



Cómo facilitar la modelización científica en el aula

- How to facilitate the scientific modeling in the classroom
- Como propiciar a modelagem científica nas aulas

Andrés Acher*

* Martin-Luther-Universität Halle – Wittenberg, Alemania.

Resumen

Involucrar a los estudiantes en prácticas científicas auténticas, como la de modelización, en contraposición a rutinas en las que suelen ser solo consumidores de productos del conocimiento científico, puede ayudarlos a entender no solo ideas centrales de las distintas disciplinas científicas, sino también a ganar conocimiento epistemológico y experiencia para entender cómo se construyen y evalúan esas ideas. Las prácticas de modelización científica, sin embargo, no son comunes en las aulas de ciencias de nivel medio y superior, y son aún más escasas en etapas iniciales de la educación obligatoria. Esta "rareza" no es casual. Participar en estas prácticas desde el inicio de la escolaridad plantea varios desafíos tanto para estudiantes como para profesores, este trabajo presenta algunos aspectos propios de la investigación centrados en facilitar la modelización científica durante diferentes años de la vida escolar. a) Ilustrar con ejemplos de aula algunas posibilidades para integrar ideas de contenido disciplinar en la modelización científica desde los primeros niveles educativos, considerando la evolución de esa integración en trayectorias que respetan las ideas intuitivas de los estudiantes; b) Examinar cómo las normas que existen en el aula influyen el desarrollo de estas prácticas; y c) Describir algunos elementos de diseño de investigación que contribuyen a entender de qué manera es posible mejorar la participación de estudiantes y profesores en la modelización científica.

Palabras clave:

Prácticas científicas, modelización, progresiones de conocimiento

Artículo recibido el 17-09-2014
y aprobado el 28-11-2014



Abstract

When involving students in authentic scientific practices, such as modeling (opposed to routines in which students tend to be only consumers of scientific knowledge products), it can help them to understand not only central ideas of scientific disciplines, but also to gain epistemological knowledge and experience, so that students understand how to construct and evaluate those ideas. The scientific modeling practices, however, are not common in science classrooms of middle- and upper-level, and are even scarcer in early stages of the compulsory education.

This "rarity" is not a coincidence, because this kind of practice requires facing several challenges for both students and teachers. This paper presents some aspects of the research focused on facilitating scientific modeling during different years of school life. A) To illustrate with classroom situations the possibility to integrate ideas of discipline content in scientific modeling in the first educational levels, considering the evolution of this integration on processes that involve students ideas; B) To examine how the current classroom policies influence the development of these practices; and (c) To describe the research elements that contribute to understand how is it possible to enhance the participation of students and teachers in scientific modeling.

Resumo

Envolver os estudantes em práticas científicas autênticas, como da modelagem, em contraposição a rotinas nas quais são apenas consumidores de produtos do conhecimento científico pode ajuda-los a entender não apenas ideias centrais das distintas disciplinas científicas, senão também a aquisição de conhecimento epistemológico e experiência para entender como se constroem e avaliam essas ideias. As práticas de modelagem científica, todavia, não são comuns nas aulas de ciências nos níveis médio e superior, e são ainda mais escassas nas etapas iniciais da educação obrigatória. Esta "raridade" não é casual. Participar destas práticas desde o início da escolaridade implica em vários desafios tanto para estudantes como para professores. Este trabalho apresenta alguns aspectos da investigação centrada em propiciar a modelagem científica durante diferentes anos da vida escolar. Busca-se: a) ilustrar com exemplos de sala de aula algumas possibilidades para integrar ideias de conteúdo disciplinar na modelagem científica desde os primeiros níveis educativos, considerando a evolução desta integração em trajetórias que respeitam as ideias intuitivas dos estudantes; b) examinar como as regras existentes em sala de aula influenciam no desenvolvimento destas práticas e; c) descrever alguns elementos para planejamento de investigações que auxiliem a entender de que maneira é possível melhorar a participação de estudantes e professores na modelagem científica.

Key words:

Scientific practices, modeling, progressions of knowledge.

Palavras chave:

Práticas científicas, modelagem, progressos do conhecimento.

