

**LA MODELIZACIÓN COMO ENFOQUE DIDÁCTICO Y DE INVESTIGACIÓN EN  
TORNO A LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA****THE MODELLING IN SCIENCE AS A STRATEGY OF RESEARCH AND  
TEACHING INTERVENTION**

---

JOSÉ MARÍA OLIVA MARTÍNEZ\*, MARÍA DEL MAR ARAGÓN MÉNDEZ\*, NATALIA JIMÉNEZ-TENORIO\* &  
LOURDES ARAGÓN\*<sup>1</sup>

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ\*

**RESUMEN**

En este artículo se analizan, en primer lugar, algunas de las principales bases teóricas sobre las que se sustentan los enfoques de enseñanza de las ciencias centrados en los modelos, desde tres planos distintos: el epistemológico, el cognitivo y el didáctico. A partir de dichas bases, se caracterizan, en segundo lugar, los enfoques de enseñanza mediante modelización, los cuales vienen convirtiéndose hoy día en referentes importantes en la enseñanza de las ciencias, tanto desde el punto de vista del desarrollo de nuevas estrategias didácticas, como desde la perspectiva de líneas de investigación emergentes en didáctica de las ciencias.

**Palabras clave:** modelos; modelización; estrategias didácticas; estrategia de investigación; línea de investigación.

**ABSTRACT**

This article analyses in the first place, some of the main theoretical bases on which, approaches of science teaching focused models, are sustained. These theoretical bases are considered from three different dimensions: epistemological, psychological and educational. From these bases, secondly, teaching approaches by modelling, which are becoming today in important reference in science teaching, are characterized not only as the point of view of the development of new didactic strategies, but also the perspective of emerging research lines in science education.

**Key words:** models; modelling; didactics strategies; research strategy; line of investigation.

---

<sup>1</sup> Email: lourdes.aragon@uca.es

## 1. Introducción

Para cualquiera que no haya trabajado en el campo de la modelización, puede resultar extraño que se identifique una línea de trabajo como tal, por cuanto las ciencias están hechas de modelos y gran parte de lo que los alumnos aprenden en las escuelas forman parte de los modelos de la ciencia escolar. Sin embargo, los enfoques de enseñanza-aprendizaje basados en modelos y las estrategias de enseñanza mediante modelización, vienen constituyendo hoy líneas de las más fecundas en didáctica de las ciencias, tanto desde el punto de vista de la investigación educativa como desde la perspectiva del desarrollo de propuestas didácticas. De ahí que resulte interesante demarcar esta línea de trabajo y analizar qué implicaciones tiene para la educación científica.

En el presente trabajo se pretende contribuir a dicha caracterización si bien conviene reconocer que no existe una línea clara divisoria entre la modelización y otros enfoques, ya que, de hecho, este tipo de planteamiento solapa con otros, como el de enseñanza por investigación en torno a problemas, el de cambio conceptual, o incluso los recientes enfoques y diseños educativos centrados en la enseñanza por competencias.

Para hacer demarcar lo que significa una enseñanza basada en modelos, intentaremos situar sus fundamentos en tres planos distintos, a saber: a) desde un punto de vista epistemológico, b) desde planteamientos de la psicología cognitiva, y c) desde una perspectiva didáctica. Consecuencia de este análisis, y fruto de la integración de los fundamentos planteados a lo largo de los tres planos, mostraremos y justificaremos el papel que hoy en día vienen jugando los enfoques de enseñanza mediante modelización en la enseñanza de las ciencias.

## 2. Fundamentos epistemológicos

Frente a la concepción de ciencia centrada en el positivismo lógico, basada en la observación y en el método científico como vía de descubrimiento de verdades objetivas, durante la segunda mitad del siglo XX surgieron autores como Kuhn (1971), Feyerabend (1973) o Lakatos (1983) que dieron lugar a lo que se ha llamado la corriente relativista de la nueva filosofía de la ciencia. Desde esta corriente, se considera que el conocimiento no es solo el producto de la actividad científica, sino también su punto de partida, dado que la observación y la experimentación están “cargadas” de teoría (Hanson, 1977). Las teorías que sostienen los científicos no son solamente previas a la observación y a la experimentación, sino que las condiciona, de modo que la interpretación de la realidad depende del marco de referencia que adopta el investigador. Desde esta posición, no existen verdades objetivas únicas, sino que las “verdades” dependen del consenso adoptado por la comunidad científica en un momento determinado, a través de lo que Kuhn denominaba “paradigmas” o Lakatos “programas de investigación”. En consecuencia, el conocimiento no es una copia ni una imagen de la realidad, sino una construcción sobre la base de presupuestos teóricos que sirven a la ciencia para dar sentido a la información que obtiene a través de la investigación.

Al lado de estas corrientes, han surgido otras, como la “pragmatista” o la “realista”, que en cierto modo vienen a situarse en posiciones intermedias entre aquellos dos extremos. Para la corriente “pragmatista”, uno de cuyos exponentes conocidos es Stephen Toulmin, no es del todo relevante centrar la atención en si el conocimiento científico es una imagen de semejanza o no respecto a la realidad, sino que lo que importa es que la ciencia sirva para resolver problemas que hagan avanzar al conocimiento y nos ayuden a resolver nuevos problemas (Toulmin, 1977).

Para los “realistas” se considera que el conocimiento sí tiene una correspondencia con la realidad, de forma que el conjunto de leyes, principios y teorías (el mundo de las ideas) constituyen en cierta forma una representación del mundo real. No obstante, algunos de los autores de esta corriente, como Ronald Giere, pueden considerarse como “realistas moderados”, en el sentido de considerar que, aunque el mundo posee una estructura global definida, esta es demasiado compleja para ser abarcada completamente desde ninguna representación que los humanos

puedan crear o comprender (Giere, 1999). Por ello, puede decirse que cuando una teoría científica se acepta, es porque una parte importante de sus elementos representan (en algún aspecto y en cierto grado) aspectos del mundo (Giere, 1988). Este realismo moderado, puede ser coherente con algunas de las premisas del marco constructivista ya que, al fin y al cabo, la ciencia de los científicos no es una copia exacta de la realidad, sino una construcción aproximada (Giere, 1999). No obstante, se aleja del constructivismo radical propio de muchos sociólogos de la ciencia postmodernos y relativistas.

