

— 2.2

Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo

DIGNA COUSO LAGARÓN



¿Qué sabemos en ciencias? Cuando se habla de conocimiento científico generalmente se hace referencia a una ingente cantidad de vocabulario y conceptos específicos, así como de leyes, modelos y teorías, que son producto de la ciencia desde su inicio hasta nuestros días. Esta visión del conocimiento científico, que a pesar de los cambios curriculares aún permea las aulas, presenta un importante problema para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias: lo que se cree que se ha de enseñar y aprender en ciencias es de naturaleza eminentemente teórica, y además muchísimo. Esto contrasta con dos ideas importantes que la investigación didáctica intenta poner de relieve. La primera, que la empresa científica no se reduce a los productos teóricos obtenidos por la ciencia, sino que incluye la actividad de generarlos. Es decir, incluye los procesos de indagación, argumentación y, como veremos en este capítulo, modelización que permiten “idear” modelos interpretativos que nos sirvan para describir, predecir, explicar e intervenir en los fenómenos de acuerdo con lo que sabemos y las pruebas disponibles y que puedan transferirse a otros contextos. Esto implica poner el foco en la modelización, es decir, en la expresión, el uso, la evaluación y la revisión de los modelos. La segunda, que los contenidos conceptuales a aprender son unas pocas, pero potentes, ideas clave que el alumnado debe construir de forma paulatina y sólida a lo largo de toda la escolaridad. El objetivo es hacer evolucionar, de forma progresiva, las ideas o modelos iniciales que el alumnado usa para predecir y/o explicar un fenómeno para que sean cada vez más coherentes con las ideas de la ciencia adecuadas al nivel de la escuela.



SABÍAS QUE...

La alfabetización científica requiere el dominio de pocas, pero potentes, ideas clave que permitan interpretar multitud de fenómenos.



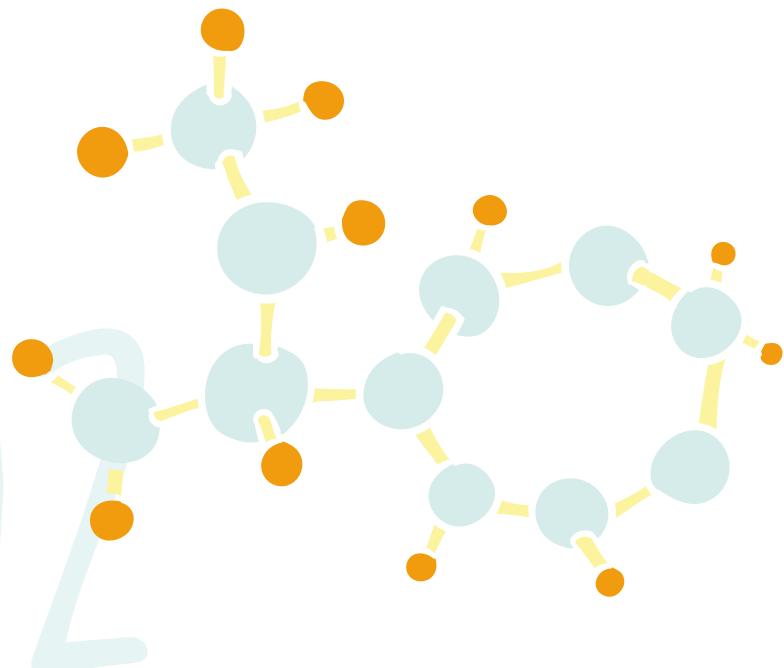
IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- En enseñanza de las ciencias existe consenso sobre la necesidad de reducir y estructurar los contenidos conceptuales (teorías, modelos, conceptos...) en torno a pocas, pero potentes, ideas clave, para la etapa 0-16.¹
- Estas ideas clave nos proporcionan una forma concreta de mirar los fenómenos que nos permite comprenderlos y actuar sobre ellos. Sería un ejemplo la forma de mirar la materia que nos proporciona la teoría cinético-corpuscular.
- Los modelos científicos escolares, los que queremos que se aprendan en la escuela, son aplicaciones de esas ideas clave a un dominio de fenómenos relevantes para nuestra vida². Por ejemplo, aplicando la teoría cinético-corpuscular se construye tanto un modelo de estado sólido como de mezcla homogénea.
- Estos modelos científicos escolares no son versiones simplificadas o incompletas de los modelos científicos de la ciencia profesional, sino una reconstrucción didáctica del conocimiento científico consensuado realizada especialmente para favorecer su enseñanza y aprendizaje.³



SABÍAS QUE...