Desarrollar y usar modelos es parte del quehacer científico. En su afán por explicar y predecir fenómenos naturales, los científicos incluyen este quehacer en diferentes contextos delineando el carácter de sus *prácticas científicas auténticas* (Giere, 1988). Involucrar a estudiantes en prácticas científicas auténticas, como la de modelización, en contraposición a rutinas en las que suelen ser solo consumidores de productos del conocimiento científico, puede ayudarlos a entender no solo ideas centrales de las distintas disciplinas científicas, sino también a ganar conocimiento epistemológico y experiencia para entender cómo se construyen y evalúan esas ideas (Lehrer y Schauble, 2006; Lesh y Doerr, 2000; Schwarz y White, 2005; Stewart, Cartier, y Passmore, 2005). Con esta premisa, involucrar a los estudiantes y docentes es una prioridad para muchas de las reformas educativas en Europa (OECD, 2006) y EEUU (NRC, 2007).

La comunidad de la didáctica de las ciencias viene trabajando desde diferentes perspectivas para llevar prácticas de modelización científica auténticas a las aulas de ciencias. Por ejemplo, se ha problematizado acerca del tipo de modelos que pueden ser productivos en la modelización escolar (entre otros, Adúriz-Bravo, 2012; Harrison y Treagust, 2000; Greca y Moreira, 2000; Justi, 2006). También se han organizado aspectos de la modelización científica en esquemas de trabajo que puedan utilizar maestros y diseñadores de currículo para elegir los objetivos que guíen a los alumnos en la ejecución de diferentes aspectos de las prácticas de modelización (Schwarz et ál., 2009). Otros han diseñado y evaluado programas de formación profesional para docentes que aborden aspectos de modelización (Justi y Gilbert, 2002; Schwarz, 2009; Windschitl, Thompson y Braaten, 2008). Muchos han trabajado en entender

aspectos específicos de modelización en las aulas (Acher, Arca y Sanmartí, 2007; Gómez Galindo, 2013). Asimismo documentos oficiales continúan comunicando la necesidad de incluir la modelización científica en las aulas siempre de manera más convincente aportando nuevos argumentos y evidencias (NRC, 2012; OECD, 2006).

Las prácticas de modelización científica, sin embargo, no son comunes en las aulas de ciencias de nivel medio y superior, y es aún más escasa en la escuela primaria o en etapas iniciales de la educación obligatoria (Acher, Arcà y Sanmartí, 2007; van Driel y Verloop, 1999). En muchas de las ocasiones en que esta práctica se incorpora en las aulas, se privilegian aspectos ilustrativos o comunicativos, limitando así su riqueza epistemológica (Windschitl, Thompson, y Braaten, 2008). Esta “rareza” no es casual. Participar en prácticas de modelización desde el inicio de la escolaridad plantea varios desafíos tanto para estudiantes como para profesores. No solo resulta poco o nada familiar, sino que choca tanto con las ideas intuitivas de los estudiantes acerca de lo que hay que saber y de lo que la escuela entiende como aprendizaje de las ciencias, como con muchas de las perspectivas que tienen los docentes acerca de su rol de profesores de ciencias. Facilitar la modelización científica en las aulas implica también desafíos para investigadores y didactas de las ciencias en cuanto a la responsabilidad de generar, junto con los profesores, diseños plausibles con fundamento empírico que ofrezcan alternativas viables para desarrollar en las aulas. Me gustaría abordar al menos tres de estos desafíos.



Involucrar a los estudiantes en prácticas de modelización científica de manera gradual a lo largo de varios años de escolaridad

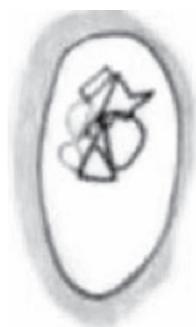
La participación en prácticas de modelización científica auténticas requiere pensar en cómo promover el desarrollo gradual de versiones siempre un poco más complejas de esta práctica (Schwarz et ál., 2011). Para apropiarse de una “práctica científica” los estudiantes necesitan construir conocimiento en una diversidad de contextos que incluyan las distintas áreas de contenido disciplinar, sostenidos por ambientes de aprendizaje y materiales de estudio apropiados. Esto requiere que tanto profesores como estudiantes, cada uno a su manera, perciban el desarrollo de estas prácticas en periodos amplios. Precisamente este desarrollo puede tomar “distintos caminos” ya que los estudiantes pueden desarrollarse alternativamente en diferentes aspectos de esta práctica. Decidir cuáles son estos aspectos es la primera distinción que necesitamos para abordar este desafío.

