



Práctica disciplinar: Promover la modelización para representar y explicar fenómenos científicos



¿En qué consiste la práctica de promover la modelización para representar y explicar fenómenos científicos?

Promover la modelización científica es una práctica de enseñanza orientada a desarrollar en las y los estudiantes la capacidad de construir, evaluar y revisar representaciones del mundo natural para comprenderlo, explicarlo y anticiparlo. A diferencia de enfoques centrados en la transmisión de contenidos, esta práctica sitúa al estudiante como constructor activo de modelos: observa fenómenos, formula representaciones explicativas, las confronta con evidencias y las revisa en diálogo con otros. En este proceso, los modelos se entienden como representaciones parciales, intencionadas y teóricamente fundamentadas que permiten pensar, explicar, predecir y comunicar sistemas, procesos o fenómenos naturales —como el modelo de ser vivo, de energía, del ciclo del agua, del átomo o de redes tróficas— (National Research Council [NRC], 2012; Schwarz et al., 2009).

Así, las ideas centrales en ciencias deben entenderse como conjuntos de modelos relacionados entre sí, que permiten interpretar grupos de fenómenos desde un mismo

enfoque (Garrido-Espeja, 2016). Esta concepción resulta clave para la enseñanza, ya que desplaza el foco desde la memorización de conceptos hacia la comprensión de marcos explicativos coherentes (Schwarz et al., 2009).

Garrido-Espeja (2016) plantea que en el ámbito educativo es clave distinguir entre modelos científicos (MC), modelos científicos escolares (MCE) y modelos mentales (MM). Los MC son representaciones simplificadas de sistemas, procesos o fenómenos consensuadas por la comunidad científica que permiten explicar y predecir lo que ocurre en el mundo natural —como el modelo del átomo, del sistema solar, de ser vivo, de energía, del ciclo del agua o de redes tróficas— (Harlen, 2010). Los MCE corresponden a adaptaciones didácticas diseñadas para ser enseñables y aprendibles, manteniendo coherencia epistemológica, pero ajustándose a los procesos cognitivos de las y los estudiantes. Los MM, en cambio, son las representaciones internas que construyen las personas —incluyendo a las y los estudiantes— para explicar esos mismos fenómenos (Garrido-Espeja, 2016).

Un aporte relevante de las diferentes concepciones de modelos es el reconocimiento de su naturaleza necesariamente mental. Aunque los modelos científicos y escolares sean compartidos y consensuados socialmente, estos tienen su origen en los modelos mentales de las personas que integran dichas comunidades (Izquierdo et al., 1999, citado en Garrido-Espeja, A. (2016). El hecho de que los modelos sean históricamente compartidos y multirrepresentados permite tratarlos como entidades estables en la enseñanza, pero comprender su origen mental resulta clave para entender cómo se aprenden y transforman.

Promover la modelización en el aula significa, por tanto, reconocer que el conocimiento científico no se transmite como un conjunto acabado de verdades, sino que se construye progresivamente a través de modelos que se elaboran, se ponen a prueba y se revisan a la luz de nuevas evidencias o mejores explicaciones. Esta idea resulta clave para que las y los estudiantes comprendan la naturaleza dinámica del conocimiento científico (Harlen 2015,). Ningún modelo es una copia fiel del mundo: todos ponen ciertas características en foco mientras otras quedan en segundo plano, y contienen aproximaciones y supuestos que limitan su rango de validez y poder predictivo (NGSS, 2013b). Modelizar implica abstraer, seleccionar, relacionar y justificar, habilidades fundamentales del pensamiento científico.

Desde esta perspectiva, enseñar ciencias supone favorecer que las y los estudiantes participen activa e iterativamente en procesos de modelización, es decir, en un proceso donde construyan, revisen y usen sus modelos mentales para desarrollar explicaciones progresivamente más potentes (Harlen, 2015; NRC, 2012). Los modelos no son representaciones fijas sino herramientas provisionales que evolucionan a medida que mejora la comprensión, constituyendo el mecanismo mediante el cual las pequeñas ideas observacionales se transforman en grandes ideas con poder explicativo amplio (Schwarz et al., 2009).

