuidas a los mismos, que se encuentran en los distintos autores. Quizás esta pueda ser una respuesta a la “*cuestión ontológica*” que planteaba Adúriz-Bravo en párrafos anteriores.

Además, otra de las ventajas que ofrecería una definición ontológica sería el que se eliminarían las multiplicidades de características que se encuentran en las definiciones de modelo científico, con el consiguiente *aligeramiento de la carga cognitiva* que esto supone, lo que proporcionaría *más facilidad para el aprendizaje del concepto por parte de los profesores*.

Hasta aquí bien. Pero existen distintas escuelas ontológicas. ¿Cuál sería la más conveniente para el caso de la didáctica de las ciencias? En nuestro caso, hemos optado por la ontología de Mario Bunge, por las siguientes razones:

-Su concepción semántica de las teorías científicas<sup>6</sup>

-Su posición “moderadamente realista” (Gilbert y otros 2000)<sup>7</sup>

-Ser, posiblemente, el autor que más extensamente se ha ocupado de este tema en la filosofía de la ciencia actual<sup>8</sup>.

Metodológicamente, Bunge distingue en sus obras entre *modelo objeto* y *modelo teórico* (lo que se llama comúnmente *modelo científico*), y plantea las siguientes definiciones:

-“*Un modelo objeto es una representación esquemática de un sistema real o conjeturado. Este esquema enumera las propiedades más importantes de un objeto de una especie determinada. Por ejemplo: Un pión neutro es una partícula de masa 135 MeV y vida media de 10<sup>-16</sup> sec, que decae ordinariamente en dos fotones gamma.*”

-“*Un modelo objeto junto con una serie de enunciados legales es un modelo teórico [modelo científico] de un sistema real o conjeturado. Por ejemplo: un modelo estocástico de aprendizaje*” (Bunge 1973b:59-60)<sup>9</sup>. (énfasis del autor)

Según la definición anterior, podemos afirmar que los **constituyentes ontológicos** de un modelo científico (con independencia del área de conocimiento al que nos refiramos) son los siguientes:

-Un *conjunto de entidades* (modelo objeto) con sus propiedades especificadas; y

-Un *conjunto de enunciados legales*, relativo a los comportamientos de las entidades consideradas en el modelo objeto.

6 Cfr. Suppe 1974/1977 (2ª ed.), p 223. Ver especialmente las pp 264 y ss y la 338.

Una aproximación sencilla al tema del “semanticismo” en la epistemología actual puede encontrarse en Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich 2009.

7 Esta postura epistemológica es la que, en opinión de autores cualificados, parece la más adecuada para la enseñanza de las ciencias. Cfr. Ogborn 1995, Izquierdo-Aymerich y Adúriz Bravo 2003.

8 De su obra más extensa (Bunge, M., (1974-1989). *Treatise on Basic Philosophy*. Reidel Publishing. Dordrecht, The Netherland. Volumes: 1-2, *Semantics*; 3-4, *Ontology*; 5-7, *Epistemology and Methodology* (vol 7 has 2 parts); 8, *Ethics: the good and the right*), Bunge dedica dos tomos al tema ontológico.

9 Hemos respetado los ejemplos puestos por el mismo Bunge.

Las *funciones esenciales* de un modelo científico son, de acuerdo con Bunge, *la explicación* y *la predicción*, propias de un sistema hipotético-deductivo. En esto están de acuerdo la práctica totalidad de las escuelas epistemológicas<sup>10</sup>.

En relación a lo visto hasta ahora, hay que advertir acerca de dos aspectos:

-La función “explicativa” del modelo *se refiere a la explicación del fenómeno* que el científico está buscando y que se plasma en la estructura y funcionamiento del modelo.

-Los “enunciados legales” pueden estar formulados de forma tanto cuantitativa como cualitativa. Lo importante en ellos es su capacidad de dar cuenta del comportamiento del sistema y de predecir comportamientos futuros.

Además de las funciones de *explicar* y *predecir*, Bunge añade otra función importante de los modelos científicos: *Evaluar las teorías genéricas*, ya que estas no son directamente contrastables, sino cuando se aplican a sistemas particulares. Así, por ejemplo, la teoría cinética de gases es *un modelo teórico [científico]*, mientras una *teoría general* es la mecánica estadística general. La primera se puede enfrentar “vis a vis” con un gas, mientras esto no es posible para la mecánica estadística general (Bunge 1973a:97). De esta manera, el modelo científico *conecta* la teoría general con los *fenómenos del mundo físico*, que son los que modelizan los modelos que construye la ciencia (Díaz 2005).

Pero esta función no puede ser generalizable *a todos* los modelos científicos, por lo tanto no pertenece a la categoría de *esenciales*. Por ejemplo, el modelo geológico de la Tectónica de Placas no se conecta con una teoría general de referencia (Cfr. Giere 2010:278-279). Y este es también el caso de otros modelos científicos cualitativos que se manejan en ciencias para explicar y predecir, pero que todavía carecen de teorías generales que les sirvan de referente.

En definitiva, de lo dicho anteriormente se deduce la siguiente definición:

-Un modelo científico es una representación de un sistema real o conjeturado, consistente en un conjunto

de entidades con sus principales propiedades explicitadas, y un conjunto de enunciados legales que determinan el comportamiento de esas entidades.

Y las siguientes funciones esenciales:

-Las funciones esenciales de un modelo son la explicación y la predicción<sup>11</sup>

En la definición anterior, puede observarse

-La independencia respecto a las concepciones epistemológicas (“sistema *real* o *conjeturado*”)

-La independencia de la definición respecto de otros constructos (por ejemplo, de posibles teorías, en cuya área referencial podría, eventualmente, desarrollarse el modelo).

La definición de Bunge ha sido y está siendo utilizada, si no con sus mismas palabras, pero sí con idéntico contenido, por bastantes autores, como, por ejemplo, Gilber et al (2000); Danusso Testa, Sassi y Vicentini (2006); Develaki, M, 2007; Halloun (2007); Danusso Testa y Vicentini (2010), que citan a Bunge explícitamente; y otros como Giere (1999c:41), Cartier, Rudolph y Stewart (2001); Lesh y Doerr (2003); Lesh y Harel (2003); Nola 2004; Márquez, Izquierdo y Espinet 2006; Schwarz y otros (2009), etc.

Pensamos que la definición ontológica del concepto de modelo científico forma parte *de lo que los profesores necesitan saber*, como instancia crítica para valorar otras definiciones.

## POSIBLES VENTAJAS PRÁCTICAS DE LA APROXIMACIÓN ONTOLÓGICA

Además de las ventajas teóricas de la aproximación ontológica de la definición de modelo científico (economía de términos, univocidad, independencia, instancia crítica para evaluar otras definiciones), pensamos que podría tener otras en relación a: 1) averiguar el concepto de modelo científico que tienen los profesores; y 2) en el diseño de intervenciones en cursos de formación de profesores, destinados expresamente a introducir este concepto. En lo que sigue, nos ocuparemos sólo del primer punto

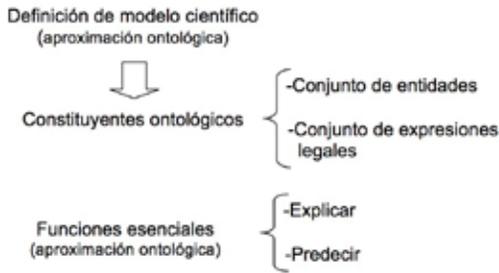
10 Además de estas funciones, algunos autores añaden la función “describir”. Esto sería caer en una redundancia, ya que el “modelo objeto” contiene las *entidades* y sus *propiedades* explicitadas (descritas).

11 Giere (2010) advierte que “es importante insistir desde el primer momento en la distinción entre la ontología de los modelos y las funciones de los modelos” (p 278).