Decidir el tipo de modelos que se quiere promover

Identificar qué tipos de modelos tienen sentido y son productivos para los estudiantes en distintas etapas de la vida escolar es un punto crítico para pensar el compromiso gradual de los estudiantes con esta práctica. Junto con colegas del grupo MoDeLS (<http://www.models.northwestern.edu/>) decidimos centrarnos en la promoción de modelos entendidos como representaciones que, solo cuando se utilizan para interpretar fenómenos naturales, conllevan diferentes componentes explicativos y aspectos de mecanismos causales normalmente invisibles (Clement, 2000). Esta decisión prioriza un tipo de práctica que fomenta la utilización de modelos como herramientas de razonamiento y organizativa de la interpretación fenomenológica (Acher, Arcà y Sanmartí, 2007; Passmore, Svoboda Gouvea y Giere, 2014). Así, una participación gradual y cada vez más compleja en las prácticas de modelización puede empezar antes de la primaria, siempre y cuando se asuman los desafíos de incorporar en los modelos las ideas productivas que los estudiantes tienen a esta edad cuando intentan dar sentido a los fenómenos naturales que tienen entre manos. Un ejemplo de este tipo de modelos desarrollados en prácticas de modelización “temprana” es cuando niños y niñas de 5 años participan activamente en la generación de respuestas a una pregunta que ellos mismos formulan cuando incuban huevos de gallina: “nosotros queremos saber si el pollito ya está dentro del huevo o si se está formando” (Acher, 2005). Guiados por la necesidad de dar sentido al desarrollo de un ser vivo, los niños y las niñas construyen modelos que incorporen dos ideas productivas para explicarlo: la distinción entre *crecimiento* (como aumento de masa) y *diferenciación* (como la aparición de formas diferentes con funciones específicas). Organizan en su modelo una cadena de eventos con la que inventan un mecanismo de “cosas que no se pueden ver” para explicar esta

distinción. La figura 1 ilustra cuatro momentos de esta cadena: dibujo 1, el huevo por dentro, con “cosas invisibles que no tienen forma y vienen de la gallina y del gallo”; dibujo 2, las cosas invisibles se separan porque “ahora ya saben lo que tienen que ser”; dibujo 3, el

pollito empieza a tomar forma ya que “no es como un globo que solo se hace grande, sino que también se forma el cuerpo, los huesos, la cabeza...”; dibujo 4, el pollito también va creciendo porque “mientras tanto vienen las formas, también se hacen grandes”.



Dibujo 1



Dibujo 2



Dibujo 3



Dibujo 4

Figura 1. Cuatro eventos de un modelo de desarrollo de un pollito construido en una clase de niños y niñas de 5 años. De izquierda a derecha, los eventos ilustran parte de un mecanismo con el cual la clase explica cómo “cosas invisibles” no solo “van tomando forma”, sino que también “van creciendo” “mientras se hacen pollitos” (Acher, 2005).

El valor educativo de este tipo de modelos en la modelización científica escolar radica en promover la capacidad de organizar y promover las ideas que expresan los estudiantes acerca de fenómenos naturales, así como la de debatir y alcanzar consenso sobre estas ideas representadas mientras buscan dar sentido a los fenómenos que tienen entre manos. Este tipo de modelos también exige pensar qué constructos teóricos con capacidad de explicar un amplio rango de fenómenos pueden ser claves para construir las ideas científicas a largo plazo (Gilbert, 2004). Abordar estos constructos y mecanismos explicativos en los modelos que generan los estudiantes en diferentes etapas de la vida escolar es, sin ninguna duda, una tarea ambiciosa. Las ideas de los estudiantes acerca de los causas que explican fenómenos científicos están normalmente “en vías de desarrollo” (Russ et ál., 2008). Algunas veces, estas ideas son consistentes con sus percepciones de la experiencia cotidiana, pero

pueden al mismo tiempo ser inconsistentes con datos y explicaciones científicas. Lo importante aquí es no ver estos modelos 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 la de relacionar esas experiencias con posibles mecanismos explicativos e información científica adicional. De esta manera, los estudiantes pueden transitar gradualmente hacia niveles explicativos más complejos y aventurar predicciones acerca del comportamiento de fenómenos naturales que buscan interpretar.

