

Caracterización de explicaciones del profesorado de física en formación respecto a las competencias modelizadoras

Macarena Soto Alvarado 

Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. macarena.soto@uc.cl

Camilo Vergara Sandoval 

Universidad de O'Higgins-Núcleo Milenio para el Estudio del Desarrollo de las Habilidades Matemáticas Tempranas (MEMAT). Chile. camilo.csvs@gmail.com

Joselyn Valenzuela Ferry 

Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. joselyn.valenzuela.f@gmail.com

[Recibido: 08 febrero 2024, Revisado: 23 mayo 2024, Aprobado: 17 junio 2024]

Resumen: La Actividad Científica Escolar reconoce la necesidad de una educación científica que brinde a la ciudadanía una visión del mundo para pensar, actuar y comunicarse. Sin embargo, el profesorado de ciencias, especialmente en física, sigue utilizando enfoques de enseñanza transmisivos y da evidencias de dificultades al implementar enfoques didácticos como la modelización en el aula. Algunas razones incluyen la complejidad del diseño de secuencias didácticas bajo este enfoque y la falta de comprensión del rol de las competencias modelizadoras que se desarrollan en este tipo de implementaciones. Esta investigación analiza cómo cambian las explicaciones del profesorado de física en formación en Chile respecto a la modelización y sus competencias después de participar en un curso orientado con este enfoque. Se identifican, al término del curso, avances en la comprensión de las finalidades de las competencias modelizadoras de expresión, evaluación y aplicación de un modelo. Los resultados también resaltan la importancia de formar al futuro profesorado mediante clases centradas en la modelización. Para ello, se proponen algunas orientaciones de diseño e implementación.

Palabras clave: Formación Inicial Docente; Competencia modelizadora, Modelización.

Early perceptions of modelling by physics teachers in training

Abstract: The School Science Activity recognises the need for science education that provides citizens with a worldview about which they can think, act and communicate. However, science teachers, especially in physics, continue to use transmissive teaching approaches and show evidence of difficulties in implementing didactic approaches such as modeling in the classroom. Some reasons include the complexity of designing sequences under this approach and the lack of comprehension of the role of modeling competences that are developed in this kind of implementation. This research analyses how the ideas of physics teachers in training in Chile change concerning modeling and its competences, after participating in a course oriented towards this approach. At the end of the course, progress is identified in comprehending the aims of the modeling competences of expression, evaluation and application of a model. The results also highlight the importance of training future teachers through classes focused on modeling. To this purpose, some design and implementation guidelines are proposed.

Keywords: Initial Teacher Training; Modeling Competence; Modeling.

Para citar este artículo: Soto, M., Vergara, C., y Valenzuela, J. (2024) Caracterización de explicaciones del profesorado de física en formación respecto a las competencias modelizadoras. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(3), 3601. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i3.3601

Introducción

Investigaciones en el campo de la didáctica de las ciencias de los últimos años (p.ej. Jiménez-Liso et al., 2020; Osborne, 2014), así como algunos documentos curriculares (p.ej. NGSS, 2013), realzan la importancia de involucrar al alumnado en prácticas científicas auténticas. Participar de ellas favorece que adquieran un rol de ciudadanos responsables e informados, capaces de pensar, actuar y comunicarse (Izquierdo et al., 1999) respecto a problemáticas socio científicas que requieren del establecimiento de un juicio razonado (Puig et al., 2023).

La Actividad Científica Escolar (ACE) como posición teórica-metodológica reconoce a las prácticas científicas de la argumentación, indagación y modelización como esferas de la actividad científica que deben promoverse en el sistema escolar (Garrido et al., 2022) por su relevancia para la construcción del conocimiento científico. Focalizando la atención en la modelización, ésta ha sido considerada esencial en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Göhner et al., 2022), al existir evidencias de ser un enfoque didáctico privilegiado para el aprendizaje de y sobre los modelos y para la reflexión sobre la práctica científica de modelización (Oliva, 2019; Schwarz et al., 2009). Por esto, dicha práctica ocupa un lugar importante en los planes de estudio de ciencias de variados currículos internacionales (Göhner y Krell, 2020; Göhner et al., 2022). Sin embargo, pese a su potencialidad, la modelización suele ser poco utilizada por el profesorado en los contextos escolares (Acher et al., 2007). Algunos motivos se asocian a:

- La resistencia del profesorado de ciencias para superar los modelos didácticos centrados en la transmisión de conocimientos (Marzábal y Vanegas, 2021).
- La poca coherencia que suele existir en la enseñanza de los programas de formación inicial de docentes de ciencias respecto a cómo se pretende que los futuros docentes enseñen en el aula (Marzábal y Vanegas, 2021).
- Los escasos momentos que se brindan a los profesores en formación para desarrollar competencias profesionales que les permitan poder planificar sus clases y reflexionar sobre sus propias prácticas (Garrido et al., 2022).

En ese sentido, además de construir conocimientos específicos sobre las ciencias y sobre aspectos pedagógicos, el profesorado en formación necesita desarrollar competencias relacionadas con la modelización como parte de sus competencias profesionales (Danusso et al., 2010; Osborne, 2014). Algunas investigaciones que se han realizado en el área de Formación Inicial Docente (FID) en relación con la modelización se han centrado en mejorar los conocimientos sobre la naturaleza de los modelos y la modelización (p.ej. Göhner et al., 2022; Schwarz et al., 2009). Otras se han centrado en modelar estrategias didácticas en el profesorado en formación con la intención de que se apropien del enfoque didáctico para su próximo ejercicio docente (p.ej. Martínez-Chico et al., 2014); en sofisticar sus propios modelos acercándose a un Modelo Científico Escolar objeto de aprendizaje (p.ej. Soto y Couso, 2023) y en el análisis de la importancia de las emociones al vivir estos procesos (Jiménez-Liso et al., 2019). También, recientes investigaciones han intentado explorar las concepciones del profesorado en formación respecto a la modelización y a las competencias modelizadoras asociadas a este proceso (p.ej. Garrido et al., 2022; Göhner et al., 2022), siendo estas últimas investigaciones escasas y fundamentales para la mejora de los programas de FID.

Esta investigación aborda la necesidad de profundizar en el estudio de la meta modelización y las prácticas de modelización y sus productos en el contexto de la FID. En

concreto, pretende explorar qué concepciones sobre las competencias modelizadoras asociadas al proceso de modelización se infieren de las explicaciones de futuros profesores de física antes y después de participar de un curso de enseñanza y aprendizaje de la física centrado en la modelización.

Modelo, Modelo Científico Escolar y Modelización

Tal como lo reportan Chiu y Lin (2019), las últimas tres décadas de investigación en el campo de la didáctica de las ciencias sobre modelos y modelización han reflejado el interés de investigadores por comprender: qué uso otorgan los científicos a los modelos para el desarrollo de su trabajo; qué percepciones tiene el alumnado y el profesorado respecto a los modelos; cuál es el rol y la relevancia de los modelos y la modelización en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y cómo definir, utilizar y evaluar la competencia modelizadora en el aula.