1. Para averiguar el primer supuesto, a) habría que diseñar un instrumento para evaluar las concepciones de los profesores, utilizando la perspectiva ontológica; b) éste instrumento debería ser validado y cumplimentado por los profesores; y c) por último, deberíamos comprobar las posibles ventajas que aportaría el utilizarlo, comparando sus resultados con los ofrecidos por otros instrumentos.

### **Diseño de un instrumento para averiguar las concepciones de los profesores acerca de modelo científico, desde una perspectiva ontológica**

Para el diseño del instrumento analizamos la definición ontológica de modelo ofrecida por Bunge, y las funciones esenciales de los mismos. A partir de este análisis construimos una “red sistémica estratégica”, en el sentido técnico del término (Cfr. Bliss, Monk y Ogborn, 1983). El resultado aparece representado en la Figura 1.



**Figura 1:** Elementos constituyentes y funciones de un modelo científico (aproximación ontológica)

A partir de esta red sistémica, construimos un cuestionario consistente en una Introducción, donde se presentaba el instrumento y el objetivo del mismo, y tres cuestiones de respuestas abiertas; cada cuestión, a su vez, tenía una breve introducción. Todas las preguntas eran *directas*. En la primera cuestión (Q1) se pedía que dieran una *definición* de modelo científico; en la segunda (Q2), cuáles eran los *principales constituyentes* de un modelo científico; y en la tercera (Q3) se preguntaba por las *principales funciones* de un modelo científico. La población de referencia a la que dirigía el cuestionario era el profesor de cualquier área y nivel; y alumnos de bachillerato o superior de cualquier área. Se esperaba que las respuestas a Q1, Q2 y Q3, se refirieran al ámbito ontológico de “*modelo científico*”, única categoría de análisis *prevista*. Las respuestas fueron analizadas cualitativamente. Al final del cuestionario, pedía-

mos a los profesores que nos dieran su opinión respecto de las preguntas formuladas, en redacción libre.

Puede advertirse que las cuestiones Q1, Q2 y Q3 son, de alguna manera, redundantes. Es evidente que si se contesta bien a la primera cuestión, lo normal es que quede contestada la segunda cuestión, o incluso la tercera. A pesar de esto, mantuvimos las tres cuestiones, ya que el análisis de las tres respuestas nos permitiría validar también el *grado de coherencia* entre las mismas.

### **Validación del cuestionario**

El cuestionario fue *validado por una serie de expertos* de distintas áreas de Ciencias (Químicos, Físicos, Biólogos) y de otras especialidades (Historiadores, Lingüistas, Geógrafos). Con sus sugerencias, redactamos de nuevo las cuestiones y lo pasamos a un grupo de 20 profesores para su *validación psicológica* (comprensión de las preguntas tal como estaban formuladas, después de la validación por los expertos). En este caso, también controlamos el *tiempo medio* necesario para cumplimentar el cuestionario completo (Estudio Piloto I). Teniendo en cuenta los resultados, volvimos a modificar la redacción del cuestionario y lo volvimos a someter al juicio de los expertos. Con las sugerencias recibidas, corregimos la redacción de nuevo y lo pasamos a un grupo de 21 profesores de diferentes áreas y niveles (Economía, Filosofía, Matemáticas, Lengua, Biología, Informática, Derecho, Ciencias Medioambientales, Tecnología y Profesores de Primaria,) y variada experiencia docente (entre 0 y 15 años; media 2.8 años). El tiempo para contestar el cuestionario fue de 15 minutos. El contexto de toma de datos fue un curso de formación sobre Psicología del Aprendizaje. Llamaremos a este grupo **G1**. Todos los profesores pertenecientes al Grupo G1 afirmaron que las preguntas estaban claramente formuladas, excepto 1, que afirmó no entender la pregunta Q3. Esto suponía la “*validación psicológica*” del cuestionario (Cfr. detalles en Gutierrez y Pinto 2005a)

### **Resultados del Grupo G1**

Al analizar las respuestas al cuestionario, encontramos que, además de contestaciones pertenecientes al *ámbito ontológico específico de los modelos científicos* (respuestas esperadas), aparecen otros datos que nos obligan a introducir nuevas categorías, pertenecientes a otros ámbitos ontológicos específicos, como “*método científico*”, “*teorías científicas*”, “*procedimientos*”, *ejemplo a seguir*”, y algunas que resultan *imposibles de clasificar*. En la Tabla 10 presentamos un resumen del análisis realizado.

Tabla 10

Resumen de las respuestas del Grupo I a las cuestiones 1 (Q1), 2 (Q2), y 3 (Q3), ordenadas por orden de frecuencias								
Ámbito ontológico en el que sitúan las respuestas	Teoría científica	Modelo científico	Procedimiento para ejecutar acciones	Método de enseñanza	Ejemplo a seguir	Método científico	Imposible clasificar	Coherencia
Grupo G1 N=21	10 prof 47.61% 17Qc	6 prof 28.57% 12Q, 1Qc	6 prof 28.57% 5Q, 6Qc	4 prof 19.04% 4Q, 4Qc	3 prof 14.28% 4Q, 1Qc	2 prof 9.52% 1Q, 2Qc	5 pro (23.8%) 5 res- puesta 1 no con- test.	9 prof 42.85%

**Leyenda:** Q significa respuesta adecuada respecto al ámbito ontológico considerado; Qc significa respuesta confusa dentro del ámbito ontológico considerado; **Coherencia:** significa que las tres respuestas aportadas por el profesor están dentro del mismo ámbito ontológico Téngase en cuenta que cada profesor da tres respuestas, y que éstas pueden no estar en el mismo ámbito ontológico

Como puede observarse, en el *ámbito ontológico científico*, aparecen las categorías específicas: “teoría científica”, “modelo científico” y “método científico”. La confusión “modelo científico” con “teoría científica” alcanza más del 47% de la muestra, y casi el 10% también presenta problemas para distinguir entre “modelo científico” y “método científico”. Sólo poco más del 28% contestan en el ámbito específico de los *modelos científicos*. Como se ve por la notación utilizada, en este ámbito se producen 12 respuestas correctas (Q) y sólo 1 confusa o incompleta (Qc). (Cfr. detalle de los datos en Gutierrez y Pinto 2005a)

Las otras categorías pertenecen a ámbitos ontológicos ajenos al campo científico:

-Procedimientos llevar a cabo tareas: ámbito tecnológico (28.57%)

-Método de enseñanza: ámbito didáctico (19.04%)

-Ejemplo a seguir: ámbito ético o estético (14.28%).

Coherencia: Los profesores se muestran coherentes en sus respuestas (contestación a las tres preguntas dentro del mismo ámbito ontológico específico) sólo en el 42.85% de los casos.

## Valoración de los resultados de G1, comparados con los de otras investigaciones

-La *metodología* utilizada con G1 (aproximación *ontológica*, preguntas directas sobre modelos científicos), ha resultado ser eficaz para detectar los problemas de conceptualización que sufren los profesores en torno al concepto de “modelo científico”.

-Los *resultados* encontrados en este grupo son similares a los encontrados en otras investigaciones realizadas con una *perspectiva epistemológica* y con otras aproximaciones no directas al concepto de modelo científico.

Por ejemplo:

>La categoría “*ejemplo a seguir*”, aparece en investigaciones como las de Van Driel y Verloop (1999); Justi y Gilbert (2003) -alcanzando en este caso el 60% de la muestra global; Schwarz y Gwekwerere (2007).

>La categoría “*método de enseñanza*” aparece en Harrison (2001). No hay datos numéricos, pero parece poco frecuente.

>La confusión entre “*modelo científico*” y “*teoría científica*” aparece en Taylor y Coll (2002). No hay datos numéricos, pero parece poco frecuente.

>La confusión entre “*modelo científico*” y “*método científico*” aparece en Windschitl y Thompson (2006). No hay datos numéricos, pero parece poco frecuente.