Por tanto, la realidad no puede ser representada o, si se quiere, comprendida punto a punto, pero sí puede ser representada al menos parcialmente, o si se prefiere “modelizada”. Es en este sentido en el que hemos de situar la noción de “modelo” que utiliza Giere. Veamos algunos de sus presupuestos:

- El núcleo central de la actividad científica se encuentra en la elaboración y uso de modelos. Un modelo es una representación simplificada de la realidad, a medio camino entre las teorías y la realidad.
- Los modelos son construcciones humanas resultantes tanto de la experiencia individual como social.
- Algunos modelos son mejores que otros. Un modelo es útil en tanto funciona: sirve para interpretar hechos conocidos, para realizar predicciones que se comprueban y para resolver problemas.
- El trabajo científico consiste en contrastar los hechos del mundo con modelos: si se obtiene el resultado esperado, el modelo queda reforzado y, en el caso contrario, se debilita (Figura 1).

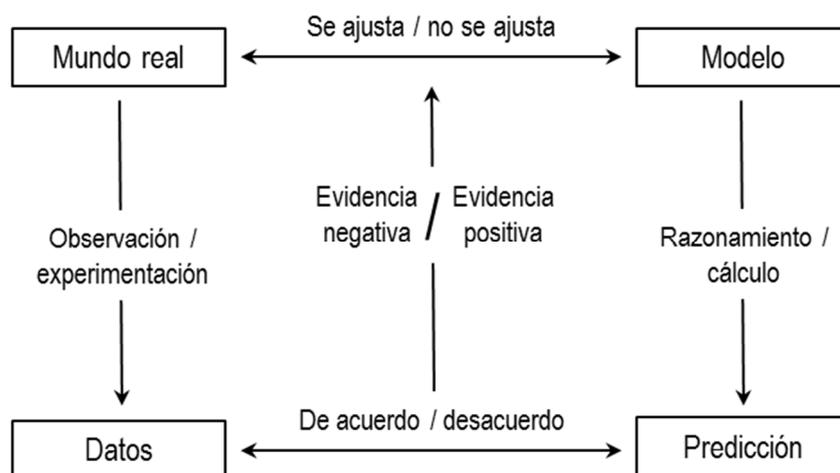


Figura 1. Papel de los modelos en el trabajo científico (Giere, 1999).

Desde esta perspectiva, las teorías adquirirían un sentido más amplio al de los modelos, estando constituidas además por enunciados teóricos (por ejemplo, definiciones y leyes) y ecuaciones y diagramas (que representan esos enunciados).

En suma, desde estas posiciones el foco de atención no se coloca por separado sobre el método científico o sobre la noción de paradigma, sino que se sitúa justamente en la intersección entre ambos, entendiendo que los modelos juegan dicho papel mediador a través de procesos de contrastación con la realidad, aspecto que tiene unas implicaciones como veremos para la práctica docente. Aun así, la idea de “método científico” puede seguir resultando válida, aunque desde otros presupuestos distintos, desde una perspectiva de racionalidad moderada y no desde bases positivistas (Izquierdo, 2000).

En este marco se contempla que los modelos juegan un papel esencial en la estructura y evolución de la ciencia y son parte integral del pensamiento y funcionamiento científico. Se trata

de elementos básicos a la hora de fundamentar, adecuar, flexibilizar y evaluar las explicaciones científicas (Halloun, 1996; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998). Harrison y Treagust (2000a) señalan que elaborar modelos y trabajar con ellos es la esencia de pensar y trabajar científicamente, y Gilbert (1993) afirma que la ciencia y sus modelos son inseparables porque los modelos son los productos de la ciencia y, a la vez, sus métodos y herramientas de trabajo.

Aunque el plano epistemológico resulta esencial para situar cualquier aprendizaje desde la especificidad del conocimiento científico, no resulta suficiente para fundamentar una perspectiva integral del aprendizaje basado en modelos. Más bien hemos de contemplarlo como un marco complementario con otros, entre ellos el de la psicología cognitiva, que puede ayudar a visualizar los mecanismos que operan en los procesos de génesis y uso de modelos y, sobre todo, durante el cambio en los modelos implicados.

### 3. Aportaciones de la psicología cognitiva

Los estudios sobre concepciones e ideas del alumnado fueron frecuentes en la década de los 80 y los 90 pero han sido objeto de críticas desde distintas instancias debido a la indefinición del marco teórico que los sustentaban. En unos casos se apelaba simplemente a su incompatibilidad con las teorías científicas del currículum escolar, en otros a su paralelismo con ideas surgidas en la historia de la ciencia, y finalmente en otros se justificaba su importancia a partir del paraguas genérico del constructivismo. No obstante, no parecía existir apenas soporte teórico a través del que orientar su estudio, más allá de la estimación de la distancia que separaba a esas concepciones espontáneas respecto al conocimiento escolar deseable. De ahí que algunos autores empezaran a ver en el marco de los “modelos mentales” de la psicología cognitiva un punto de referencia útil a la hora de fundamentar sus trabajos sobre ideas o concepciones de sentido común del alumnado, y su evolución o cambio hacia el punto de vista científico (Vosniadou, 1994).

Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo que se manifiestan como representaciones internas al individuo que le permiten comprenderlo, al dotarle de capacidad para explicar hechos y realizar predicciones adelantándose a los acontecimientos (Johnson-Laird, 1983; Holland et al., 1986; Pozo, 1989; Gutiérrez y Ogborn, 1992; Vosniadou, 1994; Greca y Moreira, 1998, 2000). Tienen, por tanto, para las personas una utilidad semejante –en el sentido metafórico– al que poseen los modelos de la ciencia para el científico, ya que se elaboran con objeto de comprender y predecir los sistemas físicos con los que se interactúa (Grosslight, Under, Jay y Smith, 1991; Greca y Moreira, 1998; Reiner y Gilbert, 2000; Solsona, Izquierdo y Gutiérrez, 2000). Surgen de la necesidad de dar sentido a una situación, un problema, una conversación con otra persona, una lectura, etc., tratándose por tanto del producto de la interacción del conocimiento previo con información proveniente del exterior (Perales y Jiménez, 2002).

