



Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias

Different definitions for the idea of modeling in science education

José M.^a Oliva

Departamento de Didáctica. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Cádiz. Puerto Real, Cádiz (España)

josemaria.oliva@uca.es

RESUMEN • Modelo y modelización son términos empleados habitualmente en la literatura de didáctica de las ciencias con distintas acepciones. En este artículo se identifican y analizan al menos cinco acepciones diferentes para el término *modelización*: 1) la modelización como progresión de modelos; 2) la modelización como práctica científica; 3) la modelización como competencia; 4) la modelización en su dimensión instrumental, y 5) la modelización como estrategia de enseñanza. A partir de este análisis se sugiere la necesidad de conectar las distintas perspectivas, con el objeto de unificar la terminología usada y desarrollar propuestas didácticas integradoras que sean de utilidad para la investigación y para las prácticas de aula en la enseñanza de las ciencias.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje basado en modelos; Aprendizaje basado en modelización; Enseñanza basada en modelos; Modelos; Modelización.

ABSTRACT • Model and modeling are terms commonly used with different meanings in the literature of science education. In this paper, at least five different meanings for the term *modeling* are identified and thus analyzed: 1) modeling as model progression; 2) modeling as a scientific practice; 3) modeling as competence; 4) modeling in its instrumental dimension; and 5) modeling as a teaching strategy. From this analysis it is suggested that it is necessary to connect the different perspectives in order to unify the terminology used and develop integrative didactic proposals that are useful for research and classroom practices in the teaching of science.

KEYWORDS: Teaching-based models; Teaching based on modeling; Models; Modeling.

Recepción: abril 2018 • Aceptación: octubre 2018 • Publicación: junio 2019

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>

INTRODUCCIÓN

Los modelos juegan un papel central tanto en la ciencia como en la educación científica (Martinand, 1986; Halloun, 1996; Gilbert, Boulter y Elmer, 2000; Justi, 2006), siendo en ambos casos mediadores entre el mundo y las teorías (Giere, 1999; Morrison y Morgan, 1999; Acevedo-Díaz, García-Carmona, Aragón-Méndez y Oliva-Martínez, 2017).

En la bibliografía la palabra *modelo* se utiliza con distintos significados debido al carácter polisémico que posee (Harrison y Treagust, 2000; Gutiérrez, 2005, 2014; Chamizo, 2010; Adúriz-Bravo, 2012; Hernández, Couso y Pintó, 2015). Entre las distintas definiciones, hemos optado por la de considerar como modelo una representación de un objeto o un fenómeno con un objetivo específico (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). En términos científicos, dicho objetivo consistiría en describir, explicar o predecir situaciones y hechos (Adúriz-Bravo, 2012), y en última instancia en responder preguntas o poner a prueba las teorías. Esta definición está en consonancia con la de Minsky (1965), para quien un modelo de algo ha de servir para responder preguntas sobre ese algo sin tener que recurrir directamente a él.

El término *representación* se entiende como una expresión formal y parcial de la entidad modelada, que al mismo tiempo es capaz de abstraer y reformular de otra manera la esencia de la entidad que evoca (Morrison y Morgan, 1999; Justi, 2006). Por ello, el modelo científico no es una representación literal, sino incompleta, aproximada, inexacta y más simple que el sistema representado (Concari, 2001), por cuanto el modelo-objeto en cuestión no es sino una representación esquemática conceptual del fenómeno implicado (Bunge, 1973).

En un contexto didáctico, la idea de modelo tiene asimismo diferentes acepciones, desempeñando todas ellas un papel esencial en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Así, por una parte, los modelos enseñados proporcionan una representación externa adaptada a la edad del modelo científico de referencia, fruto de su transposición didáctica. Pero, por otra parte, los modelos han de ser construidos internamente por los propios alumnos, mediante procesos de andamiaje que apelan, entre otros, a recursos externos, muchos de los cuales pueden ubicarse dentro de la categoría de modelos analógicos escolares (Harrison y Treagust, 2000).

Si la noción de modelo es polisémica y tiene distintos significados, la idea de modelización tiene también distintas acepciones. Ello en función de si el foco se sitúa en los modelos en sí mismos, en los procesos que lo acompañan, en las demandas que requiere de los estudiantes, en los recursos instrumentales que permiten representarlos o en las estrategias que regulan en conjunto cada una de esas posibilidades. De ahí que se plantee la necesidad de conocer y caracterizar esta variedad de planteamientos, lo cual es justamente el propósito de este artículo.

LA MODELIZACIÓN COMO PROGRESIÓN DE MODELOS

La enseñanza-aprendizaje basada en modelos (*model-based teaching and learning*) ha sido definida como aquella «... diseñada para sostener el desarrollo y la evolución de los modelos mentales de los alumnos» (Buckley, 2012^a, p. 2312). Se asume que los modelos pueden ser importantes para el logro de la comprensión conceptual en la ciencia a un nivel que va más allá de la memorización de hechos, ecuaciones o algoritmos. Y que ello «no solo llevará al estudiante, a través de explicaciones satisfactorias, a la percepción de que aprender ciencia puede tener sentido, sino también a que incorpore una forma de conocimiento flexible que pueda ser aplicado y transferido» (Clement, 2000, p. 1042).

Desde esta perspectiva, y sin descartar la consecución de otras metas didácticas, la educación científica se interpreta en clave de aprendizaje de modelos, orientación que parece la más frecuente en los estudios realizados en el marco de la modelización. De hecho, en una revisión de estudios sobre mode-

lización realizada por Campbell, Oh, Maughn, Kiriazis y Zuwallack (2015), en más de las tres cuartas partes de los artículos analizados, sobre un total de 81, el principal propósito didáctico de las tareas de modelización era desarrollar una comprensión en torno a algún núcleo disciplinar de las ciencias.

Unido a ello, resulta frecuente contemplar el aprendizaje basado en modelos como un recorrido o itinerario de progresión, que partiría de los modelos personales intuitivos de los alumnos, teniendo como referentes otros más complejos y coherentes con el currículum escolar (Clement, 2000). De este modo, la enseñanza perseguiría la evolución de los modelos del alumnado, lo cual sería posible no solo mediante enseñanza directa, sino también mediante preguntas que los alumnos han de responder a partir de sus modelos mentales. Como señalan Gobert y Buckley (2000), cuando cualquier persona se plantea una pregunta, elabora un modelo mental para darle respuesta, que luego evalúa y revisa en caso necesario.

Este tipo de enfoque es en parte heredero del estudio de las concepciones de los alumnos y del cambio conceptual. De un lado, Driver (1989) apuntaba al estudio de la progresión conceptual como una de las direcciones que se deben seguir, resaltando la necesidad de investigaciones dirigidas a diagnosticar los cambios que experimentan las concepciones de los alumnos en dominios específicos. Se considera, de esta manera, que estas investigaciones podrían ser de utilidad en la planificación del currículo y en la enseñanza, al proporcionar información sobre cómo aprende el alumno (Prieto, Watson y Dillon, 1992; Prieto, Blanco López y Brero Peinado, 2002). De otro lado, Clement (2000) situaba la enseñanza basada en modelos dentro de los intentos por desarrollar una teoría para la enseñanza por cambio conceptual.