La evolución de las ideas del alumnado sigue trayectorias concretas que nos pueden servir para planificar y guiar el aprendizaje desde sus modelos iniciales hasta los modelos científicos escolares.



IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- Las progresiones de aprendizaje son trayectorias conceptuales, propuestas teóricamente y validadas empíricamente, que indican posibles caminos de evolución de las ideas del alumnado desde sus modelos iniciales hacia los modelos científicos escolares.¹²
- Las progresiones de aprendizaje explicitan posibles etapas intermedias de comprensión que ayudan a los docentes a secuenciar la enseñanza de una idea científica a lo largo de toda la escolaridad. De esta forma, desde el modelo inicial habitual de la materia como continuo¹³ hasta llegar a un modelo más sofisticado de la materia formada por átomos y moléculas, el alumnado puede pasar y, de hecho le ayuda pasar, por la etapa intermedia de la materia "formada por partes (trozos pequeños)".⁹
- Estas etapas intermedias no han de visualizarse como ideas a evitar. Al contrario, a menudo constituyen peldaños o hitos en el camino de aprendizaje que son adecuadas y deseables para el nivel educativo y la madurez intelectual del alumnado y que resultan imprescindibles para elaborar primeras explicaciones de los fenómenos, y avanzar hacia ideas y formas de razonar más sofisticadas.¹² Por ejemplo, el modelo "partes" sirve para explicar en primera aproximación las disoluciones, mezclas, separaciones, conservación de la materia, pero requiere sofisticarse para explicar los efectos de la temperatura.⁹
- Las progresiones de aprendizaje resultan útiles a los docentes para plantearse otras formas de ver los fenómenos que son comunes en el alumnado, y que les permitan prever y ejecutar estrategias que ayuden a los alumnos a sofisticar sus ideas.¹⁴



SABÍAS QUE...

La modelización es una actividad esencial de la ciencia erudita y escolar que conlleva expresar, usar, evaluar y revisar modelos.⁴

Modelizar en el aula de ciencias sirve para adquirir conocimiento conceptual y sobre la ciencia, además de para aprender a modelizar mejor.⁸

IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- La modelización, tanto en la ciencia como en el aula, es la actividad científica de construir modelos, es decir, de elaborar representaciones simplificadas y parciales de objetos y fenómenos para poder describir, predecir y explicar aspectos que nos interesen de esos objetos o fenómenos.⁵
- La práctica de la modelización en el aula de ciencias involucra diferentes aspectos:^{6,7}
 - la expresión de los propios modelos en diversos formatos (verbal, gráfico, algebraico, etc.);
 - el uso de los modelos en distintos contextos u aplicaciones;
 - la evaluación o puesta a prueba de los modelos en base a la observación, análisis e investigación del fenómeno, y
 - la revisión de los modelos que se están construyendo para aumentar su potencial descriptivo, predictivo o explicativo.
- El interés didáctico en la modelización reside fundamentalmente en su importancia para el aprendizaje de conocimiento científico, al enganchar al alumnado en pensar, expresar y compartir su comprensión sobre cómo es y cómo funciona un cierto fenómeno.^{9,10}
- La modelización aporta también autenticidad a la enseñanza de las ciencias, al permitir que el alumnado participe en prácticas que muestran la ciencia como una actividad centrada en la generación de nuevo conocimiento en lugar de como un cuerpo de conocimiento acabado¹¹. Esto les proporciona competencia respecto a cómo se construyen y evalúan las ideas científicas en la ciencia erudita.



SABÍAS QUE...

La enseñanza de las ciencias centrada en la modelización es un enfoque didáctico que propone diferentes etapas.

Promover la modelización en el aula de ciencias requiere de una cultura de aula, un papel docente y unos recursos didácticos diferentes a los habituales en el aula de ciencias.

IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- Existen diversidad de propuestas didácticas que han mostrado ser útiles para diseñar, planificar e implementar una enseñanza de las ciencias centrada en la modelización. Estas propuestas coinciden en que parten del modelo inicial del alumnado e incluyen actividades orientadas a la evaluación y revisión progresiva de los modelos que se van construyendo.^{6,7,10,15,16}
- Una propuesta concreta para la enseñanza de las ciencias centrada en la modelización es el “ciclo de modelización” de la figura 1, que otorga gran importancia a la expresión explícita de los modelos del alumnado e incluye una fase de consenso que estructura lo que se ha aprendido.¹⁷
- La promoción de la modelización en el aula requiere de los docentes el uso de estrategias dialógicas de retroalimentación y andamiaje¹⁸, tales como pedir clarificaciones, animar a la comparación, promover el cuestionamiento, etc. Esto implica sostener diálogos extensos y productivos que se alejan del patrón discursivo tradicional de pregunta (declarativa)-respuesta-evaluación.¹⁹
- Promover la modelización también requiere de los docentes un importante conocimiento didáctico del modelo científico que se está construyendo, con el objetivo de poder identificar en las, a veces poco ortodoxas, producciones de los alumnos aquellas ideas que resuenan con las científicas y guiar su desarrollo en el aula.^{20,21}
- Existen múltiples recursos instrumentales para apoyar la modelización en la clase de ciencias sobre los que hay evidencias de buenos resultados dependiendo de su calidad y forma de usarlos. Por ejemplo, recursos de naturaleza física como los dibujos, maquetas o modelos mecánicos; recursos digitales, como las animaciones y simulaciones digitales, la realidad aumentada y la realidad virtual; recursos cognitivo-lingüísticos, como las metáforas y analogías; e incluso recursos pseudoexperimentales, como los experimentos mentales.¹⁶

Facilitar la estructuración de las ideas en un modelo final consensuado: guiar la negociación de un modelo consensuado y su expresión en un formato adecuado que facilite la interpretación de nuevos fenómenos.

Promover la emergencia de nuevos puntos de vista: facilitar que se compartan y comparen ideas del alumnado y/o visiones más expertas para orientar los cambios en el modelo.

Promover la aplicación y transferencia de un modelo consensuado: invitar a usar el modelo final consensuado en la situación problemática inicial y en nuevos fenómenos y contextos.



Ayudar a poner a prueba el modelo: promover el análisis de la adecuación del modelo, facilitando el estudio en profundidad del fenómeno y/o la obtención de pruebas.

Solicitar la expresión del modelo inicial: promover el uso y expresión del modelo inicial para describir, predecir o explicar un fenómeno paradigmático.

Problematizar: plantear una situación contextualizada y una pregunta guía que problematizan un fenómeno.

(Fases de la secuencia de enseñanza y aprendizaje centrada en modelizar)





✗ La enseñanza basada en modelos y modelización no es adecuada para las etapas tempranas del aprendizaje porque los niños no tienen el pensamiento formal necesario.

- La enseñanza basada en modelos y en la modelización no es común en las aulas, particularmente en los niveles de infantil y primaria, debido a que se asocia a una enseñanza teórica y con un alto grado de abstracción⁹. Al hacerlo, se obvia que el proceso de elaboración de modelos es altamente imaginativo y que se otorga un lugar privilegiado a la observación y recogida de datos.¹⁰
- Los niños y niñas construyen, desde muy temprano y de forma espontánea, ideas y modelos sobre cómo funciona el mundo. Estos modelos incluyen reglas sencillas a partir de su experiencia (por ejemplo, que la chaqueta o la manta calientan) que conviene explicitar y poner a prueba para hacer avanzar.
- Cuando guiamos adecuadamente el proceso de construcción de conocimiento del alumnado, podemos encontrar en sus producciones la semilla de ideas científicas realmente sofisticadas. Por ejemplo, con una guía adecuada, los niños y niñas de infantil pueden hablar en términos de conceptos biológicos complejos (p. ej. diferenciación) para explicar cómo puede ser que un huevo se acabe convirtiendo en un pollito.²²

✗ Al considerar que hay unas ciertas ideas y modelos científicos escolares importantes a aprender no se tienen en cuenta los intereses del alumnado.