Al contrario de lo que ocurre con otras formas de representación, como es el caso de los esquemas, que tienen una estructura más rígida y estable, los modelos mentales se consideran formas dinámicas y manipulables, basadas en un conocimiento tácito formado por creencias personales, reglas causales, imágenes visuales y otro tipo de representaciones permanentes archivadas en la memoria (Pozo, 1989; Reiner y Gilbert, 2000; Greca y Moreira, 2000; Vega, 2001a,b; Perales y Jiménez, 2002). En este sentido, pueden considerarse como mediadores entre una estructura cognitiva más estable y las experiencias con el mundo exterior. Por tanto, los modelos mentales son estructuras provisionales, en el sentido de que se elaboran para la ocasión aunque se constituyen a partir de información estable almacenada en la memoria a largo plazo del individuo.

Aunque existen distintas corrientes basadas en este tipo de representación, una de las más relevantes es la basada en las propuestas de Vosniadou para el aprendizaje de las ciencias (Vosniadou, 1994; Vosniadou y Brewer, 1994). Según dicha autora, la construcción de conocimiento no tiene lugar a través de la formación de conceptos aislados que luego se conectan

para formar estructuras más complejas. Por el contrario, los conceptos estarían embebidos desde la más tierna infancia en estructuras teóricas más amplias, las cuales servirían a los alumnos como instrumento para interactuar con el medio externo que le rodea.

En general, se entiende que los modelos mentales son estructuras flexibles y dinámicas (Vosniadou, 1994), por cuanto, siendo el producto de la actividad cognitiva del alumno, se elaboran a través de un proceso de activación y toma de decisiones, en estrecha conexión con la especificidad del problema o fenómeno que se plantea y del contexto y formato de la tarea (Pozo, 1989). Se trata, pues, de un tipo de conocimiento que podría catalogarse como “situado” y “articulado”, que se genera para dar respuesta a problemas específicos, no pudiendo ser considerados, por lo general, como representaciones permanentes en su conjunto, aunque sí a través de sus partes. A pesar de ello, es posible que algunos modelos mentales que se generaron en el pasado, o parte de los mismos, se almacenen como estructuras separadas estables que pueden activarse “en bloque” mucho tiempo después, cuando se les necesita (Vosniadou, 1994).

Los modelos mentales se generan de manera lenta y gradual, pero coherente, en el intento de adaptar las creencias y presuposiciones epistemológicas y ontológicas del individuo con los datos e informaciones recibidas desde el exterior (Vega, 2001a). De ahí que presenten un cierto grado de estructuración, si bien su grado de coherencia interna y generalidad distan mucho de alcanzar los límites en los que se mueven los modelos en la Ciencia (Oliva, 1999).

Desde esta perspectiva, las ideas o concepciones pueden reinterpretarse en términos de modelos mentales usados por los individuos para interpretar fenómenos y situaciones del mundo real. En este contexto, la evolución de los modelos mentales puede entenderse como un cambio o evolución en las concepciones del alumnado. Así, sabemos que el aprendizaje se verifica mediante la construcción de nuevos modelos mentales y mediante la reconstrucción de los ya existentes para hacerlos más útiles (Gutiérrez y Ogborn, 1992; Vosniadou, 1994; Gutiérrez, 1996). Desde la perspectiva de autoras como Vosniadou (1994), el cambio conceptual podría interpretarse como una modificación progresiva en los modelos mentales que posee el sujeto, modificación que podría generarse por un proceso de enriquecimiento de información a partir de la estructura conceptual existente, o por una revisión o cambio de las creencias y presupuestos de partida. La forma más simple de cambio es el “enriquecimiento” de la estructura conceptual existente. El enriquecimiento consiste en la adición de información al marco teórico existente y resulta una forma de cambio relativamente cómoda y fluida. Como señala dicha autora, los alumnos no suelen tener dificultades para añadir hechos y atributos a su estructura conceptual existente, siempre y cuando estas informaciones no contradigan esas estructuras.

La “revisión”, por su parte, supondría una forma de cambio más compleja que podría efectuarse cuando la nueva información añadida es inconsistente con el conocimiento de partida. En estos casos, el cambio exigiría una transformación en el conocimiento tendente a eliminar las inconsistencias existentes. Un cambio de este tipo se puede dar, según Vosniadou, a dos niveles distintos de conocimiento: a un nivel específico o a un nivel estructural; siendo la revisión en el primer caso un proceso más sencillo que en el segundo.

El cambio en niveles estructurales de conocimiento sería más complejo porque ello implica un cambio profundo en los presupuestos y creencias más arraigadas, vinculadas a años de puesta a prueba y confirmación a través de la experiencia diaria. En tales circunstancias, no bastaría con cuestionar las respuestas que los alumnos dan a las preguntas o cuestiones que se les formula, en aras de sustituirlas por ideas más próximas al punto de vista científico. Más bien se trataría de ir a la raíz promoviendo un cambio en los supuestos conceptuales, epistemológicos y ontológicos que están en su base. Estas dos modalidades de cambio, aunque con matices, se aproximan bastante a los tipos de cambio apuntados por otros autores (Hewson, 1981; Posner et al., 1982; Carey, 1991; Chi 1992), y parecen ajustarse parcialmente a los procesos de acomodación y asimilación apuntados por Piaget.

Lo visto hasta aquí nos ayuda a entender la naturaleza de los modelos tanto en la ciencia como en el aprendizaje de las ciencias. A continuación, completamos la visión que nos ofrece la suma de estos dos planos por separado, abordando el problema desde un tercer punto de vista, como es el de la interacción entre modelos mentales y los modelos externos que se utilizan como referente el currículum escolar, situándonos pues justo en el marco que proporciona la educación formal.

#### 4. Fundamentos didácticos

La idea de modelo juega un papel central también hoy como unidad de conocimiento utilizado para conformar estándares de enseñanza-aprendizaje en el currículum escolar. Se utiliza con distintas acepciones y significados entre los que existen algunas conexiones importantes, pero también diferencias notables que conviene tener presente. A la hora de establecer diferencias utilizaremos como marco de análisis una adaptación del esquema de aprendizaje a través de modelos propuesto por Clement (2000), el cual ha sido expuesto ya en trabajos anteriores (Oliva, Aragón, Bonat y Mateo, 2003; Oliva-Martínez, Aragón y Jiménez-Tenorio, 2015a). Según Clement (2000), el aprendizaje consiste en la evolución sucesiva de los modelos del alumnado, adoptando como referente el modelo de la ciencia escolar. La continuidad entre modelos intuitivos y los modelos nuevos que se deben aprender puede producirse, según este autor, gracias a la existencia en el alumnado de concepciones iniciales útiles que pueden servir de anclaje de los nuevos modelos generados. Sobre este supuesto básico hemos incorporado dos ideas adicionales, configurando así nuestra propia perspectiva de aprendizaje a través de modelos que se expone en la figura 2.