La idea de progresión en el conocimiento se relaciona, pues, con la posibilidad de establecer niveles sucesivos de sofisticación en el conocimiento en un dominio dado. Se trataría con ello de «ayudar a los alumnos a cubrir un cierto número de pequeñas etapas que les conduzcan a la adquisición de grandes ideas, teniendo en cuenta que algunas de ellas pueden plantear dificultades importantes» (Prieto *et al.*, 2002, p. 5). Esta forma de entender el aprendizaje descansa sobre dos condiciones necesarias para la construcción del saber. Por un lado, que exista una evolución significativa en el conocimiento, de modo que en cada tránsito haya cierta variación de una fase a la siguiente. Por otro, que cada paso conlleve una cierta continuidad para garantizar que no existan grandes desniveles y que cada salto sea viable. Por tanto, la idea de progresión se traduciría en cambios parciales a corto plazo, y en cambios drásticos a largo plazo.

Desde este posicionamiento se reconoce la necesidad de concebir el conocimiento escolar como un saber estructurado en forma de modelos, que aporten visiones coherentes y funcionales sobre la realidad (Cañal, 2004). Para ello se suelen definir dimensiones sobre las que se trazan itinerarios de progresión específicos, que más tarde se articulan entre sí transversalmente para configurar visiones de conjunto.

Aun cuando los estadios iniciales e intermedios puedan estar aún alejados del modelo de referencia que se quiere enseñar, estos modelos no deberían verse «como entidades estáticas llenas de imperfecciones, sino como entidades dinámicas con las que los estudiantes tienen la posibilidad tanto de explicitar y reflexionar acerca de sus experiencias o la evidencia que puedan obtener, como de relacionar esas experiencias con posibles mecanismos explicativos e información científica adicional» (Acher, 2014, p. 67). Por ello, más que como obstáculos, deberían apreciarse como instrumentos necesarios para la reflexión y como lugar de tránsito natural hacia niveles más complejos. En este sentido, las progresiones de aprendizaje resultan útiles para los docentes a la hora de prever un plan de andamiaje del aprendizaje de los estudiantes, ayudando a estos a establecer conexiones entre sus ideas para hacerlas más complejas (Stevens, Delgado y Krajcik, 2010) y sugiriendo nuevas formas de ver el fenómeno a través de retroalimentaciones, preguntas, pistas, explicaciones y otro tipo de apoyos (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018).

El desarrollo y la validación de progresiones de aprendizaje suelen comenzar con una propuesta inicial de itinerario y con el desarrollo de componentes de enseñanza e instrumentos de evaluación. La validación es un proceso iterativo para obtener pruebas empíricas sobre la progresión de los estudiantes y el refinamiento de los materiales de enseñanza y los instrumentos de evaluación (Neumann, Viering, Boone y Fischer, 2013; Stevens *et al.*, 2010; Hadenfeldt, Neumann, Bernholt, Liu y Parchmann, 2016).

Múltiples estudios recientes en esta línea se orientan a analizar la progresión de los estudiantes en situaciones de aula. Entre ellos, encontramos en castellano estudios como el de Bahamonde y Gómez-Galindo (2016) sobre modelos acerca de la digestión humana en maestros en ejercicio, el de Maguregi González, Uskola Ibarluzea y Burgoa Etxaburu (2017) sobre la interpretación del funcionamiento del sistema inmunológico en maestros en formación, o el de Sesto y García-Rodeja (2017) sobre la comprensión del fenómeno de combustión en química en estudiantes de secundaria, por citar solo algunos ejemplos.

Algunas veces la enseñanza corre el riesgo de polarizarse excesivamente en el intento de que los alumnos interioricen modelos ya hechos y acabados. No obstante, los enfoques más genuinos de aprendizaje basado en modelos intentan hoy implicar de forma activa al alumnado en la génesis y/o la aplicación de los modelos que ellos mismos elaboran, entendiendo metafóricamente el aprendizaje en término de práctica científica.

LA MODELIZACIÓN COMO PRÁCTICA CIENTÍFICA

Paulatinamente, los enfoques de «aprendizaje basado en modelos» han ido acrecentando el protagonismo del alumno en la construcción crítica y cambio de sus modelos mentales acerca del mundo. Se entiende así la modelización no solo como una forma de favorecer la evolución de esos modelos (Gobert y Buckley, 2000), sino fundamentalmente como oportunidad de propiciar la inmersión de los estudiantes en prácticas científicas auténticas (Gilbert, 2004; Prins, Bulte, van Driel y Pilot, 2009; Campbell y Oh, 2015). De este modo, implicarlos en procesos de modelización, en contraposición a considerarlos como meros espectadores y consumidores de productos del conocimiento científico, puede ayudarles no solo a comprender mejor las grandes ideas de las ciencias, sino también a experimentar «en vivo» y entender cómo se construyen y evalúan esas ideas (Schwarz y White, 2005; Acher, 2014).

Distintos autores del ámbito de la educación científica han realizado intentos por desgranar la práctica de modelización, en unos casos precisando su significado a lo largo de diferentes tradiciones de investigación (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009) y, en otros, caracterizando las etapas que la sustentan desde un punto de vista metodológico (Justi y Gilbert, 2002; Halloun, 2007; Buckley, 2012b). Desde esta segunda perspectiva, modelizar comportaría toda una gama de procesos estrechamente relacionados con los componentes del ciclo de investigación científica: plantear problemas, formular predicciones, recoger y analizar información para comprobarla, elaborar nuevas ideas y explicaciones, etc.

La figura 1 puede servir de síntesis para representar la práctica de modelización sugerida por diversos autores, ya sea para la ciencia o para las personas cuando interaccionan con el mundo (Justi y Gilbert, 2002; Halloun, 2007; Buckley, 2012b; Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 2017; Blanco-Anaya, Justi y Díaz de Bustamante, 2017). Como se puede ver, se describe mediante una trama cíclica de fases coherente con la función de los modelos prevista por Giere (1999). La primera fase del ciclo se corresponde con la justificación del propósito de un nuevo modelo sobre un fenómeno u objeto del mundo real. Para que la modelización tenga sentido, es preciso que el sujeto esté familiarizado con el objeto o fenómeno. Posteriormente, es preciso elegir un sistema de signos y códigos que permitan ensamblar un lenguaje para la gestación del modelo en clave de razonamiento causal, en sintonía con

el conocimiento disponible del objeto o fenómeno. Todo ello permite elaborar una primera versión del modelo, para lo que ha de elegirse un formato visual, verbal, simbólico, matemático, analógico, digital, etc., o una combinación de varios de ellos. Dicho modelo deberá entonces ponerse a prueba, realizando predicciones que han de ser contrastadas, ya sea a través de experimentos reales, mentales o simulaciones. Si las predicciones se cumplen, el modelo cobra fuerza, mientras que en caso contrario se debilita, con lo que surgen cambios en el modelo y el retorno a fases anteriores. En resumidas cuentas, «el uso y validación de un modelo se corresponde en esencia con un proceso de reducción al absurdo [...] es decir, un proceso iterativo que prueba si el modelo actual puede ser reemplazado por uno mejor. Mientras esto no sea posible, el modelo vigente se considera plausible y adecuado con respecto a su propósito» (Seel, 2017; p. 937).