- Los alumnos suelen escoger temas de forma mediatizada y, a menudo, parten de un interés superficial. Estos temas pueden ser poco adecuados para fomentar la modelización en el aula. Por ejemplo, escoger los delfines como ejemplo de animal para construir un modelo de mamífero permite menos observación y recogida de datos real que si se escoge un mamífero (p. ej. un conejo) que podamos traer al aula y observar directamente.²³
- Despertar el interés del alumnado por un tema que sabemos es importante para su alfabetización y conseguir que mantenga su interés a lo largo del proceso de enseñanza y aprendizaje facilita más aprendizaje que permitir que el alumnado escoja el tema a trabajar en el aula de ciencias.



La enseñanza basada en modelos y modelización es hacer un spoiler a los alumnos.

- Modelizar empieza por sentir la necesidad de un modelo para explicar algo que ahora mismo no sabemos explicar.¹⁷ Cuando los modelos científicos escolares se presentan antes de que los necesitemos para describir, predecir o explicar un fenómeno resultan irrelevantes.
- Para aprender un modelo científico escolar significativamente hay que modelizar, es decir, expresar y poner a prueba nuestro modelo inicial y revisarlo para que se ajuste mejor con la realidad. Si se presenta de forma magistral no facilitamos que, ante nuevos fenómenos, los alumnos usen estos modelos más adecuados en lugar de los suyos propios.¹⁸
- Esto requiere tiempos de enseñanza y aprendizaje mucho más largos y revertir el orden habitual que plantean las secuencias tradicionales y los libros de texto, de forma que el vocabulario, las definiciones y/o la “teoría” sean el punto de llegada (en lugar del punto de partida) y las preguntas, la observación, las actividades experimentales y la resolución de problemas aquello que nos sirve para llegar (en lugar de la aplicación de la teoría).



Construir un modelo de algo (p. ej. de una célula o de la molécula de agua) es construir una maqueta, esquema, dibujo o simulación que muestre cómo es y cómo funciona ese algo.

- Los modelos científicos objeto de aprendizaje son de naturaleza teórica o conceptual, no de naturaleza física o material.²⁴ Por ejemplo, aunque coloquialmente hablamos del modelo Sol-Tierra al referirnos a una maqueta tridimensional o a una animación digital, el modelo científico escolar Sol-Tierra se refiere a las ideas que, entre otros, permiten explicar cómo varían las horas de luz solar en nuestra localidad y predecir cómo varían en otras localidades del planeta.
- El uso de maquetas, dibujos, simulaciones, etc. puede ser útil porque ayudan a articular de forma concreta (y no abstracta) el modelo, así como a ponerlo a prueba y revisarlo.¹⁶



Las ideas y modelos científicos que enseñamos en los niveles educativos más avanzados son los verdaderos.

- Los modelos científicos son representaciones simplificadas e intencionadas de la realidad, pero no la realidad. Por ejemplo, por sofisticado que sea un modelo de átomo, este no nos dice cómo son exactamente los átomos reales, ya que no podemos saberlo.
- Conocer estas ideas de naturaleza de la ciencia (como es la ciencia) es importante para los docentes de todos los niveles, porque si los profesores piensan que los modelos son una representación “tal cual” de la realidad son menos propensos a valorar su construcción en aproximaciones sucesivas y por parte de los propios estudiantes en el aula.¹⁰



EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

(Taller práctico del proyecto REVIR 1º y 2º de la ESO)²⁶



¿Cómo regulan los animales su temperatura?