Seleccionar elementos de la práctica de modelización

No solo resulta importante aclarar qué tipos de modelos se elige promover, sino también cómo involucrar gradualmente a los estudian-



tes en las prácticas de modelización en sí mismas, por ejemplo, entendiendo cómo promover el uso de esas representaciones para ilustrar, explicar o predecir fenómenos o incluir hábitos para evaluar y revisar las representaciones según se vayan utilizando. De esta manera, los profesores no solo tendrían que trabajar con sus estudiantes para crear modelos de los fenómenos que observan, e incluir información acerca de estos fenómenos, sino que también tendrían que pensar en cómo crear una cultura de aula en la que los estudiantes se sientan cómodos al compartir criterios para evaluar y revisar sus modelos. Esto último definitivamente rara vez se encuentra en las aulas de ciencias, ya que implica concebir comprensivamente la construcción y revisión de modelos como un proceso de perfeccionamiento (Acher y Arca, 2013) que resulta fundamental para lograr un mejor entendimiento y participación en las prácticas de modelización. El contexto social resulta crucial para motivar y ayudar a que la evaluación y revisión de modelos se entienda como resultado de modelos alternativos que compiten por explicar mejor un cierto fenómeno. Las decisiones acerca de “qué modelo explica mejor” debiera entonces emerger de la necesidad de contar con criterios que permitan evaluar debilidades y fortalezas de “modelos candidatos” discutidos también en la comunidad del aula. En esta comunidad, es necesario crear hábitos para que los estudiantes consideren a sus pares como “audiencia crítica” con la cual constatar la efectividad de sus modelos y así ejercitar la persuasión que los ayude a entender el valor explicativo de ideas científicas claves.

Basándonos en trabajos anteriores acerca de la naturaleza y epistemología de las ciencias, y de lo que los estudiantes deberían aprender sobre modelización científica, hemos incluido cuatro elementos centrales para operacionalizar las prácticas de modelización, vista como un aumento gradual en el nivel de complejidad de sus elementos (Schwarz et ál. 2009):

- *Construir* modelos consistentes con evidencia admisible y teorías sobre cómo ilustrar, explicar y predecir fenómenos.
- *Utilizar* modelos para ilustrar, explicar y predecir fenómenos.
- Comparar y *evaluar* la capacidad de diferentes modelos tanto para representar adecuadamente y capturar patrones en fenómenos como para predecir nuevos.
- *Revisar* modelos de manera que se incremente su potencial explicativo o predictivo, considerando pruebas adicionales o nuevos aspectos en los mismos fenómenos o en otros similares.

Estos cuatro elementos constituyen tareas de modelización a partir de las cuales es posible diferenciar tanto objetivos como criterios que guíen su aprendizaje. No obstante, estas tareas no se presentan como pasos de una secuencia fija a seguir. Continuando con el ejemplo anterior de estudiantes de educación inicial (figura 1), un caso de participación guiada por estos elementos puede ilustrarse de la siguiente manera: los niños y las niñas de la clase de 5 años, una vez desa-

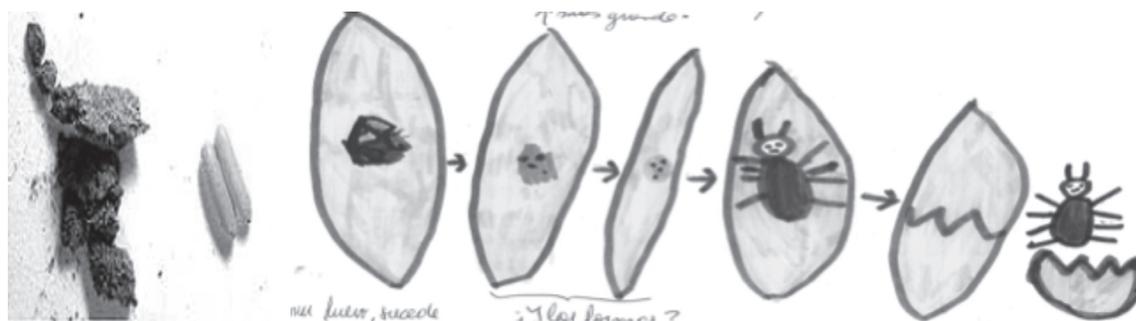


Figura 2: A- Huevo de saltamontes; B- Representación gráfica de un modelo consensuado por niños y niñas de 5 años para explicar el desarrollo de saltamontes elaborado a partir del modelo de desarrollo de un pollito. De izquierda a derecha: 1- Huevos de saltamontes incubados; 2- Dibujo de un huevo de saltamontes con “cosas invisibles” que aun no tienen forma “...pero son distintas a las del pollito porque vienen de papa y mama saltamontes”; 3- Segundo evento en el que las “cosas invisibles” se separan como lo hacen las del pollito “porque cuando estaban juntas se dicen lo que tienen que hacer”; 4- Luego “...una se va para adelante, otra para atrás y van creciendo mientras se hacen saltamontes”; 5- “...el saltamontes ya está formado”. (Acher, 2005).