Bajo un enfoque socioconstructivista, aprender ciencias mediante la modelización implica un proceso gradual de reorganización de ideas que el docente debe anticipar y orientar. Las concepciones iniciales de las y los estudiantes no se consideran errores a eliminar, sino el anclaje base desde el cual se inicia una trayectoria de progresión conceptual hacia un anclaje superior: el modelo científico escolar al que se aspira. Entre ambos extremos, los modelos intermedios que construyen las y los estudiantes funcionan como peldaños que describen la evolución del razonamiento (Duncan & Hmelo-Silver, 2009, citado en Garrido-Espeja, 2016). Este proceso es simultáneamente personal y social: personal porque implica reorganización genuina de las propias ideas; social porque ocurre mediante diálogo crítico, análisis de la correspondencia entre fenómeno y modelo, y discusión de modelos contradictorios entre pares (Garrido-Espeja, 2016). Para que esta progresión sea sistemática, la modelización no puede limitarse a una unidad puntual, sino que debe sostenerse a lo largo de toda la trayectoria escolar (NGSS, 2013a).

Estas progresiones son la base para diseñar secuencias didácticas coherentes y mejorar la evaluación formativa ya que permite reconocer avances parciales y orientar la enseñanza de manera más ajustada. Diversos autores han propuesto ciclos para un proceso de modelización, independientemente del modelo que se desee construir. Schwarz y otros (2009) proponen las siguientes etapas: exploración del fenómeno que requiere un modelo para ser explicado, construcción del modelo, puesta a prueba del modelo de forma empírica o conceptual, evaluación del modelo, revisión del modelo y uso del modelo para explicar y predecir (citado en Solé et al, 2019). Autores, como Couso & Garrido-Espeja (2017) (citado en Solé et al, 2019), plantean ciclos donde explican tanto lo que se espera promover en el estudiante (acciones y aprendizajes) como las actividades o experiencias que se deben diseñar para lograrlo.

Las representaciones son el medio a través del cual los modelos y la modelización de las y los estudiantes se hacen visibles y comunicables, y la materia prima sobre la que opera la reflexión. Promover la modelización implica favorecer el uso articulado y diversificado de representaciones —expresiones corporales, diagramas, dibujos, réplicas físicas, representaciones matemáticas, analogías y simulaciones digitales (NGSS, 2013b)— para explorar fenómenos, construir y poner a prueba modelos, y comunicar ideas a otros, pero también para que las y los estudiantes puedan volver sobre ellas y preguntarse qué decisiones implicó construirlas y qué aspectos de la realidad dejan fuera (OECD; 2023).

De esta forma, cuando se habla de los modelos de las y los estudiantes, no se hace referencia al artefacto material utilizado para expresarlos (maquetas, dibujos, esquemas), sino al modelo mental que subyace a dicha representación (Garrido-Espeja, 2016). Por ello, la labor docente implica interpretar estas producciones para identificar qué modelo está utilizando el estudiante en un momento determinado. Esta interpretación es fundamental para orientar la enseñanza y diseñar intervenciones que favorezcan la evolución de los modelos mentales hacia modelos científicos escolares más potentes.

Otro componente relevante de promover la modelización es incorporar, de manera integrada, la reflexión metacognitiva y epistemológica. Esto implica ayudar a las y los estudiantes a pensar no solo con modelos, sino también sobre los modelos: para qué sirven, por qué se usan, cómo se validan y por qué pueden cambiar. Este conocimiento contribuye a una comprensión más profunda de cómo funciona la ciencia y de su carácter histórico, provisional y revisable (Harlen 2010, Harlen 2015). Esta reflexión, incluso de forma implícita, favorece una visión más auténtica de la actividad científica.

La habilidad de desarrollar y usar modelos progresa desde representaciones concretas hacia abstracciones complejas. En los primeros niveles educativos, estudiantes distinguen entre un modelo y la realidad, usando dibujos, réplicas físicas o dramatizaciones para representar eventos simples. Progresivamente, construyen y revisan modelos basados en evidencia para mostrar relaciones entre variables y probar relaciones de causa y efecto. En niveles intermedios, desarrollan modelos para describir mecanismos no observables y predecir fenómenos. Finalmente, usan múltiples tipos de modelos —incluidos matemáticos y computacionales— para explicar relaciones entre sistemas, moviéndose flexiblemente entre ellos según sus méritos y limitaciones. (NGSS, 2013b).