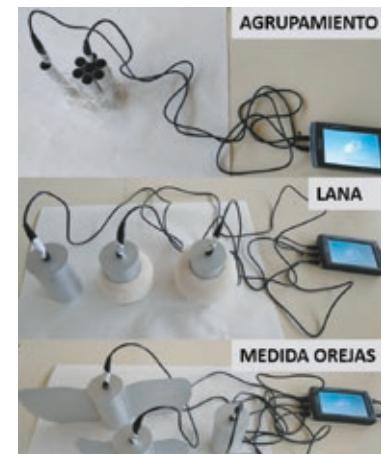
Después de hacer una lluvia de ideas donde el alumnado expresa lo que sabe de las maneras en las que los animales regulan su temperatura corporal, se les propone investigar y modelizar tres ejemplos: la agrupación de los pingüinos, la lana de las ovejas y las diferentes medidas de las orejas de los conejos según el clima en el que viven.

Una vez decidido qué mecanismo de regulación analizará cada equipo, se les pide que dibujen y expliciten cómo se imaginan que esos animales usan los mecanismos descritos para regular su temperatura corporal ante el frío o el calor ambiental. En estos dibujos gran parte del alumnado representa el frío como un fluido que intenta entrar en los animales y el agrupamiento o la lana como mecanismos productores de calor. Con ayuda de sensores de temperatura y botes con agua caliente que simulan los diferentes animales y mecanismos se construye una situación experimental analógica que permite tomar datos del cambio en la temperatura en las diferentes situaciones. Esto permite el alumnado comparar sus predicciones con lo observado:

- iEl bote recubierto de lana no aumenta su temperatura! Aunque, si lo comparamos con el bote sin lana, vemos que la temperatura disminuye más lentamente.

- iEl bote con "orejas" más grandes se enfria más rápidamente que los otros!
- iLa temperatura del bote que representa al pingüino rodeado de compañeros disminuye más lentamente que la del bote que representa a un pingüino solo!

A partir de comparar sus predicciones y sus ideas iniciales con los datos obtenidos, y a través del diálogo con su docente, el alumnado reconstruye sus explicaciones sobre cómo regulan estos animales la temperatura en términos de intercambio de energía entre objetos a diferente temperatura, calor y materiales aislantes. Además, también es muy interesante reflexionar sobre las limitaciones de nuestra analogía: ¿qué diferencia a un animal del bote con agua caliente?, ¿si las orejas de los conejos no están hechas de metal, tienen algún otro elemento que facilite su refrigeración?, si entre los pingüinos agrupados hay aire, ¿cómo es que el del interior está más protegido del frío?





EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

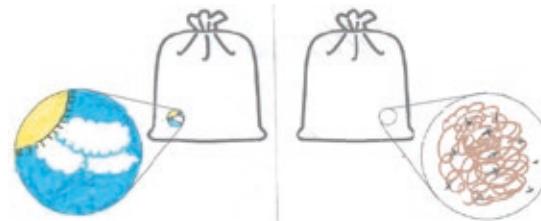
(Proyecto ParticipAire para alumnado de 5º y 6º curso de primaria)²⁵

¿Cómo es el aire de nuestra ciudad?

Después de visualizar un vídeo donde se presenta el problema de la contaminación del aire al alumnado, les pedimos que individualmente hagan un dibujo explicativo. En este deben representar cómo se imaginan el aire de un espacio limpio y el de un lugar muy contaminado, tanto a escala macroscópica (¿qué crees que verías a simple vista?) como a escala microscópica (¿cómo te lo imaginas por dentro?). Las ideas iniciales del alumnado son muy diversas y nos muestran las principales dificultades que presenta el fenómeno, por ejemplo: la contaminación como un "humo" continuo, asociada a la presencia de virus y bacterias, o como algo que cambia el aire (p. ej. de color).

Partiendo de sus ideas, presentamos al alumnado las estaciones de calidad del aire, dónde los científicos recogen datos sobre contaminación. A continuación, les entregamos algunos de los filtros recogidos en estas estaciones y les pedimos que los observen y dibujen lo que ven tanto a simple vista como con una lupa digital. Esta actividad permite al alumnado empezar a pensar en la contaminación como pequeñas partículas no vivas que no siempre pueden observarse a simple vista.

Con el objetivo de profundizar en estas ideas, seguidamente los alumnos recogen muestras del aire de su escuela, de manera análoga a como han visto que lo hacen los científicos, colocando unas muestras de cartulina untadas con un material pegajoso (p. ej. vaselina) en lugares que esperan estén más o menos contaminados. Analizando estas muestras construimos con nuestro alumnado la idea de contaminación como partículas sólidas en suspensión en el aire.