>La *falta de coherencia* en las respuestas de los profesores se señala en Van Driel y Verloop (1999); Cullin y Crawford (2003); Crawford y Cullin (2004); Justi y Gilbert (2003), etc., con frecuencias similares a las que aparecen en nuestra muestra.

>No aparecen, sin embargo, el concepto de modelo científico como “*copia de la realidad*” (*ámbito epistemológico positivista*), que en Justi y Gilbert (2003) alcanza al 58% de la muestra global; también mencionada en las investigaciones de Van Driel y Verloop (1999), Harrison (2001), Schwarz y Gwekwerere (2007), aunque no ofrecen datos numéricos.

>Tampoco aparece la categoría “*ayuda para explicar a otros*” (*ámbito ontológico de la didáctica*), que en Van Driel y Verloop (1999) alcanza al 90% de la muestra; en Justi y Gilbert (2003) el 82% de la muestra; en Henze and Van Driel (2011), el 55.5% de la muestra; Schwarz y Gwekwerere (2007) también la mencionan, pero no ofrecen datos numéricos; y Cullin y Crawford (2003)-Crawford y Cullin (2004) afirman que es *la concepción predominante* entre los profesores de su muestra, aunque tampoco ofrecen datos numéricos.

Resulta particularmente llamativo que con un instrumento tan *simple* (3 preguntas abiertas) y con un modo de preguntar tan *directo* (explícitamente, el concepto ontológico de modelo científico), y empleando en ello tan *corto tiempo* (15 minutos para obtener los datos), hayamos detectado, prácticamente, *todas las categorías o concepciones acerca de “modelo científico” que muestran los profesores*, que se han encontrado dispersas en una variada muestra de investigaciones, realizadas con diversidad de metodologías y empleando tiempos notablemente más largos para la obtención de datos. Es, por la tanto plausible, afirmar que

*Con este instrumento se puede realizar una evaluación de las concepciones de “modelo científico” que tienen los profesores en una muestra heterogénea determinada, en poco tiempo y con un grado aceptable de fiabilidad.*

Advertimos que, como pretendidamente universal, la definición ontológica *no debería discriminar entre las concepciones epistemológicas de los profesores*, ya que es válida para cualquiera de ellas. Por consiguiente, no es extraño que no aparezca entre nuestros datos la categoría “*copia de la realidad*” (epistemología positivista), que sí aparece en otras investigaciones.

## Concepciones de modelo científico de un grupo de profesores de Ciencias: Grupo G2

Ya que los profesores del Grupo G1 eran de distintas titulaciones, vimos la conveniencia de ver el resultado de pasar el cuestionario a un grupo de profesores de ciencias, analizando las semejanzas y diferencias entre ellos y entre las otras investigaciones revisadas, que también eran solamente de profesores de ciencias. Así, pasamos el instrumento a una *muestra de 19 profesores licenciados en ciencias*, con una experiencia docente de entre 1 y 30 años (media de 15 años, aproximadamente). El contexto en que se encontraban estos profesores era la asistencia un Seminario de Investigación en Didáctica de las Ciencias, y las condiciones en la que contestaron el cuestionario fueron las mismas que las que tuvo G1. A este grupo lo llamaremos **G2**.

### Resultados del Grupo G2

En la Tabla 11 presentamos un resumen del análisis de las respuestas dadas al cuestionario por el Grupo G2

Tabla 11

Resumen de las respuestas del Grupo G2 a las cuestiones 1 (Q1), 2 (Q2), y 3 (Q3), ordenadas por orden de frecuencias							
Ámbito ontológico en el que sitúan las respuestas	Modelo científico	Ayuda para explicar	Teoría científica	Método científico	Otros <sup>1</sup> -Prototipo -Esquema gráfico	Imposible clasificar	Coherencia
Grupo G2 N=19	9 prof 47.36% 7Q,12Qc	7 prof 36.84% 5Q,12Qc	4 prof 21.05% 6Q,4Qc	2 prof 10.52% 2Qc	1 prof cada 5.25% cada 1Q,3Qc	5 pro 23.8%) 4 respuestas 1 no contesta	12 prof 63.16%

Leyenda: Q significa respuesta adecuada respecto al ámbito ontológico considerado; Qc significa respuesta confusa dentro del ámbito ontológico específico considerado; Coherencia: significa que las tres respuestas aportadas por el profesor están dentro del mismo ámbito ontológico específico.

<sup>1</sup>No consideraremos significativas las respuestas dadas por 1 sólo profesor y, por lo tanto, no las analizaremos.

Téngase en cuenta que: 1) cada profesor da tres respuestas, y que éstas pueden no estar en el mismo ámbito ontológico específico (falta de coherencia); 2) 1 profesor no contesta a la cuestión Q3, aunque dice que sí está bien formulada.

Comparando los datos de las Tablas 10 y 11, se ven claras diferencias:

-Las categorías de análisis *difieren notablemente*, coincidiendo sólo en 3: modelo científico, teoría científica y método científico, arrojando los siguientes resultados:

>*modelo científico*: 47.36% de la muestra,

>*teoría científica*: 28.57%,

>*método científico*: 10.52%,

cambiándose el orden de frecuencias: ahora la mayoría de profesores sitúan sus respuestas en el ámbito ontológico específico “modelo científico”, aunque la abundancia de “c” añadidas a la Q indican que las respuestas son incompletas.

--No aparecen en este Grupo las categorías “ejemplo a seguir” (ámbito ético o estético) ni la de “método de enseñanza” (ámbito didáctico), que sí aparecen en otras numerosas investigaciones realizadas con profesores de ciencias, como hemos señalado al valorar los resultados de G1.

-Aparece una categoría de análisis situada en el ámbito ontológico didáctico:

>ayuda para explicar a otros,

segunda en el orden de frecuencias: 38.84% de la muestra.

>En relación a la coherencia, G2 se muestra más coherente en sus respuesta que G1, como puede observarse comparando los datos: 63.16% y 42.85%, respectivamente.

Comparando con otras investigaciones, destacamos que

>la confusión teoría científica-modelo científico alcanza en G2 más del 28% respuestas, mientras que en otras investigaciones revisadas, que también señalan este aspecto, apenas la destacan (Cfr. Taylor y Coll 2002)

>la frecuencia con que aparece en G2 la categoría ayuda para explicar a otros es mucho más baja (38.84%) que la encontrada en otras investigaciones que también la registran. Por ejemplo, como ya señalamos anteriormente, en Van Driel y Verloop (1999) alcanza el 90% de la muestra; en Justi y Gilbert (2003) el 82% de la muestra; y en Cullin

y Carwford (2003)-Crawford y Cullin (2004) es “la concepción predominante” entre los profesores de su muestra.

En su conjunto, estos datos nos parecen significativos, porque muestra que el profesor de ciencias contesta al cuestionario situándose en el ámbito ontológico científico, que es el adecuado para la recta comprensión de lo que es un modelo científico. Teniendo en cuenta todo lo visto hasta ahora acerca del instrumento se puede afirmar que son plausibles las afirmaciones siguientes:

*Con este instrumento se puede realizar una evaluación de las concepciones de “modelo científico” que tienen los profesores de ciencias, en poco tiempo y con un grado aceptable de fiabilidad.*

*Este instrumento facilita que los profesores de ciencias se sitúen en el ámbito ontológico científico al contestar al cuestionario, produciendo respuestas concentradas en este ámbito. Lo que propicia el pensar que la dispersión en las respuestas que se observan en otros trabajos pueda ser efecto de la perspectiva y la metodología utilizadas en esas investigaciones.*

Avalan esta opinión los resultados obtenidos por Danusso, Testa, Sassi y Vicentini (2006), con una muestra de 225 licenciados en Ciencias y Matemáticas de varias universidades italianas (L'Aquila, Nápoles, Roma, Údine), en el contexto de un curso de especialización para calificarse como profesores de secundaria. Las categorías que encuentran son las mismas que las que aparecen en nuestra investigación: *modelo científico, teoría científica, método científico, y método de enseñanza*<sup>12</sup>. El mismo resultado, en cuanto a las categorías que emergen de los datos, encontramos en Danusso, Testa y Vicentini (2010). En esta ocasión la muestra consiste en unos 400 licenciados en Física, Matemáticas e Ingeniería, de las universidades de Nápoles y Roma. El contexto es el mismo. El estudio, más complejo que el anterior, comienza por la aplicación de nuestro cuestionario, para averiguar el concepto de modelo científico que tiene la muestra. También en este caso, las respuestas quedan concentradas en el ámbito ontológico científico: *modelo científico, teoría científica, método científico; y “método de enseñanza”*<sup>13</sup> (Cfr.p 885).