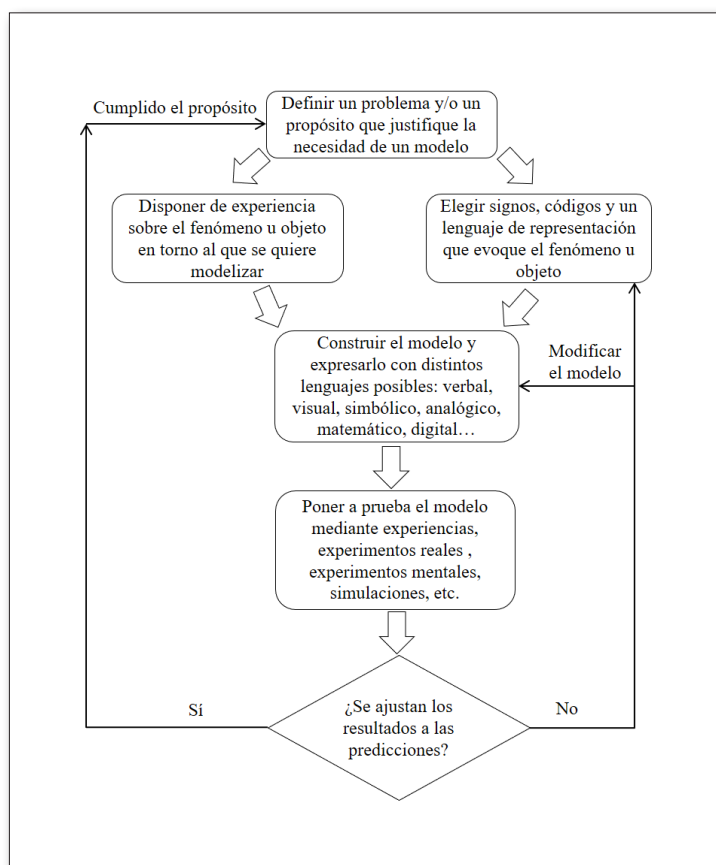


Fig. 1. Un esquema-síntesis para el ciclo de modelización propuesto por diversos autores (elaboración propia).

Desde esta perspectiva, involucrar al alumnado en prácticas auténticas de modelización implicaría comprometerle en prácticas de formulación, uso y evaluación de modelos siguiendo el esquema presentado. Esta forma de entender el aprendizaje, más cercana a la idea de aprendizaje «basado en modelización» que «basada en modelos», requiere iniciativa y procesos de búsqueda por parte del estudiante. Quiere esto decir que este debe participar activamente, buscar información, aportar ideas, tomar decisiones, etc. De ahí que se aprecie una creciente convergencia entre estos enfoques y los de indagación (Couso, 2014; Martínez Chico, López-Gay y Jiménez Liso, 2015; Domenech Casal, 2015).

Pero hemos de considerar además el papel fundamental del profesor en el proceso de andamiaje durante la conducción y retroalimentación de diálogos con los estudiantes. De este modo, el profesor ha de formular las preguntas oportunas, pidiendo aclaraciones y suscitando en el alumnado nuevas reflexiones y replanteamientos, pero preferiblemente sin tener que aportar información crucial en la solución de tareas y, en su caso, reconduciendo esos diálogos a través de la exploración de otros caminos (Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 2017).

El esquema presentado en la figura 1 debe interpretarse como un marco integral desde el que entender la modelización, lo que no significa que esta tenga siempre que ser completa. Por el contrario, también sería válido el desarrollo de prácticas parciales que involucren solo una o más etapas del ciclo. Así, Schwarz *et al.* (2009) proponen distintos tipos de tareas parciales que plantear en el aula desde esta lógica:

- Construir modelos consistentes con pruebas empíricas.
- Utilizar modelos para describir, explicar y predecir fenómenos.
- Comparar y evaluar modelos y revisarlos para mejorar su potencial explicativo y predictivo.

Por su parte, Justi y Gilbert (2002) amplían a cinco el número de posibilidades contempladas, observando en ellas una secuencia lógica de progresión con desafíos de complejidad creciente a la hora de incorporar la modelización en el aula:

- Aprender modelos ya dados.
- Usar modelos.
- Revisar y cambiar los modelos que ya conocen.
- Reconstruir modelos ya existentes.
- Crear modelos nuevos.

A pesar de que la modelización, como inmersión del alumno en prácticas de construcción de modelos, constituye un campo en auge, resulta todavía un enfoque no mayoritario. Así, en la ya referida revisión realizada por Campbell *et al.* (2015), solo uno de cada diez artículos analizados que implicaban pedagogías de modelización (*Modeling Pedagogies*) evaluaba el impacto en el aprendizaje en facetas como indagar, usar modelos o diferenciar entre realidad y los modelos empleados para estudiarla.

Pero, sea cual sea el foco de atención, el trabajo del alumno con modelos exige la movilización de destrezas y valores epistémicos, de modo que modelizar puede interpretarse también en términos de capacidades o, si se prefiere, competencias que se deben poner en juego durante el aprendizaje.

LA MODELIZACIÓN COMO COMPETENCIA

Otra acepción más de la idea de modelización alude al tipo y nivel de desempeño que demanda la actividad de modelizar, algo que se viene acuñando bajo la denominación de *competencia de modelización* (Lopes y Costa, 2007; Nicolaou y Constantinou, 2014; Papaevripidou, Nicolaou y Constantinou, 2014; Oliva, Aragón y Cuesta, 2015). Y es que modelizar constituye un proceso complejo cuyo desarrollo exige toda una gama de destrezas y valores (Driel y Verloop, 1999; Harrison y Treagust, 2000; Justi y Gilbert, 2002; Halloun, 2007; Prins *et al.*, 2009). De ahí que la competencia de modelización deba entenderse como conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores epistémicos necesarios para llevar a cabo la tarea de modelizar en su dimensión más amplia; 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 estos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante y, también, sus limitaciones. En esencia, constituye una de las facetas integrantes de la competencia

científica, junto a otras como la indagación y la argumentación en ciencias (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras-Pérez, 2012).

Más concretamente, Nicolaou y Constantinou (2014) caracterizaron los distintos componentes de dicha competencia, los cuales aparecen ilustrados en la figura 2. Según esto, la modelización abarcaría prácticas de modelización y de metaconocimiento. La primera de ellas entendida en términos del uso de destrezas que permiten a una persona usar reflexivamente y expresar una variedad de representaciones y modelos, y la segunda como conocimiento epistémico y actividad metacognitiva que permite tanto percibir adecuadamente la naturaleza y el alcance de cada uno, como gestionar su uso en situaciones particulares (Kozma y Russell, 1997; Schwarz, 2002; diSessa, 2004; Nicolaou y Constantinou, 2014).

