



Caracterización de las prácticas modelizadoras presentes en los diseños didácticos del futuro profesorado de Física

Macarena Soto Alvarado*

Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)

Mail: macarena.soto@uc.cl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8641-4017>

Camilo Vergara Sandoval

Universidad de Santiago de Chile (Chile)

Mail: camilo.vergara.s@usach.cl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6552-4556>

Alejandra Vélez Pérez

Universidad de las Américas (Chile)

Mail: aleveper1@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5034-5555>

Joselyn Valenzuela Ferry

Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)

Mail: joselyn.valenzuela.f@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1024-3338>

Nicolás Fernández Astudillo

Laboratorio de Didáctica de la Física. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Playa Ancha (Chile)

Mail: nicolas.fernandez@upla.cl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4961-3380>

RESUMEN

La Formación Inicial Docente busca desarrollar conocimientos y herramientas en el futuro profesorado que le permitan planificar clases que fomenten el ejercicio de la ciudadanía. Para cumplir este objetivo, algunas investigaciones valoran el aporte de las prácticas científicas de indagación, argumentación y modelización a la formación docente. Por lo anterior, este estudio analiza cómo el futuro profesorado de Física, tras cursar una formación específica orientada a la modelización, integra un Ciclo de Modelización en el diseño de sus Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje. Se realizó un estudio descriptivo y pre-experimental en el que participaron 17 docentes en formación. A través de una codificación abierta y axial se analizaron los diseños didácticos propuestos por el profesorado y se caracterizaron las prácticas modelizadoras que los conformaban y su nivel de sofisticación. Los resultados dan cuenta que el profesorado logra incorporar el Ciclo de Modelización en sus propuestas, aunque con distintos niveles de sofisticación en cada fase. Este estudio sugiere que es necesario intencionar la modelización en la Formación Inicial Docente desde distintas aproximaciones para superar las dificultades en el proceso de diseño y favorecer así que el estudiantado del sistema escolar se aproxime a una participación auténtica en prácticas modelizadoras.

Palabras Clave: formación inicial docente, modelización, prácticas modelizadoras, secuencia de enseñanza-aprendizaje.

*Autora de correspondencia: macarena.soto@uc.cl

Recibido: 28/10/2024 – Aceptado: 24/06/2025

ISSN: 0210-2773

DOI: <https://doi.org/10.17811/rifie.21806>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0

Characterisation of the modeling practices present in the teaching and learning sequence of preservice physics teachers

ABSTRACT

Initial Teacher Education aims to develop knowledge and tools in future teachers that enable them to plan lessons that promote active citizenship. To achieve this goal, some studies highlight the contribution of scientific practices such as inquiry, argumentation, and modeling to teacher education. In this context, this study analyses how pre-service physics teachers, after participating in a specific training programme focused on modeling, incorporate a Modeling Cycle into the design of their Teaching and Learning Sequences. A descriptive and pre-experimental study was conducted with the participation of 17 pre-service teachers. Using open and axial coding, the teaching designs proposed by the pre-service teachers were analysed, characterising the modeling practices included and their level of sophistication. The results show that the pre-service teachers were able to incorporate the Modeling Cycle into their proposals, although with varying levels of sophistication in each phase. This study suggests that it is necessary to deliberately address modeling in Initial Teacher Education from different approaches in order to overcome the challenges of the design process and to support school students in engaging more authentically with modeling practices.

Keywords: pre-service teacher, modeling, modeling competence, teaching and learning sequence.

1. Introducción

La modelización es considerada una práctica científica esencial para promover la construcción de Modelos Científicos Escolares (MCE) (Garrido y Couso, 2024); fomenta el desarrollo de prácticas modelizadoras (Oliva, 2019); y mejora las visiones sobre la Naturaleza de las Ciencias en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Chiu y Lin, 2019; Göhner *et al.*, 2022). Por este motivo, la modelización ocupa un lugar importante en los planes de estudio de ciencias de varios currículos internacionales (Göhner *et al.*, 2022).

En el contexto de Chile, el Ministerio de Educación ha propuesto un ajuste curricular (MINEDUC, 2024) que sitúa por primera vez a la indagación, modelización y argumentación, como prácticas que deben promoverse desde la educación parvularia hasta la educación secundaria. Estos cambios han sido motivados por las recientes investigaciones en torno al aprendizaje de las ciencias y las sugerencias plasmadas por marcos internacionales (Prácticas Científicas, Alfabetización Científica, Grandes Ideas de la Ciencia) (NRC, 2012). Sin embargo, el éxito de las implementaciones de los currículos depende, en gran medida, de los cambios que se implementen en la Formación Inicial Docente (FID) y en el acompañamiento que se brinde al Profesorado en Formación (desde ahora, PF) (Fensham, 2022). Es en estas instancias en las que es posible que el PF desarrolle habilidades y herramientas para organizar, representar y adaptar las maneras de enseñar ciencias en diversos contextos escolares y bajo distintos enfoques (Marzábal y Vanegas, 2021). Sin embargo, algunas investigaciones en educación científica que se han centrado en la FID en ciencias (Cofré *et al.*, 2010; Marzábal y Vanegas, 2021; Osborne y Dillon, 2008) han dado cuenta de las dificultades asociadas a estos procesos. Ejemplos de éstas son el pobre involucramiento del PF con la ciencia y los fenómenos científicos (Osborne y Dillon, 2008); la prevalencia de programas universitarios que mantienen una visión transmisiva de la enseñanza (Cofré *et al.*, 2010); la poca coherencia que existe entre cómo se enseña en la FID versus cómo se espera que el PF enseñe en el aula escolar (Cofré *et al.*, 2010; Marzábal y Vanegas, 2021); y las dificultades que presenta el PF en el diseño de tareas y su organización dentro de una Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) (Vélchez y Perales, 2017).

Así mismo, aunque se han reportado las potencialidades de la práctica de modelización para el aprendizaje de las ciencias y para la comprensión de su naturaleza (Chiu y Lin, 2019), se ha señalado que la modelización es escasamente utilizada por el profesorado (Acher *et al.*, 2007). Una de las razones de esto es que aprender a modelizar es un proceso largo y no tan sencillo para el profesorado de ciencias (Couso, 2020). En algunos estudios se ha observado que el PF puede tener dificultades para comprender las ideas científicas a modelizar (Téllez-Acosta *et al.*, 2023); o que el PF presenta interpretaciones alejadas de la concepción epistémica de las finalidades de las prácticas modelizadoras (de expresar, evaluar, revisar, consensuar y aplicar un modelo) como indican Soto *et al.* (2024). Esto sugiere que el PF podría tener dificultades para incorporar estas prácticas en sus diseños didácticos (Garrido *et al.*, 2022).

Con la finalidad de contribuir a la FID en el área de Física y fomentar la apropiación de la práctica científica de modelización por parte del PF, en este artículo se pretende responder a la siguiente pregunta: *¿Qué prácticas de modelización se identifican en las Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEAs) que elabora el PF de Física después de participar de un curso orientado a la modelización?*

2. Marco Teórico

2.1. *Modelo, modelo científico escolar y modelización*

Las investigaciones en torno a modelos y modelización han ocupado un espacio importante en el área de la didáctica de las ciencias (Chiu y Lin, 2019; Garrido y Couso, 2024) y han continuado, debido a la necesidad de consolidar una mejor comprensión de su aporte en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Acher *et al.*, 2007; Göhner *et al.*, 2022). Además, la polisemia de los mismos (Chiu y Lin, 2019; Garrido y Couso, 2024; Oliva, 2019) genera una preocupación, ya que la coexistencia entre distintos

significados puede generar confusión y un limitado uso de los modelos y la modelización en los currículos o en el diseño de SEAs. Por ejemplo, el profesorado puede asociar la construcción de modelos en el aula de ciencias con finalidades meramente artefactuales (Soto *et al.*, 2023).

Con el propósito de articular un marco que permita identificar la naturaleza de los modelos y la modelización, Garrido y Couso (2024) proponen una clasificación para los modelos, mientras que Oliva (2019) propone distintas acepciones para la modelización que serán útiles para esta investigación.