Estas líneas de investigación, además de brindar algunas orientaciones y proyecciones sobre su continuidad, han dado evidencias sobre la polisemia del concepto de *modelo* en la literatura (Gutiérrez, 2014; Oh y Oh, 2011), de forma similar a lo que ocurre con el concepto de *modelización* (Oliva, 2019). Desde la perspectiva de esta investigación, los modelos con potencial para el aula de ciencias son aquellos de tienen naturaleza conceptual (Glynn y Duit, 1996), conocidos como modelos científicos. Los modelos científicos son un puente para conectar una teoría a un fenómeno y son considerados una herramienta fundamental para la comunicación y el razonamiento científico (Göhner et al., 2022). Sirven para describir, explicar y predecir respecto a fenómenos naturales y/o para comunicar ideas científicas (Gutiérrez, 2014) a través de ciclos iterativos de desarrollo (Göhner et al., 2022).

Desde la ACE, se promueve que el alumnado construya Modelos Científicos Escolares (MCE). Éstos corresponden a las versiones escolares de los modelos científicos, que han surgido desde procesos de transposición didáctica (Hernández et al., 2015). Los MCE incluyen enunciados o ideas científicas abstractas, centrales de cada disciplina y organizadas en progresión, que permiten construir representaciones más o menos sofisticadas (en relación con los MCE) sobre los hechos del mundo, para razonar sobre ellos (Marzábal et al., 2021). El proceso de construcción de estos MCE es lo que se reporta en la literatura como modelización (Baek et al., 2011; Schwarz et al., 2009; Garrido et al., 2022). A través de esta práctica el alumnado construye modelos cada vez más sofisticados y coherentes con los MCE (Couso, 2015).

Dentro de la literatura se identifican al menos dos enfoques relevantes para el análisis de los procesos de modelización: la instrucción basada en la modelización (del inglés *Modeling Based teaching/Instruction*) y la competencia modelizadora (del inglés *Modeling Competence/performance*). Desde el primer enfoque la modelización ha sido considerada como una propuesta de enseñanza y aprendizaje (p.ej. Gilbert y Justi, 2016), donde los docentes proponen e implementan una serie de actividades de aprendizaje, a través de estrategias de enseñanza que facilitan la construcción de los modelos del alumnado. Desde el segundo enfoque, la modelización es considerada como una competencia. Se propone que el alumnado se involucre en prácticas de expresión, uso, evaluación, refinamiento y/o aplicación de un modelo (Baek et al., 211; Couso, 2020; Schwarz et al., 2009) y de meta modelización. Es decir, que el alumnado tenga la capacidad de reflexionar sobre los procesos que están viviendo, y adquieran una

conciencia de la naturaleza y el propósito de los modelos (Chiu y Lin, 2019; Nicolaou y Constantinou, 2014; Schwarz y White, 2005).

Dentro de la competencia modelizadora, se han identificado tres dimensiones claves (Chiu y Lin, 2019; Göhner et al., 2022; Nicolaou y Constantinou, 2014): el conocimiento de la meta modelización, la práctica de modelización y los productos de la modelización. En el contexto de esta investigación, se entiende que el conocimiento sobre la meta modelización es aquel conocimiento que se pretende construir en el profesorado en formación respecto a cómo se usan los modelos, por qué se usan y qué fortalezas y limitaciones presentan (Schwarz et al., 2009). La práctica de modelización se asocia a las fases de modelización (Couso, 2020), por lo tanto, a todas aquellas actividades de aprendizaje de carácter cognitivo en las que participa el estudiantado para la construcción de un modelo. Y los productos de la modelización son las expresiones de los pensamientos del alumnado (Göhner et al., 2022) que nos permiten visualizar componentes y relaciones de sus propios modelos.

Modelización en la formación inicial de docentes

Uno de los objetivos de la FID es dotar al profesorado de los conocimientos y herramientas que les permitan planificar sus secuencias didácticas (Göhner et al., 2022). Desde la perspectiva de la modelización, es esencial que el profesorado en formación cuente con conocimientos sobre este enfoque, desarrolle sus competencias al participar de estas prácticas y sofistique sus propios modelos, y que reflexione en torno a las competencias modelizadoras ejecutadas en estos ciclos (Chiu y Lin, 2019; Göhner et al., 2022; Nicolaou y Constantinou, 2014). Así, una FID orientada por la enseñanza de estos conocimientos y competencias favorece el desarrollo de los Conocimientos Pedagógicos del Contenido (CPC) relacionados con la enseñanza de y sobre modelos y modelización. Esto supone que, al momento de ejercer su labor docente, el profesorado contará con herramientas para organizar, representar y adaptar la enseñanza de un tópico científico en los diversos contextos escolares (Marzábal y Vanegas, 2021).

Sin embargo, la literatura ha evidenciado que aprender sobre modelos y construirlos es un proceso ambicioso, largo y complejo (Schwarz, 2009). Algunos estudios han reportado opiniones desinformadas del profesorado sobre los modelos y la modelización (p.ej. Krell y Krüger, 2016) que pueden afectar en la manera en que se desarrollan clases de ciencia que pretenden ser modelizadoras. También se ha observado que la práctica de evaluación de modelos resulta ser compleja para el profesorado, las cuales acaban siendo asociadas a montajes experimentales que pretenden fomentar el entusiasmo y la emoción del alumnado, sin promover el cuestionamiento de sus ideas y/o promover un conocimiento científico más sofisticado (Göhner et al., 2022).

Para que el alumnado pueda construir MCEs claves, explicar fenómenos del mundo y aprender la esencia de la práctica de modelización, se requiere de un profesorado que también tenga esos conocimientos y la capacidad de poder utilizarlos con fines pedagógicos (Windschitl y Thompson, 2006). Por lo tanto, involucrarles en prácticas de modelización durante su FID, generar situaciones que promuevan la reflexión sobre cómo usar estos principios educativos en su práctica docente es clave para que desarrollen la competencia modelizadora (Constantinou et al., 2019).

De acuerdo con el marco planteado, esta investigación pretende responder a la siguiente pregunta: *¿Qué concepciones sobre modelización y competencias modelizadoras asociadas al proceso de construcción de modelos se identifican de las explicaciones que*

brinda el profesorado de física en formación antes y después de participar de un curso centrado en la modelización?

Metodología

Esta investigación cuenta con un diseño pre-experimental (Cohen et al., 2007) y con un enfoque cualitativo (McMillan y Schumacher, 2005). A través de éstos se busca comprender las concepciones del profesorado en formación (desde ahora PF) de física en Chile respecto al enfoque didáctico de enseñanza de las ciencias centrado en la modelización antes y después de participar en un curso diseñado intencionadamente para ello. Además, integramos un análisis cuantitativo de los datos a través del uso de estadística descriptiva que permite identificar cuántos PF cambiaron sus concepciones desde versiones menos sofisticadas a otras más cercanas a la modelización.