Promover la modelización para representar y explicar fenómenos científicos implica, en definitiva, asumir que el objetivo de la enseñanza de las ciencias no es la acumulación de hechos aislados, sino la construcción de modelos explicativos integrados. Esto requiere diseñar situaciones de aprendizaje donde las y los estudiantes observen fenómenos relevantes, elaboren explicaciones iniciales, las representen mediante distintos lenguajes y las revisen a la luz de nuevas evidencias.



Qué no es la práctica de promover la modelización para representar y explicar fenómenos científicos

- Copiar modelos acabados de libros de texto sin proceso de construcción propia, por ejemplo, presentar esquemas, diagramas o representaciones expertas para su reproducción literal, esperando que la comprensión emerja por imitación, sin promover la explicitación de las ideas iniciales del estudiantado, su problematización ni su revisión progresiva. Esto limita el desarrollo del pensamiento científico y reduce la modelización a una actividad reproductiva centrada en el producto y no en el proceso de construcción explicativa.
- Realizar actividades manuales descontextualizadas sin discusión conceptual, por ejemplo, construir maquetas, dibujos o esquemas como productos finales sin orientar la reflexión sobre qué representan, por qué se representan de esa manera, qué elementos se incluyen o excluyen y qué relaciones se establecen entre ellos.
- Transmitir “el modelo correcto” como una verdad absoluta y definitiva, por ejemplo, presentar representaciones científicas escolares cerradas sin problematizar su carácter representacional, sus limitaciones ni su función como herramientas para explicar fenómenos. Presentarlos como copias fieles de la realidad debilita la comprensión epistemológica de la ciencia y rigidiza el conocimiento escolar.

- Eliminar las concepciones alternativas de las y los estudiantes, considerándolas errores que deben ser corregidos de forma inmediata, por ejemplo, sustituir explicaciones iniciales sin analizarlas ni utilizarlas como base para la construcción progresiva de modelos más complejos.
- Desarrollar modelos de forma individual, por ejemplo, solicitando producciones personales sin instancias de discusión, contraste de explicaciones o argumentación entre pares. La modelización se enriquece mediante la confrontación social de modelos, el análisis colectivo de sus fortalezas y debilidades y la construcción compartida de criterios para evaluarlos.
- Elaboración de un modelo único y definitivo sin ciclos de evaluación y revisión, por ejemplo, producir representaciones estáticas que no se utilizan para explicar, predecir o contrastar con evidencia. La modelización auténtica supone un proceso iterativo en el que los modelos se construyen, se ponen a prueba, se ajustan y se perfeccionan progresivamente, permitiendo comprender el carácter dinámico, provisional y funcional del conocimiento científico escolar.
- Abstracciones teóricas desvinculadas de fenómenos que pretenden explicar. Modelos científicos son herramientas para pensar sobre realidad. Enseñar modelización requiere anclar modelos en fenómenos observables y relevantes, promover uso funcional para explicar situaciones concretas, y contrastar predicciones con evidencia.



Estrategias

- **Identificar y priorizar modelos científicos escolares clave del currículo.** Seleccionar grandes modelos explicativos —materia-partícula, cambio químico, fuerzas e interacciones, ser vivo, energía— que permitan explicar una amplia variedad de fenómenos en lugar de abordar conceptos aislados. Analizar qué entidades, relaciones y procesos constituyen cada modelo, priorizando aquellos

con mayor poder explicativo que funcionen como ejes organizadores de la enseñanza. Coordinar con otros docentes para asegurar que los modelos trabajados en cada nivel construyan coherentemente hacia grandes ideas científicas, evitando fragmentaciones o contradicciones entre cursos. Por ejemplo, al priorizar el modelo de energía, identificar las ideas clave que lo definen —energía como estado, transferencia, conservación y degradación— y usarlas como eje transversal para explicar fenómenos tan diversos como el movimiento, el cambio químico, la electricidad y los procesos de los seres vivos, en lugar de enseñar cada tema por separado (Solé et al., 2019).