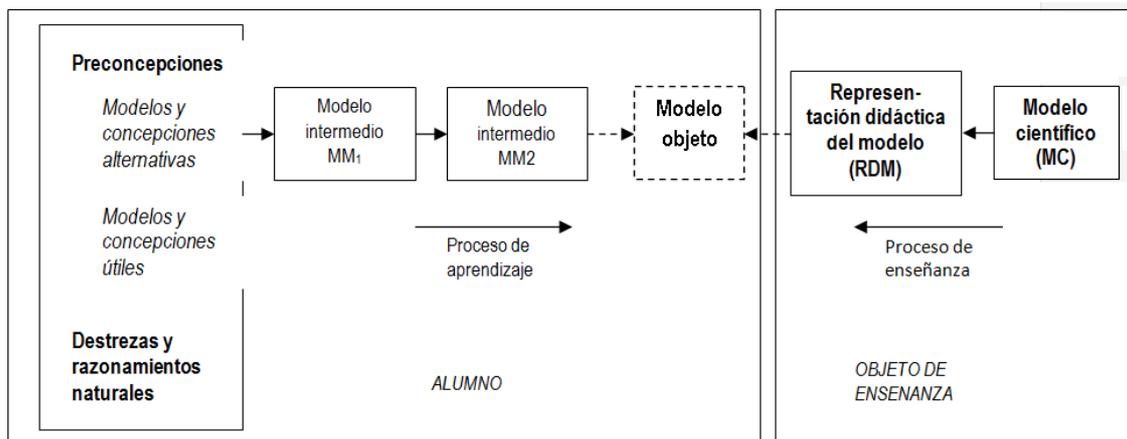


Figura 2. Los modelos en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Oliva et al., 2003).

Nuestra primera aportación al esquema de Clement consiste en discernir entre conocimiento que es interno y externo al alumno (Marín, 2003) o, lo que es lo mismo, entre conocimiento del estudiante y conocimiento o contenido a enseñar. La segunda se refiere a la necesidad de diferenciar entre contenido científico y contenido escolar, considerando a este último como resultado de la transposición didáctica del primero y verdadero referente externo del aprendizaje.

Para tener en cuenta estas matizaciones, el esquema de la figura 2 integra algunas de las ideas aportadas por Greca y Moreira (2000) sobre diferencias entre modelos mentales (internos al individuo) y modelos conceptuales (externos al individuo). Así mismo incorpora la ya clásica distinción entre conocimiento científico y conocimiento escolar, que en este caso se traduce en la distinción entre modelos científicos -MC- y las representaciones didácticas de esos modelos -RDM- (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

En el recuadro de la izquierda, etiquetado con la palabra alumno, los modelos que aparecen son modelos mentales (MM), que abarcan las representaciones internas de las que disponen los estudiantes acerca de un fenómeno o sistema dado, y que evolucionan con el tiempo, consecuencia del aprendizaje en el contexto escolar y también del que sucede en contextos no formales.

En el recuadro de la derecha, por su parte, los modelos que se incluyen son de tipo conceptual, al tratarse de conocimientos de tipo explícito y externo a los individuos, resultado del consenso alcanzado por las comunidades científicas y/o de educadores y divulgadores encargados de hacer llegar esa ciencia a los escolares o al público en general. Dentro de estos últimos hemos de distinguir los modelos científicos (MC), como conocimientos eruditos de alto nivel desarrollados por la ciencia, de sus representaciones didácticas (RDM), fruto de la transposición didáctica del conocimiento científico en conocimiento escolar (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). En sus distintas versiones, esas representaciones se utilizan para organizar la comprensión del alumno y como base para delimitar un conocimiento escolar deseable que sirve como punto de referencia externo (Justi y Gilbert, 2002).

Como se sugiere en la figura 2, la elaboración y evolución de los modelos mentales en el alumno no es el producto de un proceso de transmisión de significados, sino consecuencia de la evolución cognitiva que resulta de la interacción entre los modelos mentales del alumno y las representaciones didácticas de esos modelos (Gutiérrez y Ogborn, 1992; Vosniadou, 1994; Gutiérrez, 1996). En unas ocasiones, esas representaciones se proporcionan directamente, en formato declarativo, mediante una versión simplificada y adaptada a la edad del modelo científico. En otras, se presentan utilizando recursos e instrumentos retóricos que ayuden a su interiorización, por ejemplo mediante dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, analogías, simulaciones digitales, paradojas, experimentos mentales, etc. Tales recursos constituyen también elementos distintivos de la enseñanza-aprendizaje de modelos en la educación científica. Así, por ejemplo, los modelos están íntimamente relacionados con los símiles o analogías, como también con el uso de maquetas y modelos a escala. En este sentido, los modelos están formados por analogías que buscan similitudes y diferencias entre la realidad y el objeto que lo representa. Por ejemplo, la teoría cinética de los gases se basa en el símil de las moléculas como “esferas rígidas”, y para explicar el efecto de calentamiento global se recurre al concepto de aumento de “efecto invernadero”. Es precisamente el símil entre el objeto real y el representado la que sirve de base para la elaboración de maquetas y otros tipos de representaciones a escalas, las cuales tienen también una base analógica.

Algunas veces el proceso de enseñanza-aprendizaje se reduce a procesos mediante los que el profesor o el libro de texto intentan ayudar a que los alumnos interioricen modelos ya hechos y acabados. Conviene tener en cuenta, en este sentido, la crítica que autores como Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) hacen de los modelos didácticos que se incluyen en la mayoría de textos, los cuales suelen tratarse de meras versiones simplificadas y descontextualizadas de los modelos científicos. No obstante, los enfoques más genuinos hoy de aprendizaje basado en modelos intentan implicar de forma activa al alumnado en la génesis y/o en la aplicación de esos modelos que se quieren enseñar, proceso o actividad que suele etiquetarse con el término de “modelización”.