rollado su modelo para explicar la formación de un pollito, participan en discusiones para llegar a un consenso sobre un modelo que explique el desarrollo de otros seres vivos, como por ejemplo el de un saltamontes dentro de los huevos que estaban incubando. Las decisiones que implican consenso incluyen similitudes y diferencias con la secuencia de eventos y mecanismos desarrollada previamente. En la figura 2 se ilustran algunos de estos eventos y discusiones.

La participación de los estudiantes en prácticas de modelización que involucran la búsqueda de consenso y la generalización de sus propios modelos responde a una intencionalidad didáctica de construir criterios con los cuales revisar los modelos desarrollados y comenzar a entender cuáles funcionan mejor para explicar fenómenos naturales similares. Distinguir las tareas de modelización que se busca promover gradualmente no implica entonces seguir pasos en una secuencia estricta. Las tareas constituyen más bien una base para promover la práctica de modelización en el aula, examinarla y desarrollar soluciones creativas con las cuales involucrar gradualmente a los estudiantes a lo largo de varios años de escolaridad.

El compromiso de promover la integración entre la realización de prácticas de modelización y la reflexión sobre su valor para desarrollar ideas y conocimiento científico

La gradualidad planteada en la participación de las prácticas de modelización científica es un objetivo intrínseco al de involucrar a los estudiantes en una práctica reflexiva en la cual la actividad científica que desarrollan tenga sentido para ellos (Acher y Reiser, 2014; Lehrer y Schauble, 2006). Trabajar para alcanzar estos objetivos implica considerar de manera inseparable el *hacer algo con los modelos y entender las implicaciones de este quehacer* (ver por ejemplo *metamodeling knowledge*, Schwarz y White, 2005). Esto acarrea el desafío de balancear e integrar metaconocimiento y prácticas. También significa descartar el objetivo de enseñar la modelización como una “rutina de pasos fijos a seguir” en la cual los estudiantes reproducen esos pasos porque les dijeron que “así tiene que ser”. Por el contrario, en lugar de “aprender rutinas” involucrar a los estudiantes en este tipo de prácticas implica pensar en cómo generar un cultura de aula de tal manera que, cuando



los estudiantes construyan, usen, revisen y evalúen modelos, valoren el compartir nuevas normas, formas de entendimiento y objetivos comunes (Brown y Campione, 1994). Precisamente esta perspectiva es la que motiva la inclusión de elementos de *metamodeling* como parte del aprendizaje y la enseñanza de la modelización. Entender cómo y por qué se usan modelos, así como el potencial y las limitaciones de esos modelos puede ayudar a los estudiantes a construir y evaluar los modelos propios y los de sus compañeros, maestros o expertos (Schwarz et ál., 2009). Pero atención nuevamente: no se habla de enseñar *metamodeling* por separado, aislado del contexto de interpretación fenomenológica. La decisión es abordarlo desde una perspectiva pragmática instrumental que preste atención a elementos de reflexión que ayuden a los estudiantes a resolver los obstáculos que encuentran (Sandoval, 2005), en este caso, cuando modelizan. Esta perspectiva nos obliga a teorizar acerca de qué elementos podrían influir en la práctica de la modelización para luego recoger evidencias de aula acerca de cómo guiar a los estudiantes en el desarrollo de esta práctica. Por ejemplo, en un estudio que realizamos con Brian Reiser (Acher y Reiser, 2014), investigamos cuáles podían ser estos elementos de reflexión que estudiantes de 11 años –sexto grado de la escuela media en EEUU– y sus maestros ejercitaban cuando desarrollaban actividades de material curricular diseñado para promover prácticas de modelización (Shwartz et ál., 2008). Uno de los elementos del diseño de este material consistía en promover la constante comparación de los modelos que se iban elaborando en clase con la intención de promover la construcción de un modelo consensuado, específicamente acerca de la estructura molecular del aire en el contexto específico de investigar cómo viajan los olores por el aire. Comparar modelos no constituye en sí mismo ninguna evidencia de una práctica reflexiva, pero al desarrollar las comparaciones en clase encontramos un patrón de interacciones en el que, guiados por el maestro, los estudiantes participaban en estas comparaciones haciendo dos tipos de aportes: acordando aspectos del fenómeno con valor explicativo que importa representar en el modelo consensuado, como el movimiento de las moléculas de gas, y reconociendo la necesidad de justificar estos acuerdos, por ejemplo incluyendo pruebas obtenidas en los experimentos realizados en clase. El episodio que se transcribe en el siguiente episodio ilustra el patrón encontrado durante la comparación de modelos.