12 Advertimos que estos autores toman como referencia las categorías que aparecen en nuestro **Grupo G1** (Cfr. p 3 del artículo), en la que no aparece “ayuda para explicar”. Analizando algunas de las respuestas que ponen como ejemplo de esta categoría, pensamos que la categoría “*método de enseñanza*” responde a lo que en el **Grupo G2** categorizamos como “*ayuda para explicar*”.

13 Ver nota anterior.

Advertimos en relación a este punto, que este instrumento (como todos los cuestionarios escritos, aunque sean de respuestas abiertas) no agota todas las posibilidades investigadoras acerca de la concepción de “modelo científico” que tienen los profesores. La combinación de instrumentos evaluadores (observación en el aula, operativización del concepto –modelización–, entrevistas, utilización de herramientas informáticas diseñadas para este propósito, etc), mostrarían elementos complementarios que enriquecerían la información obtenida por cualquiera de ellos por separado (Crawford y Cullin 2005; Justí y Gilbert 2005).

## CONCLUSIONES

1.-Comenzamos este trabajo intentando contestar a la pregunta: *¿Qué saben los profesores de ciencias acerca de “modelo científico”? Creemos que a lo largo de este artículo hemos contestado, con datos de la investigación, a esta cuestión fundamental. En palabras de Develaki (2007):*

*“Los resultados de la investigación sobre la perspectiva que tienen los profesores, muestran que éstos no entienden con suficiente claridad la naturaleza y la función de los modelos [científicos]” (p 746)*

2.-Hemos mostrado cómo las carencias que muestran los profesores en la comprensión de lo que es un modelo científico puede deberse a la confusión que existe en la misma literatura que se produce sobre este concepto. A este respecto, traemos aquí las palabras de dos autores:

*“Aunque muchos autores enfatizan la importancia de los modelos en ciencias, hay mucha variación en el uso de los términos modelo y modelización y, como consecuencia, se han desarrollado numerosas tipologías de modelos” (Coll y Lajium 2011:5)*

*“Modelo es un término polisémico; ha sido utilizado, y sigue utilizándose, con muchos sentidos. Esta es una de las dificultades que encontramos cuando se utiliza en la enseñanza” (Chamizo 2013:1618)*

3.-La dificultad de encontrar una definición de “*modelo científico*” y de sus “*funciones esenciales*” es reconocida por los propios Oh y Oh (2011), que al determinar “*lo que los profesores necesitan saber*”, no ofrecen definiciones claras sobre estos términos.

4. Es evidente que los profesores *necesitan saber* con claridad qué es un modelo científico y cuáles son sus funciones esenciales. Para alejarnos de la confusión propiciada por la variedad de características y funciones que se ofrecen desde la epistemología, hemos recurrido a la *ontología*.

-La perspectiva ontológica nos ha proporcionado una definición unívoca y general de modelo científico; independiente (no supeditada a otros constructos científicos que les sirvan de referentes); económica, ya que se limita a los atributos esenciales del concepto.

-También nos ha proporcionado una clara distinción de cuáles son las funciones esenciales del modelo científico: la explicación y la predicción

-Todo esto, además de claridad terminológica, supone liberar a los profesores de la carga cognitiva producida por otras definiciones, lo cual facilita su aprendizaje

5.-Algunos autores reconocen que la ausencia de conocimiento de la perspectiva ontológica plantea problemas a los mismos expertos, como la confusión entre objetos y variables (Zhang y otros 2006; Louca, L. T., Zacharia, Z. C., Michael, M. & Constantinou, C. P. 2011); confusión entre el modelo y el sistema que se modeliza (Taylor y Coll 2002); confusión entre objetos y procesos (Chen 2011).

6.-Aprovechando las ventajas de la definición ontológica de modelo científico, hemos desarrollado y validado un instrumento, teóricamente fundamentado, para investigar las concepciones sobre modelo científico que poseen los profesores de cualquier área de conocimiento, desde una perspectiva ontológica y realizando preguntas directas sobre el concepto.

Este instrumento ha resultado eficaz para

-Evaluar las concepciones de los profesores acerca de "modelo científico" en una muestra heterogénea (profesores con titulaciones científicas y de otras áreas). Comparando con los resultados de otras investigaciones, este instrumento ha arrojado resultados similares a los allí encontrados (fiabilidad), pero empleando en ello mucho menos tiempo.

-Evaluar las concepciones de los profesores en una muestra de profesores de ciencias. En este caso el instrumento ha propiciado que los profesores se sitúen en el ámbito ontológico científico al contestar al cuestionario, produciendo respuestas concentradas en este ámbito. Las investigaciones paralelas a la nuestra realizadas por Danusso y otros 2006 y 2010, con resultados similares a los nuestros, aportan fiabilidad a nuestro instrumento.

-Los datos anteriores pueden hacer plausible la hipótesis de que la dispersión en las respuestas encontradas en otros trabajos pueda ser efecto de la perspectiva y/o de la metodología utilizadas en esas investigaciones.

## PERSPECTIVAS FUTURAS

Las Tablas 2 y 3 muestran una gran variedad de temas que quedan pendientes para responder a la pregunta "¿qué necesitan saber los profesores de ciencias, para llevar a cabo cumplidamente su quehacer didáctico, adoptando la perspectiva de los modelos y de la modelización científica?" Las investigaciones revisadas insisten mucho en que se proporcione a los profesores buena literatura sobre el tema, en que en los cursos de formación se aborde directamente el concepto de modelo y de modelización, y en que se les ponga en situaciones en que tengan que operar, de cara al aula, procesos de modelización como método de enseñanza ("poner a los profesores en situación de realizar experiencias auténticas", dicen algunos autores). La perspectiva ontológica ha proporcionado ya algunas realidades prometedoras a este respecto:

-Por ejemplo, Aliberas (2012) ha realizado una tesis doctoral sobre cómo llevar al aula la perspectiva ontológica de modelos, diseñando desde este punto de vista unidades didácticas que han resultado eficaces y motivadoras para los alumnos (Cfr. también Aliberas y otros 2013a).

-Y en el campo de la formación de profesores, Gutierrez y Whitelock (2012, 2013) han realizado ensayos experimentales de diseño e implementación de cursos de formación de profesores, utilizando la perspectiva ontológica, introduciendo directamente el concepto de modelo y operativizándolo en la evaluación de simulaciones científicas didácticas diseñadas para ordenadores. Los resultados provisionales han sido sorprendentemente eficaces.