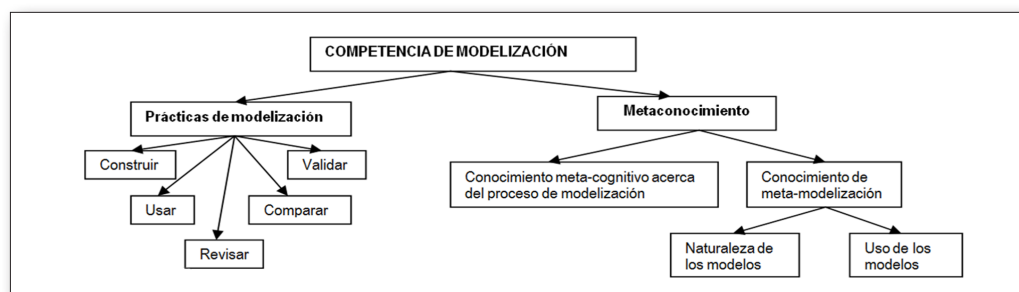


Fig. 2. Componentes de la competencia de modelización (Nicolaou y Constantinou, 2014).

Las *prácticas de modelización*, como ya vimos, se relacionan con el uso –total o parcial– del ciclo de modelización científica, lo que implica generar modelos, aplicarlos, revisarlos, comparar modelos rivales y validar el modelo candidato, evaluando su utilidad para explicar y hacer predicciones. En este contexto, autores como Papaevripidou, Nicolaou y Constantinou (2014) han analizado en detalle los componentes internos de este tipo de prácticas, proponiendo las siguientes capacidades necesarias:

- Capacidad para *construir modelos*. Se refiere al conjunto de destrezas necesarias para la construcción de modelos.
- Capacidad para *usar modelos*. Hace alusión a la posibilidad de usar un modelo para describir, explicar o predecir fenómenos.
- Capacidad para *comparar modelos*. Lo que exige ser capaz de delimitar cuál es el mejor o el peor modelo, en función de sus usos posibles.
- Capacidad para *revisar modelos*. Que implicaría la posibilidad de saber identificar limitaciones en los modelos y especificar procedimientos de revisión correspondientes.

Por su parte, el *metaconocimiento* es un conocimiento de segundo orden que implica al menos dos dimensiones: *metamodelización* y *conocimiento metacognitivo*. El *conocimiento de metamodelización* supone comprender la naturaleza de los modelos y de la modelización, lo que implica comprensión acerca del rol de los modelos en las ciencias y del acto de modelizar. Este tipo de aprendizaje ha sido objeto de diversas denominaciones, como «epistemic knowledge», «meta-modeling knowledge», «epistemologies of models», «metaconceptual modeling knowledge» o «meta-representational competence» (Schwarz, 2002). Diversos autores han intentado caracterizar estos conocimientos epistémicos (Oh y Oh, 2011), e incluso algunos han planteado instrumentos para su evaluación (Treagust *et al.*, 2002; Krell, Reinisch y Krüger, 2015; Krell y Krüger, 2016). Sin pretender ser exhaustivos, se proponen a continuación algunas de las dimensiones propuestas para dicho componente, apoyándonos en trabajos como los citados:

- a) Significado de modelo.
- b) Los modelos como algo más allá de réplicas exactas.
- c) Propósito de la modelización: describir, explicar y predecir fenómenos, así como comunicar ideas.
- d) Multiplicidad de modelos, ante la coexistencia de diversidad de ideas sobre algo y la variedad de recursos semióticos para la construcción de modelos.
- e) Procedimiento de validación de modelos.
- f) Naturaleza cambiante de los modelos.

En castellano existen algunos trabajos de investigación al respecto, especialmente desarrollados para analizar la relación entre las concepciones de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia y su comprensión sobre la naturaleza de los modelos (Vasques Brandão, Solano Araujo y Veit, 2015; Torres y Vasconcelos, 2017), encontrándose en ellos conexiones relevantes.

La otra dimensión se refiere al *conocimiento metacognitivo* acerca del proceso de modelización, relacionado con la toma de consciencia y control del proceso de aprendizaje. Ello se concreta en la capacidad para reflexionar sobre el propio proceso de modelización que uno realiza. Un ejemplo concreto es la capacidad de gestionar el manejo de varios modelos o representaciones (multiplicidad de modelos) para una misma situación. De este modo, los distintos modelos disponibles vendrían a constituir algo así como lenguajes distintos, consistiendo gran parte de la actividad metacognitiva de quien modeliza en la «traducción» de unos lenguajes a otros (Keig y Rubba, 1993) y en el control y elección del lenguaje más oportuno para cada ocasión. De hecho, autores como Kozma y Russell (1997) consideran que la capacidad para moverse a través de distintas representaciones resulta en sí misma una definición operativa de la competencia de modelización (Kozma y Russell, 1997; Schwarz, 2002; diSessa, 2004), al constituir una actividad que aglutina a las demás.

La competencia de modelización ha sido objeto de evaluación en el alumnado a lo largo de diversas investigaciones, para lo cual se han empleado distintas técnicas, como entrevistas semiestructuradas, cuestionarios escritos (opción múltiple, Likert, respuesta sí/no, cuestiones abiertas) y transcripciones de las producciones del alumnado (Nicolaou y Constantinou, 2014). La importancia de este tipo de trabajos ha sido subrayada por estos últimos autores en los siguientes términos:

El esfuerzo para evaluar la modelización implica identificar las diversas dimensiones que teóricamente comprenden la competencia de modelización, definir operativamente cada una de estas dimensiones y desarrollar instrumentos de evaluación para ellas. De esta manera, nuestra revisión de los métodos de evaluación y los enfoques de la competencia de modelización pueden influir potencialmente en el discurso sobre la naturaleza y las facetas de la competencia de modelización (Nicolaou y Constantinou, 2014, p. 54).

En cuanto a las conclusiones de este tipo de estudios, hay que señalar que, aunque todavía se necesita mucha más investigación al respecto, parece que empieza a haber una suficiente confluencia de pruebas que soportan la hipótesis de que algún tipo de relación existe entre aprender modelos, trabajar con ellos y comprender su naturaleza (Schwarz, 2002; Sins, Savelsbergh, van Joolingen y van Hout-Wolters, 2009; Cheng y Lin, 2015; Oliva *et al.*, 2015), lo que da sentido y validez integral a este constructo.

Como es evidente, el desarrollo de esta competencia exige el uso en el aula de recursos didácticos que ayuden a los estudiantes a construir modelos, aplicarlos, revisarlos o cambiarlos por otros, de acuerdo con un ciclo de modelización. Esta sería otra acepción de la idea de modelización, que vendría caracterizada por un vector instrumental.

LA MODELIZACIÓN EN SU DIMENSIÓN INSTRUMENTAL

Numerosos estudios realizados en didáctica de las ciencias ponen de manifiesto la importancia de la dimensión instrumental de la modelización. Así, en unas ocasiones, los modelos escolares se proporcionan directamente en formato declarativo, mediante una versión simplificada y adaptada a la edad del modelo científico. Pero la mayoría de veces se presentan utilizando recursos e instrumentos retóricos que ayuden a su interiorización, o lo que es lo mismo, como «artefactos epistémicos» que ayudan a la creación y validación de modelos (Gilbert y Justi, 2016).