Respecto a los modelos, estos se pueden concebir desde su naturaleza instruccional o mental y desde su naturaleza conceptual o artefactual (Garrido y Couso, 2024). Los modelos de naturaleza instruccional y conceptual, desde una visión semanticista de los modelos, son denominados Modelos Científicos Escolares (MCE), los cuales son reconstrucciones didácticas de los modelos científicos a través de procesos de transposición didáctica (Adúriz-Bravo, 2012; Hernández *et al.*, 2015). Algunos ejemplos de MCE en el área de la Física son el modelo eléctrico (Merino *et al.*, 2019), el modelo ondulatorio (López Simó *et al.*, 2022; Soto y Porflitt, 2024) o el modelo de energía (Soto y Couso, 2023; Vergara *et al.*, 2020). En los procesos de enseñanza, la construcción de estos MCE puede ser apoyada por los modelos artefactuales, que corresponden a representaciones materiales, que sirven de herramientas para la modelización al mediar la construcción de representaciones del estudiantado (Soto *et al.*, 2023). Por otra parte, los modelos de naturaleza mental se asocian a las ideas personales del estudiantado, las que les permiten describir, predecir y/o explicar fenómenos naturales y entender el mundo (Garrido Couso, 2024). Para identificar los modelos mentales del estudiantado, el profesorado interpreta las representaciones externas que realiza el estudiantado (p.ej. las explicaciones que expresan). En el marco de esta investigación, los modelos que son de interés son los de naturaleza conceptual, desde su naturaleza instruccional y mental.

En cuanto a la modelización, existen distintas acepciones que la conciben como: una estrategia de enseñanza, una práctica científica, una competencia, como una progresión de modelos o la definen desde una dimensión instrumental/artefactual (Oliva, 2019). Desde esta investigación, se considera que la modelización se asocia con el proceso iterativo de construcción y ajuste de los modelos de naturaleza conceptual (descriptivos, predictivos y/o explicativos) (Oliva, 2019). Desde esta concepción, se utiliza a la modelización como una estrategia de enseñanza de la ciencia que promueve una progresión de ideas del estudiantado, desde aquellas más simples e incompletas (modelos mentales expresados iniciales) a aquellas más sofisticadas y completas (modelos mentales expresados finales más sofisticados y cercanos al MCE) (Garrido y Couso, 2024). Dicha estrategia puede ser utilizada para promover el progreso de ideas del estudiantado (Couso, 2020) como también del PF de ciencias (Soto y Couso, 2023). Así, el PF también puede (y debe) involucrarse en una práctica científica genuina de naturaleza cognitiva, discursiva y social (Izquierdo *et al.*, 1999) en la que adquiere un rol activo en la construcción del conocimiento y experimenta en primera persona cómo se construyen, evalúan y ajustan las ideas científicas (Schwarz *et al.*, 2009).

2.2. Enseñanza de las ciencias orientada a la modelización en la FID

Aprender a planificar clases centradas en la modelización presenta desafíos significativos para el PF de ciencias (Téllez-Acosta *et al.*, 2023). No es habitual que el PF participe en clases de ciencias con enfoques como el de la modelización (Acher *et al.*, 2007), que les brinden la posibilidad de construir ideas disciplinares relevantes para comprender el mundo (Couso, 2020) y aprender acerca de cómo se construye el conocimiento científico (Davis, 2003). En general, el PF suele presentar dificultades en la comprensión de ideas disciplinares y en la apropiación de las prácticas científicas, lo que provoca una inseguridad al momento de enseñar (Zembal-Saul, 2018).

Para promover una enseñanza de las ciencias orientada a la modelización que sea capaz de llegar al aula escolar, es necesario que el PF tenga la oportunidad de aprender el enfoque didáctico que es objeto de aprendizaje, participando en clases guiados por dicho enfoque (Garrido *et al.*, 2022; Martínez-Chico *et al.*, 2014). Posteriormente, el PF puede planificar su propia docencia, expresando así su comprensión de los MCE que son objeto de aprendizaje y de las prácticas modelizadoras que orientan sus diseños. Que el PF participe en estas instancias permite aproximarse a conocer cómo se podría desenvolver en su futura docencia (Téllez-Acosta *et al.*, 2023).

Entre los formadores del profesorado, se ha comenzado a incluir cada vez más el Enfoque de Pedagogías de la Práctica (Grossman *et al.*, 2009) para acercar al PF a su rol en el aula. Siguiendo esta propuesta y las propuestas de promoción del modelado de los enfoques de enseñanza planteados por Davis (2003), Martínez-Chico *et al.* (2014) y Garrido *et al.* (2022), en esta investigación se propone la promoción de la Aproximación Progresiva a la Práctica (APP) (Figura 1).

La APP consiste en brindar oportunidades al PF de participar como estudiantes en clases guiadas por enfoques de enseñanza que se espera que posteriormente promuevan en el aula (Etapa 1). Luego, se monitorea la apropiación del enfoque que ha conseguido el PF, a través de tareas (p.ej. análisis de materiales didácticos ejemplificadores) que permitan que el PF identifique criterios para el diseño de sus propias clases (Etapa 2). El proceso continúa con la planificación personal de sus propias SEAs (Etapa 3). El proceso concluye con una implementación de su práctica (simulación con pares) a partir de la cual el PF evalúa sus diseños (Etapa 4). Todo este proceso es acompañado con una reflexión explícita sobre los principios que orientan los procesos de enseñanza y aprendizaje (Chiu y Lin, 2019), en este caso orientados a la modelización.

Dentro de los criterios asociados a la modelización (Etapa 2) que se espera que el PF identifique están: a) la selección de contextos relevantes, que puedan ser vinculados a un MCE y que permitan la generación de explicaciones y/o predicciones asociadas a ellos (Garrido y Couso, 2024; Téllez-Acosta *et al.*, 2023); b) cuestionar las preguntas que se promueven dentro de la SEA, identificando aquellas que promueven la construcción de modelos (Tena y Couso, 2023b); y c) establecer una secuencia de actividades acordes con el Ciclo de Modelización (Couso, 2020; Garrido y Couso, 2024). Esta investigación presentará resultados vinculados a los aspectos a) y c).

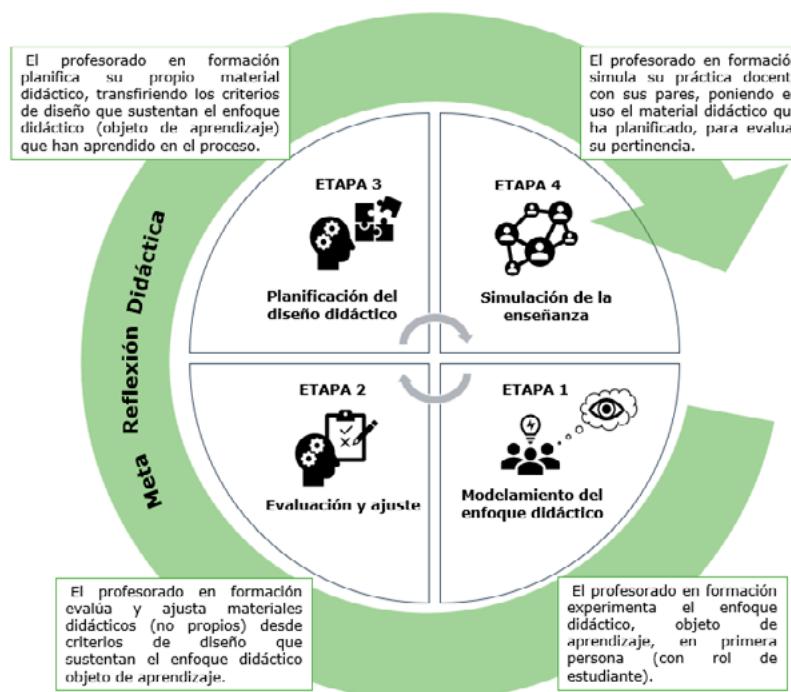


Figura 1. Aproximación Progresiva a la Práctica. Elaboración propia

3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva, con un diseño pre-experimental (Cohen *et al.*, 2007) desde el que se analizan las SEAs diseñadas por el PF al final del proceso formativo. Además, esta investigación es exploratoria, pretendiendo comprender cómo el PF transfiere las finalidades de las prácticas modelizadoras de expresar, evaluar, revisar, consensuar y aplicar un modelo en el diseño de sus SEAs, después de participar de un curso de enseñanza y aprendizaje de la Física centrado en la modelización que utilizó el enfoque de APP.

3.2. Contexto de la investigación y participantes

Se diseñó un curso denominado Enseñanza y Aprendizaje de la Física orientado a la Modelización pensado para PF de Física de Chile. Este curso se impartió durante un semestre en una modalidad virtual y sincrónica para incluir a PF de todas las regiones del país.