## **5. Del aprendizaje de modelos a los procesos y estrategias de modelización en la educación científica**

El aprendizaje basado en modelos viene constituyendo, como decíamos, un referente esencial de muchas de las nuevas propuestas de enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Harrison y Treagust, 2000b; Izquierdo y Adúriz Bravo, 2005), con al menos dos acepciones. Una de ellas se refiere al proceso de enseñar y aprender modelos del currículum escolar, dentro del contexto expuesto en el apartado anterior. La otra se vincula, además, con la posibilidad de conceder un

mayor protagonismo a los alumnos, de modo que éstos se impliquen también intensamente en la tarea de aplicarlos, revisarlos de manera crítica, y participar en la (re)construcción de nuevos modelos desconocidos para ellos en un principio (Justi y Gilbert, 2002). Todo lo cual viene a dar sentido al concepto acuñado bajo el término de “modelización”, como actividad que engloba de manera integral a toda esta variedad de perspectivas.

En la actualidad, son muchos los autores que consideran que modelizar es una pieza clave en la educación científica, por cuanto es capaz de aglutinar en torno a ella a la mayoría de competencias científicas que se promueven hoy dentro del currículo de ciencias, y además por su potencial para desarrollar estrategias de “aprender a aprender”. Hasta tal punto puede ser considerado esencial en el aprendizaje, que autores como Halloun (1996) consideran que aprender ciencia no implica sino aprender el juego de la modelización. En contraste con ello, casi nunca se suele dedicar espacio en la escuela a enseñar a los alumnos cómo construir modelos (Justi y Gilbert, 2002) y son pocos los trabajos que ofrecen pautas para la evaluación de la modelización en ciencias (Oversby, 1999).

La modelización constituye un proceso complejo cuyo desarrollo exige toda una gama de competencias (Lopes y Costa, 2007; Oliva, Aragón y Cuesta, 2015b; Jong, Chiu y Chung, 2015). Además de conocimiento sobre el dominio específico, involucra numerosas estrategias, destrezas y determinados compromisos epistemológicos (Grosslight et al., 1991; van Driel y Verloop, 1999; Harrison y Treagust, 2000b; Justi y Gilbert, 2002; Halloun, 2007; Prins et al., 2009).

Así, por una parte, diversos autores han aportado esquemas destinados a explicar los procesos de modelización (Justi y Gilbert, 2002; Prins, 2010) (Figura 3). Desde esta perspectiva, modelizar comporta toda una gama de procesos estrechamente relacionados con los componentes del ciclo de investigación científica: plantear problemas, formular hipótesis, buscar información, elaborar nuevas ideas y explicaciones, etc. Y ello demandaría también tareas como interpretar, manejar y expresar fenómenos y situaciones mediante cierta variedad de signos, ya sean de formato proposicional o icónico (Barsalou, 1999; Nersessian, 2002), ya que gran parte de la actividad científica consiste en el uso de distintos códigos y lenguajes y en la “traducción” de unos a otros (Keig y Rubba, 1993).

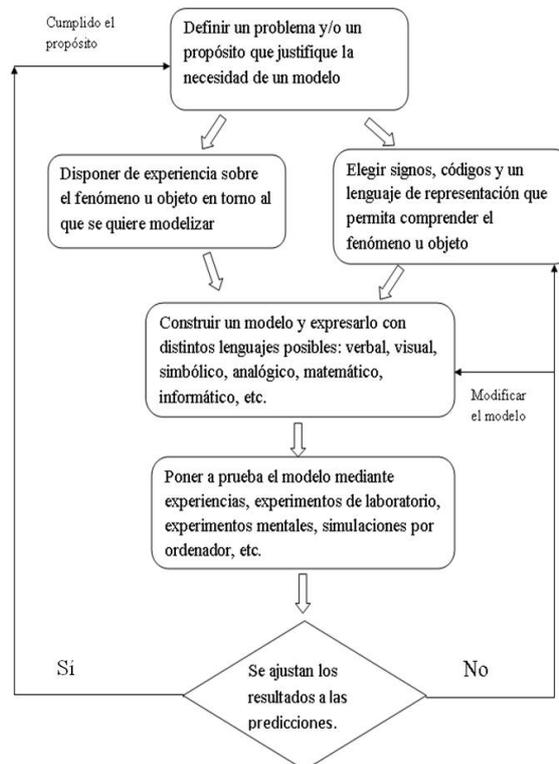


Figura 3. Adaptación del esquema modelización de Justi y Gilbert (2002) y Prins (2010).

Por otra parte, el trabajo con modelos implica la movilización de valores epistémicos en relación a la naturaleza de los mismos, como percibir el carácter racional de los modelos (Halloun, 1996), reconocer su papel en el desarrollo de hipótesis, explicaciones y argumentos científicos (Oversby, 1999), o también apreciar su utilidad y, a la vez, su carácter aproximativo, limitado y cambiante (Grosslight et al., 1991; Inghan y Gilbert, 1991; Ben-zvi y Gemut, 1998; Harrison y Treagust, 2000b). De ahí que los alumnos deban entender el rol de los modelos en las ciencias y en su aprendizaje (Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2002), conocimiento que ha sido objeto de distintas denominaciones, como 'epistemic knowlede', 'meta-modeling knowlede', 'epistemologies of models', 'metaconceptual modeling knowledge' o 'meta-representational competence' (Schwarz, 2002). Por tanto, el trabajo explícito con los alumnos en torno a la naturaleza de los procesos de modelización constituye en sí mismo una forma de trabajar y reflexionar también en torno a la naturaleza de la ciencia. De hecho, algunos estudios desarrollados muestran un importante grado de relación entre las visiones de los sujetos en torno a la naturaleza de la ciencia y la comprensión de éstos sobre la naturaleza de los modelos (Raviolo, Ramírez, López y Aguilar, 2010; Vasques Brandão, Solano Araujo y Veit, 2015; Torres y Vasconcelos, 2017).

Como puede apreciarse, el razonamiento basado en modelos demanda toda una gama de habilidades y principios axiológicos deseables, y asimismo requiere de un proceso de aprendizaje y de práctica dentro de la cultura de clase (Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2004). De ahí que la competencia de modelización deba entenderse como conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores necesarios para llevar a cabo la tarea de modelar en su dimensión más amplia (Justi y Gilbert, 2002), no solo se trataría de aprender los modelos de la ciencia escolar, sino también trabajar con ellos, elaborarlos y revisarlos, así como hablar y opinar acerca de los mismos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante y, también, sus limitaciones.