Ya, en la propia ciencia, Nersessian (1992) identificaba tres recursos esenciales en los procesos de modelización creativa de los científicos, como son las imágenes, las analogías y los experimentos mentales. Estos instrumentos serían para ella básicos en los procesos de «descubrimiento» científico y en los momentos de cambio conceptual. En consecuencia, tales elementos deberían jugar también un protagonismo importante en la educación científica, conformándose como instrumentos críticos en la construcción de significados en tareas de indagación en el aula.

Por otra parte, estudios como el de Treagust y Harrison (2000) ponen de manifiesto la importancia de los recursos que han de acompañar el aprendizaje de modelos por parte de los estudiantes. Con tal fin, dedican espacio a caracterizar los rasgos de buenas prácticas de las explicaciones del profesor de ciencias, concluyendo la necesidad de una hábil y equilibrada combinación de conceptos, ejemplos atractivos extraídos de la vida diaria, un número mínimo de axiomas que manejar y pruebas experimentales, y recursos múltiples y variados dirigidos a movilizar la imaginación y el desarrollo de modelos mentales dinámicos. Finalmente, «... el sentido sería dado por el oyente o lector, pero es un sentido coherente y orquestado que se proyecta vitalmente desde la propia explicación» (Treagust y Harrison, 2000, p. 1167).

Son múltiples los recursos instrumentales que hoy se consideran como apoyo de la modelización en la clase de ciencias, como dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, analogías, simulaciones, experimentos mentales, etc. Por ejemplo, las analogías, símiles y metáforas y otras similaridades son ampliamente consideradas como herramientas útiles en la construcción del conocimiento científico en la clase de ciencias (Duit, 1991; Dagher, 1994). Por su parte, las imágenes e ilustraciones en los libros favorecen en los sujetos la construcción de un modelo mental mientras leen, contribuyendo a mejorar la comprensión del texto (Glenberg y Langston, 1992; Perales y Jiménez, 2002). Más allá de ello, las simulaciones y animaciones digitales, y más recientemente la realidad virtual o aumentada, proporcionan una dimensión dinámica a los procesos de modelización, permitiendo ir más allá de la mera representación estática de sistemas o fenómenos (Gutiérrez y Pintó, 2005; Barak y Hussein-Farraj, 2013; Merino, Pino, Meyer, Garrido y Gallardo, 2015; Rutten, Joolingen y Veen, 2012). Finalmente, los experimentos mentales constituyen piezas claves que vinculan la intuición con las experiencias sensoriales vividas, proporcionando una lógica útil a la hora de poner a prueba, en primera aproximación, los modelos elaborados sin tener que recurrir a un experimento real (Reiner y Gilbert, 2000; Velentzas y Halkia, 2013). Se trata de modelos dinámicos que han de funcionar («correr») en la mente del sujeto, simplemente a partir de unas condiciones de contorno, un determinado escenario ficticio y una pregunta que dirige su razonamiento en una situación de incertidumbre; todo ello a través de la lógica del individuo fraguada sobre sus experiencias cotidianas y los conocimientos que posee.

En suma, todos ellos son recursos al servicio del estudiante y del profesor ante tareas clave como imaginar, reflexionar, visualizar, ilustrar, representar, etc.

Es evidente que el uso de estos recursos no puede ser esporádico, ocasional y desconectado del resto de una propuesta didáctica. Más bien han de emplearse en sintonía con un plan más general que permita dar sentido a las secuencias de enseñanza-aprendizaje en las que se insertan.

LA MODELIZACIÓN COMO ENFOQUE DIDÁCTICO

Una quinta acepción de la idea de modelización consiste en considerarla como enfoque educativo global, en el sentido de articular el conjunto de decisiones que adopta el profesor para promover una evolución en los modelos de los estudiantes. Dichas decisiones afectan, por un lado, a la selección de contenidos que se deben enseñar y a la forma como se organizan. Así, los modelos conceptuales se entienden como tramas de ideas abstractas organizadas y jerarquizadas que se construyen para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo. Por otro lado, la modelización entendida como práctica científica está ligada a procesos de indagación en el aula y comporta una forma particular de interpretar el trabajo en esta, demandando un contexto activo y reflexivo para el trabajo de los estudiantes y un rol *monitorizador* para el profesor. Además, adoptar el ciclo de modelización como referente comporta una apuesta por una forma concreta de concatenar actividades en secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA), comprometiendo el sentido de cada una dentro del conjunto global (explorar, crear, probar, evaluar y revisar modelos), así como el hilo conductor que da sentido al conjunto. Finalmente, el hecho de contar con toda una gama de recursos de enseñanza-aprendizaje, especialmente indicados y adaptados al marco de la modelización ofrece, la posibilidad de plasmar metodológicamente la idea de modelizar en actividades concretas.

En definitiva, la modelización proporciona criterios para la selección de contenidos de referencia, para la implementación de escenarios de aprendizaje apropiados e, incluso, para el diseño de secuencias de actividades, o ciclos de aprendizaje, coherentes con el proceso de modelización. Por tanto, el marco de la modelización proporciona elementos suficientes para forjar formas continuadas de mirar y abordar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula, más allá de su consideración como fuente de actividades particulares. Tal enfoque pone énfasis en el carácter social de los procesos de elaboración de modelos, resalta el papel de las interacciones alumno-profesor y alumno-alumno para promover ambientes de enseñanza que faciliten el aprendizaje significativo y, en consecuencia, resulta compatible con el paradigma socioconstructivista (Barak y Hussein-Farraj, 2013). De hecho, la enseñanza basada en modelos puede entenderse como aquella «implementación que incorpora juntos recursos con información, actividades de aprendizaje y estrategias instruccionales dirigidas a facilitar la construcción de modelos mentales tanto en individuos como en grupos de aprendices» (Gobert y Buckley, 2000, p. 892).

A pesar de todo ello, las propuestas de enseñanza-aprendizaje centradas en la modelización de la literatura existente no siempre presentan un marco suficientemente claro y transparente que ayude a entender qué prácticas pedagógicas y qué discursos didácticos están detrás de los enfoques de modelización al uso (Campbell *et al.*, 2015). Ello, unido a la variedad de planteamientos didácticos asumidos por los autores que dicen moverse bajo el paraguas de la modelización, hace difícil precisar estándares sobre lo que ha de entenderse por *modelizar* desde el punto de vista didáctico.

En un esfuerzo por avanzar hacia una comprensión más definida de la modelización como enfoque didáctico, algunos autores (Oh y Oh, 2011; Campbell *et al.*, 2015) han descrito rasgos o «pedagogías de modelización» compatibles con muchos de estos enfoques. Por ejemplo, Campbell *et al.* (2015) proponían los siguientes:

- *Modelización expresiva*, donde los estudiantes describen o explican fenómenos mediante la creación de nuevos modelos o el uso de los modelos existentes.
- *Modelización exploratoria*, donde los estudiantes investigan las características de un modelo preexistente participando de este y observando sus efectos.
- *Modelización experimental*, donde los estudiantes formulan hipótesis y predicciones a partir de modelos, poniéndolos a prueba.