Por último, volveremos a pedir al alumnado que individualmente vuelva a dibujar y explicar sus ideas sobre el aire y la contaminación de la misma manera que lo ha hecho en la primera actividad. Esto nos permite ver si el alumnado incorpora las ideas trabajadas. La comparación y revisión de sus producciones finales permite al alumnado consensuar el modelo de contaminación que se ha construido en el aula, en el que se asocia la contaminación en el nivel microscópico a la presencia de partículas sólidas en suspensión que no siempre se pueden ver a simple vista.

REFERENCIAS

1. Harlen, W. (2010). Principles and big ideas of science education. *Assoc Sci Educ.* DOI: 978 086357 4 313.
2. Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Sci Educ.*, 12:27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>.
3. Duit, R.; Gropengiesser, H.; Kattmann, U.; Komorek, M. y Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction. A framework for improving teaching and learning science. *Science Education Research and Practice in Europe*, Brill Sense, 13-37. [cc10.1007/978-94-6091-900-8_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2).
4. Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *J Res Sci Teach.*, 28(1), 73-79. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280107>.
5. Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *Int J Sci Educ.*, 33(8), 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>.
6. Schwarz, C. V.; Reiser, B. J.; Davis, E. A. et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *J Res Sci Teach.*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>.
7. Baek, H.; Schwarz, C.; Chen, J.; Hokayem, H. y Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. *Models and Modeling*, Springer, 195-218.
8. Lehrer, R. y Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy. *Handb child Psychol. Handbook of Child Psychology*, vol.IV, Wiley & Sons, 153-196.
9. Acher, A.; Arcà, M. y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *Sci Educ.*, 91(1), 398-417. <https://doi.org/10.1002/sce.20196>.
10. 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. *Sci Educ.*, 92(5), 941-967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>.
11. Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *Int J Sci Math Educ.*, 2(2), 115-130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>.
12. Duschl, R.; Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Stud Sci Educ.*, 47(2), 123-182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>.
13. Vosniadou, S. y Brewer, W. F. (1992). Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cogn Psychol.*, 24:535-585. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W).
14. Stevens, S. Y.; Delgado, C. y Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *J Res Sci Teach.*, 47(6), 687-715. <https://doi.org/10.1002/tea.20324>.
15. 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. *J Sci Educ Technol.*, 24(2-3), 356-377. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>.
16. Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ensen las Ciencias*, 37(2), 5-24.
17. Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and Modelling in Pre-service Teacher Education: Why We Need Both. *Cognitive and Afective Aspects in Science Education*, Springer, 245-261.

- 18.** Aliberas i Maymí, J.; Gutiérrez, R. e Izquierdo i Aymerich, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza las Ciencias*, 35(2):7-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>.
- 19.** Mortimer, E. y Scott, P. (2003). *Meaning Making In Secondary Science Classrooms*. Mortimer, E. y Scott, P. (eds.). Maidenhead. Filadelfia: Open University Press.
- 20.** 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. <https://ddd.uab.cat/record/174973>.
- 21.** Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 63-76.
- 22.** Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis, TED*, 1(36), 63-75. https://doi.org/10.17227/01213814.36t_ed63.75.
- 23.** Garriga, N.; Pigrau, T. y Sanmartí, N. (2012). Cap a una pràctica de projectes orientats a la modelització. *Ciències Rev del Profr ciències Primària i Secundària*, 2(21), 18. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.125>.
- 24.** Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Rev Electrónica Investig en Educ en Ciencias*, 4(1), 40-49.
- 25.** Tena, E.; Couso, D.; Solé, C. y Grimalt-Álvaro, C. (2019). *Investigant sobre la contaminació a l'aula de primària. Material docent*. Barcelona: CRECIM. https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2019/201068/Material_per_docent_V8_DDD.pdf.
- 26.** Herrera, L.; Garrido-Espeja, A. y Pintó, R. (2016). *Regulació de la temperatura dels animals. Seqüència didàctica per l'estudi de la termoregulació animal i les adaptacions*. Barcelona: CRECIM. <https://ddd.uab.cat/record/182186>.