Contexto de la investigación y participantes

Se diseñó un curso de un semestre de duración, con modalidad virtual y sincrónica, denominado *Enseñanza y aprendizaje de la física orientado a la modelización*. Dicha modalidad estuvo pensada para incluir a la mayor cantidad de PF de las 16 regiones de Chile. El curso estuvo conformado por 16 clases de 1,5 horas de duración, las cuales eran impartidas una vez por semana. Cada una de estas clases fue desarrollada en torno a un MCE específico: modelo de flotabilidad, energía y fuerzas siguiendo el ciclo de modelización planteado por Couso (2020) (algunos de los diseños que guiaron el curso se pueden encontrar en Herreras et al. (2016); Garrido-Espeja, (2016); Soto, (2019)). Las clases fueron guiadas por docentes expertos en los modelos previamente mencionados, y el PF realizó las actividades propuestas de manera individual con instancias de interacciones e intercambios grupales.

El PF participó de un proceso de modelización basado en la instrucción (*Modeling Based teaching/Instruction*), con la intención de vivir en primera persona dicho enfoque didáctico y así desarrollar sus competencias modelizadoras (*Modeling Competence/performance*). Además, el curso promovió la reflexión explícita sobre los procesos de modelización en los que han participado (Garrido et al., 2022), para desarrollar un meta conocimiento sobre la modelización.

Para exemplificar el diseño de las clases orientadas a la construcción de un MCE, se presenta en la Figura 1 un ejemplo de la sesión de *dissipación de la energía por rozamiento* (ver en López et al. (2016)) implementada para la construcción del MCE de energía (Soto et al., 2019; Soto y Couso, 2023).

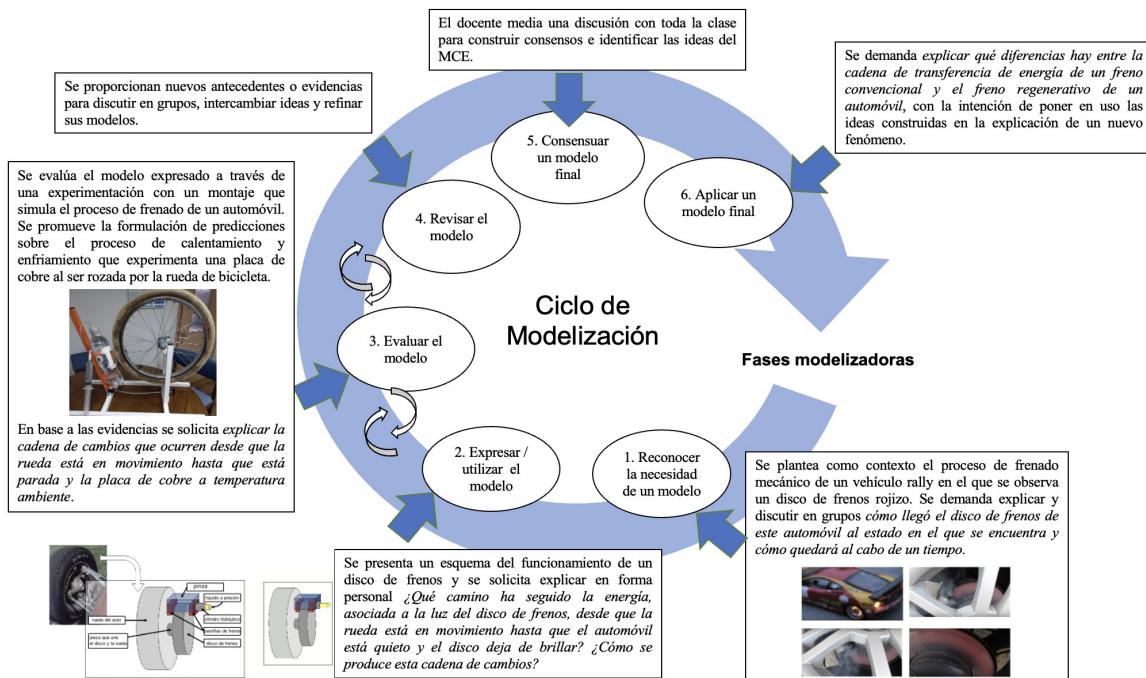


Figura 1. Diseño didáctico que fomenta la construcción de un MCE de energía.

Luego de diseñar el curso, se notificó a los 14 jefes de programas de pedagogía en física impartidos por universidades chilenas para que sus respectivo PF participara del curso, 6 aceptaron la invitación y se distribuyeron de la siguiente manera: uno se imparte en la zona norte del país; tres en la zona central, y dos se imparten en la zona sur. En la Figura 2 se especifican los programas participantes.

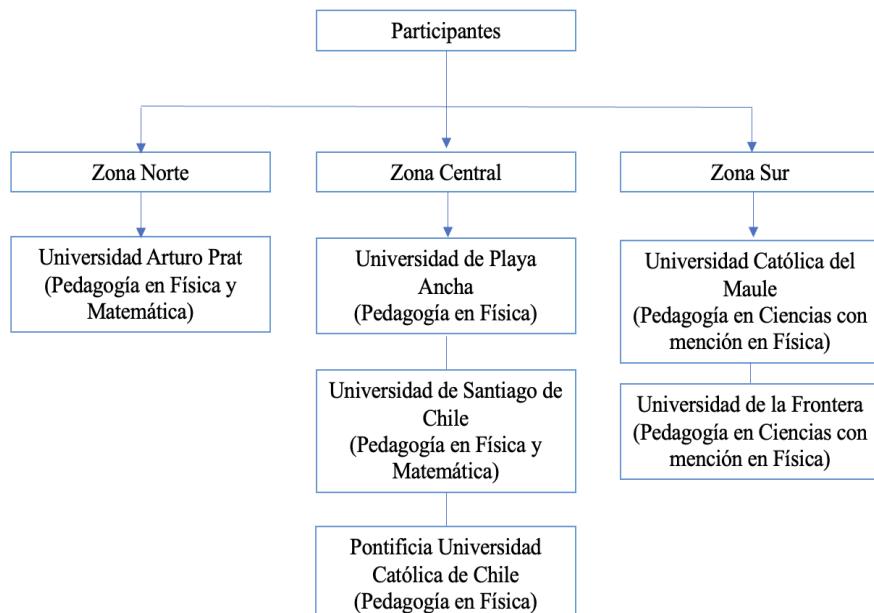


Figura 2. Contextos formativos de los participantes.

Los criterios de selección del PF para ser participantes fueron los siguientes:

1. El PF cursa el tercer o cuarto año en su carrera universitaria.
2. El PF manifiesta su disposición de participar de un curso en modalidad virtual.

El primer criterio responde a la necesidad de que el PF haya cursado asignaturas del área de educación para facilitar el proceso de diseño didáctico a realizar en el curso. Mientras que el segundo criterio responde a la posibilidad de acceder a una mayor cantidad de PF de regiones.