De los 14 programas universitarios de Pedagogía en Física existentes, 6 aceptaron la invitación. Entre éstos, uno se imparte en la zona norte del país; tres en la zona central, y dos en la zona sur (Figura 2).

Luego, se procedió a invitar y seleccionar al PF siguiendo los siguientes criterios:

1. Estar cursando el tercer o cuarto año de su formación profesional.
2. Disposición y compromiso de participar de un curso en modalidad virtual.

El primer criterio tuvo la finalidad de contar con PF con algunos conocimientos básicos sobre educación para facilitar el proceso de APP. Mientras que el segundo criterio tuvo la finalidad de facilitar la participación en el curso del PF en general, y en particular, del PF de regiones de Chile (que no son de la Región Metropolitana).

En una etapa inicial, 40 PF decidieron participar del curso. En el transcurso, posiblemente debido a la demanda de la propia formación de sus respectivas universidades, sólo 20 PF finalizaron el curso, y entre éstos, 17 PF completaron el diseño de su SEA. Por lo tanto, las SEAs de estos 17 PF fueron analizadas para los fines de esta investigación. La distribución por género de los PF fue de 7 mujeres y 10 hombres. Cada PF firmó un consentimiento informado para autorizar el uso de sus SEAs con fines investigativos.

La implementación del curso contempló 16 clases de 1,5 horas cronológicas cada una, impartidas una vez por semana por investigadores del proyecto expertos en modelización. En la primera etapa del ciclo de APP (Figura 1), los PF participaron de un proceso

de instrucción basado en la modelización para vivenciar este enfoque tal como si fueran estudiantes, y así desarrollar sus prácticas modelizadoras y construir sus propias versiones de los MCE de energía y fuerzas.

Las SEAs siguieron el Ciclo de Modelización planteado por Couso (2020) y algunas actividades se inspiraron en diseños propuestos en otras investigaciones (Herreras *et al.*, 2016; Garrido y Couso, 2024; Soto *et al.*, 2019). A modo de ejemplo, en los recuadros blancos junto al Ciclo (en verde) de la Figura 3, se presenta un proceso de instrucción centrado en la modelización. En la SEA de este ejemplo se pretende construir el MCE de energía (Soto y Couso, 2023), con énfasis en la idea de transferencia de energía a través de calor, en el fenómeno de termorregulación animal (ver en Herrera *et al.*, 2016; Vergara *et al.*, 2020).

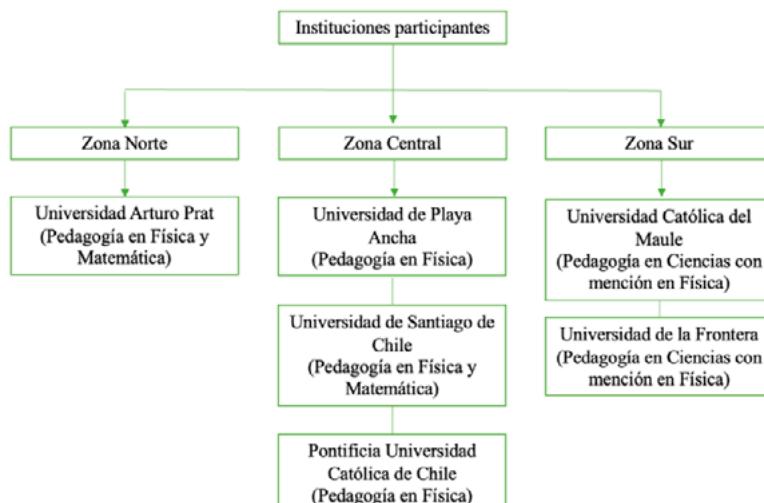


Figura 2. Instituciones que participaron. Elaboración propia

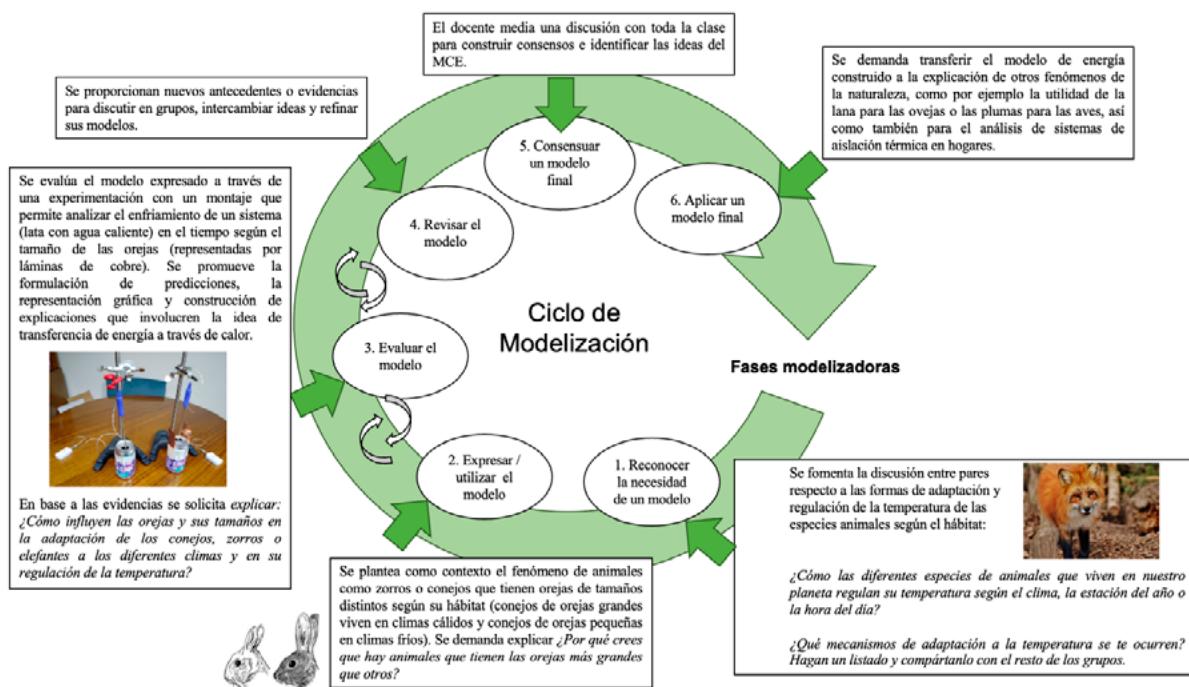


Figura 3. SEA de termorregulación animal. Elaboración propia

3.3. Estrategia de recolección y análisis de datos

Para caracterizar las prácticas modelizadoras se analizaron las SEAs que diseñaron los PF. Dichas SEAs se codificaron (PF1, PF2, ..., PF17) para garantizar el anonimato de los 17 participantes. El análisis de las SEAs se realizó a través de una codificación abierta seguida de una codificación axial realizada por los cinco investigadores participantes de este estudio. Cada investigador caracterizó de manera independiente las prácticas modelizadoras que promovía el PF en sus SEAs, para luego comparar los resultados obtenidos. Este proceso permitió alcanzar consensos iniciales en torno a un 60% de las caracterizaciones; posteriormente, mediante la discusión y el establecimiento de criterios comunes, se logró aumentar el nivel de acuerdo al 90%.

La validez de las categorías empleadas (Cohen *et al.*, 2007) se respalda tanto en la literatura especializada (Garrido *et al.*, 2022; Göhner *et al.*, 2022) como en la validación realizada por dos investigadores expertos en modelización. Por su parte, la fiabilidad de dichas categorías (Creswell y Creswell, 2017) se vincula al grado de coincidencia alcanzado en la codificación individual y la resolución de las discrepancias mediante discusiones entre pares (Louca *et al.*, 2011).

El sistema de categorías propuesto para caracterizar las prácticas modelizadoras vinculadas a las actividades diseñadas en cada etapa del Ciclo de Modelización (Couso, 2020) se organizó en una progresión, desde caracterizaciones alineadas con las finalidades de cada práctica modelizadora (estadio 4 y más sofisticado) hasta caracterizaciones más alejadas de estas finalidades (estadio 1 y menos sofisticadas) (Tabla 2). En algunos estadios se realizó una clasificación especial (A y B) que permitió caracterizar dos tipologías de finalidades vinculadas a una determinada práctica modelizadora, pero que se encontraban con el mismo grado de sofisticación.