En consecuencia, un aspecto importante de la enseñanza de las ciencias debería ser enseñar a los alumnos la(s) competencia(s) necesaria(s) para la tarea de modelizar (Harrison y Treagust, 2000b; Justi y Gilbert, 2002; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Chamizo, 2010; Camacho et al., 2012), dado que las mismas pueden ser desarrolladas mediante el proceso de enseñanza (Schwarz, 2002; Schwarz y White, 2005; Halloun, 2007; Prins et al, 2009; Mendonça y Justi, 2011; Madden, Jones y Rahm, 2011; Bamberger y Davis, 2013). Todo ello con el fin de enseñar a los alumnos a construir modelos (Justi y Gilbert, 2002), y promover a la vez habilidades y destrezas relacionadas con la indagación científica (Halloun, 2007) y el pensamiento crítico acerca de los conocimientos estudiados (Solbes, 2013 a,b).

Esta perspectiva se encuentra en sintonía con los trabajos de Hodson (1992) quien plantea la necesidad de que los alumnos aprendan "ciencias", aprendan a "a hacer ciencias" y aprendan "acerca de la ciencia". Ello se traduce en que los alumnos aprendan "modelos", aprendan a "trabajar" con ellos, y aprendan "acerca" de los modelos aprendidos. Por tanto, la modelización abarcaría una componente práctica de modelización y otra de metaconocimiento (Nicolaou y Constantinou, 2014). La primera de ellas entendida como conjunto de habilidades y prácticas que permiten a una persona usar reflexivamente una variedad de representaciones, así como pensar, comunicarse y actuar sobre los fenómenos estudiados (Kozma y Russell, 1997) y la segunda como conocimiento epistémico y actividad metacognitiva que permite tanto gestionar el uso de diferentes modelos como oportunidad de percibir adecuadamente la naturaleza y el alcance de cada uno de ellos y la posibilidad de opinar acerca de los mismos (Schwarz, 2002; diSessa, 2004).

Cada una de estas dos componentes de la modelización ha sido analizada en cierta profundidad por separado a lo largo de la literatura, existiendo algunos estudios que intentan establecer conexiones entre ellas y entre las distintas dimensiones o factores que componen cada una. Así, aun cuando es difícil desentrañar empíricamente el conocimiento de los modelos del desempeño en la tarea de modelizar –habilidades para trabajar con ellos y conocimientos

epistémicos acerca de los mismos- algunos estudios han intentado analizar la posible interrelación entre esos elementos (Schwarz, 2002). Si bien los resultados obtenidos en estos estudios no son concluyentes, se aprecia suficiente evidencia que sugiere la existencia de puentes y conexiones entre todos estos elementos, apuntando hacia una cierta unidad de constructo.

De un lado, Justi y Gilbert (2002) establecían un avance progresivo en la capacidad de modelización que iba desde aprender los modelos de la ciencia escolar, hasta elaborar modelos nuevos. Concretamente, planteaban un esquema de progresión como el siguiente, en orden de menor a mayor complejidad: a) aprender modelos; b) aprender a usar modelos; c) aprender cómo revisar modelos; d) aprender a reconstruir modelos; e) aprender a construir modelos nuevos. Se supone que la competencia del estudiante ante cualquiera de estas tareas requeriría disponer de las capacidades que se necesitan para realizar las anteriores, de ahí la complejidad creciente de dicha gradación. Así, por ejemplo, en dicha jerarquía, el conocimiento de los modelos curriculares sería un paso previo a la posibilidad de utilizar, valorar o revisar modelos ya construidos.

Recíprocamente, existen diversos estudios que sugieren una influencia positiva de la comprensión de la naturaleza de los modelos sobre el aprendizaje de las ciencias (Schwarz, 1998, 2002; Gobert et al., 2011). En dichos estudios se aportan datos que muestran que aquellos alumnos que son conscientes de la utilidad de los modelos, de cómo estos se generan o de que no son réplicas exactas de la realidad, pueden comprender mejor qué modelos han de usar en sus razonamientos. De otro, encontramos trabajos como el de Gobert y Discenna (1997) que muestran que los estudiantes que mantienen una comprensión más avanzada acerca de la naturaleza de los modelos, son más capaces también de hacer inferencias con sus modelos una vez construidos. Resultados similares fueron obtenidos más recientemente por Cheng y Lin (2015).

Por otro lado, Smith et al. (2002) encontraron que en la medida en que los estudiantes son conscientes de la utilidad de los modelos y de que estos pueden ser evaluados en función de cómo encajan con la evidencia, son más capaces de emplearlos para explicar evidencias y datos, así como comprender qué modelo es el más apropiado. Más recientemente, Schwarz y White (2005) mostraron que aquellos escenarios didácticos que promueven la indagación basada en modelos acompañada del desarrollo del conocimiento de metamodelización, pueden facilitar el aprendizaje del contenido científico a la vez que se desarrolla también la comprensión sobre la empresa científica. Finalmente, Sins et al. (2009) estudiaron la relación entre la comprensión epistemológica de los alumnos acerca de los modelos manejados en las clases y sus habilidades de procesamiento cognitivo en las tareas desarrolladas. Los resultados mostraron una correlación positiva entre ambas variables.

Es decir, parece que empieza a haber una suficiente confluencia de datos que soportan la hipótesis de que algún tipo de relación existe entre aprender modelos, trabajar con ellos y comprender su naturaleza (Oliva, Aragón y Cuesta, 2015b), si bien, se requiere mucha más investigación empírica destinada a comprobar tal efecto.

Visto de esta manera, los procesos de modelización en el aula se convierten no solo en un objeto y contenido de aprendizaje, sino también en una vía de enseñanza y en una estrategia de aprendizaje, por cuanto aporta un escenario para el desarrollo de propuestas metodológicas comprometidas tanto con el aprendizaje de modelos como, en un sentido más amplio, con el desarrollo de la competencia de modelización. Tales estrategias vienen a sumarse a otras ya conocidas desde hace tiempo, como el aprendizaje por descubrimiento, las estrategias de cambio conceptual, o los enfoques de enseñanza-aprendizaje por investigación en torno a problemas, entre otras.