Después de realizar la invitación a los participantes que cumplían con los dos criterios antes mencionados, 40 PF decidieron participar del curso. Entre éstos, 20 PF finalizaron el curso, y entre éstos, 15 PF completaron el test de entrada y de salida en forma completa. Por lo tanto, las producciones de estos últimos 15 PF son consideradas en esta investigación.

La edad promedio de los PF fue de 22 años y su distribución por género fue de 6 mujeres y 9 hombres. Todo PF firmó un consentimiento informado al inicio del curso el cual autorizaba el uso de sus producciones con fines investigativos.

Recogida y análisis de datos

Para identificar las concepciones del PF respecto a la modelización, en la primera y última clase del curso se implementó un test de entrada y salida semi-aberto a través de una plataforma de formularios en línea. El cuestionario se basó en un diseño propuesto por Garrido et al. (2022) conformado por dos secciones: una relacionada con cómo el PF se imagina una clase ideal de física, y la otra relacionada a la selección de actividades que consideran relevantes desarrollar en sus clases de física (ver cuestionario en extenso en Soto, (2019)). En la figura 3 se resumen las preguntas e información incluida en los test.

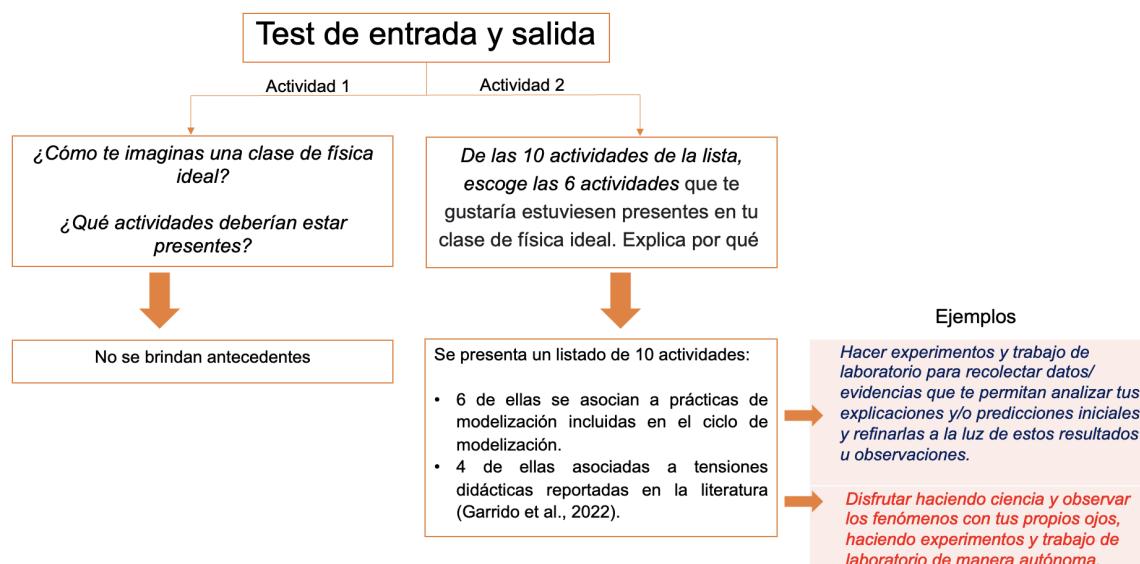


Figura 3. Tipo de preguntas incluidas en el test de entrada y salida.

Las diez actividades que se presentan en la segunda actividad del test, que son el foco de esta investigación, fueron intencionadamente planteadas. Entre éstas, 6 se corresponden con las competencias asociadas a la modelización. Por otra parte, 4 se corresponden con las tensiones didácticas que surgieron de un estudio de Garrido et al. (2022) que se asocian, principalmente, a las fases de evaluar el modelo y consensuar el modelo. Éstas son: *Tensión 1. La experimentación como activismo vs. como instrumento para la construcción de modelos y Tensión 2. El profesorado como único responsable de la estructuración del conocimiento vs. la comunidad como protagonista en la co-construcción de ideas.*

Además, el PF debía dar una breve explicación de por qué eligió la respectiva actividad, siendo su selección y explicación lo que se corresponde a sus producciones a analizar. Dichas producciones se codificaron como PF1, PF2, ..., PF15) para garantizar la anonimización. El análisis se realizó a través de una codificación abierta y una posterior codificación axial. Esto permitió proponer un sistema de categorías para caracterizar las explicaciones del PF (ver tabla 1). Las categorías incluyeron en su descripción las finalidades de competencias modelizadoras basadas en lo reportado en la literatura (Garrido et al., 2022; Göhner et al., 2022; Schwarz et al., 2009), como también ideas que emergieron desde las mismas respuestas del PF.

Posteriormente, se utilizó una representación gráfica para caracterizar las explicaciones respecto a la elección de las prácticas modelizadoras y/o tensiones didácticas. Esta representación se inspira en la lógica de representaciones de progresiones de aprendizaje de MCE (Soto et al., 2021). Se presenta una gráfica (Ver Figura 5) de esferas de colores: verde (nivel alto), amarillo (nivel medio), rojo (nivel bajo) y gris (no aplica), cuyo tamaño representa la cantidad de PF que brindan explicaciones asociadas a esos niveles. Los niveles son descritos en la Tabla 1. En ella también se observa el contraste de las explicaciones asociadas a un momento inicial (I) como final (F) del curso de formación docente. En el eje Y se gradúan, desde el 1, o nivel bajo, hasta el 3, o nivel alto, el grado de coherencia de las explicaciones de los PF respecto a las finalidades de las prácticas modelizadoras. Las ideas no categorizadas se posicionan en el nivel -1. Y en el eje X se mencionan las prácticas modelizadoras desde las fases 1 a la 6.

La validez de estas categorías (Cohen et al., 2007) se encuentra respaldada por la literatura (Garrido et al., 2022; Göhner et al., 2022) y por el juicio de los investigadores con experticia en torno a la práctica científica de modelización. Por otro lado, la fiabilidad de estas categorías (Creswell y Creswell, 2018) es respaldada por un nivel de concordancia superior a un 70% entre los investigadores al categorizar las explicaciones del PF. Las diferencias de interpretación en aquellas respuestas del PF en las que había discrepancia entre los investigadores fueron consensuadas a través de posteriores discusiones (Louca et al., 2011).

Resultados

Actividades escogidas por el PF antes y después de participar en un curso orientado a la modelización

Al analizar las actividades seleccionadas por el PF en el test de entrada y en el test de salida se puede observar un progreso en torno a la priorización de las prácticas modelizadoras por sobre las tensiones didácticas.