- **Diseñar progresiones de aprendizaje para cada modelo.** Identificar el anclaje inferior —ideas iniciales típicas de las y los estudiantes—, el anclaje superior —modelo científico escolar esperado— y los pasos intermedios que describen la evolución del razonamiento. Anticipar ideas previas mediante literatura especializada o exploraciones preliminares, considerándolas puntos de partida productivos. Por ejemplo, al diseñar la progresión para el modelo de energía, anticipar que las y los estudiantes suelen pensar que la energía "se gasta" o "se destruye"; identificar este modelo inicial como anclaje inferior y diseñar pasos intermedios que los lleven progresivamente hacia la comprensión de la degradación y conservación de la energía como anclaje superior.
- **Planificar un ciclo de modelización, asegurando que sea iterativo y no lineal, con tiempos suficientes para cada fase y oportunidades para la metacognición.** Preparar múltiples representaciones del modelo científico escolar —corporales, materiales, diagramas, simulaciones digitales, narrativas, lenguaje matemático— asegurando progresión desde las más concretas a las más abstractas según el nivel educativo.
- **Seleccionar fenómenos relevantes y observables que motiven la modelización.** Elegir fenómenos que requieran explicación mediante un modelo, no solo descripción; que sean significativos para las y los estudiantes, accesibles mediante observación directa o indirecta, y suficientemente complejos para generar genuina necesidad de modelizar. Por ejemplo, Solé et al., 2019, describen una experiencia pedagógica donde usan las montañas rusas como fenómeno contextualizador del modelo de energía: se trata de un contexto cotidiano, atractivo y suficientemente

complejo para motivar preguntas sobre transferencia, conservación y degradación de la energía.

- **Formular una pregunta guía que instale la necesidad de un modelo.** Debe ser lo suficientemente abierta para no tener respuesta descriptiva simple, lo suficientemente desafiante para problematizar las ideas iniciales, y orientada explícitamente hacia la explicación y no solo hacia la observación. Usando el mismo ejemplo anterior, una buena pregunta guía hace sentir a las y los estudiantes que necesitan construir algo —un modelo— para poder responderla. La diferencia entre "¿Qué ocurre en una montaña rusa?" y "¿Cómo explicarías qué hace que la bala se mueva a lo largo de todo el recorrido?" marca la distancia entre describir y modelizar. Por ejemplo, la pregunta guía se introduce mediante un diálogo que plantea: "¿Se podría construir una montaña rusa en el patio de la escuela?", generando inmediatamente la necesidad de construir un modelo explicativo para responderla (Solé et al., 2019).
- **Legitimar y hacer visibles los modelos iniciales de las y los estudiantes.** Generar un ambiente donde diferentes formas de explicar el fenómeno sean bienvenidas como punto de partida. Usar preguntas abiertas, dibujos individuales o discusiones en parejas para explicitar modelos iniciales, registrándolos visiblemente para retomar en fases posteriores. Comunicar explícitamente que las ideas iniciales no son errores sino pasos necesarios en la progresión conceptual, normalizando que cambiar de modelo es señal de aprendizaje. Por ejemplo, al comenzar una unidad sobre redes tróficas, pedir que cada estudiante represente (esquema, dibujo, maqueta) cómo creen que viaja la energía entre los seres vivos de un bosque, mar o pradera cercana. Luego, organizar una pequeña galería con sus dibujos, recorrerla colectivamente y conversar sobre las distintas ideas que aparecen, utilizándolas como punto de partida para la indagación sin corregirlas de forma inmediata.
- **Promover la confrontación argumentada de modelos entre pares.** Establecer normas explícitas para la discusión: cuestionar ideas sin descalificar personas, solicitar justificación con evidencia, reconocer fortalezas antes de señalar debilidades. Organizar instancias donde las y los estudiantes presenten sus modelos, expliquen sus decisiones y respondan preguntas de sus pares.

Consensuar colectivamente criterios de evaluación —coherencia interna, poder explicativo, articulación con evidencia— involucrando a las y los estudiantes en su definición. Por ejemplo, organizar una "galería de modelos" donde cada grupo exhibe su representación del modelo atómico, y los demás grupos dejan notas con preguntas o sugerencias usando el lenguaje acordado: "¿Qué evidencia apoya esta decisión?", "¿Cómo explica tu modelo este caso?".