El patrón de participación aquí ilustrado, dirigido por el maestro, emerge como un aspecto de *metamodeling* con carácter pragmático por cuanto guía el perfeccionamiento de las comparaciones entre modelos haciendo explícita la necesidad de justificar acuerdos. Los estudiantes no esperan naturalmente que sus acuerdos se justifiquen sino que, si tienen alguna expectativa, es más bien la de una idea intuitiva de justificar aquello en lo que *no* se está de acuerdo y que usualmente emerge como consecuencia de alguna crítica. Este tipo de guía emerge como un conjunto de normas sociales que hacen que esta práctica sea muy diferente a la que domina la rutina de las aulas tradicionales y mantenga la motivación de los estudiantes para darle sentido a los fenómenos por medio de sus modelos.

Profesor [dirigiéndose a toda la clase luego de que cuatro estudiantes presentaran y compararan sus modelos]: *De acuerdo. Parece ser que están muy seguros de que debemos tener aire en ese "espacio" [entre moléculas de olor representadas en el modelo]. ¿Algo más, entonces, que sea igual entre estos modelos? Sí, todos los modelos deben tener aire, todos deben tener "espacio vacío" y todos deben tener amonio. ¿Tom?* [reaccionando a su mano levantada]

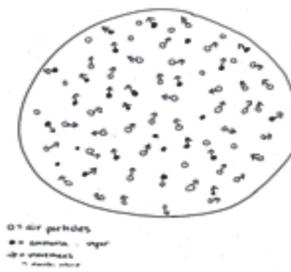
Tom: *Y también todos muestran algún movimiento de algo.*

Profesor: *¿Todos ellos muestran movimiento? ¿Estamos todos de acuerdo entonces en que el movimiento es algo importante en estos modelos?*

Varios estudiantes: ¡Sí!

Profesor: *¿Cómo sabemos que hubo movimiento? ¿Qué pruebas tenemos de que ahí hubo movimiento? ¿Kionna?* [reaccionando a su mano levantada].

Kionna: *Porque cuando pusimos el papel pH dentro del Erlenmeyer el vapor subió y cambio de color. [Lección 5.1, aula p6 - 26:09.0 - 26:36.0]*



Dibujo de uno de los modelos que muestra amonio evaporándose dentro de un Erlenmeyer con papel pH en la boca

En síntesis, el desafío de facilitar una práctica de modelización reflexiva incluye promover normas que les permitan a los estudiantes ejercitar, de manera más o menos explícita, criterios epistemológicos acerca de sus modelos mientras los desarrollan (como el de justificar acuerdos de los aspectos fenomenológicos a representar mientras alcanzan un consenso sobre el modelo que explica mejor entre aquellos que ya han construido).

Los profesores necesitan apoyo para facilitar las prácticas de modelización en el aula

Los profesores aún no perciben las prácticas de modelización como una necesidad en el aula de ciencias, ya sea porque muchas veces los estándares a los que tienen que responder no incluyen estas prácticas, porque desconocen las tareas de modelización (Justi y Gilbert 2002 a, b) o porque no cuentan con material didáctico de apoyo. El rango de iniciativas para lograr un cambio a este respecto abarca desde la formación profesional y el diseño de materiales de aula hasta principios que guíen la adaptación del material existente (Kenyon, Schwarz, y Hug, 2008). Todo esto resulta fundamental si se quiere tomar en serio el objetivo de involucrar

gradualmente a los estudiantes en auténticas prácticas de modelización. Al menos dos aspectos emergen como los más problemáticos entre los profesores de ciencias cuando algunas de estas iniciativas se ponen en marcha: la relación con el contenido disciplinar y la dificultad de llevar a cabo una práctica reflexiva.