Los resultados del test inicial (Figura 4) sugieren que las fases modelizadoras más valoradas por los PF son la de sentir la necesidad de un modelo (F1) y consensuar un modelo (F5). Sin embargo, también se observa una alta valoración de la tensión didáctica T2F3 asociada a la experimentación, la que suelen escoger al considerar importante que el estudiantado disfrute haciendo ciencias y observe los fenómenos con sus propios ojos, tal como se aprecia en el siguiente ejemplo: «*Una parte importante de la ciencia es instaurar la curiosidad y las ganas de hacer ciencia, por lo tanto, es necesario entregar motivación dentro del proceso de estudio*» (A1). Esta tensión didáctica ha mostrado ser frecuente en otros contextos de formación inicial docente análogos (Garrido et al., 2022) y representa un desafío en los procesos de modelización basada en la instrucción, al sugerir que el PF

valora la experimentación por su carácter *activo* y *motivador*, y no por la posibilidad que nos brinda para poner a prueba las ideas intuitivas del alumnado.

Los resultados del test final (Figura 4), sugieren que después de participar de un curso orientado a la modelización, los PF escogen las fases modelizadoras en lugar de las tensiones didácticas. Las fases más escogidas son las de sentir la necesidad de un modelo (F1) por brindar la posibilidad a los PF de acercarse a los fenómenos, evaluar el modelo (F3) para el contraste de hipótesis y reformulación de sus explicaciones y aplicar el modelo (F6) para realizar la explicación de nuevos fenómenos.

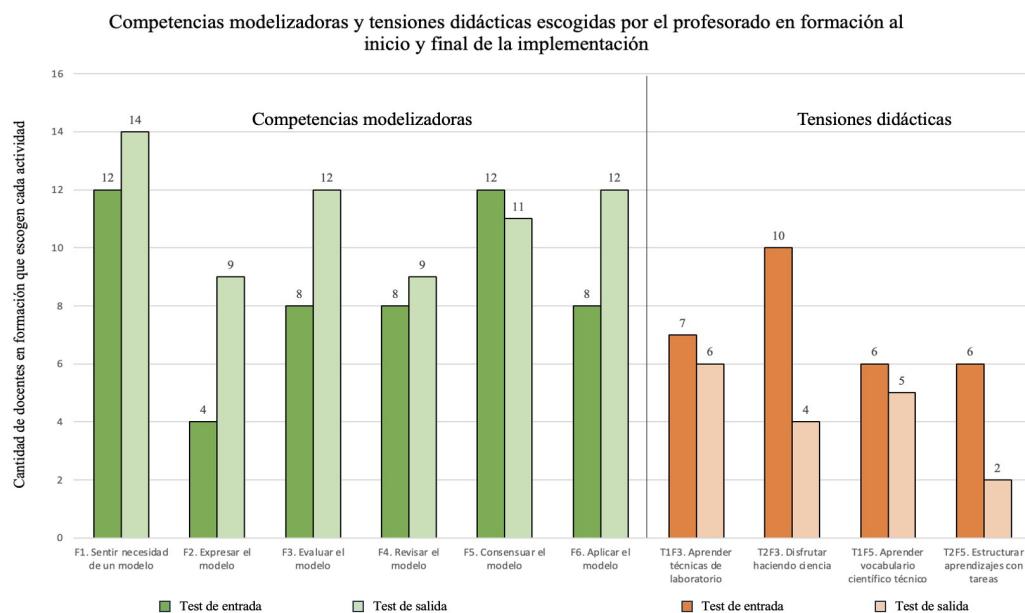


Figura 4. Cantidad de PF que escogen cada una de las actividades asociadas a las fases del Ciclo de Modelización o tensiones didácticas, en un momento previo y posterior a la implementación de un curso orientado a la modelización.

Se observaron actividades con una preferencia similar tanto en el test inicial como en el final. Una de estas actividades es la F1. La fase asociada a esta actividad es muy útil para problematizar un fenómeno y generar un interés del alumnado. Sin embargo, tal como se ha reportado en otros estudios (p.ej. Garrido et al., 2022), esta fase no tiene la relevancia que tienen otras fases en el proceso de construcción de MCEs y el desarrollo de la competencia modelizadora (p.ej. F2, F3 y F4). En ese sentido, es relevante discutir con los PF la importancia de esta fase en función de las oportunidades posteriores que ésta puede generar para que el alumnado desarrolle competencias modelizadoras.

Explicaciones del PF respecto a las actividades modelizadoras

Considerando la metodología previamente expuesta, las explicaciones se clasificaron con un código de colores: las asociadas al color verde se caracterizaban por tener una relación directa con la finalidad de la práctica modelizadora escogida (Couso, 2020) (nivel alto). Las asociadas al color amarillo tenían algunas características de la finalidad de la fase (nivel medio), pero también pueden incluir finalidades de otras prácticas o metodologías (p.ej. indagación). A su vez, las asociadas al color rojo se caracterizan por incluir ideas de enfoques didácticos transmisivos o alejadas de las finalidades de la modelización (nivel bajo). En la Tabla 1 se presentan las fases del ciclo de modelización, las finalidades mencionadas por el PF sobre dicha fase y un ejemplo de la respuesta del PF.

Tabla 1. Categorías asociadas a las finalidades de cada fase del ciclo de modelización expresadas por el PF con sus respectivos ejemplos.

Fase del ciclo de modelización	Finalidades	Ejemplos de los PF en test inicial (I) o final (F)
1. Sentir la necesidad de un modelo	Cntx: Para vincular el fenómeno a estudiar con contextos que sean relevantes y cercanos.	<i>PF11-F «... para que se acerquen de manera más clara a los fenómenos físicos, entendiendo su utilidad para la explicación de fenómenos cotidianos».</i>
	Ex: Para expresar ideas iniciales respecto a un fenómeno.	<i>PF13-F «Es importante conocer y reconocer el nivel de vocabulario y conocimiento que maneja el estudiantado».</i>
	CompCont: Para comprender mejor un contenido/tener un aprendizaje significativo.	<i>PF7-F «... para favorecer la asimilación del contenido y para generar un sentido en el aprendizaje de éstos».</i>
	ImCur: Para impulsar la curiosidad e interés por el fenómeno que será estudiado.	<i>PF14-F «... provoca una mayor atención y motivación para enfrentar el tema a estudiar».</i>
2. Expresar un modelo	Ex (definida en F1).	<i>PF11-F «... que ellos puedan explicar distintos fenómenos, previo al desarrollo de las ideas centrales, permite al profesor y a los estudiantes predecir según sus ideas».</i>
	EntHerr: Para entender la ciencia como una herramienta para explicar fenómenos y/o para desenvolverse e intervenir en el mundo.	<i>PF13-F «... entender fenómenos es esencial para que el estudiantado vea a las ciencias como respuestas a ello».</i>
	ConstId: Para empezar a construir un MCE a partir de las ideas iniciales.	<i>PF15-F «... para que se vean involucrados en la construcción del mismo conocimiento, ya que, permite reactivar conocimientos previos y utilizarlos para construir nuevos».</i>
	CompCont (definida en F1).	<i>PF7-F «... permita comprender de mejor manera el contenido, en especial, para aquellos conceptos que pueden parecer un poco más abstractos».</i>
3. Evaluar un modelo	Prb: Para obtener evidencias que permitan poner a prueba un modelo y/o identificar si es adecuado para describir, explicar y/o predecir el fenómeno estudiado.	<i>PF14-F «... porque los ayuda a que contrasten sus predicciones o explicaciones del modelo estudiado y ver si estas son correctas o no (choque con las ideas previas)».</i>
	HabSc: Para desarrollar habilidades propias del quehacer científico (p.e. interpretación, análisis de datos).	<i>PF8-F «... ayuda a desarrollar el pensamiento crítico, mejorar la capacidad de análisis, pueden crear conclusiones de forma correcta, ayuda a aprender trabajar colaborativamente, a generar respuestas frente a situaciones problemáticas...».</i>
	ComTeo: Para comprobar lo que dice la teoría.	<i>PF9-I «La mejor forma de poder evidenciar si realmente se aprendió algo es poder llevar a la práctica todo lo que se vio».</i>
	EntFen: Para entender y/o visualizar el fenómeno que se quiere estudiar.	<i>PF10-F «Les permite observar fenómenos y entender que sucede para tener evidencia empírica».</i>