Una vez analizadas las SEAs se utilizó una representación gráfica inspirada en las representaciones de progresiones de aprendizaje de los MCE (Soto *et al.*, 2021) para observar el grado de sofisticación de las prácticas modelizadoras. En la Figura 4 se presenta una gráfica de esferas de colores: naranja (nivel 4), verde (nivel 3), azul (nivel 2), amarillo (nivel 1) y gris (casos que no aplican). El tamaño de las esferas representa la cantidad de PF que promueven una práctica modelizadora asociada a cada nivel. En el eje Y se gradúa el nivel de sofisticación y en el eje X se mencionan las prácticas modelizadoras desde las fases 1 a la 6 según el Ciclo de Modelización.

Por otra parte, para caracterizar el contexto las SEAs diseñadas por el PF y complementar el análisis realizado que dio origen a la descripción de los niveles de sofisticación de la modelización descritos en la Tabla 2, se adaptó la caracterización de Cortés-Morales y Marzábal (2024) (Tabla 1) para identificar los tipos de contextos que se promueven en las SEAs. Mientras que, para ejemplificar la secuenciación de las ideas de los MCEs que se promueven en las SEAs se utilizaron las propuestas de Soto y Couso (2023) para el modelo de energía y de Vergara (2022) para el modelo de fuerzas.

Tabla 1
Tipología de contextos

| Contexto | Definición |
|------------------|---|
| Socio-científico | Problema abierto sin solución única que involucra distintas posturas. Implica entender causas, consecuencias y condiciones relacionadas con el saber tecnocientífico. |
| Cotidiano | Uso de conocimientos y habilidades científicas para explicar cómo funcionan objetos o fenómenos de la vida cotidiana. |
| Ciencia ficción | Aplicación de ideas científicas en películas, series, libros y otros medios de manera coherente y plausible con el conocimiento científico actual. |
| Científico | Investigaciones científicas, experimentos demostrativos o investigaciones escolares de relevancia disciplinaria, que emplean materiales que no son familiares para el estudiantado. |

Elaboración en base a Cortés-Morales y Marzábal (2024).

4. Resultados

En la Tabla 2 se presentan los estadios que describen los niveles de sofisticación asociadas a las prácticas modelizadoras que surgieron del análisis de las SEAs elaboradas por el PF después de participar de un Ciclo APP. En ésta se caracterizan las tipologías de finalidades identificadas, para cada fase del Ciclo de Modelización, y se menciona al PF asociado a cada estadio.

Tabla 2

Niveles de sofisticación de la modelización en estadios

| Fases del Ciclo de Modelización | Nivel | Objetivos instruccionales asociados a cada fase modelizadora | PF que se sitúa en cada estadio |
|-------------------------------------|-------|---|---|
| 1. Sentir la necesidad del modelo | 4 | Se presenta un fenómeno cotidiano que brinda la posibilidad al estudiantado de acercarse y explorarlo, haciendo emerger sus ideas para entender dicho fenómeno desde su experiencia. | PF 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17 |
| | 3 | Se presenta un fenómeno cotidiano con enunciados que inducen al uso de ideas científicas brindadas por el profesorado. | PF 1, 11 |
| | 2 | Se presenta un fenómeno cotidiano con enunciados que dificultan que el estudiantado se acerque y/o explore el fenómeno desde su experiencia (p.ej. preguntas poco claras). | PF 3, 4, 12 |
| | 1 | Se presenta una situación que dificulta que el estudiantado haga emerger sus ideas o explore un fenómeno desde su experiencia (p.ej. preguntas poco claras y situaciones descontextualizadas). | No aplica. |
| 2. Expresar/Usar el modelo | 4 | Se promueve que el estudiantado exprese un modelo inicial para la explicación y/o predicción de un fenómeno paradigmático cuya respuesta no es evidente. | PF 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 17 |
| | 3 | Se promueve que el estudiantado exprese sus modelos iniciales para la explicación y/o predicción de un fenómeno paradigmático incluyendo en éstas vocabulario científico y/o ideas proporcionadas por el profesorado. | PF3 |
| | 2 | Se promueve que el estudiantado exprese sus modelos iniciales para la descripción de un fenómeno paradigmático. | PF14 |
| | 1 | Se promueve que el estudiantado responda a una actividad que no permite expresar un modelo inicial y/o el fenómeno no es paradigmático. | PF 12, 15 |
| 3. Poner a prueba/Evaluar el modelo | N.A | No realiza actividad asociada a la práctica modelizadora. | PF4 |
| | 4 | Se promueve el cuestionamiento de las ideas expresadas por el estudiantado para explicar un fenómeno, basado en la obtención de evidencias (p.ej. a través de experimentos, analogías, simulaciones y/o videos). | PF 1, 3, 6, 7, 8, 11 |
| | 3 | Se promueve que el estudiantado ponga a prueba sus descripciones iniciales de un fenómeno basándose sólo en la observación experimental y en la descripción de los hechos. Algunos estudiantes pueden evaluar, también, otras ideas más profundas que las expresadas. | PF 2, 5, 9, 14, 15, 16, 17 |
| | 2 | Se promueve la comprobación de ideas y/o modelos científicos aceptados a través de la obtención de evidencias. | No aplica. |
| 4. Revisar el modelo | 1 | No hay cuestionamiento de ideas expresadas por el estudiantado: El experimento pretende cuestionar ideas que no fueron las expresadas previamente. | PF 4, 10, 12, 13 |
| | 4 | Se comparten y se comparan ideas entre el estudiantado y/o con perspectivas expertas otorgadas por el profesorado o con nuevas evidencias (p.ej. simulaciones o nuevos cuestionamientos) para orientar los cambios y mejoras de aspectos menos sofisticados de las ideas inicialmente expresadas por el estudiantado. | PF 1, 8, 11 |
| | 3 | Se comparten y se comparan ideas entre el estudiantado y se corrigen las ideas inicialmente expresadas sin nuevos antecedentes proporcionados por el profesorado. | PF 3, 6, 7, 14 |
| | 2 | A) El estudiantado discute de manera grupal o corrige en forma personal otras ideas y/o nuevos fenómenos, que en general suelen ser más complejas que las expresadas inicialmente. B) El estudiantado corrige las ideas inicialmente expresadas en forma personal y sin discutir con sus pares. El profesorado no proporciona nuevos antecedentes. | PF 2, 9, 15, 17 PF 5, 10, 16 |
| | 1 | A) No se facilita que se comparten y comparan ideas de los estudiantes. Se pueden proponer actividades que no permiten revisar ideas expresadas (p.ej. resolución de problemas cuantitativos). B) El profesorado entrega perspectivas expertas (p.ej. explicaciones o información complementaria) que no forman parte de la construcción del MCE. | PF 4, 13 PF12 |

| Fases del Ciclo de Modelización | Nivel | Objetivos instrucionales asociados a cada fase modelizadora | PF que se sitúa en cada estadio |
|---------------------------------|-------|---|---------------------------------|
| 5. Consensuar un modelo final | 4 | Se guía la negociación de un modelo final consensuado y su expresión en un formato adecuado para explicar el fenómeno estudiado. | PF 3, 6, 8, 9, 11, 14 |
| | 3 | Se promueve que el estudiantado discuta con sus pares y resuma lo aprendido | PF 1, 5, 7, 15 |
| | 2 | Se discuten otras (nuevas) ideas y/o nuevos fenómenos. | PF 2, 10, 13, 16, 17 |
| | 1 | No se facilita que se compartan y consensuen ideas entre los estudiantes. El profesorado entrega en forma directa las ideas construidas. | PF12 |
| 6. Aplicar el modelo final | N.A | No realiza actividad asociada a la práctica modelizadora. | PF4 |
| | 4 | Se promueve la aplicación y transferencia del modelo consensuado para explicar y/o predecir el fenómeno inicial, un nuevo fenómeno similar a la situación problemática inicial o ambos. | PF 6, 8, 17 |
| | 3 | A) Se promueve la aplicación del modelo consensuado para describir un nuevo fenómeno. B) Se promueve la aplicación del modelo consensuado a un nuevo fenómeno cuya explicación incluye ideas que no fueron del todo abordadas en la clase. | PF 1, 2, 3, 5, 7, 11, 16 |
| | 2 | Se promueve seguir analizando el mismo modelo consensuado, sin aplicarlo a una nueva situación. | PF9 |
| 6. Aplicar el modelo final | 1 | A) Se promueve la aplicación del modelo consensuado para describir un nuevo fenómeno alejado al propuesto anteriormente. B) Se promueve la aplicación del modelo consensuado en el desarrollo de análisis cuantitativos no abordados previamente. | PF 10, 12 |
| | N.A | No realiza actividad asociada a la práctica modelizadora. | PF4 |

Al analizar las SEAs que elabora el PF se puede observar, en términos generales, una apropiación de la modelización y de sus prácticas asociadas, que se representa con una mayor cantidad de estudiantes situados en los estadios 3 y 4, niveles más sofisticados de cada práctica modelizadora, tal como se aprecia en la Figura 4.