- *Modelización evaluativa*, donde los estudiantes comparan modelos alternativos que tratan el mismo fenómeno o problema, evalúan sus ventajas y limitaciones, y seleccionan el más apropiado.
- *Modelización cíclica*, donde los estudiantes participan en ciclos completos de modelización.

Junto a este tipo de prácticas, que reflejan distintos propósitos, la modelización ha sido caracterizada por los referidos autores mediante el acto discursivo que acompaña a dichas tareas: explicación, argumentación, razonamiento científico, evaluación por pares, aprendizaje cooperativo/colaborativo entre iguales, andamiaje del profesor, negociación, escritura, comunicación y diálogo.

Pero si conocer y comprender cada una de estas prácticas y actos discursivos por separado resulta esencial para entender los procesos de modelización en el aula, también lo es conocer cómo se articulan esas realidades en la enseñanza por modelización (Campbell *et al.*, 2015), e incluso establecer criterios de utilidad para la elaboración de SEA. En el marco de la modelización, no es fácil encontrar esquemas consensuados que permitan establecer pautas sistemáticas para el desarrollo curricular. Sin duda, en este sentido, el modelo de modelización de Justi y Gilbert (2002) ha de entenderse como uno de los referentes principales con este fin.

En nuestro entorno más próximo, hemos de destacar la propuesta de Sanmartí (2000), que se organiza en torno a cuatro fases que permiten desarrollar de forma cíclica procesos de modelización: exploración, introducción de nuevos puntos de vista, síntesis o estructuración y aplicación o generalización. No obstante, no es objetivo de este artículo caracterizar fases para el diseño curricular desde planteamientos de modelización, por lo que remitimos al lector interesado a los trabajos originales de la citada autora (Sanmartí, 2000), así como a otros orientados a ilustrar su aplicación al diseño de unidades didácticas específicas (Gómez Galindo, Sanmartí y Pujol, 2007; Pérez, Gómez Galindo y González Galli, 2018).

A MODO DE EPÍLOGO

A lo largo del artículo hemos constatado cierta variedad de puntos de vista a la hora de interpretar la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. Concretamente, hemos encontrado al menos cinco grandes tendencias o acepciones que, a modo de resumen, se sintetizan en la tabla 1.

Estas tendencias no son necesariamente incompatibles sino complementarias, de modo que en muchos de los trabajos realizados se sostiene, de manera implícita o explícita, más de uno de estos puntos de vista.

Esta diversidad de enfoques hace que el marco de la modelización deba entenderse más como una familia de planteamientos que como un enfoque único. Por ello, no debe de extrañar que distintos autores hayan empleado diferentes denominaciones para referirse a este tipo de orientaciones: «enseñanza basada en modelos» (*models-based teaching*), «instrucción basada en modelos» (*models-based instruction*), «aprendizaje basado en modelos» (*models-based learning*), «enseñanza basada en la elaboración de modelos» (*teaching based on modeling*), «aprendizaje basado en modelización» (*modeling-based learning*) o, simplemente, «modelización» (*modeling*). Y es que el uso de un término u otro depende de factores tales como el lugar donde se pone el foco de atención: profesor *vs.* estudiante; producto final del aprendizaje *vs.* proceso para llegar a él; contenido curricular *vs.* actividades que deben realizar los estudiantes; enfoque educativo *vs.* capacidad del estudiante, etc. Así, por ejemplo, y siguiendo a Nicolaou y Constantinou (2014), el «aprendizaje basado en la modelización» centraría la atención en la construcción y el refinamiento de modelos por parte de los estudiantes, mientras que la «enseñanza-aprendizaje basada en modelos» se referiría más bien a cómo los procesos de enseñanza se relacionan con la construcción de modelos por parte de los alumnos. Por su parte, Gilbert y Justi (2016) distinguen entre «enseñanza basada en modelos», que estaría orientada al uso por parte de los estudiantes de

modelos ya hechos, y «enseñanza basada en modelización», que se dirigiría en cambio a la creación y uso de modelos por parte de los estudiantes.

Tabla 1.
Distintas acepciones de la idea de modelización analizadas.

Acepciones	Características
1. La modelización como progresión de modelos	Como oportunidad de encontrar sentido global a los conocimientos que aprenden los estudiantes, y de avanzar paulatinamente hacia una comprensión más ajustada de la realidad.
2. La modelización como práctica científica	Como actividad de inmersión de los estudiantes en el aula en prácticas científicas auténticas que impliquen la construcción, uso y revisión de modelos.
3. La modelización como competencia	Como una de las dimensiones de la competencia científica, que integra capacidades, valores y actividad metacognitiva que requieren los procesos de construcción, uso y revisión de modelos.
4. La modelización en su dimensión instrumental	Como manejo, por parte de los estudiantes, de recursos didácticos dirigidos a construir modelos y trabajar con ellos: analogías, experimentos mentales, simulaciones, animaciones, personificaciones, etc.
5. La modelización como enfoque didáctico	Como estrategia de enseñanza que articula el conjunto de decisiones que adopta el profesor para promover una evolución en los modelos de los estudiantes. Por tanto, con criterios concretos orientados al diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje.

Probablemente sea esta variedad de planteamientos donde radique la capacidad de estos enfoques para aglutinar una parte importante de la producción anterior desarrollada durante años en la didáctica de las ciencias. Así, por ejemplo, se han defendido conexiones con el ámbito de las concepciones y los estudios sobre progresión del conocimiento (Clement, 2000; Gobert y Bukley, 2000; Gutiérrez, 2004; Schwarz *et al.*, 2009; Gilbert y Justi, 2016), con los enfoques basados en la indagación (Couso, 2014; Martínez Chico, López-Gay y Jiménez Liso, 2015; Domènech Casal, 2015), con la enseñanza-aprendizaje en contexto (Izquierdo, 2004; Izquierdo, Caamaño y Quintanilla, 2007; Prins *et al.*, 2009; Caamaño, 2011), con los estudios sobre argumentación en ciencias (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2010; Passmore y Smoboda, 2012; Cardoso Mendonça y Justi, 2013; Justi, 2015), e incluso con el marco de las competencias (Lopes y Costa, 2007; Nicolaou y Constantinou, 2014; Oliva *et al.*, 2015).

Pero si, por un lado, la existencia de esta diversidad de perspectivas puede verse en clave positiva, entendiendo que robustecen su capacidad adaptativa, también acarrea un riesgo de imprecisión y confusión en el manejo de la terminología usada y de las ideas manejadas. Así, aun cuando hay que reconocer un cierto avance en los últimos años en la fundamentación teórica existente en el campo de la modelización (Seel, 2017), las imprecisiones terminológicas corren el riesgo de ralentizar avances en esa dirección. Así, por ejemplo, Gutiérrez (2005) ha mostrado la polisemia y ambigüedad con que suele emplearse el término de modelo mental en la literatura, lo que para ella supone un serio hándicap desde una perspectiva didáctica: «Esta diversidad impide la construcción común del conocimiento científico, es decir... el progreso en el conocimiento de las características del pensamiento de sentido común de los alumnos, base para el planteamiento de cualquier proceso de enseñanza/aprendizaje» (Gutiérrez, 2005, p. 223).