Tabla 1. Continuación

Fase del ciclo de modelización	Finalidades	Ejemplos de los PF en test inicial (I) o final (F)
4. Revisar un modelo	RecId: Para construir y/o reconstruir un MCE / conocimiento / ideas en base al diálogo con otros.	<i>PF14-F «... ayuda a que contrasten sus respuestas (instrucción por pares) y así ...dar una explicación que se acerque cada vez más al modelo que se desea construir ».</i>
	HabSc (definida en F3).	<i>PF13-I «La difusión y discusión son esenciales en la ciencia, el hacerlos partícipes no sólo desarrolla su vocabulario científico sino que también desarrolla su oralidad y argumentación».</i>
	PromVal: Para promover valores como el respeto y la tolerancia a través de la conversación divergente de ideas.	<i>PF7-I «... fomentamos el respeto hacia las diversas respuestas y creamos un ambiente más participativo».</i>
	CompCont (definida en F1).	<i>PF4-F «Es importante para fomentar los distintos puntos de vista. Al tener dicha postura y defenderla, se puede producir un aprendizaje muchas veces erróneo, sin embargo, el explicar el fenómeno de forma correcta, el aprendizaje es mucho más significativo».</i>
	RecId (definida en F4).	<i>PF9-I «Es una buena forma para que todos logren exponer sus ideas, además de comparar sus ideas».</i>
	HabSc (definida en F4).	<i>PF13-I «... de esta forma aprende a buscar, sintetizar, redactar, exponer y corroborar información científica, el profesor/a por su parte es partície de una forma pasiva guiando respuestas e ideas».</i>
5. Consensuar un modelo	PromVal (definida en F4).	<i>PF3-I «... permite la valoración de lo descrito por el estudiante lo hace sentir que su palabra es escuchada y, por ende, más valorada».</i>
	CompCont (definida en F1).	<i>PF10-F «... es bueno reescribir las cosas con palabras que le hagan sentido para ayudar a su comprensión».</i>
	TransfId: Transferir las ideas construidas para describir, explicar y/o predecir en torno a un nuevo fenómeno.	<i>PF8-F «... para que sepan que el conocimiento científico no se queda en libros, es algo que aplicamos diariamente en nuestro entorno».</i>
6. Aplicar un modelo	ComAp: Para comprobar el nivel de sofisticación de las ideas construidas.	<i>PF1-I «Porque explicar nuevos fenómenos con los conceptos ya aprendidos se puede tomar como una "evaluación" del aprendizaje».</i>
	CompCont (definida en F1).	<i>PF12-I «Para tener un aprendizaje significativo se debe conocer, saber aplicar y modelar el conocimiento obtenido».</i>

Realizando una comparativa de las explicaciones dadas por el profesorado respecto a la selección de prácticas modelizadoras que han realizado antes y después de la implementación de un curso orientado a la modelización, se observa (ver Figura 5) que existe una mejora que permite posicionar sus explicaciones en niveles altos y medios de acuerdo con las categorías y los códigos de colores de tabla 1. Las mejoras más significativas se asocian a la calidad de las explicaciones dadas para las fases F2 (expresar el modelo), F5 (consensuar el modelo) y F6 (aplicar el modelo), donde los PF expresan explicaciones de la finalidad de la fase de acuerdo con ideas más sofisticadas, tal como se observa en los siguientes ejemplos:

Para F2: *PF3-F «El pensar qué pasa y por qué pasa algún fenómeno, es el comienzo de toda actividad científica. El preguntarse ese tipo de cosas provoca pensar un poco más allá de lo que se observa y busca encontrar su trasfondo».*

Para F5: *PF15-F «El consensuar sus explicaciones con compañeros y revisar sus primeras declaraciones les servirá para replantear utilizando un lenguaje científico más sofisticado, de modo que no construyen un conocimiento propio, sino que es uno que pueden compartir con otros».*

Para F6: *PF11-F «Porque no solo basta quedarnos con una explicación del fenómeno visualizado, sino que es importante que ellos puedan extender sus explicaciones para distintas situaciones».*

Cabe mencionar que el color gris se en la figura 5 se asocia a aquellas respuestas del PF que no brindaban información suficiente para ser asociadas a una explicación particular.

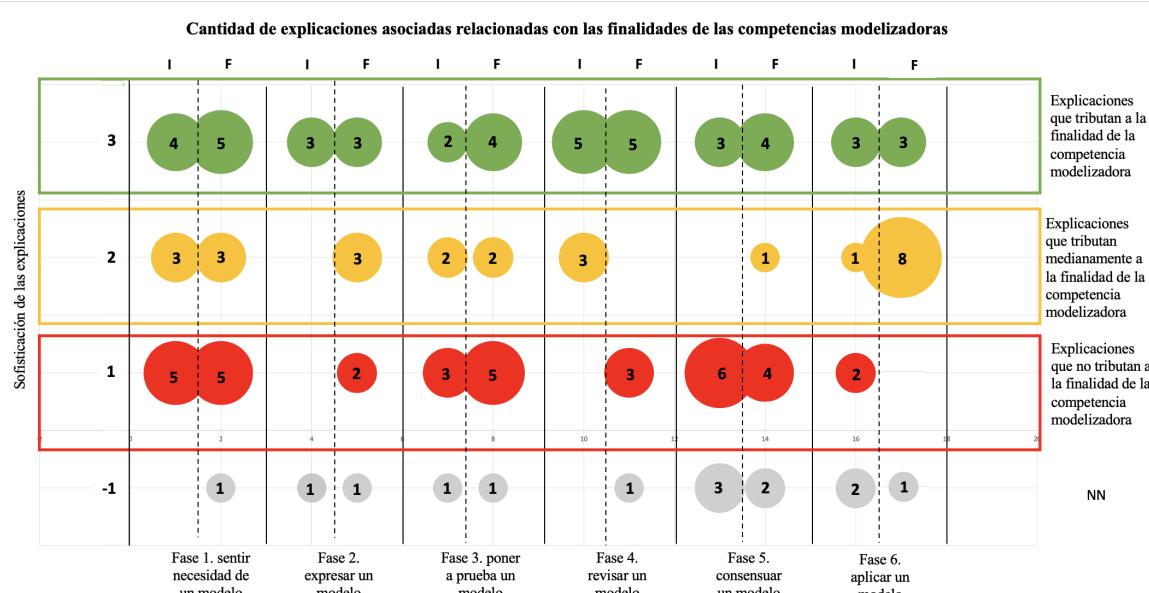


Figura 5. Cantidad de explicaciones dadas por los PF en cada práctica modelizadora al inicio y final de la implementación.