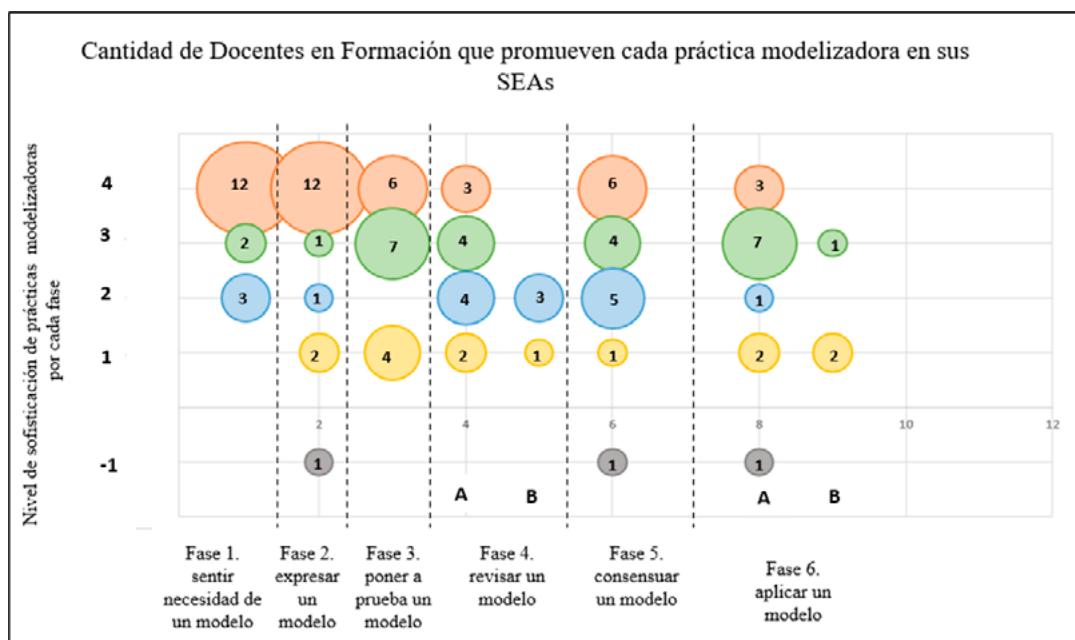


Figura 4. Niveles de sofisticación de las prácticas modelizadoras del PF en sus SEAs. Elaboración propia

Al profundizar en el tipo de SEAs elaboradas por el PF, se puede observar en la Tabla 3 que se elaboraron 4 SEAs para el nivel de séptimo básico, 5 SEAs para octavo básico, 2 SEAs para primero medio y 6 SEAs para segundo medio. Predominó en ellas la promoción del MCE de energía con 10 SEAs, seguido por el MCE de fuerzas con 6 SEAs y el MCE de ondas con 1 SEA.

Tabla 3

Descripción de las SEAs elaboradas por el profesorado en formación

| Estudiante | Nivel educativo de la propuesta | MCE que promueve | Contexto |
|------------|---------------------------------|--|--|
| A9 | | Fuerzas: elástica | Cotidiano: salto en bungee. |
| A14 | | | Cotidiano: caída de cuerpos. |
| A16 | 7º Básico | Fuerzas: peso | Cotidiano: salto en parapente. |
| A17 | | Energía: transferencia a través de calor. | Cotidiano: sismos. |
| A1 | | | Cotidiano: funcionamiento de una plancha. |
| A2 | | Energía: transferencia a través de calor. | Cotidiano: calentamiento de cuerpos por conducción, radiación y convección. |
| A3 | 8º Básico | | Cotidiano: enfriamiento de cuerpos. |
| A5 | | Fuerzas: Ley de Coulomb | Científico: electrización de cuerpos. |
| A8 | | Energía y materia: modelo cinético molecular | Cotidiano: inflar los neumáticos con la presión adecuada |
| A4 | 1º Medio | Ondas | Cotidiano: sismos. |
| A10 | | Energía: transferencia de energía en ondas | |
| A6 | | Fuerzas: fuerzas a distancia | Cotidiano: las mareas. |
| A7 | | Energía: transferencias de energía por calor y trabajo | Cotidiano: uso de aislantes térmicos y aumentos de temperatura por fricción. |
| A11 | 2º Medio | Energía: conservación y degradación de la energía | Cotidiano: deportes (skate). |
| A12 | | | Cotidiano: enfriamiento por evaporación del agua. |
| A15 | | Energía: transferencia de energía por calor | Cotidiano: evaporación de charcos de agua. |
| A13 | | Fuerzas: Tercera Ley de Newton | Cotidiano: deportes (tirar la cuerda). |

Respecto a las fases *Sentir la necesidad de un modelo* (F1) y *Expresar un modelo* (F2) del Ciclo de Modelización, se observa que el PF parece apropiarse de la finalidad de estas fases, siendo capaces de generar instancias para que el estudiantado explore un fenómeno cotidiano desde sus experiencias y conocimientos previos (F1) y posteriormente para que que pueda expresar sus primeras predicciones y/o explicaciones (F2). De hecho, al analizar todos los contextos de las SEAs (Tabla 3) se observa que todas las que promovieron la construcción de un MCE de energía utilizaron contextos cotidianos (Cortés-Morales y Marzábal, 2024). Por ejemplo, el funcionamiento de artefactos tecnológicos, los cambios de estado de la materia, el enfriamiento de cuerpos, relación de los sismos con la convección del manto y los deportes. Por otra parte, para la construcción del MCE de fuerzas también predominan los contextos cotidianos. Por ejemplo, la caída libre, el origen de las mareas o los deportes, pero también aparece un contexto científico asociado con la electrización de cuerpos por rotación. A modo de ejemplo en la Figura 5 se puede observar la SEA de PF7, situada en un nivel de sofisticación 4 en las fases 1 y 2. Esta SEA promueve la construcción del MCE de energía (Soto y Couso, 2023) y en ella se puede observar cómo la PF7 motiva al estudiantado a identificar, a través de una discusión entre pares, un listado de acciones que las personas pueden realizar para protegerse del frío en invierno. Posteriormente, se focaliza en dos métodos de protección: el aumento de temperatura que se genera por la fricción entre las manos (transferencia de energía por trabajo) y el aislamiento térmico (transferencia de energía por calor).

Cabe destacar, que el PF perteneciente a otras regiones de Chile (distintas a la Metropolitana) tendió a utilizar fenómenos contextualizados a sus localidades. Tal como se vio en el ejemplo anterior, PF7 utiliza el contexto de bajas temperaturas en la Región de la Araucanía (zona sur de Chile), mientras que el PF de la zona norte de Chile (PF16), resaltó las cualidades del tiempo atmosférico y de los cielos de Iquique para realizar saltos en parapente. Este resultado es relevante, considerando que el uso de contextos cotidianos y locales puede favorecer la expresión de ideas científicas intuitivas y su posterior progreso (Cortés-Morales y Marzábal, 2025).

Respecto a la práctica de *Evaluuar el modelo* (F3), se observa que la mayor parte del PF promueve que el estudiantado cuestione sus ideas expresadas a través de evidencias (PF situado en los estadios 3 y 4). La diferencia principal entre el PF que se sitúa en el estadio 3 y 4 se asocia a la habilidad cognitivo-lingüística que promueven. Es decir, el PF en el estadio 4 promueve la explicación y/o predicción (por ejemplo, PF6 propone las preguntas ¿qué fue pasando a medida que los imanes se acercaban más? ¿por qué crees que pasa?), mientras que el PF en el estadio 3 promueve la descripción de fenómenos (por ejemplo, PF5 propone la pregunta ¿qué efecto genera la distancia entre cargas sobre la fuerza electrostática?).