- **Promover la confrontación entre modelo y evidencia introduciendo evidencias que desafíen el modelo inicial y, a la vez, facilitando la obtención activa de datos que lo pongan a prueba.** Presentar situaciones que el modelo inicial no logra explicar satisfactoriamente, generando tensión productiva entre modelo y evidencia, sin imponer el modelo correcto sino problematizando: "¿Qué pasa con tu modelo si consideramos esto?". Diseñar actividades donde las y los estudiantes recojan, observen o analicen datos para evaluar su modelo inicial, guiando la exploración con preguntas como "¿Qué podrías hacer para comprobar si tu modelo es correcto?" y "¿Qué observarías si tu explicación fuera verdadera?". Apoyar luego la revisión fundamentada destinando tiempo específico para que modifiquen su modelo, justificando los cambios: "¿Por qué decidiste cambiar esto?", "¿Qué evidencia te llevó a revisar tu modelo?".
- **Introducir recursos que orienten la mirada sin revelar la respuesta.** En el momento en que el modelo inicial ha sido puesto a prueba, pero aún no es suficientemente potente, proporcionar apoyos que abran nuevas perspectivas sin dar directamente el modelo científico escolar: analogías, simulaciones, dibujos equivalentes, información teórica acotada, o discusiones entre pares con roles asignados. Estos recursos funcionan como base de orientación: no reemplazan el proceso de construcción de las y los estudiantes, sino que lo encauzan hacia las entidades y relaciones relevantes del modelo. Por ejemplo, a partir de información teórica aportada sobre los tipos de energía, pedir las y los estudiantes que clasifiquen las diferentes etapas del movimiento de la montaña rusa, orientando su mirada hacia la distinción entre energía cinética y potencial sin entregar aún el modelo completo (Solé et al., 2019).
- **Facilitar la construcción de un modelo final consensuado.** Destinar tiempo específico para que las y los estudiantes estructuren colectivamente las ideas

construidas a lo largo del ciclo en un modelo compartido y consensuado. Este momento no es solo un cierre sino una instancia de construcción: el grupo llega a una versión del modelo científico escolar que integra las evidencias trabajadas, supera los modelos iniciales y puede ser comunicada con claridad. Por ejemplo, pedir les que escriban un resumen para un compañero que no haya podido asistir, explicando los tipos de cambios energéticos estudiados; esto lleva a estructurar y comunicar el modelo de manera coherente, revelando tanto lo comprendido como lo que aún necesita consolidarse (Solé et al., 2019).

- **Promover la transferencia del modelo revisado a fenómenos nuevos.** Una vez que las y los estudiantes han construido y consensuado un modelo más potente, proporcionar oportunidades para aplicarlo a situaciones distintas al fenómeno original: contextos cotidianos, problemas tecnológicos o dilemas ambientales que el modelo inicial nunca habría podido explicar. Por ejemplo, después de construir el modelo de redes tróficas, pedir a las y los estudiantes que identifiquen y expliquen los posibles impactos ambientales que pueden producirse al ingresar una especie exótica a una isla.
- **Promover la documentación y metacognición sobre el proceso de modelización.** Implica destinar tiempos sistemáticos para que las y los estudiantes reflexionen sobre cómo evoluciona su propio modelo, utilizando preguntas como “¿Cómo cambió tu modelo desde el inicio?”, “¿Qué te hizo cambiar de opinión?” y “¿Para qué sirve modelizar?”, junto con estrategias de pensamiento visible y la comparación explícita entre representaciones iniciales y finales. Paralelamente, es clave documentar y analizar la evolución de los modelos mediante fotografías, registros orales, cuadernos de ciencias o grabaciones de discusiones, con el fin de identificar progresiones, obstáculos y trayectorias diversas.



Bibliografía

- Garrido-Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica* [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/10803/399837>
- Harlen, W. (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Association for Science Education.
- Harlen, W. (2015). *Trabajando con las grandes ideas de la educación en ciencias*. La Red Global de Academias de Ciencia (IAP). Association for Science Education.
- NGSS Lead States. (2013a). Appendix A: Conceptual shifts in the Next Generation Science Standards. En *NGSS Lead States, Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013b). Appendix F: Science and engineering practices in the Next Generation Science Standards. En *NGSS Lead States, Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>.
- Schwarz, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Solé, C., Hernández, M. I., & Márquez, C. (2019). El cicle de modelització com a eina d'anàlisi d'una unitat didàctica sobre energia. *Didacticae: Revista de Investigación en Didácticas Específicas*, 5, 43–56. <https://doi.org/10.1344/did.2019.5.43-56>