Una categoría presente en la mayoría de las fases (F1, F2, F4, F5 y F6) fue *CompCont*, en la que los PF escogen cierta fase modelizadora por la capacidad que tiene de promover aprendizajes significativos en el estudiantado o favorecer mejores procesos de comprensión de un contenido. Si bien, es clave que en todo proceso de aprendizaje que el alumnado manifieste evidencias de sofisticación de sus aprendizajes, se tendió a asociar este tipo de respuestas a un nivel bajo por no dar evidencias de características propias de los procesos de modelización y

responder a una demanda de tipo más transmisiva, al valorar la adquisición de contenidos y no el proceso de construcción de éstos.

Uno de los puntos críticos se relaciona con las justificaciones del PF sobre la selección de actividades experimentales asociadas a la práctica de evaluación de modelos (F3). Se pudo observar que el PF inicialmente realizó selecciones carentes de justificaciones, como se puede apreciar en el siguiente ejemplo: *PF8-I «La capacidad de análisis de datos es algo sumamente importante a desarrollar en los estudiantes, no tan solo en ciencias, sino que en otras disciplinas»*. Mientras que al finalizar el curso los PF explicaron la selección de la F3 sugiriendo habilidades y actitudes que son promovidas por la práctica de evaluar un modelo.

Sin embargo, a pesar de estos progresos, se detecta que la mayoría de las explicaciones asociadas al nivel bajo incluyen una nueva tensión didáctica de carácter epistémico asociada a la fase 3, en la que se consideran la experimentación y la evaluación del modelo como medios para comprobar experimentalmente lo que dice la teoría (ver ejemplo de la categoría *ComTeo* en la Tabla 1). Tal como reporta la literatura, es habitual que el estudiantado considere que el rol de la práctica de evaluación del modelo se asocie a la comprobación o verificación de un modelo, comparando los resultados que predice la teoría con aquellos obtenidos al experimentar en el mundo real, en vez de resaltar el carácter real de la experimentación para poner a prueba un modelo inicial y/o brindar evidencias (Garrido et al., 2022). Así mismo, las explicaciones del nivel bajo asociadas a la fase 5 reflejan la importancia que da el PF a actividades que reflejan rigor científico, tales como calcular o explicar un fenómeno con el vocabulario científico correcto, como también fue descrito en Garrido et al. (2022). El PF expresó explicaciones que sugieren ideas distorsionadas de la naturaleza de las ciencias y su quehacer, así como visiones instrumentales de la alfabetización científica, tal como se puede apreciar en el siguiente ejemplo: *PF15 «hay que lograr dar cierta formalidad al tema, de esta forma también nos aseguramos de alfabetizar respecto al lenguaje científico y que el conocimiento entregado pueda ser utilizado no sólo dentro de nuestra aula, sino que lleven esos aprendizajes a otros contextos, por ejemplo, si deciden escoger una carrera de ciencias»*.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación aportan una caracterización de las explicaciones que da un grupo de profesores de física en formación de Chile al seleccionar actividades asociadas a las fases del ciclo de modelización que conformarían sus respectivas clases ideales de física. Dicha caracterización se realiza antes y después de participar de un curso orientado por el enfoque didáctico de la modelización. Luego de participar del curso, los resultados muestran que hay un aumento en la cantidad PF que seleccionan actividades asociadas al ciclo de modelización. En particular, se destaca una mayor selección de las F2, F3 y F6. Estas fases se relacionan estrechamente con las competencias modelizadoras que se consideran esenciales en un proceso de modelización (Baek et al., 2011; Schwarz et al., 2009; Couso, 2020).

Sin embargo, a pesar del aumento en la selección de actividades relacionadas con competencias modelizadoras, las explicaciones brindadas por el PF para la selección de estas actividades sugieren dificultades en la comprensión de las funciones de las fases del ciclo de modelización, tal como ya se ha presentado en otros estudios (Crawford y Cullin, 2005; Garrido et al., 2022). En particular, las explicaciones iniciales para la selección de la F3 se centran en considerar que esta actividad es importante porque fomenta la motivación y la curiosidad en el alumnado, al permitir observar los fenómenos con sus propios ojos, o por la posibilidad que brinda para corroborar una teoría. Luego de participar en el curso,

las explicaciones consideran que la experimentación permite evaluar constantemente la capacidad de los modelos para explicar y predecir fenómenos a través de las evidencias. Es importante que en la FID se promueva que el PF participe de cursos centrados en la modelización realizando reflexiones didácticas explícitas (Garrido et al., 2022). De esta forma se puede desarrollar una idea de modelización como una herramienta utilizada por humanos para proponer, modificar y poner a prueba la capacidad descriptiva, explicativa y predictiva de los modelos, siendo dicha práctica una actividad central en la actividad científica (Göhner et al., 2022).

Así mismo, se observa que algunos PF, al igual como ha ocurrido en otros estudios (Garrido et al., 2022), explican que las actividades asociadas a la fase F5 promueven que el alumnado utilice vocabulario científico correcto, el uso de ecuaciones y la importancia de que el docente formalice las ideas científicas construidas a lo largo de la clase. En ese sentido, es importante concientizar al PF que el conocimiento científico no es algo acabado, y que en el aula de ciencias se aprenden MCEs que se consideran adecuados para el respectivo contexto escolar (Couso, 2015). Por lo tanto, es importante que el alumnado sea parte de su proceso de construcción de conocimiento, teniendo un rol activo que le permita identificar qué ideas ha construido, cuáles debe sofisticar o construir para explicar fenómenos particulares, y reconocer que la relevancia del proceso educativo es poner el conocimiento en uso y no acumularlo.