Aunque la mayoría del PF comprende la finalidad de la práctica de evaluar el modelo, se observan cuatro SEAs (PF 4, 10, 12, 13) en las que la obtención de evidencias a través de un experimento pretenden cuestionar ideas que no fueron las expresadas en F2. Por

ejemplo, en la Figura 6 se presenta la secuencia de actividades asociadas a las primeras tres fases modelizadoras de la SEA de PF12 en las que aborda el MCE de energía. A partir de las ideas del MCE de energía (Soto y Couso, 2023) asociadas a cada fase, se observa el uso de nuevas ideas y el desuso de otras.

Actividad 1

La Dirección Meteorológica de Chile, entidad oficial que analiza la evolución del clima en todo el territorio chileno, señaló que inició la semana bajo una intensa ola de frío polar, que se cruza con un complejo panorama sanitario.

Durante esta semana la comuna que sintió con mayor fuerza el frío fue Lonquimay, en la cordillera de la sureña región de La Araucanía, que marcó -8,9°. En las comunas de Temuco y Padre las Casas se prevé temperaturas bajo cero y una mala calidad del aire. El frío extremo llegó a Chile en medio de una crisis sanitaria debido a la propagación de virus respiratorios, en uno de los brotes más grandes de la última década. El virus respiratorio sincitial (VRS) se expandió peligrosamente entre los lactantes, tensionando a las unidades críticas pediátricas de los hospitales del país. Es por esta ola polar junto a la crisis sanitaria que requiere de medidas inmediatas para combatir el frío.



1.1. ¿Qué formas de combatir el frío de una forma rápida y momentánea se te ocurren? Hagan un listado y compártalo con el resto de los grupos.

Puedes anotar en este espacio las ideas consensuadas con tus pares:

La ola de frío polar obligó a las personas que habitan en el sur del país a extremar el uso de abrigos, incrementando además el encendido de calefactores de los hogares.

Pero en ciertas situaciones como: camino al colegio, la locomoción o lugares donde no hay calefacción, se debe actuar rápido y con las herramientas que tengamos a mano. Y ¿qué mejor herramienta que las manos? Es por esto que usar el viejo truco de calentarnos las manos frotándolas, es una opción rápida, sin costo monetario y que nos ayudará a abrigarnos de forma momentánea. Esto mientras llegas a una fuente de calor adicional, como guantes o fuentes de calor artificial.



2.1. Por qué se calientan las manos al frotárlas?

2.2. Otra forma de calentarse las manos es usando guantes. ¿Por qué se calientan las manos al usar guantes?

2.3. ¿Qué diferencias tienen estas dos formas de calentamiento?

Figura 5. Ejemplo de actividades asociadas a F1 (a la izquierda) y F2 (a la derecha) planteadas por una PF en su SEA. Elaboración propia

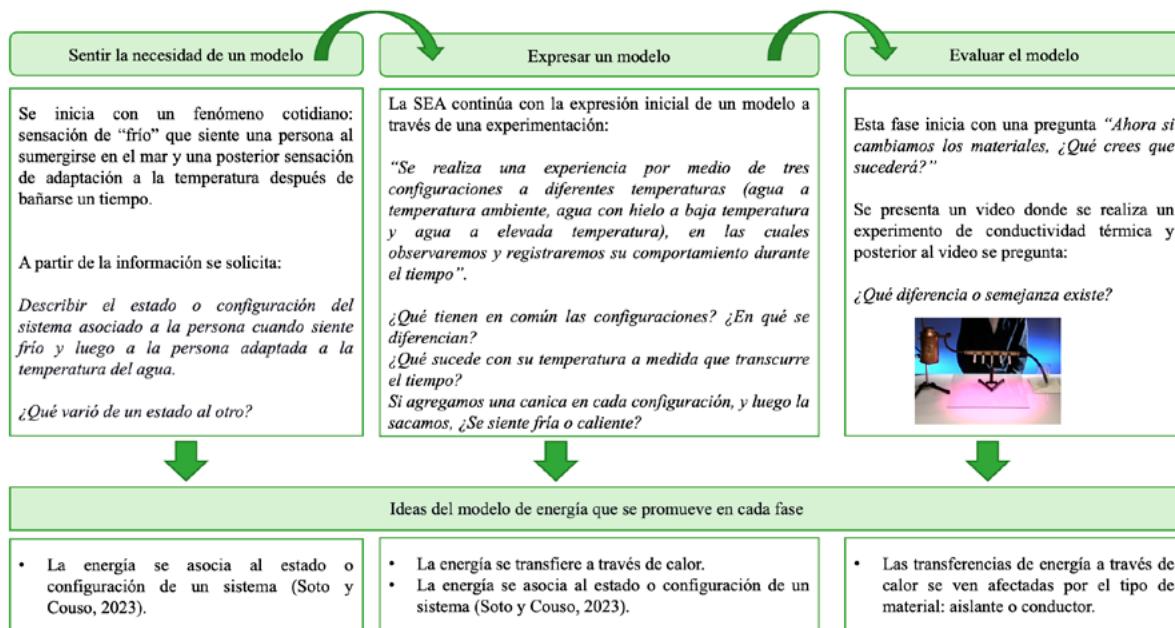


Figura 6. Ejemplo de dificultad de secuenciación evidenciada en la SEA de PF12. Elaboración propia

Este ejemplo (Figura 6) evidencia la dificultad del PF12 en la identificación de las ideas claves del MCE que pretende promover y en su secuenciación a lo largo de su SEA para mediar su expresión y su posterior cuestionamiento. En un inicio, en F1, el PF12 pide al estudiantado «Describir la configuración del sistema...», sugiriendo la construcción de la idea «energía como función de estado». Posteriormente, en F2, el PF12 pide al estudiantado responder a preguntas relacionadas con la idea de transferencia de energía a través del calor desde la propia percepción, lo que supone una limitante para tener un registro objetivo de la temperatura del agua. Luego, en F3 promueve el cuestionamiento de ideas que no fueron expresadas previamente asociadas a una pregunta como: ¿cómo afecta el tipo de material en la transferencia de energía a través del calor? aludiendo a variables que afectan la transferencia de energía.

Respecto a las prácticas de *Revisar* (F4) y *Consensuar* el modelo (F5) es donde se evidencian mayores dificultades. El PF mostró una tendencia a revisar (estadio 2A) y consensuar ideas (estadio 2) que no fueron expresadas ni evaluadas en las fases anteriores, e incluso se observa la incorporación de nuevas ideas en las discusiones que son más complejas que las abordadas en fases previas. En la Figura 7 se observa la secuenciación de ideas de PF2 a lo largo de las fases, donde, en las fases iniciales, se promueve una idea de transferencia de calor por contacto (F1 y F2), se pone a prueba esta idea y se incorporan otras, como la influencia del material en la transferencia por calor (F3), y se termina consensuando la idea de rapidez de transferencia de energía asociada a los materiales en interacción (F4 y F5).