De ahí la necesidad de un camino de progresivo refinamiento de postulados y de convergencia entre las distintas tendencias. Ello, a buen seguro, servirá para afinar la terminología empleada y para el desarrollo de propuestas integradoras útiles para la investigación y para las prácticas de aula en la

enseñanza de las ciencias. Este último es, precisamente, uno de los motivos principales que nos ocupa en este momento como línea de investigación.

Finalmente, hemos de señalar también lo lejos que se encuentra hoy la realidad de las aulas de Primaria y Secundaria de la incorporación de propuestas didácticas orientadas desde enfoques de modelización o de otras perspectivas innovadoras (indagación, enseñanza a partir de problemas, aprendizaje en contexto, etc.). Por desgracia, este es, sin duda, un asunto todavía más preocupante, que marca la enorme brecha existente entre la investigación y la práctica, y en torno a la que también venimos trabajando desde hace tiempo. Por tanto, no se trata solo de avanzar en nuestro conocimiento teórico sobre los enfoques y las propuestas didácticas, sino también de buscar formas de transferencia entre la teoría y la práctica.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO-DÍAZ, J. A., GARCÍA-CARMONA, A., ARAGÓN-MÉNDEZ, M. M. y OLIVA-MARTÍNEZ, J. M. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30 (3), 155-166.
<http://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- ACHER, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 36, 63-75.
<http://dx.doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 1-9.
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- ADÚRIZ-BRAVO, A. e IZQUIERDO, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49.
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- ALIBERAS, J., GUTIÉRREZ, R. y IZQUIERDO, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 7-28.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>
- BAHAMONDE, N. y GÓMEZ GALINDO, A. A. (2016). Caracterización de modelos de digestión humana a partir de sus representaciones y análisis de su evolución en un grupo de docentes y auxiliares académicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 129-147.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.174>
- BARAK, M. y HUSSEIN-FARRAJ, R. (2013). Integrating model-based learning and animations for enhancing students' understanding of proteins structure and function. *Research in Science Education*, 43(2), 619-636.
<https://doi.org/10.1007/s11165-012-9280-7>

- BLANCO-ANAYA, P., JUSTI, R. y DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. (2017). Challenges and opportunities in analysing students modelling. *International Journal of Science Education*.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1286408>
- BUCKLEY, B. C. (2012a). Model-based teaching. En N. M. Seel (Ed.), *Enclopedia of the sciences of learning* (Vol. 5, pp. 2312-2315). New York: Springer.
- BUCKLEY, B. C. (2012b). Model-based learning. En N. M. Seel (Ed.), *Enclopedia of the sciences of learning* (Vol. 5, pp. 2300-2303). New York: Springer.
- BUNGE, M. (1973). *Method, Model and Matter*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- CAAMAÑO, A. (2011). Contextualización, indagación y modelización. Tres enfoques para el aprendizaje de la competencia científica en las clases de química. *Aula de Innovación Educativa*, 207, 17-21.
- CAMPBELL, T. y OH, P. S. (2015). Engaging students in modeling as an epistemic practice of science: An introduction to the special issue of the Journal of Science Education and Technology. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 125-131.
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9544-2>
- CAMPBELL, T., OH, P. S., MAUGHN, M., KIRIAZIS, N. y ZUWALLACK, R. (2015). A review of modeling pedagogies: Pedagogical functions, discursive acts, and technology in modeling instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(1), 159-176.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1314a>
- CAÑAL, P. (2004). Las plantas, ¿fabrican sus propios alimentos? Hacia un modelo escolar alternativo sobre la nutrición de las plantas. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 42, 55-71.
- CARDOSO MENDONÇA, P. C. y 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.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>
- CHAMIZO, J. A. (2010). Una tipología de modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1
- 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.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1082671>
- CLEMENT, J. J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
<https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- CONCARI, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(1), 85-94.
- COUSO, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *Ponencia presentada en los 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Huelva, España.
- CRUJEIRAS PÉREZ, B. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>
- DAGHER, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-614.
<https://doi.org/10.1002/sci.3730780605>

- DI SESSA, A. A. (2004). Metarepresentation: native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
https://doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2
- DOMÈNECH CASAL, J. (2015). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 186-197.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.13
- DRIEL, J. H. VAN y VERLOOP, N. (1999). Teachers' knowledge and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
<https://doi.org/10.1080/095006999290110>
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.
<https://doi.org/10.1080/0950069890110501>
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
<https://doi.org/10.1002/sci.3730750606>
- GIERE, R. N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el Razonamiento Científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 63-70.
- GILBERT, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
<https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- GILBERT, J., BOULTER, C. y ELMER, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds). *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- GILBERT, J. K. y JUSTI, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Basel: Springer.
- GLENBERG, A. M. y LANGSTON, W. E. (1992). Comprehension of illustrated texts: Pictures help to build mental models. *Journal of Memory & Language*, 31(2), 129-151.
[https://doi.org/10.1016/0749-596X\(92\)90008-L](https://doi.org/10.1016/0749-596X(92)90008-L)
- GOBERT, J. D. y BUCKLEY, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
<https://doi.org/10.1080/095006900416839>
- GÓMEZ GALINDO, A. A., SANMARTÍ, N. y PUJOL, R. M. (2007). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 325-340.
- GUTIÉRREZ, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 42, 8-18.
- GUTIÉRREZ, R. (2005). Polisemia actual del concepto «modelo mental»: Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226.
- GUTIÉRREZ, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Biografía*, 7(1), 37-66.
<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia37.66>
- GUTIÉRREZ, R. y PINTÓ, R. (2005). Relaciones entre simulaciones y modelos: análisis de simulaciones científicas didácticas. *Enseñanza de las ciencias*, Número extraordinario.
- HADENFELDT, J. C., NEUMANN, K., BERNHOLT, S., LIU, X. y PARCHMANN, I. (2016) Students' progression in understanding the matter concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 683-708.
<https://doi.org/10.1002/tea.21312>

- HALLOUN, I. (1996). Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199611\)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I)
- HALLOUN, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16, 653-697.
<https://doi.org/10.1007/s11191-006-9004-3>
- HARRISON, A. G. y TREAGUST, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
<https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- HERNÁNDEZ, M. I., COUSO, D. y PINTÓ, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 356-377.
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- IZQUIERDO, M., CAAMAÑO, A. y QUINTANILLA, M. (Eds.) (2007). *Investigar en la enseñanza de la química Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. y CRUJEIRAS-PÉREZ, B. (2012). La naturaleza de la ciencia en acción: Prácticas sociales científicas y metacognición en la clase y el laboratorio. Comunicación presentada en el VII Seminario Ibérico/III Seminario Iberoamericano CTS no Ensino das Ciências. OEI y AIA-CTS. Madrid. España.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. y PUIG, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (63), 11-18.
- JUSTI, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- JUSTI, R. (2015). Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do ensino de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 17, n.º especial, 31-48.
<https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s03>
- 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.
<https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- 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.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660300807>
- 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*, 20, 117-129.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199711\)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U)
- KRELL, M. y KRÜGER, D. (2016). Testing models: A key aspect to promote teaching activities related to models and modelling in biology lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), 160-173.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1028570>
- KRELL, M., REINISCH, B. y KRÜGER, D. (2015). Analyzing students' understanding of models and modeling referring to the disciplines biology, chemistry, and physics. *Research in Science Education*, 45(3), 367-393.
<https://doi.org/10.1007/s11165-014-9427-9>
- 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.
<https://doi.org/10.1080/09500690600855385>