Básicamente, son cuatro, al menos, los posibles rasgos que pueden caracterizar la estrategia de modelización, aunque no necesariamente todos ellos tengan que estar presentes de forma simultánea:

- a) Que el currículum adopte a los modelos como núcleos centrales de referencia, concibiendo el aprendizaje como progresión a lo largo de diferentes modelos.

- b) Que la enseñanza se desarrolle de modo que contribuya al desarrollo de destrezas y valores propios de la competencia de modelización: aplicar modelos para explicar fenómenos; usarlos para realizar predicciones; tomar conciencia sobre el valor aproximativo y limitado de los modelos; establecer límites y ámbitos de validez; gestionar el uso de varios modelos; contribuir a la elaboración de nuevos modelos; etc.
- c) Que instrumentos como las analogías, las maquetas, los modelos a escala, las simulaciones por ordenador, entre otros, formen parte del repertorio de recursos usados en el aula.
- d) Que las tareas que han de abordar los alumnos en el aula, y/o fuera de ella, sigan una secuencia o al menos una intencionalidad- semejante a la de un esquema de modelización como el previsto en la figura 3.

Tales rasgos pueden resultar útiles tanto a la hora de demarcar teóricamente qué propuestas de enseñanza se ubican dentro del ámbito de la modelización, como a la hora de establecer criterios básicos para la elaboración de unidades didácticas planteadas desde esa perspectiva.

## 6. Conclusiones

Como puede verse, los enfoques centrados en la modelización arrancan de presupuestos epistemológicos y de la psicología cognitiva, que tienen repercusiones en el plano didáctico y en la práctica de la educación científica. Básicamente, y resumiendo, desde un punto de vista didáctico tiene las siguientes connotaciones:

- Los modelos son el núcleo central en torno a los que los alumnos construyen conocimientos. El conocimiento se construye en situaciones y contextos concretos.
- En el marco académico (bachillerato y universidad) los contextos a emplear en la tarea de modelización probablemente se aproximen a situaciones y marcos propios del trabajo científico. Para una formación ciudadana (primaria y secundaria obligatoria), los contextos a emplear pueden y deben aproximarse a situaciones cotidianas.
- No es suficiente con que los alumnos aprendan modelos ya hechos. Deben aplicarlos, aprender a revisarlos y cuestionarlos, aportar ideas que contribuyan a generar nuevos modelos y, llegado el caso, aprender a generar nuevos modelos de forma autónoma; todo lo cual viene a configurar lo que se viene llamando competencia de modelización.
- Por tanto, los diseños de enseñanza deben situar a los alumnos ante situaciones en las que desarrollen la competencia de modelización.
- La competencia de modelización constituye una dimensión importante de la competencia científica, no es algo distinto sino parte de ella.
- Las analogías, maquetas, modelos a escala, escenificaciones, simulaciones y los experimentos mentales, constituyen herramientas y recursos didácticos que sitúan a los alumnos en tareas de modelización científica.
- Los enfoques de enseñanza por modelización no son contradictorios con otros planteados dentro del marco constructivista, como el cambio conceptual, la enseñanza por investigación en torno a problemas, la argumentación, el marco CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad), etc. En realidad todos ellos son complementarios, y de hecho gran parte de lo que proponen los otros puede asumirse desde los enfoques centrados en modelos y modelización:
  - a) El cambio conceptual puede entenderse desde aquí como un cambio o evolución en los modelos explicativos de los alumnos.
  - b) La enseñanza por investigación en torno a problemas, impregna netamente la modelización cuando se plantea a partir de un propósito concreto, con una participación activa por parte del alumno y a través de procesos de indagación y comprobación de los modelos generados.

- c) La argumentación, como instrumento crítico para aprender a leer y escribir ciencias, constituye una herramienta esencial a la hora de justificar y criticar los modelos desarrollados por otros o los contruidos por uno mismo, por lo que juega también un papel esencial en los procesos de modelización en ciencias.
- d) La enseñanza CTS puede ser de utilidad para proponer contextos en torno a los que trabajar desde enfoques de modelización. En un plano más formal o académico, la historia de la ciencia jugaría un papel central en este sentido, en un marco más próximo a la educación obligatoria, los contextos cotidianos podrían jugar mejor ese papel.

En suma, los enfoques centrados en la modelización parecen jugar hoy un papel importante en la enseñanza de las ciencias, no solo por resultar un marco prometedor para el desarrollo de propuestas didácticas y abrir nuevas perspectivas de investigación, sino por su poder para integrar otras estrategias didácticas y reconceptualizar viejos recursos didácticos conocidos, como por ejemplo las analogías o los modelos a escala, que tan larga tradición tienen en las prácticas de aula.

Finalmente, hay que señalar que la modelización constituye hoy también un campo de investigación joven y efervescente en la didáctica de las ciencias, con numerosos retos y desafíos en forma de preguntas por resolver. En primer lugar, y desde un punto de vista de sus fundamentos, constituye un tema importante a investigar la demarcación de la noción de competencia de modelización, para lo que se precisan estudios tanto de carácter teórico como empíricos destinados a esclarecer la estructura interna y la posible unidad de constructo que la preside, así como su vinculación con la competencia científica. En segundo lugar, desde una perspectiva aplicada, se requieren estudios destinados al diseño y evaluación de propuestas didácticas específicas sobre distintos temas curriculares y para diferentes niveles educativos. Con ello se pretendería, de un lado, incidir en las prácticas de aula y, de otro, comprobar la validez de este tipo de enfoques a través de estudios de caso y/o de investigaciones basadas en diseños. Finalmente, y sin pretender agotar todas las posibilidades, debería realizarse un esfuerzo por integrar estos enfoques con otros ya existentes, como los que se derivan de la enseñanza en contexto, la cual aportaría escenarios de aprendizaje reales, vinculados a entornos CTS y/o con la vida diaria, que den un sentido pleno a la actividad de modelización desde la perspectiva del alumnado. Todas éstas son instancias en torno a las que venimos investigando en la actualidad y sobre las que esperamos ir aportando resultados e interpretaciones que lleven a profundizar en este terreno, así como aportar conclusiones e implicaciones de interés para la práctica docente y para la formación del profesorado de ciencias.

Financiado por: FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades–Agencia Estatal de Investigación/\_Proyecto EDU2017-82518-P.

## Referencias bibliográficas

- Bamberger, Y.M. y Davis, G.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.
- Barsalou, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, pp. 577-609.
- Ben-zvi, N. y Gemut, S. (1998). Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool. *International Journal of Science Education*, 20(3), 351-360.
- Camacho, J.P., Jara, N., Morales, C., Rubio, N., Muñoz, T. y Rodríguez, G. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 196-212. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10498/14729>

- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? En Carey, S. y Gelman, R. (eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 257-291). Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum.
- Chamizo, J.A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10498/9861>
- Cheng, M.F. y Lin, J.L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475.
- Chi, M. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. En Giere, R. (Ed.), *Cognitive models of Science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- diSessa, A.A. (2004). Metarepresentation: native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), pp. 293-331.
- Feyerabend, P. K. (1973). *Tratado contra el método*. Madrid: Tecnos.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 231-242.
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el Razonamiento Científico. *Enseñanza de las Ciencias*, (Número Extra), 63-70.
- Gilbert, J.K. (1993). *Models and modelling in science education*. Hatfield, UK: Association for science education.
- Gilbert, J.K., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gobert, J. y Discenna, J. (1997). *The relationship between students' epistemologies and model-based reasoning*. Kalamazoo, MI: Western Michigan University, Department of Science Studies.
- Gobert, J., O'dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B., Levy, S.T. y Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' epistemologies of models and conceptual learning in three science domains: Biology, Physics, y Chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), 653-684.
- Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 289-303.
- Greca, I.M. y Moreira, M.A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Gutiérrez, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, 7, 73-86.
- Gutiérrez, R. y Ogborn, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 201-220.
- Halloun, I. (1996). Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
- Halloun, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science y Education*, 16, 653-697.
- Hanson, N. R. (1977). *Patrones de descubrimiento: observación y explicación*. Madrid: Alianza Editorial.

- Harrison, A.G. y Treagust, D.F. (2000a). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Harrison, A.G. y Treagust, D.F. (2000b). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, 352-381.
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-96.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.
- Holland, J.H., Holyoack, K. J., Nisbett, R. E. y Taghard, P. (1986). *Induction: Processes of Inference, Learning and Discovery*. Cambridge: MIT Press.
- Ingham, A.M. y Gilbert, J.K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13, 193-202.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F.J. Palacios y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 35-64). Madrid: Alcoy.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. Actas del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, (Número Extra), 1-4.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, M.A.: Harvard University Press.
- Jong, J.P., Chiu, M.H. y Chung, S.L. (2015). The use of modeling-based text to improve students' modeling competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018.
- Justi, R. y Gilbert, J.K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Keig, P.F. y Rubba, P.A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 883-903.
- Kozma, R.B. y Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novices Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.
- Kuhn, T.S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza editorial.
- Lopes, J.B. y Costa, N. (2007). The evaluation of modelling Competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- Madden, S.P., Jones, L.L. y Rahm, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 283-293.
- Marín, N. (2003). Conocimientos que interactúan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 65-78.
- Mendoça, P.C.C y Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of Case Study. *Research in Science Education*, 41, 479-503.
- Nersessian, N.J. (2002). Maxwell and "the Method of Physical Analogy": Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. En D. Malament (Ed.). *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics* (pp. 129-166). Lasalle, Illinois, Open Court.
- Nicolaou, C. T. y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.

- Oliva, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-108.
- Oliva, J.M.; Aragón, M.M.; Bonat, M. y 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.
- Oliva, J.M<sup>a</sup>; Aragón, M<sup>a</sup>M.; Cuesta, J. (2015). The competence of modelling in learning chemical change: a study with secondary school students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 751-791. doi: 10.1007/s10763-014-9583-4
- Oliva-Martínez, J.M.; Aragón, L.; Jiménez-Tenorio, N. (2015a). Analogías y progresión del conocimiento del alumnado en la clase de ciencias. Alambique. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 79, 35-44.
- Oversby, J. (1999). Assessment of modelling capability. Second International Conference of European Science Education Research Association. Kiel, Alemania.
- Perales, F. y Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. y Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Pozo, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Prins, G.T. (2010). *Teaching and Learning of Modelling in Chemistry Education. Authentic Practices as Contexts for Learning*. Leersum, The Netherlands, FSC.
- Prins, G.T., Bulte, A.M., Van Driel, J.H. y Pilot, A. (2009). Students' involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. *Research in Science Education*, 39, 681-700.
- Raviolo, A., Ramírez, P., López, E. A. y Aguilar, A. (2010). Concepciones sobre el conocimiento y los modelos científicos: un estudio preliminar. *Formación universitaria*, 3(5), 29-36.
- Reiner, M. y Gilbert, J.K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), pp. 489-506.
- Schwarz, C. (1998). *Developing students' understanding of scientific modelling*, Unpublished doctoral dissertation. University of California, Berkeley.
- Schwarz, C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. En: the Proceedings of International Conference of Learning Sciences. Seattle, WA.
- Schwarz, C. y White, Y.B. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modelling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Sins, P.H.M., Savelsbergh, E.R., Van Joolingen, W.R. y Van Hout-Wolters, B.H.A.M. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205-1229.
- Smith., C., Snir, J. y Raz, G. (2002). *Can middle schoolers understand the particulate theory of matter as an explanatory model? An exploratory study*. New Orleans, LA.: American Educational Research Association meeting.
- Solbes, J. (2013a). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 1-10. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10498/14993>.
- Solbes, J. (2013b). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(2), 171-181. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10498/15113>
- Solsona, N., Izquierdo, M. y Gutiérrez, R. (2000). El uso de razonamientos causales en relación con la significatividad de los modelos teóricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 15-23.

- Torres, J. y Vasconcelos, C. (2017). Desarrollo y validación de un instrumento para analizar las visiones de los profesores sobre modelos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 181-198.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. El uso colectivo y evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Treagust, D., Chittleborough, G. y Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G.D. y Mamiala, T.L. (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in Science Education*, 34, 1-20.
- Van Driel, J.H. y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Vasques Brandão, R., Solano Araujo, I. y Veit, E. A. (2015). Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelado científico en el contexto de la física. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 6(1), 43-60.
- Vega, A.M. (2001a). *Sol y Luna, una pareja precopernicana. Estudio del día y la noche en Educación infantil* (Tesis Doctoral). Universidad de la Laguna.
- Vega, A.M. (2001b). Tenerife tiene seguro de Sol (y de Luna). Representación del profesorado de Primaria acerca del día y de la noche. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 31-44.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S. y Brewer, W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.