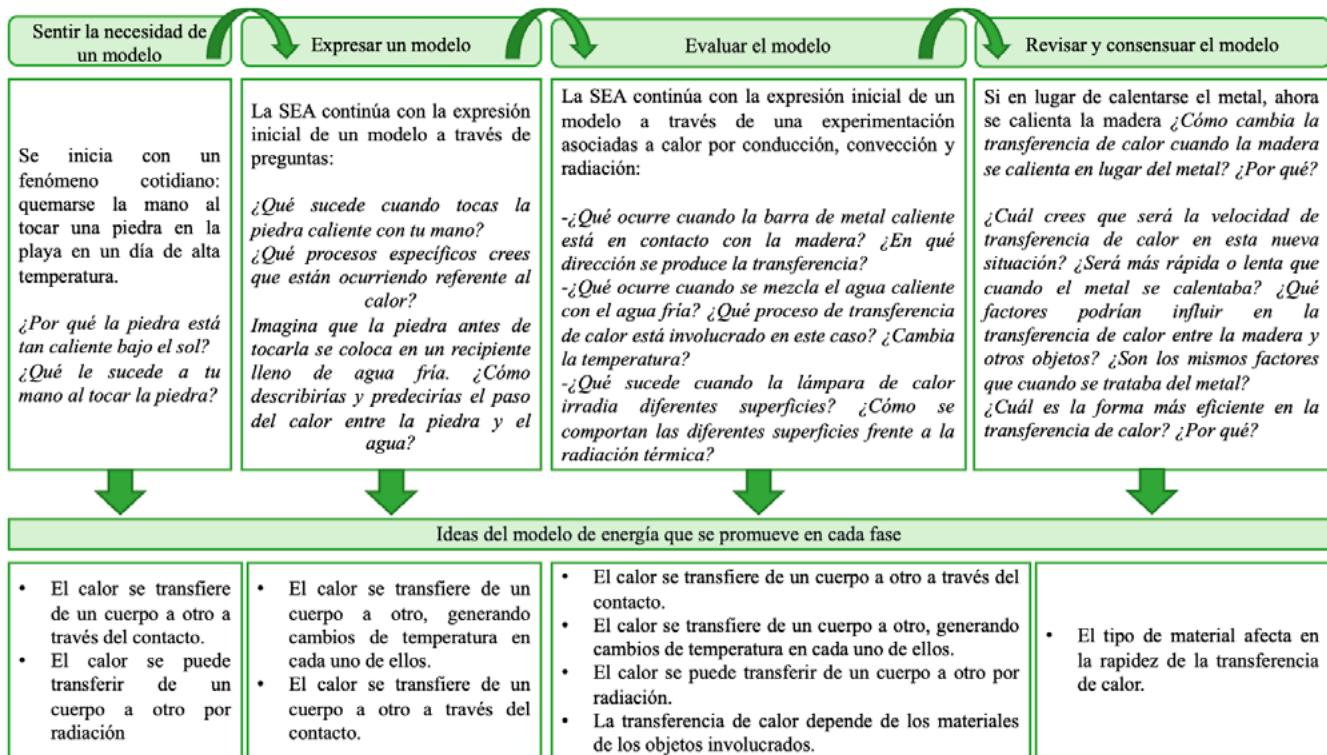


Figura 7. Ejemplo de dificultad de secuenciación evidenciada en la SEA de PF2. Elaboración propia

En términos generales, en la práctica de consensuar el modelo, el PF da evidencias de comprender el sentido de las discusiones e intercambio de ideas entre pares que se promueven desde la perspectiva sociocultural. Sin embargo, en la práctica de revisar el modelo no se observa del todo claro. Algunos PF promueven la revisión individual de los modelos, analizando las respuestas que el estudiantado daría en las fases anteriores, pero sin promover revisión entre pares o sin brindar nuevos antecedentes o puntos de vista que pongan en cuestionamiento las explicaciones dadas a los fenómenos. Por ejemplo, PF5 favoreció la construcción de un MCE de fuerzas a través del análisis de fenómenos electrostáticos, solicitando al estudiantado realizar los diagramas de cuerpo libre en tres situaciones de interacciones entre cuerpos que se atraen y se repelen (F2, estadio 4). Posteriormente, a través de una simulación el estudiantado puso a prueba su modelo en forma personal identificando la magnitud, sentido y dirección de las fuerzas electrostáticas, variando la distancia entre cargas y/o la magnitud entre cargas (F3, estadio 3). Posteriormente, PF5 solicita la revisión personal del modelo (F4) a través de la identificación de semejanzas y diferencias entre los diagramas de fuerza predichos en la F2 y los valores que arrojó la simulación en la F3 (estadio 2B).

Finalmente, el PF da evidencias de comprender la práctica de *Aplicación del modelo* (F6) al ser capaces de proponer nuevos fenómenos, similares al expuesto en las fases iniciales (F1 y F2), a través de los cuales solicita la explicación, predicción (estadio 4) o descripción (estadio 3A) de fenómenos utilizando las ideas del MCE construidas previamente. En la Figura 8 se aprecia como la PF2 explora en la F2 la idea de transferencia de energía por calor a través de convección, en el fenómeno del movimiento de placas tectónicas por acción de la convección en el manto terrestre. Al finalizar la SEA, PF2 propone que el estudiantado utilice la misma idea del modelo construida para explicar el movimiento de la cera en una lámpara de lava.

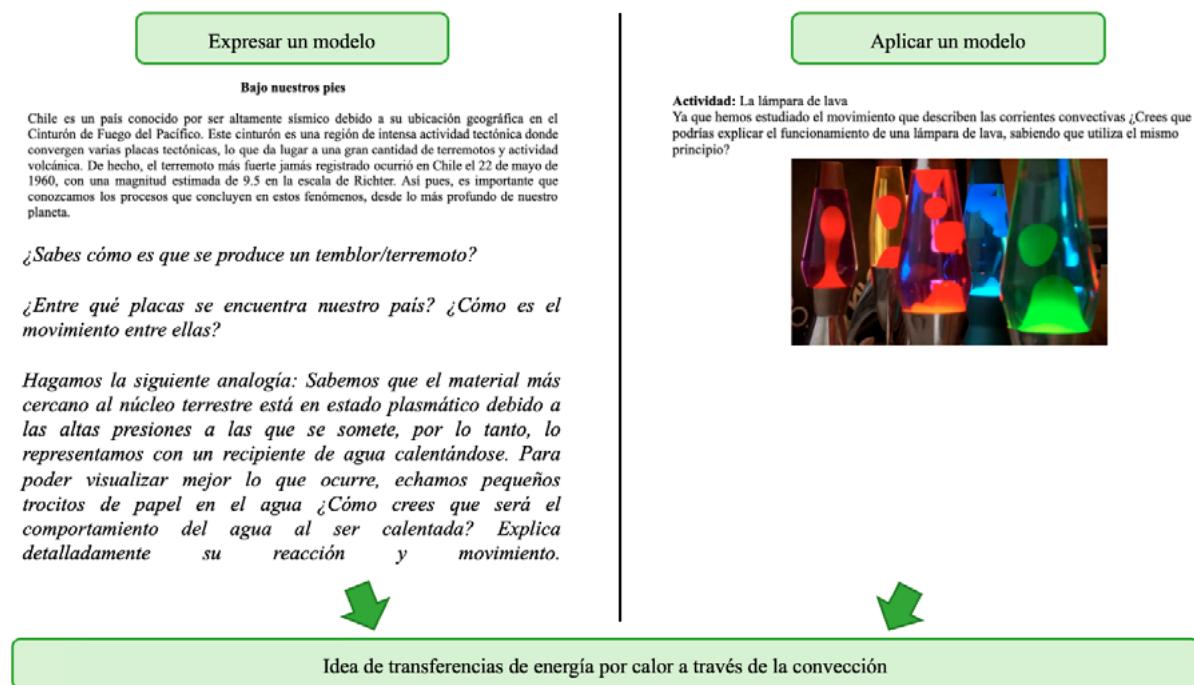


Figura 8. Ejemplo de dificultad de secuenciación evidenciada en la SEA de PF2. Elaboración propia

5. Conclusiones e implicaciones didácticas

Esta investigación ha permitido caracterizar las actividades de las SEAs que propone el PF para la consecución de las finalidades de las prácticas modelizadoras en las diferentes fases del Ciclo de Modelización, elaboradas después de participar de un curso orientado a la modelización.

Se propusieron categorías que caracterizan las ideas del PF sobre cómo lograr la consecución de los objetivos que conforman las fases del Ciclo de Modelización (Tabla 2). Dichas categorías emergieron del análisis de las SEAs del PF, y se encuentran ordenadas de acuerdo con su nivel de sofisticación y cercanía a lo propuesto por el ciclo de instrucción (Garrido y Couso, 2024). Estas categorías sugieren un marco en base al cual se pueden identificar oportunidades y dificultades presentes en el profesorado para diseñar actividades que promuevan una auténtica participación del estudiantado en la práctica de modelización. De hecho, este estudio abre la oportunidad para caracterizar cómo se desenvuelve el estudiantado cuando participa de actividades que no se alinean con los objetivos de las fases de la instrucción del Ciclo de Modelización.

Algunos de los PF fueron capaces de orientar el diseño de sus SEAs para promover la modelización en el aula de ciencia. La presencia de fases de SEAs diseñadas por el PF en los niveles de sofisticación 3 y 4 sugiere que la participación del PF en el curso centrado en la modelización, según el Ciclo APP, parece favorecer la apropiación de una manera de diseñar clases concordante con la participación del estudiantado en la práctica de modelización. Esto es coherente con los estudios de Davis (2003), Martínez-Chico *et al.* (2014) y Garrido *et al.* (2022), quienes destacan la importancia de que el profesorado vivencie las experiencias de aula que posteriormente pretenderá promover en el aula de secundaria.

Las ideas que el PF pretende que el estudiantado exprese, evalúe y, posteriormente, revise, pueden desviarse a lo largo de la SEAs. Algunas de las actividades propuestas por el PF inician mediando la expresión y uso de ideas particulares, pero posteriormente su foco cambia hacia el cuestionamiento de otras. Este resultado supone que el diseño de las SEAs no depende sólo de buenos diseños de actividades para cada una de las fases, sino que también involucra su articulación, de tal manera que ésta favorezca la continuidad en el desarrollo, progreso y construcción de una idea particular. En ese sentido, esta investigación considera que una auténtica apropiación de la práctica de modelización requiere de una participación del PF en diversas oportunidades de Ciclos APP o de experiencias similares. Para ello, en la Tabla 3 se presentan algunas implicaciones didácticas y orientaciones para docentes e investigadores para ir superando las distintas dificultades en el diseño de SEAs orientadas a la modelización en la FID.

Cabe destacar que esta investigación cuenta con ciertas limitaciones. Por una parte, no se pudo implementar el Ciclo de APP en sus 4 etapas (Figura 1), por lo que se proyecta ampliar la aplicación del Ciclo con la finalidad de analizar la utilidad y confiabilidad (Tena y Couso, 2023a) de las SEAs elaboradas por el PF. Y, aunque en esta investigación participó PF de diferentes regiones de Chile, la cantidad de participantes fue acotada, lo que pudo afectar en la variedad de categorías que caracterizan las actividades propuestas por el profesorado, o en la frecuencia de actividades propuestas por el PF en cada uno de los niveles de sofisticación. En futuras investigaciones se pretende ampliar la cantidad de PF y aplicar estrategias de permanencia a lo largo del curso que permitan su participación en todo el estudio.

Tabla 4

Implicaciones didácticas para promover la Modelización en la FID. Elaboración propia

| | |
|---|---|
| Planteamiento de contextos relevantes y locales | Promover el análisis de fenómenos paradigmáticos, de relevancia personal, social o global para el estudiantado y con énfasis en su localidad, para generar el interés de describirlos, predecirlos y/o explicarlos (Cortés-Morales y Marzábal, 2025). |
| Andamios para la generación de preguntas | Brindar andamios al profesorado en la generación de preguntas clave para promover la expresión, cuestionamiento y revisión de ideas (ver Tena y Couso, 2023b). |
| Secuenciación de las ideas del MCE | Promover la construcción de MCEs a través de enfoques como el de APP y momentos de meta reflexión para que el PF sea consciente de qué ideas de los MCEs ha construido y qué tan sofisticadas son respecto con el modelo que es objeto de aprendizaje. Además, esto se relaciona con fomentar en el PF el análisis de progresiones de aprendizaje presentes en la literatura. |
| Secuenciación de las actividades de la SEA | Reflexionar en torno a criterios como la validez, desde su coherencia interna y teórica (ver Tena y Couso, 2023a), para que el PF identifique el grado de consistencia entre objetivos de aprendizaje y el material didáctico diseñado. |

Financiación

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(3), 398-418. <https://doi.org/10.1002/sce.20196>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). A «Semantic» View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Chiu, M. H., y Lin, J. W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(12), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>
- Cofré, H., Camacho, J., Galaz, A., Jiménez, J., Santibáñez, D., y Vergara, C. (2010). La educación científica en Chile: debilidades de la enseñanza y futuros desafíos de la educación de profesores de ciencia. *Estudios pedagógicos*, 36(2), 279-293.
- Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education. Research Methods in Education* (6th ed.). Routledge.
- Cortés-Morales, A., y Marzábal, A. (2024). Can Chemistry Textbooks Be Used for Model-Based Learning? En M. Sardag, G. Kaya, y Evecit, T. (Eds.) (2024). *Proceedings Book Series-II of the ESERA2023 Conference. Connecting Science Education with Cultural Heritage, Strand number* (pp. 132-139). Nobel Bilimsel Eserler.
- Cortés-Morales, A., y Marzábal, A. (2025). The Design of Science Teaching and Learning Tasks with Modelling Potential. *Studies in Science Education*. <https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2493990>
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refujo, y J. A. Sacristán (Coords.), *Enseñando Ciencia con Ciencia* (pp. 63-74). FECYT y Fundación Lilly. Penguin Random House.
- Creswell, J. W., y Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage.
- Davis, K. S. (2003). «Change is hard»: What science teachers are telling us about reform and teacher learning of innovative practices. *Science Education*, 87(1), 3-30. <https://doi.org/10.1002/sce.10037>
- Fensham, P. J. (2022). The future curriculum for school science: What can be learnt from the past? *Research in Science Education*, 52, 81-102. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10090-6>
- 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*, 40(1), 87-105. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- Garrido, A., y Couso, D. (2024). The IPM cycle: An instructional tool for promoting students' engagement in modeling practices and construction of models. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-35. <https://doi.org/10.1002/tea.21979>
- 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. <https://doi.org/10.1002/tea.21759>
- Grossman, P., Hammerness, K., y McDonald, M. (2009). Redefining teaching, re-imagining teacher education. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 15(2), 273-289. <https://doi.org/10.1080/13540600902875340>
- 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>

- Herrera, L., Garrido, A., y Pintó, R. (2016). *Regulació de la temperatura dels animals. Seqüència didàctica per l'estudi de la termoregulació animal i les adaptacions*. CRECIM.
- 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.
- López Simó, V., Couso, D., y Hernández Rodríguez, M. I. (2020). Nuevas miradas sobre el currículo de Física. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 100, 16-22.
- 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. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/enencias.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?* (pp. 149-180). Ediciones Universitarias de Valparaíso. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1tgwzfc.10>
- Merino, C., Moreira, P., y Marzábal, A. (2019). Análisis sistemático de la evolución de los componentes del modelo eléctrico de los estudiantes: Control, estructuras y procesos. *Didacticae*, 5, 26-42. <https://doi.org/10.1344/did2019.5.26-42>
- Ministerio de Educación de Chile [MINEDUC]. (2024). *Propuesta de actualización de Bases Curriculares de 1º básico a 2º medio*. Ministerio de Educación. Unidad de Currículum y Evaluación.
- National Research Council [NRC]. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academic Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- 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/enencias.2648>
- Osborne, J., y Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections* (Vol. 13). The Nuffield Foundation.
- 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), 1-10. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_en-sen_divulg_cienc.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/enencias.5585>
- Soto, M., Cuellar, L., Ariza, Y., Marzábal, A., y Merino, C. (2023). La enseñanza y aprendizaje de las ciencias basadas en modelos y el rol mediador de las tecnologías. En Cristian Merino (editor). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias con tecnologías* (pp.13-35). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Soto, M., y Porflitt, F. (2024). Resultados de una intervención orientada a la modelización entre Física-Música en formación inicial docente. *Revista Iberoamericana de Educación*, 94(1), 115-136. <https://doi.org/10.35362/rie9415937>
- 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i3.3601
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Schwartz, Y., Hug, B., y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Tena, È., y Couso, D. (2023a). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de Investigación Basada en Diseño. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 20(2), 8977. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2801
- Tena, È., y Couso, D. (2023b). El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 101-123. <https://doi.org/10.5565/rev/enencias.5573>
- Téllez-Acosta, M. E., Achér, A., y McDonald, S. P. (2023). Pre-service elementary teachers learning to plan modeling-based investigations. *Journal of Science Teacher Education*, 35(3), 276-301. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2023.2256563>
- Vergara, C., López Simó, V., y Couso, D. (2020). Revisiting the landscape roaming metaphor to understand students' ideas on mammals' and birds' thermal regulation. *Journal of Biological Education*, 56(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1748894>
- Vergara, C. (2022). *Análisis del discurso docente en actividades de modelización sobre fuerzas y movimiento*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Vilchez, J. M., y Perales, F. J. (2017). El diseño de unidades didácticas en la formación inicial de profesores de ciencias: validación de una rúbrica. *Perspectiva Educacional*, 57(1), 70-98. <https://doi.org/10.4151/07189729-Vol.57-Iss.1-Art.642>
- Zembal-Saul, C. (2018). The role of teacher education in advancing reform in primary science education. En Y.-J. Lee, y J. Tan (Eds.), *Primary science education in East Asia: A critical comparison of systems and strategies* (pp. 229-241). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97167-4_12