Para superar estas limitaciones, además de lo ya mencionado, es importante promover instancias de análisis de materiales didácticos. En estas instancias pueden contrastar diseños enfocados en el desarrollo de las competencias modelizadoras, versus otros que se inspiren en lógicas transmisivas o alejadas de la orientación de las prácticas científicas. Por ejemplo, contrastar una clase en la que se deba poner a prueba explicaciones iniciales respecto a un fenómeno considerando las evidencias experimentales, versus otra actividad en la que la experimentación se utiliza como herramienta para corroborar un conocimiento disciplinar visto en clases anteriores. Posteriormente, se le puede solicitar al PF refinar estos diseños didácticos de acuerdo con las ideas científicas que se pretenden cuestionar, aquellas que se pretenden construir, y el contexto en el que se pretenden abordar y andamiar este proceso hasta el diseño de sus propias propuestas didácticas.

A pesar de que esta investigación cuenta con una diversidad de PF de distintas regiones de Chile, tiene como limitación la cantidad de PF participantes, los cuales se retiraron a lo largo del curso, posiblemente por el carácter voluntario en la participación del curso orientado a la modelización y el cumplimiento de las demandas propias de cursar su carrera de FID y dedicar sus esfuerzos a las asignaturas obligatorias. En futuros estudios sería relevante ampliar la cantidad de docentes, de tal manera que se logre identificar si han logrado saturar las categorías que caracterizan las explicaciones de las y los docentes en la selección de actividades asociadas a las fases modelizadoras. Así mismo, es necesario pensar en estrategias de reclutamiento de los participantes que garanticen su participación a lo largo de toda la investigación y analizar en detalle las posibles causas asociadas al retiro del curso.

Agradecimientos

Este trabajo deriva del proyecto Fondecyt Iniciación N° 11220317, financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), Gobierno de Chile.

Referencias

- Acher, A., Arcà, M. y Sanmartí, N. (2007). Modelling as a Teacher Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *Science Education*, 91(1), 398–418. <https://doi.org/10.1002/sce.20196>
- Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H. y Zhan, L. (2011). Engaging Elementary Students in Scientific Modeling: The MoDeLS 5th Grade Approach and Findings. In *M. Khine & I. Saleh (Eds.), Dynamic Modeling: Cognitive Tool for Scientific Enquiry*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7_9
- Chiu, M. H. y Lin, J. W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2007). Research Methods in Education. *Research Methods in Education* (6th ed.). Routledge.
- Constantinou, C. P., Nicolaou, C. T. y Papaevripidou, M. (2019). A framework for modeling-based learning, teaching, and assessment. In *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (pp. 39-58). Springer, Cham.
- Couso, D. (2015). La clau de tot plegat : la importància de “què” ensenyar a l’aula de ciències. *Ciències: Revista Del Professorat de Ciències de Primària I Secundària*, 0(29), 29–36. [10.5565/rev/ciencies.56](https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.56)
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En Couso, D., Jimenez-Liso, M.R., Refojo, C. & Sacristán, J.A. (Coords) (2020) Enseñando Ciencia con Ciencia. FECYT & Fundacion Lilly. Madrid: Penguin Random House.
- Crawford, B. y Cullin, M. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. In *Research and the quality of science education* (pp. 309-323). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Creswell, J. W. y Creswell, J. D. (2017). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage publications.
- Danusso, L., Testa, I. y Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905. <https://doi.org/10.1080/09500690902833221>
- Garrido Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2016/hdl_10803_399837/age1de1.pdf
- Garrido, A., Soto, M. y Couso, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(1), 87-105. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education* (Vol. 9). Cham: Springer International Publishing.

- Glynn, S. M. y Duit, R. (1996). Mental modelling. In G. Welford, J. Scott, & P. Osborne (Eds.), *Research in Science Education in Europe*. London: The Falmer Press.
- Göhner, M. F., Bielik, T., y Krell, M. (2022). Investigating the dimensions of modeling competence among preservice science teachers: Meta-modeling knowledge, modeling practice, and modeling product. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(8), 1354-1387.
- Göhner, M. y Krell, M. (2022). Preservice science teachers' strategies in scientific reasoning: The case of modeling. *Research in Science Education*, 52(2), 395-414. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09945-7>
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía*, 7(13), 37-66. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia37.66>
- 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(2–3), 356–377. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- Herreras, L., Garrido-Espeja, A. y López, V. (2016). *Moviment, forces i energia en un salt de puenting, seqüència didàctica per a l'estudi del moviment*. Barcelona: CRECIM. <https://ddd.uab.cat/record/182192?ln=ca>
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45–59.
- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., Avraamidou, L. y Lucio-Villegas, R. (2019). Scientific practices in teacher education: the interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158>
- Jiménez-Liso, M. R., Gómez-Macario H., Martínez-Chico M., Garrido-Espeja A. y López Gay R. (2020) Egagrópilas como fuente de pruebas en una indagación. Percepciones de los estudiantes sobre lo que aprenden y sienten. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 17(1), 1203. [10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1203](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1203)
- 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>
- López V., Couso D. y Pintó R. (2016). *Dissipació de l'energia per egament. Seqüència didàctica per a l'estudi de l'energia*. Barcelona: CRECIM. <https://ddd.uab.cat/record/182178?ln=ca>
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C. y Constantinou, C. P. (2011). In Quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), 919- 951. <https://doi.org/10.1002/tea.20435>
- Martínez-Chico, M., Jiménez-liso, M. R. y López-Gay, R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a los formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591–608. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>

- Marzábal, A. y Vanegas, C. (2021). Fortalecimiento de la relación teoría práctica en la formación inicial de profesores de ciencia. En Marzábal, A. y Merino, C. (Eds). *Investigación en educación científica en Chile ¿Dónde estamos y hacia dónde vamos?* Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Marzábal, A., Delgado, V., Moreira, P., Merino, C., Cabello, V., Manrique, F., Soto, M., Cuellar, L. e Izquierdo, D. (2021). Los modelos materia, reacción química y termodinámica como núcleos estructurantes de una química escolar orientada a la formación ciudadana. *Educación Química*, 32(4). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78135>
- McMillan, J. H. y Schumacher, S. (2005). Research in education: A conceptual introduction. Longman.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An Expanded Sourcebook* (2.a ed.). Thousand Oaks: Sage.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- 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, P. S. 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. (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>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Puig, B., Blanco-Anaya, P. y Bargiela, I. M. (2023). Integrar el Pensamiento Crítico en la Educación Científica en la Era de la Post-verdad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 1-17. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3301
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. a., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... 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. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- Soto, M. (2019). *Influencia de una propuesta formativa centrada en la modelización en la evolución del modelo científico escolar de energía en futuros docentes de física y matemática*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2019/hdl_10803_667161/mbsalde1.pdf

- Soto, M., Couso, D. y López, V. (2019). Una propuesta de enseñanza-aprendizaje centrada en el análisis del camino de la energía “paso a paso”. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.*, 16(1), 1202-1. <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1202>
- Soto, M. y Couso, D. (2023). Construcción de un modelo sofisticado de energía en futuros docentes de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(2), 25-45. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5585>
- Windschitl, M. y Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of preservice instruction on teachers’ understandings of model-based inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783–835. <https://doi.org/10.3102/0002831204300478>
- 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 (5), 941-967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>