- MAGUREGI GONZÁLEZ, G., USKOLA IBARLUZEA, A. y BURGOA ETXABURU, B. (2017). Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación en futuros docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 29-50.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2237>
- MARTINAND, J. L. (1986). Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 45-50.
- MARTÍNEZ CHICO, M., LÓPEZ-GAY, R. y JIMÉNEZ LISO, M. R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), p. 149.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.10
- MERINO, C., PINO, S., MEYER, E., GARRIDO, J. M. y GALLARDO, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94-99.
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.004>
- MINSKY, M. L. (1965). Matter, mind and models. *Proceedings of International Federation of Information Processing Congress*, 1, 45-49.
- MORRISON, M. y MORGAN, M. S. (1999). Models as mediating instruments. En M. S. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- NERSESSIAN, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. En R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 3-45). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press. Recuperado de: <http://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/nersessian/papers/how-do-scientists-think.pdf>
- NEUMANN, K., VIERING, T., BOONE, W. J. y FISCHER, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188.
<https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- OH, S. P. y OH, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- OLIVA, J. M., ARAGÓN, M. 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.
<http://doi.org/10.1007/s10763-014-9583-4>
- PAPAEVRIPIDOU, M., NICOLAOU, C. Th. y CONSTANTINOU, C. P. (2014). On Defining and Assessing Learners' Modeling Competence in Science Teaching and Learning. *Paper to be presented at the annual meeting of American Educational Research Association (AERA) 2014*, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- PASSMORE, C. M. y SVOBODA, J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535-1554.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.577842>
- PERALES, F. J. y JIMÉNEZ, J. D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.

- PÉREZ, G., GÓMEZ GALINDO, A. A. y GONZÁLEZ GALLI, L. (2018) Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2102.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102
- PRIETO, T., BLANCO LÓPEZ, A. y BRERO PEINADO, V. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 3-14.
- PRIETO, T., WATSON, R. y DILLON, J. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22(1), 331-340.
<https://doi.org/10.1007/BF02356913>
- 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.
<https://doi.org/10.1007/s11165-008-9099-4>
- REINER, M. y GILBERT, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506.
<https://doi.org/10.1080/095006900289741>
- RUTTEN, N., VAN JOOLINGEN, W. R. y VAN DER VEEN, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- SANMARTÍ, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 239-276). Alcoy, Marfil.
- SCHWARZ, C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. *In the Proceedings of International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.
- SCHWARZ, C. V., REISER, B. J., DAVIS, E. A., KENYON, L., ACHÉR, A., FORTUS, D., SHWARTZ, Y., HUG, B. y 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.
<https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- SCHWARZ, C. V. y WHITE, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- SEEL, N. M. (2017). Model-based learning: A synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65(4), 931-966.
<https://doi.org/10.1002/tea.2031110.1007/s11423-016-9507-9>
- SESTO V. y GARCÍA-RODEJA I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14(3), 521-534.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.02
- SINS, P. H., SAVELSBERGH, E. R., VAN JOOLINGEN, W. R. y VAN HOUT-WOLTERS, B. H. (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.
<https://doi.org/10.1080/09500690802192181>
- STEVENS, S. Y., DELGADO, C. y KRAJCIK, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715.
<https://doi.org/10.1002/tea.20324>

- 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.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.14
- TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G. y MAMIALA, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
<https://doi.org/10.1080/09500690110066485>
- TREAGUST, D. F. y HARRISON, A. G. (2000). In search of explanatory frameworks: An analysis of Richard Feynman's lecture 'Atoms in motion'. *International Journal of Science Education*, 22(11), 1157-1170.
<https://doi.org/10.1080/09500690050166733>
- VÁSQUES 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.
- VELENTZAS, A. y HALKIA, K. (2013). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity, *International Journal of Science Education*, 35(18), 3026-3049,
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.682182>

Different definitions for the idea of modeling in science education

José M.^a Oliva

Departamento de Didáctica. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Cádiz. Puerto Real, Cádiz (España)

josemaria.oliva@uca.es

Model and modeling are terms commonly used with different meanings in the literature of science education. Among these definitions, we have opted for considering the model as a representation of an object or a phenomenon in order to describe, explain or predict reality. However, if this term has multiple senses, the term of modeling also presents this semantic variety: 1) modeling as progression of models; 2) modeling as a scientific practice; 3) modeling as competence; 4) modeling in its instrumental dimension; and 5) modeling as a teaching strategy.

Considering its first sense, modeling is interpreted as a model-based teaching-learning process. This approach is the most frequently found in the studies carried out from the point of view of modeling. In this context, it is usual to regard model-based learning as a progression path that would be based on intuitive personal models of students and that is close to more complex models.

From the point of view of its second meaning, it is also essential to actively involve students in the construction and use of models, by metaphorically understanding learning in terms of a scientific practice. In this sense, engaging them in modeling processes can help them, not only to get a better understanding of complex scientific ideas, but also to experience and understand how those ideas are constructed and evaluated. From this perspective, modelling involves a range of processes closely related to the components of the scientific research cycle: proposing a problem, formulating hypotheses, inquiring in search of information, putting forward new ideas and explanations, etc.

The third meaning associates modeling with the skills and epistemic values required by the activity of modeling, something known as *modeling competence*. In this sense, it is considered that modeling requires various skills and epistemological commitments. To sum up, modeling has both a representational and a meta-representational component. The first one is understood as the set of skills that allow a person to learn and use a variety of representations. The latter, on the other hand, is regarded as the ability to select and criticize representations by first getting a grasp of the nature and purposes of the models in science. Therefore, it is not only to learn the models presented in school, but also to use them, review them, as well as to express opinions about them, understanding their value, their usefulness, their approximate and changing nature and, also, their limitations.

The fourth meaning of *modeling* refers to its instrumental dimension, given that most times models are presented by using resources that help their internalization. There are many instrumental resources that are considered now as a support for modeling in science class, such as: drawings, mock-ups, mechanical models, metaphors, analogies, simulations, mental experiments... They are all useful resources for both students and teachers to carry out actions such as imagining, reflecting, visualizing, illustrating, representing, etc.

Its fifth meaning considers modeling as a global educational approach. From this point of view, modeling articulates the set of decisions adopted by the teacher to promote the improvement in students' models: content selection, methodological approaches, design of activities, etc. In this context, modeling can be understood as a didactic strategy, which is compatible with the socio-constructivist paradigm.

This analysis suggests the need to connect the different perspectives in order to unify the terminology used and develop integrative didactic proposals that are useful for research and classroom practices in the teaching of science.