Otros ejemplos de trabajos emprendidos con esta perspectiva podrían citarse. Pero necesariamente, debemos dejar para otra ocasión el estudio de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acher, A., Arcá, M. & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91 (3) 398-418.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22 (10), 1593-1611.
- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Acerca de la Didáctica de las Ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1 (3), 130-140.
- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4 (1), 40-49.
- Aliberas, J. (2012). *Aproximació als fonaments epistemològics i psicològics per al disseny i aplicació d'una seqüència de ciències a l'ESO* [Aproximación a los fundamentos epistemológicos y psicológicos para el diseño y aplicación de una secuencia de ciencias en la ESO-Enseñanza Secundaria Obligatoria]. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona
- Aliberas, J., Izquierdo, M. & Gutierrez, R. (2013a). Diseño de una secuencia didáctica sobre hidrostática, teóricamente fundamentada: el papel de la modelización y de la emoción. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, pp. 84-90.
- Aliberas, J., Izquierdo, M. & Gutierrez, R. (2013b). El papel de la Conversación Didáctica en la modelización y progresión del conocimiento escolar: el caso de la hidrostática. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, pp. 76-83.
- Akerson, V. L., White, O., Colak, H. & Pongsanon, K. (2011). Relationships Between Elementary Teachers' Conceptions of Scientific Modeling and the Nature of Science. In: Khine, M. S. & Saleh, I. M. (eds), *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry* [Modelos y Modelización. Herramientas Cognitivas para el Descubrimiento Científico]. (pp 221-237). NY: Springer.
- Bamberger, Y. M. & Davis, E. A. (2013). Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression. *International Journal of Science Education*, 35 (2), 213-238.
- Besson, U. (2010). Calculating and Understanding: Formal Models and Causal Explanations in Science, Common Reasoning and Physics Teaching. *Science & Education*, 19 (3), 225-257.
- Bliss, J., Monk, K. & Ogborn, J. (eds) (1983). *Qualitative data analysis for educational research* [Análisis cualitativo de datos para la investigación educativa]. London: Croom Helm.
- Böttcher, F. & Meisert, A. (2011). Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. *Science & Education*, 20 (2), 103-140.
- Brinklow, T. (2004). *Domains, Ontologies, Models and the Knowledge Creation Cycle*. Brighton Business School. Occasional / Working paper series. BBSW04-3.
- Buckley, B. C. & Boulter, B. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. En: Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (eds), *Developing models in Science Education* [El desarrollo de Modelos en Didáctica de las Ciencias], pp 119-135. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer
- Buckley, B.C., Gobert, J.D., Horwitz, P. & O'Dwyer, L.M. (2010) Looking inside the black box: assessing model-based learning and inquiry in BioLogica. *Int. J. Learning Technology*, 5 (2), 166-190.
- Bunge, M. (1973a). *Method, Model and Matter* [Método, Modelo y Materia]. Dordrecht. Holland; Reidel.
- Bunge, M. (1973b). *Philosophy of Physics*. Dordrecht. Holland; Reidel. Trad. cast. de J. L. García, *Filosofía de la Física*. Barcelona. España: Ariel. 1982.
- Campbell, T., Oh, P. S. & Neilson, D. (2012), Discursive Modes and Their Pedagogical Functions in Model-Based Inquiry (MBI) Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34 (15), 2393-2419.
- Cartier, J., Rudolph, J. & Stewart, J. (2001). *The nature and structure of scientific models*. Disponible on line: <<http://www.wcer.wisc.edu/ncisla>> [Agosto 2014]
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Eureka, Revista de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, 26-41.
- Chamizo, J. A. (2013). A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching. *Science & Education*, 22 (10), 1613-1632
- Chen, X. (2011). Why do people misunderstand climate change? Heuristics, mental models and ontological assumptions. *Climatic Change*, 108 (1-2), 31-46.

- Cheng, M. F. & Brown, D. E. (2010). Conceptual resources in self-developed explanatory models: The importance of integrating conscious and intuitive knowledge. *International Journal of Science Education* 32 (17), 2362-2392.
- Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of research on conceptual change* [Manual Internacional de investigación en Cambio Conceptual] (pp 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. H. & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual Change. In: M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice* [Revisando el Cambio Conceptual. Aspectos de interés en la Teoría y en la Práctica] (pp 3-27). Norwell, MA: Kluwer.
- Clement, J. J. & Rea-Ramirez, M.A. (eds) (2008). *Model-based learning and instruction in science* [El aprendizaje basado en modelos y la instrucción en ciencias]. Dordrecht, The Netherland: Springer
- Clement, J. J. (2008). Student/teacher Co-construction of Visualizable Models in Large Group Discussion. En: Clement, J. J. & Rea-Ramirez, M. A. (eds) *Model-based learning and instruction in science* [El aprendizaje basado en modelos y la instrucción en ciencias] (pp 11-22). Dordrecht, The Netherland: Springer.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2003). Learners' Mental Models of metallic Bonding: a cross-age study. *Science Education*, 87 (5), 685-707.
- Coll, R. K., France, B. & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27 (2), 183-198.
- Coll, R. K. & Lajium, D. (2011). Modeling and the Future of Science Learning. In: Khine, M. S. & Saleh, I. M., (eds), *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry* [Modelos y Modelización. Herramientas Cognitivas para el Descubrimiento Científico] (pp 3-21). NY: Springer.
- Collins, A. (2011). A Study of Expert Theory formation: The Role of Different Models Types and Domain Frameworks. In: Khine, M. S. & Saleh, I. M. (eds), *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry* [Modelos y Modelización. Herramientas Cognitivas para el Descubrimiento Científico] (pp 23-39). NY: Springer.
- Crawford, B. & Cullin, M. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26 (11), 1379-1401.
- Crawford, B. & Cullin, M. (2005). Dynamic assessment of preservice teachers' knowledge of models and modelling. En: Boesma, K. et al. (eds), *Research and de Quality of Science Education* [La Investigación y la Calidad de la Didáctica de las Ciencias] (pp 309-323). The Netherlands: Springer.
- Cullin, M. & Crawford, B. A. (2003). Using technology to support prospective science teachers in learning and teaching about scientific models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 2 (4), 409-426.
- Dagher, Z. R., Brickhouse, N. W., Shipman, H., Letts, J. & Sturt, C. (2004). How some colleges students represent their understanding of the nature of scientific theories. *International Journal of Science Education*, 26 (6), 735-755.
- Danusso, L., Testa, I. & Vicentini, M. (2010). Improving Prospective Teachers' Knowledge about Scientific Models and Modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32 (7), 871-905.
- Danusso, L., Testa, I., Sassi, E. & Vicentini, M. (2006). Teachers' ideas about scientific models and modeling. Paper presented at GIREP 2006 International Conference on "Modeling in Physics and Physics Education". Amsterdam, 20-26 August.
- Dauer, J. T., Momsen, J. L., Speth, E. B., Makohon-Moore, S. C., & Long, T. M. (2013). Analyzing Change in Students' Gene-to-Evolution Models in College-Level Introductory Biology, *Journal of Research in Science Teaching*, 50 (6), 639-659.
- Develaki, M, (2007). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, 16 (7), 725-749
- Díaz, J. L. (2005). Modelo científico: conceptos y usos. En: A. López Austin (coord.), *El modelo en la ciencia y la cultura*. (pp 11-53). México: Siglo XXI.
- Dorneles, P. F. T., Veit, E. A. & Moreiera, M. A. (2010). A study about the learning of students who worked with computational modeling and simulation in the study of simple electric circuits. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 569-595.
- Drechsler, M. & Schmidt, H-J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in