Relación entre las prácticas de modelización y el contenido disciplinar

Instaurar entre los profesores una visión de la modelización como una manera efectiva de desarrollar explicaciones científicas de fenómenos que incluyan ideas disciplinares claves (esto es, contenido disciplinar) coincide con el objetivo de promover una ciencia escolar en donde las ideas de las distintas disciplinas se enseñen mientras también se enseña cómo se generan, usan y evalúan estas ideas (nrc, 2007). Pensar que las prácticas de modelización y el contenido disciplinar van separados, compitiendo el uno con el otro como objetivos educativos, no ayuda a lograr este objetivo. Sabemos que a muchos profesores les pueden faltar estrategias pedagógicas que ayuden a llevar a cabo esta integración, o que a veces tienden a usar modelos y practicar la modelización para demostrar ideas científicas "correctas" (Henze, Van Driel, y Verloop, 2007;



Justi y van Driel, 2005; van Driel y Verloop, 1999). Por estas razones, el objetivo es que los profesores comprendan que las prácticas de modelización incluyen construir, usar, evaluar y revisar modelos, y que son estas precisamente las herramientas para fortalecer el razonamiento de los estudiantes alrededor de ideas científicas. En nuestro trabajo con el Grupo MoDeLS, hemos tratado de apuntalar este objetivo, conceptualizando la modelización como una práctica general que puede ayudar a los profesores a concentrar sus esfuerzos en involucrar a sus alumnos en la construcción de coherencia del quehacer científico por medio de las distintas ideas clave de las disciplinas científicas. Sucesivamente este foco nos permite explorar cómo estas prácticas pueden convertirse en versiones siempre más complejas a lo largo de varios años de escolaridad. Esta elección no deja de reconocer que el desarrollo de prácticas científicas conlleva componentes específicos del contexto disciplinar en el que se desarrolla (por ejemplo, hay maneras de evaluar modelos en Biología distintas a las que se aplican en Física). Existen trabajos que exploran esta posibilidad de coevolución entre la modelización científica y las ideas disciplinares (Acher, Arca y Sanmarti, 2007; Manz, 2012). Sin embargo, y una vez más, la apuesta educativa que sostiene los esfuerzos para desarrollar una modelización gradual a lo largo de varios años de escolaridad radica en promover prácticas científicas que apunten a integrar el currículo de ciencias y brinden herramientas concretas contra su fragmentación (nrc, 2007). Si los profesores aprecian la potencialidad de este grado de generalidad, este objetivo puede estar más cerca de alcanzarse.

Cómo integrar aspectos específicos de reflexión

Ya dijimos que hay un gran riesgo en enseñar aspectos de una práctica de modelización reflexiva como “información adicional a aprender” (por ejemplo, enseñar la definición de modelo aislada del contexto de uso y justificación de estos modelos). Esto se debe a que muchos profesores ignoran por completo el valor de esta manera específica de metaconocimiento (Schwarz y White, 2005). No sorprende entonces que los profesores tampoco cuenten con estrategias pedagógicas para abordar la integración entre elementos de la modelización y el *metamodeling* asociado. Por ejemplo, involucrar a estudiantes en discusiones mientras comparan sus modelos con el objetivo de comprender criterios que ayuden a evaluar esos modelos, al mismo que tiempo que se aprovecha esa discusión para mejorarlos no parece una tarea sencilla. Los esfuerzos dirigidos a lidiar con este desafío pueden provenir del aspecto social de las prácticas científicas y la cultura del aula. Normas sociales de la cultura escolar tradicional (como el hábito de dar al maestro “la respuesta correcta” o favorecer el modelo que presenta el “estudiante preferido”) entran en conflicto con normas que favorecen tanto la modelización reflexiva como otras prácticas científicas (Jiménez-Aleixandre, Rodríguez Bugallo, y Duschl, 2000). El conocimiento y la promoción de estas normas pueden tener un gran impacto en el trabajo que realizan los profesores (Acher y Reiser, 2014).