- chemistry teaching. *Chem. Educ. Res. and Pract.*, 6 (1), 19-35.
- Erduran, S. & Duschl, R. (2004). Interdisciplinary characterizations of models and the nature of Chemical knowledge in the classroom. *Studies in Science Education*, 40, 105-138.
- Ergazaki, M., Komis, V. & Zogza, V. (2005). High-school students' reasoning while constructing plant growth models in a computer-supported educational environment. *International Journal of Science Education*, 27 (8), 909-933.
- Espinet, M., Izquierdo, M., Bonil, J., & Ramos, S. L. (2012). The Role of Language in Modeling the Natural World: Perspectives in Science Education. In: Fraser, B. J.; Tobin, K.; McRobbie, C. J. (Eds.) *Second International Handbook of Science Education. Part Two, [Segundo Manual Internacional de Didáctica de las Ciencias. Parte 2]* (Chap. 89, pp 1385-1403). NY: Springer
- Felipe, A. E., Gallarreta, S. C. & Merino, G. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3). Disponible en <[http://reec.uvigo.es/REEC/spanish/REEC\\_older\\_es.htm](http://reec.uvigo.es/REEC/spanish/REEC_older_es.htm)> [Agosto 2014]
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J. & CHI, M. T. H. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and Instruction*, 22 (1), 47-61
- Giere, R. N. (1999). Using Models to Represent Reality. En Magnani, L., Nersessian, N., & Thagard, P. (eds.) *Model-based reasoning in scientific discovery. [Razonamiento basado en modelos en el descubrimiento científico]* (pp 41-57). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers
- Giere, R. N., (2010). An Agent-Based Conception of Models and Scientific Representation. *Synthese* 172 (2), 269-281.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (1998). Learning Science through models and modelling. En: Fraser, B. J. & Tobin, K. J. (eds) *International Handbook of Science Education. [Manual Internacional de Didáctica de las Ciencias]* (pp 53-66). London: Kluwer
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (eds), (2000). *Developing models in Science Education [El desarrollo de Modelos en Didáctica de las Ciencias]*. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Elmer, R. (2000). Positioning models in Science Education and in Design and Technology Education. En: Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (eds), *Developing models in Science Education [El desarrollo de Modelos en Didáctica de las Ciencias]*. (pp 3-17). Dordrecht. The Netherlands: Kluwer.
- Gilbert, J. K., Justi, R. & Aksela, M. (2003). The visualization of models: a metacognitive competence in the learning of chemistry. Paper presented at the Fourth International Conference of the ESERA. The Netherland, 19-23 August.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn & Franco, C. (2000). Science Education: Notions of Reality, Theory and Models. En: Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (eds) *Developing models in Science Education [El desarrollo de Modelos en Didáctica de las Ciencias]* (pp 19-40).. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer.
- Glass, R. J. (2013). Tacit Beginnings Towards a Model of Scientific Thinking. *Science & Education*, 22 (10) 2709-2725.
- Gobert, J., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B., Levy, S. T., & Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' epistemologies of models and conceptual learning in three science domains: Biology, physics, and chemistry. *International Journal of Science Education*, 33 (5), 653-684.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in Science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (8), 799-822.
- Grünkorn, J., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2014). Assessing Students' Understandings of Biological Models and their Use in Science to Evaluate a Theoretical Framework. *International Journal of Science Education*, 36 (10), 1651-1684.
- Gutierrez, R. (2001). Mental Models and the fine structure of Conceptual Change. In: R. Pinto & S. Surinach (eds), *Physics Teacher Education Beyond 2000 [Formación de los profesores de Física. Mas allá del 2000]* (pp 35-44). París: Elsevier Editions.
- Gutierrez, R. (2003). Conversation Theory and self-learning. In: Psillos, D. y otros (eds), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society. [Investigación en Didáctica de las Ciencias en la Sociedad Basada en el Conocimiento]* (pp 43-49). Dordrecht. The Netherland: Kluwer Academic Publishers
- Gutierrez, R. (2004a). Epistemological and Ontological Aspects in Science Teacher Education. In: Michellini, M. (ed), *Quality Development in Teacher Education*

- and Training [Desarrollo de la calidad en la educación y formación de profesores]. (pp 48-60). Udine. Italia: Forum. Editrice Universitaria
- Gutierrez, R. (2004b). La Formación del Profesorado. Incorporación del estudio de los Sistemas de Creencias básicos (Epistemología y Ontología) en su preparación integral. En: Ruíz, D. y Primero, L. E. (Comp), *El campo de la formación docente en el posgrado de formación. Memoria del II Coloquio Internacional 2004 del Doctorado en Educación* (pp 59-87). México DF. México: MECD. Universidad Pedagógica Nacional.
- Gutierrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto "modelo mental". Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), 209-226
- Gutierrez, R. & Ogborn, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (2), 201-220.
- Gutierrez, R. & Pintó, R. (2004). Models and Simulations. Construction of a Theoretically Grounded Analytic Instrument. In: E. Mechlová (ed), *Proceedings: Teaching and Learning Physics in New Contexts. Selected Papers. GIREP 2004 International Conference* (pp 157-158). Ostrava, Czech Republic: University of Ostrava.
- Gutierrez, R. & Pintó, R. (2005). Teachers' conceptions of scientific model. Results from a preliminary study. In R. Pinto and D. Couso (eds), *Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science*. (pp. 866-868). Barcelona, Spain.
- Gutierrez, R. & Pintó, R. (2006). Teachers' conceptions of scientific models II: Comparison between two groups with different backgrounds. In: E. van der Berg, A. L. Ellermeijer, O. Sloote (eds), *Proceedings of the GIREP 2006 International Conference on "Modeling in Physics and Physics Education"*. (pp 1058-1063). The Netherlands: Univ. of Amsterdam
- Gutierrez, R. & Pintó, R. (2007). Primary Teachers' conceptions of scientific model. An ontological approach. Symposium: The role of models and modelling in science education. *Proceedings of "ESERA 2007 International Conference"*. (p 7-10). Malmö. Sweden.
- Gutierrez, R. & Pintó, R. (2009). Aproximación ontológica a las concepciones de modelo científico que presentan los profesores. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, pp 3637-3841.
- Gutierrez, R. & Pintó, R. (2010). From Mental Models to Scientific Models: Similarities in Structures and its importance in Scientific Knowledge Construction. In: *Proceedings of the "GIREP - ICPE - MPL International Conference "Teaching and learning Physics Today: Challenges? Benefits?" Oral Presentations*. (pp 80-81). Reims, France: Univ. of Reims.
- Gutierrez, R. & Whitelock, D. (2012). Learning the concept of Scientific Model by means of analysing Didactical Scientific Simulations. In: Pintó, R., López, V. & Simarro, C. (eds), *Proceedings of the "Tenth international Conference "Computer Based Learning in Science (CBLIS 2012): Learning Science in the Society of Computers"*. (pp 48-57). Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, Spain: Centre for Research in Science and Mathematics Education (CRECIM).
- Gutierrez, R. & Whitelock, D. (2013). Diseño de un curso de formación de profesores para introducir el concepto de Modelo Científico. Un estudio exploratorio. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, pp 1714-1720.
- Gómez, A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las ciencias*, 31(1), 11-28.
- Halloun, I. A. (1996). Schematic modeling for meaningful learning in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (9), 1019-1041.
- Halloun, I. A. (2004). *Modelling Theory in Science Education* [Teoría de la Modelización en Didáctica de las Ciencias]. Dordrecht: Kluwer.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16, 653-697.
- Halloun, I. A. (2011). From Modeling Schemata to Profiling Schema: Modeling Across the Curricula for Profile Shaping Education. In: Khine, M. S. and Saleh, I. M. (eds), *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry* [Modelos y Modelización. Herramientas Cognitivas para el Descubrimiento Científico]. (p 77-95). NY: Springer.
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *Am. J. of Physics*, 55 (5), 455-462.
- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? *Research in Science Education*, 31, 401-435.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.

- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2001). Conceptual change using multiple perspectives: two case studies in secondary school chemistry. *Instructional Science*, 29, 45-85.
- Henze, I. & Van Driel, J. H. (2011). Science Teachers' Knowledge about Learning and Teaching Models and Modeling in Public Understanding of Science. In: M. S. & Saleh, I. M. (eds), *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry* [Modelos y Modelización. Herramientas Cognitivas para el Descubrimiento Científico]. (pp 239-261). NY: Springer.
- Henze, I., Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2007). Science Teachers' Knowledge about Teaching Models and Modelling in the Context of a New Syllabus on Public Understanding of Science. *Research in Science Education*, 37 (1), 99-122.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *Am. J. of Physics*, 55 (5), 440-454.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian World. *Am. J. of Physics*, 60 (8), 732-748.
- Hestenes, D. (2006). Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction. In: E. van der Berg, A. L. Ellermeijer, O. Sloote (eds), *Proceedings of the GIREP 2006 International Conference on "Modeling in Physics and Physics Education"*. (pp 34-65). The Netherlands: Univ. of Amsterdam.
- Hestenes, D. (2009). Modeling Theories for Math and Science Education. In: R. Lesh, P. L. Galbraith, C. R. Haines & A. Hurford (Eds), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies* [La modelización de las competencias modelizadoras de los estudiantes de Matemáticas] (pp 13-42). NY: Springer.
- Hudson, P. (2005). Identifying Mentoring Practices for Developing Effective Primary Science Teaching. *International Journal of Science Education*, 27 (14), 1723-1739.
- Islas, S. M. & Pesa, M. A. (2002). The learning of modeling: a scientist' vision. In: Micheleni, M. & Cobal, M. (eds) (2002). *Developing Formal Thinking in Physics* [Desarrollo del Pensamiento Formal en Física]. (pp 203-207). Udine. Italia: Forum. Editrice Universitaria
- Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Hacia una teorías de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), 111-122.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, 22 (10)1633-1653.
- Jonker, C.M., Van Riemsdijk, M. B. & Vermeulen, B. (2011). Shared Mental Models: A Conceptual Analysis. In: *Coordination, Organization, Institutions and Norms in Multi-Agent Systems VI. Lecture Notes in Computer Science*, 6541: 132-151. Springer-Verlag.
- Justi, R., 2006, La enseñanza de las Ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173-184.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views of the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 369-387.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2000). History and Philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". *International Journal of Science Education*, 22 (9), 993-1009.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views of the nature of models *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1369-1386.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2005). Investigating teachers' ideas about models and modelling - Some issues of authenticity. En: Boersma, K. *et al.* (eds), *Research and the Quality of Science Education* [La Investigación y la Calidad de la Didáctica de las Ciencias]. (p 325-335). The Netherlands. Springer.
- Justi, R. & Van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27 (5), 549-573.
- Justi, R., Chamizo, J. A., García, A., & Figueiredo, K. (2011). Experiencias de formación de profesores latinoamericanos sobre modelos y modelaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 29 (3), 413-426.
- Kapras, S., Queiroz, G., Colinvaux, D. & Franco, C. (1997), Modelos: uma análise de sentidos na literaturade pesquisa em ensino de ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, 3 (2), 185-205.
- Kawasaki, K., Herrenkohl, L. R. & Yearly, A. (2004). Theory building in modeling in a sinking and floating unit: a case study of third and fourth grade students. *International Journal of Science Education*, 26 (11) 1299-1324.
- Ke, J-L., Monk, M. & Duschl, R. (2005). Learning Introductory Quantum Physics: Sensori-motor experiences and mental models. *International Journal of Science Education*, 27 (13) 1571-1594.

- Kelley, G. A. (1955). *The Psychology of Personal Constructs [La Psicología de los Constructos Personales]*. Vol. 1 and 2. NY: Norton.
- Khan, S. (2007). Model-Based Inquiries in Chemistry. *Science Education*, 91 (6), 877-905.
- Lee, M.-H. Ying-Tien Wu, Y.-T. & Tsai, C.-C. (2009). Research Trends in Science Education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31 (6), 1999-2020.
- Lee, S. & Kim, H.-B., (2014). Exploring Secondary Students' Epistemological Features Depending on the Evaluation Levels of the Group Model on Blood Circulation. *Science & Education*, 23 (5), 1075-1099.
- Lemmer, T. N. (2006). The Nature Of Scientific Models In Physics - A Philosophical Perspective. In: E. van der Berg, A. L. Ellermeijer, O. Sloote (eds), *Proceedings of the GIREP2006 International Conference on "Modeling in Physics and Physics Education"*, p 540-545.
- Lesh, R. & Doerr, H. M. (2003). Foundations of a Models and Modeling Perspective on Mathematics Teaching, Learning, and Problem Solving. In: Lesh, R. & Doerr, H. M. (eds), *Beyond Constructivism. Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning, and Teaching*. [Más allá del Constructivismo. La perspectiva de los Modelos y la Modelización en la resolución de problemas, y en la enseñanza y aprendizaje de las Matemáticas] (Chap. 1, p 3-33). Mahwah, New Jersey: LEA.
- Lesh, R. & Harel, G. (2003). Problem solving, modeling, and local Conceptual Development. *Mathematical Thinking and Learning*, 5 (2/3), 157-189.
- Lesh, R. & Fennewald, T. (2010). Introduction to Part I Modeling: What Is It? Why do It? In: R. Lesh, P. L. Galbraith, C. R. Haines & A. Hurford (Eds), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*. [La modelización de las competencias modelizadoras de los estudiantes de Matemáticas] (pp 5-10). NY: Springer.
- Lin, T.-Z., Lin, T.-J. & Tsai, C.-C. (2014). Research Trends in Science Education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 36 (8), 1346-1372.
- López-Mota, A. & Rodríguez-Pineda, D. (2013). Anclaje de los modelos y de la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, p 2008-2013.
- Louca, L. T. & Zacharia, Z. C. (2008). The use of computer-based programming environments as computer modelling tools in early Science Education: The cases of textual and graphical program languages. *International Journal of Science Education*, 30 (3), 287-323.
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C. & Constantinou, C. P. (2011). In Quest of Productive Modeling-Based Learning Discourse in Elementary School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48 (8), 919-951.
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C., Michael, M. & Constantinou, C. P. (2011). Objects, entities, behaviors, and interactions: a typology of student-constructed computer-based models of physical phenomena. *Journal of Educational Computing Research*, 44 (2), 173-201.
- Marquez, C., Izquierdo, M., & Espinet, M. (2006). Multimodal science teachers' discourse in modeling the water cycle. *Science Education*, 90 (2), 202-226.
- Marshall, J. A. & Carrejo, D. J. (2008). Students' Mathematical Modeling of Motion. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (2), 153-173.
- McNeill, K. L. & Pimentel, D. S. (2010). Scientific discourse in three urban classrooms: the role of the teacher in engaging high school students in argumentation. *Science Education*, 94 (2), 203-229.
- Mendoça, P. C. C. & Justi, R. (2013). The Relationships Between Modelling and Argumentation from the Perspective of the Model of Modelling Diagram. *International Journal of Science Education*, 35 (14), 2407-2434.
- Mendoça, P. C. C. & Justi, R. (2014). An Instrument for Analyzing Arguments Produced in Modeling-Based Chemistry Lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51 (2), 192-218.
- Moreno, M. A. & Ferreyra, A. (2004). La relevancia de las visiones de sentido común de los maestros en el desarrollo de propuestas innovadoras de enseñanza de las ciencias en primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 287-300.
- Nelson, M. M. y Davis, E. A. (2012). Preservice Elementary Teachers' Evaluations of Elementary Students' Scientific Models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. *International Journal of Science Education*, 34 (12), 1931-1959.
- Nersessian, N. J. (1995). Should physicists preach what they practice? *Science & Education*, 4 (3), 203-226.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. En Magnani, L., Nersessian, N., &

- Thagard, P. (eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery*. [Razonamiento basado en modelos en el descubrimiento científico] (pp 5-22). NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In: P. Carruthers, S. P. Stich & M. Siegal (eds), *The cognitive basis of science* [El fundamento cognitivo de la ciencia]. (pp 133-153). Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Nersessian, N. J. (2003). Kuhn, Conceptual Change, and Cognitive Science. In: T. Nickles (ed), *Thomas Kuhn* [Thomas Kuhn]. (pp 178-211). Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Nersessian, N. J. (2008a). *Creating Scientific Concepts*. [La creación de los conceptos científicos] Cambridge, Ma: The MIT Press.
- Nersessian, N. J. (2008b). Mental Modeling in Conceptual Change. In: S. Vosniadou (ed), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. [Manual Internacional de investigación en Cambio Conceptual] (chapter 15, pp 391-416). NY: Routledge.
- Nersessian, N.J. & Chandrasekharan, S. (2009). Hybrid analogies in conceptual innovation in science. *Cognitive Systems Research, Special issue: Analogies - Integrating Cognitive Abilities*, 10 (3) 178-188.
- Nola, R. (2004). Pendula, Models, Constructivism and Reality. *Science & Education*, 13, 349-377.
- Ogan-Bekiroglu, F. (2007). Effects of Model-based Teaching on Pre-service Physics Teachers' Conceptions of the Moon, Moon Phases, and Other Lunar Phenomena. *International Journal of Science Education*, 29 (5) 555-593.
- Ogborn, J. (1995). Recovering Reality. *Studies in Science Education*, 25, 3-38.
- Ogborn, J. (1998). Cognitive development and qualitative modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14 (4), 292-307. P1
- Ogborn, J. (2008). Science and commonsense. In: Vicentini, M. & Sassi, E. (eds), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education. An I.C.P.E. Book*. [Conectando la investigación en Didáctica de la Física con la Formación de Profesores] (Chap. A1). International Commission on Physics Education.
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33 (8) 1109-1130.
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Bonat, M. & Mateo, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), 429-444.
- Passmore, C. M. & Svoboda, J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34 (10), 1535-1554.
- Penner, D. E., Giles, N. D., Leher, R. & Schauble, L. (1997). Building functional models: designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (2), 125-143.
- Pro, A. de (2003). La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias. En: Jimenez, M. P. (coord), Caamaño, A., Oñorbe, A., Pedrinaci, E. & Pro, A. de, *Enseñar Ciencias*. Graó. Barcelona, p 33-54.
- Reiner, M. & Gilbert, J. K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22 (5), 489-506.
- Reinfried, S. & Tempelmann, S. (2014). The Impact of Secondary School Students' Preconceptions on the Evolution of their Mental Models of the Greenhouse effect and Global Warming. *International Journal of Science Education*, 36 (2), 304-333.
- Saari, H. & Viiri, J. (2001). Teaching and learning the concept of model in secondary school. In: H. Behrendt, H. Dahncke, & R. Duit (Eds.), *Research in science education: Past, present and future*. Dordrecht: Kluwer, p 259-264.
- Saari, H. & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1333-1352.
- Schwarz, C. V. & White, B.Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23, 165-205.
- Schwarz, C. V. (2009). Developing Preservice Elementary Teachers' Knowledge and Practices Through Modeling-Centered Scientific Inquiry. *Science Education*, 93 (2), 720-744.
- Schwarz, C. V. & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a Guided Inquiry and Modeling Instructional Framework (EIMA) to Support Preservice K-8 Science Teaching. *Science Education*, 91 (1), 158-186.
- Schwarz C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, E., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009).

- Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 632-654.
- Seel, N. M. (2001). Epistemology, situated cognition, and mental models: "Like a bridge over troubled water". *Instructional Science* 28, 403-427.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: case studies and implications for science teaching. *Science Education*, 94 (3), 424-446.
- Sherin, B. I., Krakowski, M. & Lee, V. R. (2012). Some Assembly Required: How Scientific Explanations Are Constructed During Clinical Interviews. *Journal of Research in Science Teaching*, 49 (2), 166-198.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R. & Van Joolingen, W. R. (2005). The Difficult Process of Scientific Modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27 (14), 1695-1721.
- Smit, J. A. & Finegold, M. (1995). Models in physics: perceptions held final-year prospective physical science teachers studying at South African universities. *International Journal of Science Education*, 17 (5), 621-634. P 1
- Smit, J. A. (2002). Models, mental images and language in scientific thinking. In: Michelini, M. and Cobal, M. (eds) (2002). *Developing Formal Thinking in Physics*. [Desarrollo del Pensamiento Formal en Física]. Udine. Italia: Forum. Editrice Universitaria
- Snir, J., Smith, C. L. & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: a software tool for introducing students to the particulate model of matter. *Science Education*, 87 (6), 794-830.
- Suppe, F. (1974/1977). *The structure of scientific theories (Second reimpression)*. [La estructura de las teorías científicas. Segunda impresión] Chicago: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969-1998. *Philosophy of Science*, 67 (Proceedings), S112-S115.
- Svoboda, J. & Passmore, C. (2013). The Strategies of Modeling in Biology Education. *Science & Education*, 22 (1), 119-142.
- Taber, K. S. (2008). Towards a Curricular Model of the Nature of Science. *Science & Education*, 17 (2-3), 179-218.
- Taylor, N. & Coll, K. (2002). Pre-service Primary Teachers' models of Kinetic Theory: an examination of three different cultural groups. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3 (3), 293-315.
- Tiberghien, A. & Megalaki, O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, 10 (4), 369-383.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2001). Students' concept of models: An epistemological and ontological perspective. In: *Proceedings Western Australian Institute for Educational Research Forum 2000*.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 357-368
- Van den Boom, G., Paas, F. & Van Merriënboer, J. J. G. (2007). Effects of elicited reflections combined with tutor or peer feedback on self-regulated learning and learning outcomes. *Learning and Instruction*, 17 (5), 532-548.
- Van Der Valk, T., Van Driel, J. H. & De Vos, W. (2007). Common Characteristics of Models in Present-day Scientific Practice. *Research in Science Education*, 37 (4), 469-488.
- Van Driel, J.H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in Science. *International Journal of Science Education*, 21 (11), 1141-1153.
- Van Fraassen, B. C. (2008). *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford University Press.
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J. & Boersma, K. T. (2008). System modelling and the development of coherent understanding. *International Journal of Science Education*, 30 (4), 543-568.
- Viennot L. & Kamisky, W. (2006). Can we Evaluate the Impact of a Critical Detail? The Role of a Type of Diagram in Understanding Optical imaging. *International Journal of Science Education*, 28 (15) 1867-1885.
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In: Magnani, L. & Nersessian, N. J. (eds), (2002). *Model-based reasoning: Science, Technology, Values*. [Razonamiento basado en modelos: Ciencia, Tecnología y Valores] (pp 353-368). NY: Kluwer Academics.
- Waight, N., Liu, X., Gregorius, R. M., Smith, E. & Parka, M. (2014). Teacher Conceptions and Approaches

- Associated with an Immersive Instructional Implementation of Computer-Based Models and Assessment in a Secondary Chemistry Classroom. *International Journal of Science Education*, 36 (3), 467-505.
- Wells, M., Hestenes, D. & Swackhamer, R. G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. *Am. J. of Physics*, 63 (7), 606-619.
- White, B., Collins, A. & Frederiksen, J. R. (2011). The Nature of Scientific Meta-Knowledge. In: Khine, M. S. and Saleh, I. M. (eds), *Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry* [Modelos y Modelización. Herramientas Cognitivas para el Descubrimiento Científico]. (pp 41-75). NY: Springer.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-Based Inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92 (5) 941-967.
- Wu, H-K, (2010). Modelling a complex system: using novice-expert analysis for developing an effective technology-enhanced learning environment. *International Journal of Science Education*, 32 (2), 195-219.
- Wu, H-K., Wu, P-H., Zhang, W-X. & Hsu, I-S. (2013). Investigating College and Graduate Students' Multivariable Reasoning in Computational Modeling. *Science Education*, 97 (3), 337-366.
- Zacharia, Z. C. (2005). The Impact of Interactive Computer Simulations on the Nature and Quality of Postgraduate Science Teachers' Explanations in Physics. *International Journal of Science Education*, 27 (14) 1741-1767.
- Zhang, B., Liu, X. & Krajcik, J. S. (2006). Expert Models and Modeling Processes Associated with a Computer-Modeling Tool. *Science Education*, 90 (5), 579-604.