Referencias bibliográficas

- Acher, A. (2005). *Building explanation of the development of living beings and its biological resonances in kindergarten classrooms*. Ph. D. Dissertation, UAB-Barcelona (publicación interna).
- Acher, A. y Reiser, B. J. (2014). Middle school students and teachers making sense of scientific modeling in their classrooms (en imprenta).
- Acher, A. y Arcà, M. (2013). Designing a learning progression for teaching and learning about matter in early school years. *Topics and trends in current science education*. In *European Selected Contributions*. Part IV, pp 489-503. En Tiberghien, A. Clement, P. y Bruguiere, C. Eds. Springer.
- Acher, A. y Arcà, M. (2008). *Children's representations in modeling scientific knowledge construction*. En *Representational systems and practices as learning tools in different fields of knowledge*. Chapter VIII, 109-133. Teuval, Scheuer, Echeverría y Andersen. Eds. Sense Press, NJ.
- Acher, A., Arcà, M., y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). A "semantic" view of scientific models for science education. *Science and Education*. doi: 10.1007/s11191-011-9431-7
- Brown, A. L., y Campione, J. C. (1994). Guided discovery in a community of learners. En K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 229-270). Cambridge, MA: MIT Press.
- Clement, J. (2008). Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. En J. Clement y M. A. Rea-Ramírez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 11-22). New York, NY: Springer.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modeling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (2), 115–130.
- Gómez Galindo, A. A. (2013). Explicaciones narrativas integradas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*: 31(1), 11-28
- Greca, I. M. and Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modeling. *International Journal of Science Education*, 22, 1-11.
- Henze, I., Van Driel, J., y Verloop, N. (2007). The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform. *International Journal of Science Education*, 29(15), 1819-1846.
- Harrison, A. G., y Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Rodríguez, A. B., y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84, 757-792.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.

- Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Justi, R. y van Driel, J. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modelling. *Research in Science Education*, 35, 197-219.
- Kenyon, L., Schwarz, C. y Hug, B. (2008). The benefits of scientific modeling. *Science and Children*, 46(2), 40-44.
- Lehrer, R. y Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy: Supporting development in learning in contexts. En W. Damon y R. M. Lerner (editores de la serie) y K. A. Renninger y I. E. Sigel (editores del volumen), *Handbook of Child Psychology: Vol. 4. Child psychology in practice* (6th ed., pp. 153-196). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Lesh, R. y Doerr, H. M. (2000). Symbolizing, communicating, and mathematizing: Key components of models and modeling. En P. Cobb, E. Yackel, y K. McClain (eds.), *Symbolizing and communicating in mathematics classrooms: Perspectives on discourse, tools, and instructional design* (pp. 361-383). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Manz, E. (2012). Understanding the codevelopment of modeling practice and ecological knowledge. *Science Education*, 96 (6) 1071-1105.
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington D.C.: The National Academies Press.
- OECD. (2006). *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*. Policy Report. <https://www.oecd.org/dataoecd/16/30/36645825.pdf>
- Passmore, C.; Svoboda Gouvea, J. y Giere, R. (2013). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. En M. R. Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Springer. Chapter 36, pp. 1171-1202.
- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D. y Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92, 499-525.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 634-656.

- Shwartz, Y.; Weizman, A.; Fortus, D., Krajcik, J. y Reiser, B. J. (2008). The IQWST experience: Using coherence as a design principle for a middle school science curriculum. *Elementary School Journal*, 109, 199-219.
- Schwarz, C. V. y White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D. 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, 632-654.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L. O. y Fortus, D. (2011). Issues and challenges in defining a learning progression for scientific modeling. En A. Gotwals (Ed.), *Learning progressions for science*. Eds. Sense press, NJ.
- Stewart, J., Cartier, J. L., y Passmore, C. M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. En M. S. Donovan y J. D. Bransford (eds.), *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom* (pp. 515-565). Washington, DC: The National Academies Press.
- van Driel, J. H., y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1153.
- Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92, 941-967.

Andrés Acher es educador e investigador en Didáctica de las Ciencias. Su principal interés de investigación es el diseño y estudio de contextos de aula con énfasis en la exploración de la manera en que las similitudes entre las ideas intuitivas de los estudiantes y las ideas de los científicos facilitan la enseñanza y el aprendizaje de conocimientos y de la modelización científica en largos periodos de escolaridad. Antes de su posición en Halle, Alemania, Andrés fue profesor asistente en Northwestern University, EEUU., e investigador en cuatro universidades europeas: King's College de Londres, University of Leeds, Universidad la Sapienza-Roma, y la Universidad Autónoma de Barcelona, donde obtuvo su Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales.