



Construcción de un modelo sofisticado de energía en futuros docentes de física

Construction of a Sophisticated Model of Energy in Pre-service Secondary School Physics Teachers

Macarena Soto Alvarado

Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Educación, Santiago, Chile
macarena.soto@uc.cl

Digna Couso Lagarón

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Barcelona, España
digna.couso@uab.cat

RESUMEN • En esta investigación nos hemos centrado en analizar el nivel de sofisticación y tipo de modelo de energía que construyen futuros docentes de física (FD) chilenos a través de una secuencia de enseñanza y aprendizaje centrada en la modelización. Para ello, analizamos las producciones escritas de los FD en un momento inicial y final de la formación para identificar qué ideas sobre la energía experimentaban una mayor sofisticación en términos del modelo de energía objeto de enseñanza. Los resultados evidencian que los FD construyen un modelo de energía equilibrado en las ideas de naturaleza de la energía, transferencia y degradación, con un alto nivel de dominio. Sin embargo, se detectan dificultades en la comprensión de la idea de conservación de la energía. Estos resultados permiten reflexionar en torno a cómo superar estas dificultades en la formación docente y en la enseñanza de la energía en la escuela.

PALABRAS CLAVES: Energía; Formación inicial docente; Modelización; Modelo científico escolar.

ABSTRACT • In this research we have focused on analyzing the level of sophistication and the type of model of energy that pre-service secondary school physics teachers build through a teaching and learning sequence focused on modeling. In order to do this, we analyzed the written productions of pre-service secondary school physics teachers at an initial and final moment of their training in order to identify which ideas related to energy experienced greater sophistication in terms of the targeted model of energy. The results exhibit that most of the pre-service teachers build a balanced model of energy regarding the ideas of nature of energy, energy transfer and energy degradation, with a good command of these ideas. Nonetheless, difficulties are detected in the understanding of the idea of conservation of energy. These results allow us to reflect on how to overcome these difficulties in both teacher education and school energy teaching.

KEYWORDS: Energy; Pre-service teacher education; Modeling; School scientific model.

Recepción: noviembre 2021 • Aceptación: octubre 2022 • Publicación: junio 2023

Soto Alvarado, M. y Couso Lagarón, 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>

INTRODUCCIÓN

La energía es uno de los conceptos más relevantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias: está presente transversalmente en la mayoría de los currículos escolares y es una de las grandes ideas científicas que se pueden adquirir en la escolarización obligatoria (Doménech-Casal, 2018). La visión energética de los fenómenos, así como de sus conceptos asociados (transferencia, degradación y conservación) son algunos de los contenidos científicos más utilizados en situaciones de nuestra vida cotidiana por su capacidad de dar explicación a múltiples fenómenos de nuestro entorno (López y Pintó, 2012; Soto et al., 2017). Su comprensión puede ser útil para que el conjunto de estudiantes desarrolle razonamientos científicos y puedan predecir, opinar y tomar decisiones fundamentadas sobre problemáticas socialmente relevantes para la formación de ciudadanos (García-Carmona y Criado, 2010; López-Simó y Couso, 2022; Marzábal et al., 2021).

Dada la potencialidad de aplicar una visión energética de los fenómenos, muchas investigaciones en didáctica de las ciencias han explorado los procesos de construcción del modelo de energía, y han identificado complejidades intrínsecas que obstaculizan su aprendizaje. Estas complejidades se pueden asociar principalmente a la polisemia del concepto de energía (Doménech-Casal, 2018; López y Pintó, 2012), a las múltiples concepciones alternativas de estudiantes, profesores y textos escolares (Doménech-Casal, 2018; Doménech et al., 2013; Pintó et al., 2005) y al reduccionismo conceptual evidenciado en algunos currículos, como es el caso del chileno, en el que la enseñanza de las ideas relacionadas con la energía se reducen a la criticada (Millar, 2005) noción de «transformación de energía» (Soto, 2019; Soto et al., 2019).

Considerando la relevancia del modelo de energía y las dificultades del estudiantado para construir adecuadamente este modelo, el rol del profesorado es clave para su desarrollo en el contexto escolar. Sin embargo, algunas evidencias muestran que el profesorado en formación y en ejercicio aborda con superficialidad este modelo en sus clases (Doménech et al., 2013). Trabajos previos prueban que, en general, el estudio de la energía se centra básicamente en la idea de transformación y conservación (Doménech et al., 2013), lo que evidencia la necesidad de un mayor conocimiento didáctico del contenido sobre el tema. De hecho, las ideas asociadas a la transferencia y degradación de la energía que la literatura considera adecuadas no suelen formar parte de la enseñanza de la energía (Millar, 2005), siendo la degradación de la energía una de las ideas del modelo más difíciles de comprender por el profesorado en ejercicio (Pintó et al., 2005). En ese contexto podemos decir que tanto libros de texto y materiales didácticos, así como docentes, suelen comunicar una visión de la energía incompleta y alejada de los fenómenos cotidianos, como el consumo de combustibles o la crisis energética, que son imposibles de explicar por medio de la idea de conservación de la energía (López et al., 2019; Solbes y Tarín, 1998).

Los antecedentes presentados justifican la importancia de contar con docentes que hayan construido un modelo científico escolar de energía lo suficientemente sofisticado (coherente con el modelo científico y sensible al conocimiento didáctico sobre el tema) y que posibilite su quehacer docente en la etapa de 12 a 16 años. Para ello, en este estudio exploraremos qué modelos de energía construyen docentes de Física en formación en Chile y en qué nivel de desarrollo conceptual se encuentran respecto a las ideas científicas del modelo escolar de energía objeto de enseñanza y aprendizaje. El contexto del estudio es la participación de los futuros docentes en una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) diseñada iterativamente y centrada en la modelización.

MARCO TEÓRICO

Modelo científico escolar de energía

El concepto de modelo está cargado de polisemia en el ámbito de la enseñanza de las ciencias (Oh y Oh, 2011). En didáctica de las ciencias se usa la idea de modelo científico generalmente para referirnos a una representación simplificada y parcial de objetos, procesos o fenómenos que usamos para describirlos, predecirlos, interpretarlos o explicarlos (Oh y Oh, 2011). Desde la mirada semanticista (Adúriz-Bravo, 2012), un modelo científico puede servir como intermediario entre la teoría que queremos que el estudiantado aprenda y el mundo de los fenómenos que deseamos que modelice.

Desde la perspectiva de la actividad científica escolar (ACE), los modelos científicos escolares (MCE) son las versiones escolarmente adecuadas de los modelos científicos (de la ciencia erudita) que son objeto de enseñanza y aprendizaje (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Hernández et al., 2015). Estos MCE son de naturaleza conceptual o teórica e incluyen las ideas científicas más abstractas y centrales de las disciplinas que se pueden aplicar a multitud de fenómenos. Por ejemplo, el MCE del sistema solar no es una maqueta o simulación del sistema solar, sino las ideas científicas que esa maqueta o simulación ponen en juego para que el alumnado pueda aprenderlas. Además, un MCE central, como el de ser vivo, no solo se aplica a la diversidad de seres vivos, sino que permite, a su vez, construir otros MCE útiles, como el de mamífero o el de bacteria. Desde esta perspectiva, los MCE centrales para la alfabetización científica de la ciudadanía son pocos, pero muy potentes (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Marzábal et al., 2021), ya que permiten construir diversos MCE de utilidad al aplicarse a diferentes conjuntos de fenómenos y se corresponden con las formas de mirar los fenómenos de las disciplinas (Couso, 2020).

En relación con la construcción de un MCE central de energía, es importante mencionar que han existido diversos enfoques sobre cómo conceptualizar la energía en el contexto escolar, desde propuestas que invitan a abordar la energía como una especie de sustancia cuasi material, como la capacidad de realizar un trabajo o como la capacidad de producir cambios, las cuales han sido reportadas en revisiones realizadas por diversos investigadores (por ejemplo, López y Pintó, 2012; Doménech-Casal, 2018). Sin embargo, estos enfoques han mostrado ciertas inconsistencias que han obstaculizado la comprensión del modelo energético (Doménech et al., 2013). Con la intención de superar estas limitaciones, Ogborn (1986) propone centrar la enseñanza de la energía en los *energy related concepts* o conceptos asociados a la energía, es decir, en las ideas de transferencia, conservación y degradación de la energía. Esta propuesta, compartida por varios autores tanto en el ámbito internacional como en nuestro contexto (Doménech et al., 2013; Doménech-Casal, 2018; López y Pintó, 2012; Millar, 2005, 2015; Soto et al., 2019), ha sido foco de interés por la coherencia que muestra con la ciencia, su capacidad de uso en la explicación de un amplio abanico de fenómenos de forma competencial y por ser una visión útil para estudiantes de 12 a 16 años (Soto et al., 2019).

Inspirándonos en la propuesta de Ogborn (1986), López y Pintó (2012) y López-Simó y Couso (2022), en la tabla 1 presentamos las principales ideas que componen el MCE de energía que promovemos en esta investigación.

Tabla 1.
Ideas que componen el MCE de energía

Naturaleza de la energía	La energía está asociada al estado/configuración de un sistema. Cuando varía el estado de un sistema varía la energía que le asociamos al sistema.
Transferencia de la energía	Todo cambio en el estado/configuración de un sistema o parte de un sistema que conlleva un aumento de la energía lleva asociado otro cambio en el estado/configuración de otro sistema o parte de sistema en el que disminuye la energía (y viceversa). A esto le llamamos transferencia de energía. Estas transferencias pueden realizarse mediante los mecanismos de trabajo o calor, que no son equivalentes en cuanto a su capacidad de transferir energía útil.
Degradación de la energía	La energía se degrada irreversiblemente perdiendo la capacidad para generar nuevos cambios, disminuyendo así la energía útil de un sistema.
Conservación de la energía	La energía total de un sistema se conserva en sistemas totalmente aislados, mientras que en los no aislados no se conserva.

Evolución del modelo de energía a través de la modelización

En su razonamiento espontáneo, los y las estudiantes usan ideas de un modelo de energía propio que no siempre son coherentes con el MCE de energía objeto de aprendizaje. Sin embargo, a través de la enseñanza, estas ideas se pueden ir sofisticando. Desde la perspectiva de desarrollo conceptual, diremos que los y las estudiantes aprenden cuando sus ideas evolucionan desde versiones más sencillas a más elaboradas, aproximándose cada vez más a las ideas del MCE objeto de aprendizaje (Couso, 2014).

La forma en la que los modelos del alumnado se crean y se van sofisticando se denomina modelización. Modelizar, en una primera acepción (Oliva, 2019), hace referencia a la construcción de modelos por parte de los propios estudiantes y a su progresión al interactuar con el mundo y con los demás. Al modelizar, los modelos del alumnado se proponen y refuerzan de acuerdo con su grado de ajuste al mundo, se ponen en duda en caso de desajustes y se refinan para adaptarse mejor a la realidad y conforme a nuevas ideas. En este proceso, los modelos de los y las estudiantes pueden evolucionar a modelos más cercanos al MCE objeto de aprendizaje mediados por el andamiaje docente. Esta visión de modelización como progresión de modelos es el principal foco de este artículo, orientado a establecer niveles de sofisticación de cada una de las ideas del MCE de energía del que dieron evidencia los futuros docentes (FD desde ahora).

Modelización también tiene otras acepciones. Desde nuestra perspectiva, y siguiendo a Oliva (2019), consideramos la modelización como una práctica científica clave que, junto con la indagación y la argumentación, conforman las esferas de actividad de la ciencia erudita en la que el alumnado debería participar en la ciencia escolar (Osborne, 2014). Es decir, modelizar es una práctica en la que el alumnado debe involucrarse no solo para aprender contenidos conceptuales (los MCE clave ya mencionados), sino también para aprender a modelizar y conocer más sobre la modelización (Schwarz et al., 2009). Desde el marco ACE, esto implica participar en actividades de carácter dialógico, en las que se promueve que el alumnado haga, hable y piense de manera similar o análoga a la usada en la ciencia para construir sus explicaciones personales de los fenómenos del mundo (Izquierdo et al., 1999). En nuestra investigación, esta idea implica que los FD experimenten en su formación, en primera persona, la participación en prácticas científicas auténticas que impliquen la construcción, uso y revisión de un modelo de energía no solo para aprender este modelo, sino también para aprender a modelizar y a reconocer el papel de la modelización en la ciencia y en el aprendizaje de las ciencias.

Reconocer la importancia de la modelización en el desarrollo conceptual (véase el aprendizaje de un *tema* como la mejora de los modelos del alumnado relevantes en este) y como práctica central de la ciencia (la modelización en cuanto que una de las formas en las que la ciencia genera y avanza su conocimiento) tiene también influencia en las propuestas didácticas (es decir, la manera en la que se

enseña y aprende tanto los modelos relevantes como a modelizar y sobre modelización). Así, siguiendo a Oliva (2019), consideramos la enseñanza y aprendizaje basado en la modelización un enfoque didáctico privilegiado para el aprendizaje de modelos y para la apropiación de y reflexión sobre la práctica de la modelización. La idea tras el enfoque de enseñanza y aprendizaje centrado en la modelización, a diferencia de otros enfoques únicamente interesados por los modelos, es que pasamos de una enseñanza y aprendizaje centrados en los productos de la ciencia a un enfoque enfocado a la participación activa en los procesos científicos (Duschl y Grandy, 2012).

Varios autores han analizado el proceso de modelización y han propuesto ciclos de instrucción centrada en la modelización para favorecer este proceso de construcción de modelos en el aula (por ejemplo, Garrido Espeja, 2016; Hernández et al., 2015; Schwarz et al., 2009).

En esta investigación nos alineamos con el ciclo propuesto en la tesis de Garrido Espeja (2016) y actualizado en Couso (2020), en el que se define tanto cuál es la práctica de modelización que se quiere promover en los alumnos en cada una de las fases como la situación didáctica que el profesorado debería plantear en clase para alcanzar el objetivo didáctico de modelización en los y las estudiantes. Este ciclo está compuesto por seis fases de instrucción que se describen en la figura 1.

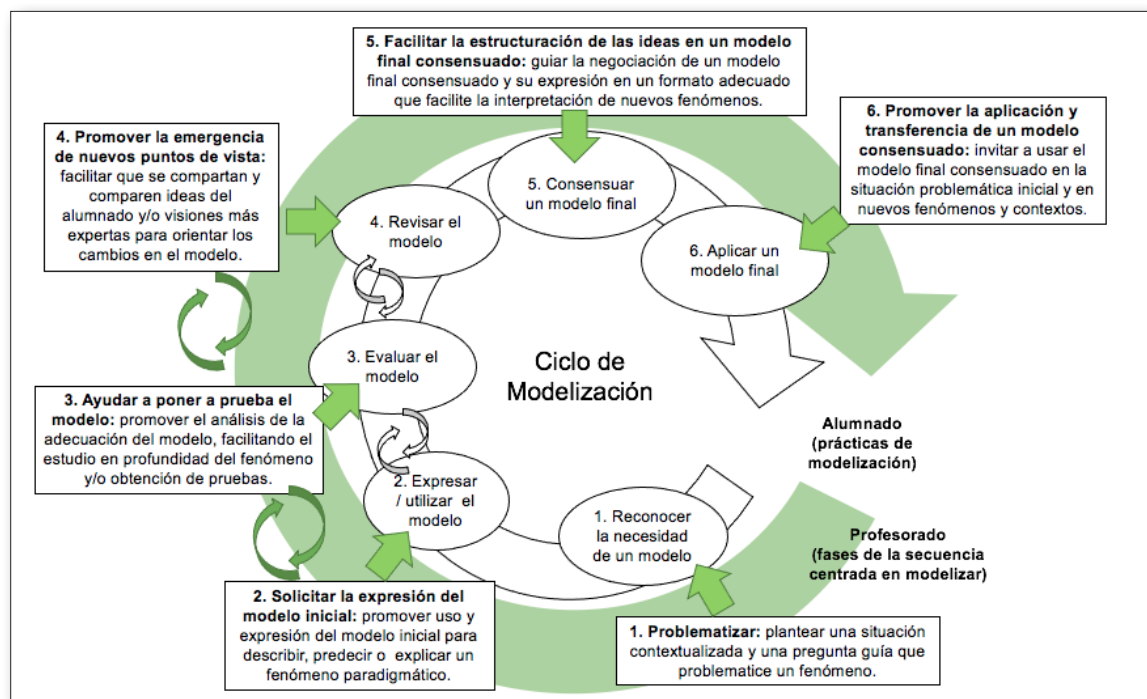


Fig. 1. Ciclo de modelización propuesto por Garrido Espeja (2016) y actualizado en Couso (2020).

Pese a la relevancia de la construcción de modelos, la experiencia muestra que el uso de la modelización no es habitual en las aulas de nivel medio y superior y que incluso es más escasa en las etapas iniciales de la educación obligatoria (Acher et al., 2007). Algunos de los principales motivos son la resistencia del profesorado de ciencias a superar los modelos tradicionales de enseñanza y aprendizaje basados en la transmisión de conocimientos (Bonil y Márquez, 2011). También la poca coherencia que existe entre la enseñanza que se brinda en la formación inicial de docentes (FID) de ciencia frente a cómo esperamos que enseñen en el aula escolar a sus estudiantes (Martínez-Chico et al., 2015), así como las limitaciones y los desafíos observados en el profesorado respecto a sus visiones sobre modelos y modelización cuando han intentado incorporarlas en sus aulas (Jiménez-Tenorio et al., 2016).

La transición hacia una visión contextualizada de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias sigue siendo un desafío en la FID. Es por ello por lo que se requiere identificar y caracterizar estrategias efectivas que promuevan la modelización. Algunos estudios han explorado estrategias que promoverían la transformación de las creencias, los conocimientos y las prácticas de los FD de ciencias (por ejemplo, Schwarz et al., 2009; Martínez-Chico et al., 2014). Entre estas estrategias, ha mostrado potencial el modelamiento de los enfoques de enseñanza. Es decir, el hecho de proporcionar oportunidades a los FD mientras experimentan en primera persona los enfoques de enseñanza que se espera que ellos posteriormente utilicen en el aula. Por estos motivos, resaltamos la relevancia de fomentar la modelización en la FID de ciencia, ya que a través de este proceso los FD podrán construir modelos más coherentes con los MCE, podrán entender el valor, la utilidad y las limitaciones de los modelos y la modelización (Aragón et al., 2014), y podrán analizar su posible uso en sus futuras clases.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Sobre la base de los antecedentes presentados, nos hemos planteado la siguiente pregunta de investigación:

1. ¿Qué modelo de energía tienen los futuros docentes de física al inicio y al final de una SEA centrada en la modelización y orientada a construir un MCE de energía?

METODOLOGÍA

Contexto de la investigación y diseño de la SEA

Esta investigación es de tipo cualitativa-interpretativa, con un enfoque de estudio de caso exploratorio (Yin, 2003) y una perspectiva práctica, ya que los resultados tienen como finalidad incidir en la mejora de una asignatura de una carrera de FID de física de una universidad chilena. Mediante el estudio de caso se busca identificar características distintivas en este contexto de FID específico. Decidimos integrar una visión cuantitativa de las representaciones y un análisis cualitativo de los datos sin realizar análisis estadísticos por el tamaño reducido de nuestra muestra.

Para identificar el modelo de energía de los FD en un momento inicial y final de la SEA centrada en la modelización de un MCE de energía, fue necesario acceder a sus producciones escritas. Tomamos como casos a los 22 FD que cursaban dicha asignatura en esta carrera universitaria. Estos participantes cursaban segundo año de formación, sus edades fluctuaban entre los 19 y los 24 años y, como desafortunadamente ocurre con frecuencia entre el profesorado en formación de secundaria de la especialidad de física en este contexto, predominó la presencia del sexo masculino en la muestra (18 hombres frente a 4 mujeres).

La SEA diseñada se compuso por 4 sesiones de 180 minutos cada una de ellas, y cada sesión siguió la lógica del ciclo de modelización de la figura 1 aplicado a la construcción de las ideas del MCE de energía descrito en la tabla 1. El esquema de la SEA utilizada, publicada en Soto (2019) y Soto et al. (2021), se explica a continuación y se resume en la figura 2.

La organización y secuenciación de las ideas del MCE de energía, para el diseño de la SEA, se basó en los resultados de las investigaciones de Soto et al. (2017) y Neumann et al. (2013) acerca de progresiones de aprendizaje para el modelo de energía. De acuerdo con lo anterior, decidimos en la primera sesión promover la construcción de la idea de naturaleza de la energía (ES). En la segunda y tercera sesión, invitar a la construcción de la idea de transferencia de energía (WQ), dedicando dos sesiones a este concepto para profundizar en los mecanismos diferenciados de transferencia de energía

por calor (Q) y trabajo (W) y brindar un abordaje de los fenómenos desde una mirada macroscópica y microscópica. En la cuarta sesión decidimos promover en conjunto las ideas de degradación (D) y conservación de la energía (C), considerando que la literatura reporta (por ejemplo, López y Pintó, 2012; Couso et al., 2005) la relación entre estas ideas, y sugiere que sean abordadas a la par para una comprensión adecuada de los fenómenos.

Para promover en la primera sesión la construcción de la idea ES , utilizamos el contexto de la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas con la intención de que los FD identificaran los diferentes estados/configuraciones del sistema y las posibilidades de cambios asociados a determinadas interacciones. Les presentamos distintas configuraciones (por ejemplo, agua a elevada temperatura, agua cayendo desde una altura, otro líquido más calórico cayendo desde una altura, etc.) para describir las características de los sistemas y asociar más o menos energía a los sistemas en función de su estado. También, les solicitamos calcular la cantidad de energía del sistema y escoger cuál era la configuración más apropiada para hacer girar con mayor rapidez una turbina en una central hidroeléctrica. Se esperaba que los FD identificaran que solo es posible medir variaciones de energía (por ejemplo, cambios de temperatura o de rapidez) y no el valor de la energía en términos absolutos en cada situación. A la vez, pedimos que identificaran que, aunque existan configuraciones a las que asociemos una mayor cantidad de energía, no necesariamente podremos aprovechar esa energía: por ejemplo, aunque el agua a elevada temperatura tenga asociada una mayor cantidad de energía que el agua a temperatura ambiente, esta configuración no es aprovechable para hacer girar con mayor rapidez una turbina, como sí lo es la diferencia de altura. Posteriormente, el diseño propone que los FD pongan a prueba sus modelos iniciales experimentalmente con un montaje que simula el funcionamiento de una central hidroeléctrica y con el análisis de los cambios que ocurren a lo largo de una cadena energética. De este modo, se pretendía que los FD centraran la mirada en las variables que aumentan o disminuyen en relación con un cambio y no en el habitual etiquetado de tipos de energía, que no permiten llegar a la comprensión del fenómeno (Soto et al., 2019).

En la segunda sesión, abordamos el análisis de los diferentes cambios en el estado/configuración de un sistema asociados a transferencias de energía por calor (Q) en el contexto de la aislación de los alimentos dentro de un bolso térmico. Propusimos analizar los cambios de unas partes del sistema a otras (análisis de cadenas energéticas) para promover que los FD centraran la atención en las transferencias de energía y no en los tipos de energías y sus transformaciones. Asimismo, las actividades pretendían que los FD identificaran la configuración/estado de un sistema antes y después de cada cambio, para evidenciar la naturaleza del cambio, en este caso, cambios de temperatura en las partes del sistema por la interacción de cuerpos a distintas temperaturas. Posteriormente, los FD ponían a prueba sus modelos iniciales experimentalmente identificando qué variables inciden en el proceso de transferencia de energía a través de calor (por ejemplo, la interacción de cuerpos aislantes y conductores, la interacción de cuerpos con una gran o menor diferencia de temperatura entre ellos, etc.).

En la tercera sesión, abordamos el análisis de los diferentes cambios en el estado/configuración de un sistema asociados a transferencias de energía por trabajo (W) en el contexto de choques de automóviles. Las actividades propuestas pretendían (al igual que la sesión recién descrita) que los FD identificaran la configuración/estado de un sistema antes y después de un cambio, para evidenciar la naturaleza del cambio, en este caso desplazamientos o deformaciones por acción de fuerzas. Los FD podían poner a prueba sus modelos iniciales experimentalmente e identificaban qué variables inciden en el proceso de transferencia de energía a través de trabajo (como la interacción de cuerpos de naturaleza más o menos deformable; la intensidad de la fuerza, etc.) para refinar sus modelos.

Finalmente, la cuarta sesión se enfocó en el análisis de cadenas energéticas para potenciar la construcción de las ideas D y C en el contexto del análisis del calentamiento y enfriamiento de un disco de frenos en el proceso de frenada de un automóvil (Soto et al., 2019). Se esperaba que los FD analizaran

el «camino de la energía» (Millar, 2015) asociado al proceso de frenada de un automóvil aplicando las ideas del modelo de energía construidas en las sesiones anteriores y que incorporaran las nuevas ideas del modelo. Para construir la idea D se promovió el análisis de una cadena energética en torno a la pregunta «¿de qué otras maneras se podría aprovechar la energía en cada etapa de la cadena de cambios?». Así, los FD podrían identificar la disminución de la calidad y utilidad de la energía a lo largo de un proceso y concluir que el aprovechamiento de energía no es siempre el mismo, depende de cómo se haya transferido la energía, y que la gama de nuevos cambios posibles se reduce en cada etapa. Por otra parte, para construir la idea C se planteó una analogía que consistía en que los FD imaginaran que podían seguir el camino de la energía durante el proceso de la frenada de un coche (asumiendo que disponían de 50 J iniciales) y podían ir etiquetando «cuánta energía» asociaban a cada parte del sistema en cada etapa. Los FD representaron posteriormente esta distribución de la energía en cada etapa de la cadena de cambios con vasos de agua y etiquetas (López y López, 2022). Se esperaba que esta actividad promoviera la discusión sobre «¿cómo está la energía?» y «¿cuánta hay en cada momento?», es decir, si está cada vez más distribuida en las distintas partes del sistema (la energía se disipa en el aire, la rueda, la mesa), y si en todas las etapas la suma total sigue siendo la inicial (50 J) (Soto et al., 2019).

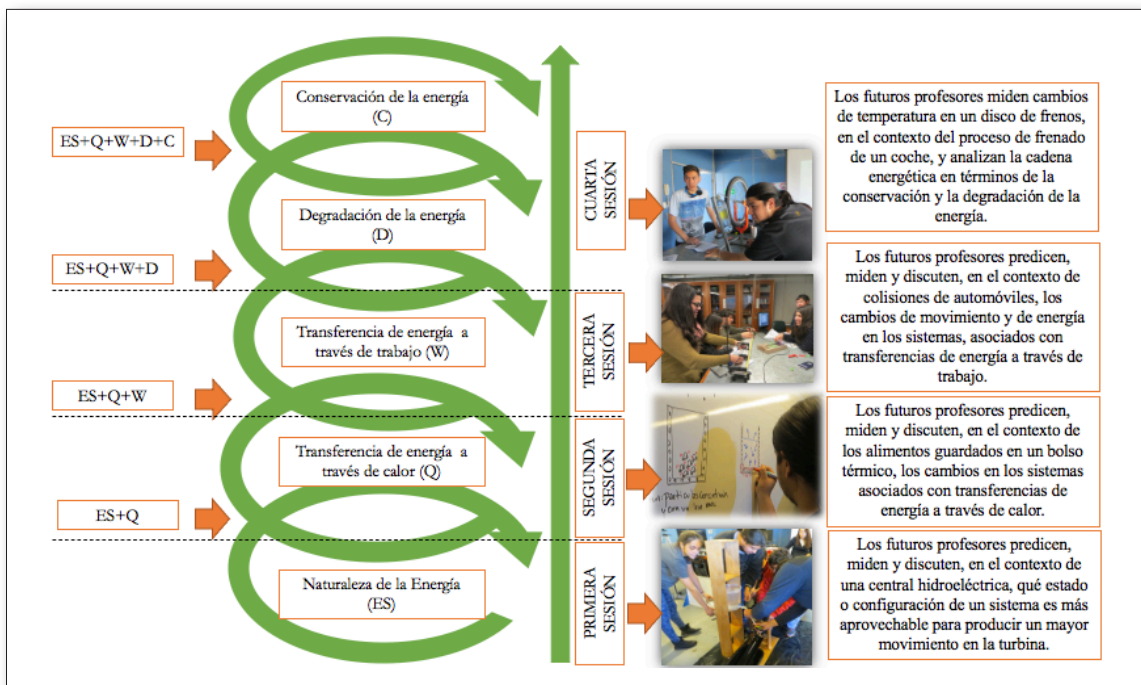


Fig. 2. Esquema de la SEA centrada en la modelización para la construcción del MCE de energía.

Recolección y análisis de datos

Los datos recolectados corresponden a las producciones escritas de los FD en el contexto de las sesiones descritas. A lo largo de cada sesión se propusieron preguntas distintas, pero substancialmente equivalentes, en las que los FD dieron explicación a cada uno de los fenómenos planteados utilizando alguna o todas sus ideas del modelo de energía. En la figura 3 se presenta el contraste entre las preguntas realizadas en un momento inicial y el final de la recolección de datos.

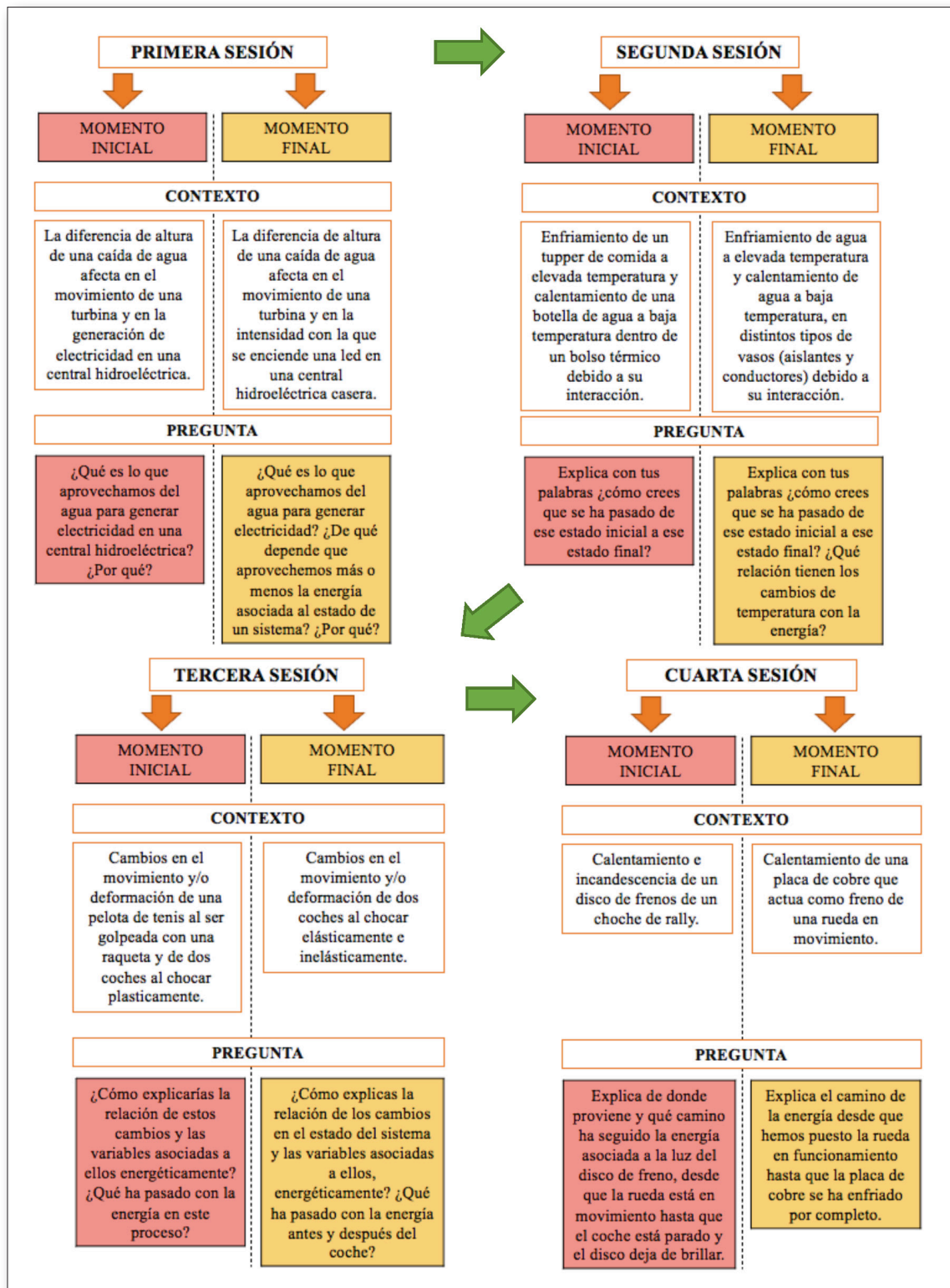


Fig. 3. Ejemplos de preguntas utilizadas para la recolección de datos.

A partir de las producciones de los FD y basándose en la literatura, planteamos categorías de análisis respecto a los estadios en los que se encontraban las diferentes ideas del modelo de energía que aplicaba el alumnado. Estos estadios fueron ordenados, para cada una de las ideas de modelo de energía, desde aquellas ideas menos sofisticadas y alejadas del MCE de energía (estadio 1) hasta aquellas más sofisticadas o coherentes con el MCE objeto de estudio (estadio 4) (véase tabla 2). Con estos estadios se pudo realizar un seguimiento de la evolución que experimentó cada una de las ideas del modelo de energía en un momento inicial y final para todos los FD participantes. Se pueden encontrar más detalles sobre cómo se construyeron estos estadios y ejemplos asociados a cada uno en el estudio de Soto (2019).

Tabla 2.
Estadios de cada idea del modelo de energía desde ideas menos sofisticadas (estadio 1) a ideas más coherentes con el MCE de energía (estadio 4)

<i>Estadio</i>	<i>Naturaleza de la energía</i>	<i>Estadio</i>	<i>Transferencia de la energía</i>
ES4	La energía se asocia al cambio de estado o configuración de un cuerpo o sistema.	WQ4	En los cambios la energía se transfiere de unos sistemas o partes del sistema a otros, con trabajo y calor.
ES3	La energía se asocia al estado del sistema.	WQ3	La energía se transfiere de unos sistemas o partes del sistema a otros, identificando aspectos relacionados con el trabajo o calor.
ES2	La energía está en los sistemas y causa su estado.	WQ2	La energía se transfiere de unos sistemas o partes del sistema a otros. Pueden mencionar que el dispositivo potencia la transferencia.
ES1	La energía está en los objetos.	WQ1	La energía se transforma de un tipo a otro. También pueden señalar que el calor, las fuerzas o la temperatura son las que se transfieren.
		WQ0	Los cambios se producen por agentes mecánicos como la fricción.
<i>Estadio</i>	<i>Degradación de la energía</i>	<i>Estadio</i>	<i>Conservación de la energía</i>
D4	La energía se degrada a medida que un sistema va perdiendo capacidad para generar nuevos cambios. Cuando la energía se degrada, la utilidad de esta disminuye.	C4	La cantidad de energía total se conserva, de manera que la energía que gana o pierde un sistema siempre corresponde a la pérdida o ganancia de energía de otro sistema o del entorno.
D3	La energía cada vez es menos aprovechable para generar nuevos cambios, porque se ha disipado.	C3	La cantidad de energía total se conserva, pero no se identifican la pérdida o ganancia de otro sistema.
D2	No identifica el aprovechamiento, solo menciona que la energía se disipa.	C2	La cantidad de energía total no se conserva, debido a que se disipa a lo largo de los cambios.
D1	No identifica que el aprovechamiento es menor a lo largo de una cadena energética.	C1	La cantidad de energía total no se conserva. Pueden mencionar que se gasta o pierde.

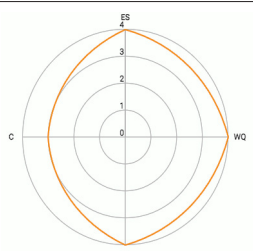
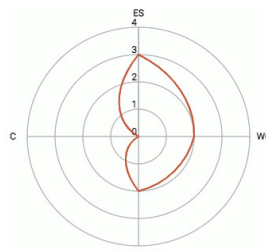
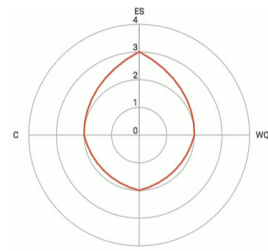
Para comparar los modelos de energía usados por los FD, realizamos un segundo análisis de los datos y se codificó el tipo de modelo y el grado de sofisticación del modelo de energía de cada FD sobre la base de unas categorías construidas *ad hoc*. Así, definimos los niveles alto, medio, básico y bajo de sofisticación de las ideas del modelo de energía de los FD, los cuales se complementaron con categorías que nos permitieron caracterizar la tipología del modelo: equilibrado, incompleto y altamente incompleto.

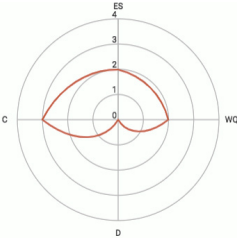
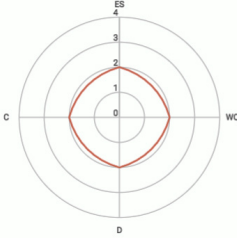
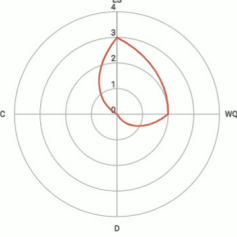
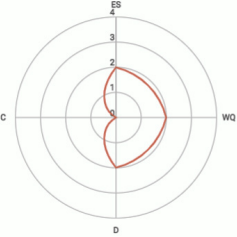
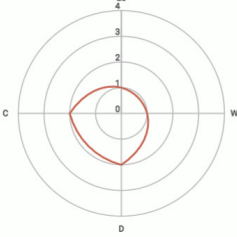
En la tabla 3 definimos estas categorías y las acompañamos con ejemplos de los FD, los cuales fueron representados a través de unas gráficas radiales que dan a conocer las ideas del modelo de energía en los ejes coordenados. En la parte superior del eje de las ordenadas representamos la idea de naturaleza de la energía (ES); en la parte inferior de este, la idea de degradación de la energía (D). A la derecha del eje de las abscisas representamos la idea de transferencia de la energía (WQ), y a la izquierda de este, la idea de conservación de la energía (C). La numeración en los ejes representa el estadio de cada idea en el que se sitúan las producciones de los FD.

Las gráficas construidas para cada FD en un momento inicial y final caracterizan los modelos de energía de los FD desde dos puntos de vista. Por una parte, el nivel de sofisticación de las ideas del modelo de energía se observa a través de la amplitud de la representación gráfica: modelos de más nivel de sofisticación se representarían con figuras más grandes. Por otro lado, el tipo de modelo se observa a través de su forma: modelos más equilibrados y completos que incluyen todas las ideas del MCE se representan con formas más regulares y redondeadas.

Es importante mencionar que los niveles de sofisticación y tipos de modelos son categorías independientes y se pueden dar variadas combinaciones entre ellas. Por ejemplo, un FD podría evidenciar un nivel de sofisticación alto, medio, básico o bajo y presentar un tipo de un modelo equilibrado, mientras que otro FD podría dar evidencias de un nivel medio o básico y presentar un tipo de modelo incompleto. Asimismo, hay combinaciones que no son viables.

Tabla 3.
Nivel de sofisticación del MCE de energía, tipo de modelo y ejemplos asociados

<i>Ejemplos de respuestas de los FD</i>			
Nivel de sofisticación de las ideas del MCE de energía	Tipo de modelo		
Alto: Los FD demuestran un nivel alto de sofisticación de las ideas del modelo energético cuando en sus producciones usan todas las ideas del modelo de energía y dos o más ideas se encuentran en los estadios 3 o 4.	No es posible esta combinación	No es posible esta combinación	 <p>A1. Nivel alto y modelo equilibrado</p>
Medio: Los FD demuestran un nivel medio de sofisticación de las ideas del modelo energético cuando sus producciones indican que una o dos ideas del modelo de energía se encuentran en los estadios 3 o 4. El resto de las ideas se hallan en estadios inferiores o en algunos casos se observa que los FD obvian una idea del modelo.	No es posible esta combinación	 <p>A15. Nivel medio y modelo incompleto</p>	 <p>A11. Nivel medio y modelo equilibrado</p>

<i>Ejemplos de respuestas de los FD</i>			
<p>Básico: Los FD demuestran un nivel básico de sofisticación de las ideas del modelo energético cuando sus producciones señalan que dos o más ideas del modelo no superan el estadio 2. Algunos FD pueden también no mencionar una idea del MCE de energía.</p>	<p>No es posible esta combinación</p>	 <p>A12. Nivel básico y modelo incompleto</p>	 <p>A4. Nivel básico y modelo equilibrado</p>
<p>Bajo: Los FD demuestran un nivel bajo de sofisticación de las ideas del modelo energético cuando sus producciones prueban que las ideas del modelo de energía no superan el estadio 2 o cuando no mencionan dos o más ideas del MCE de energía.</p>	 <p>A9. Nivel bajo y modelo altamente incompleto</p>	 <p>A10. Nivel bajo y modelo incompleto</p>	 <p>A5. Nivel bajo y modelo equilibrado</p>
	<p>Altamente incompleto: Los FD demuestran un modelo altamente incompleto de la energía cuando en sus producciones no mencionan dos o más ideas del modelo de energía.</p>	<p>Incompleto: Los FD demuestran un modelo de energía incompleto cuando en sus producciones evidencian un cierto dominio de tres ideas del MCE de energía y no mencionan una de ellas.</p>	<p>Equilibrado: Los FD demuestran un modelo equilibrado de la energía cuando en sus producciones evidencian un cierto dominio de todas las ideas del MCE de energía.</p>

Los procesos de análisis de las respuestas de los FD descritos anteriormente fueron inicialmente realizados por las investigadoras principales y posteriormente puestos a prueba a través de una triangulación con investigadoras externas al estudio.

RESULTADOS

Niveles de sofisticación del MCE de energía de los FD

En la tabla 2 presentamos los estadios del modelo de energía que nos permitieron identificar cuántos FD se situaron en cada estadio para cada idea del MCE de energía en un momento inicial y final. Estos resultados fueron comunicados en Soto et al. (2021) y sobre la base de estos realizamos un segundo análisis utilizando las categorías de la tabla 3, que nos permitieron contrastar los FD entre sí a través de la categorización de su nivel de sofisticación y tipo de modelo. Estos resultados son los que presentamos a continuación.

Respecto al nivel de sofisticación del MCE de energía de los FD, identificamos que en un momento inicial ninguno de ellos da evidencias en sus producciones de un nivel alto de sofisticación de las ideas del MCE, por lo que se interpreta de sus explicaciones una sofisticación básica (11) o baja (8). Es decir, sus producciones muestran que la mayor parte de las ideas de sus modelos no superan el estadio de sofisticación 2 o que incluso no mencionan aspectos de dos o más ideas del modelo, respectivamente.

En este momento inicial se aprecian, sobre todo, limitaciones en el nivel de sofisticación de las ideas de conservación y degradación de la energía.

En el análisis del nivel de sofisticación del MCE de energía en un momento final, la situación cambia drásticamente considerando que 17 de los FD dan evidencia de un nivel de sofisticación alto y 5 de ellos de un nivel medio de sofisticación del MCE energético. Es decir, la mayor parte de sus ideas se encuentran en los estadios 3 o 4 o solo manifiestan dificultades en la construcción de una idea del modelo, respectivamente. En la figura 5 se puede observar el contraste del nivel de sofisticación del MCE de energía entre el momento inicial (a la izquierda de la gráfica) y final (a la derecha de la gráfica).

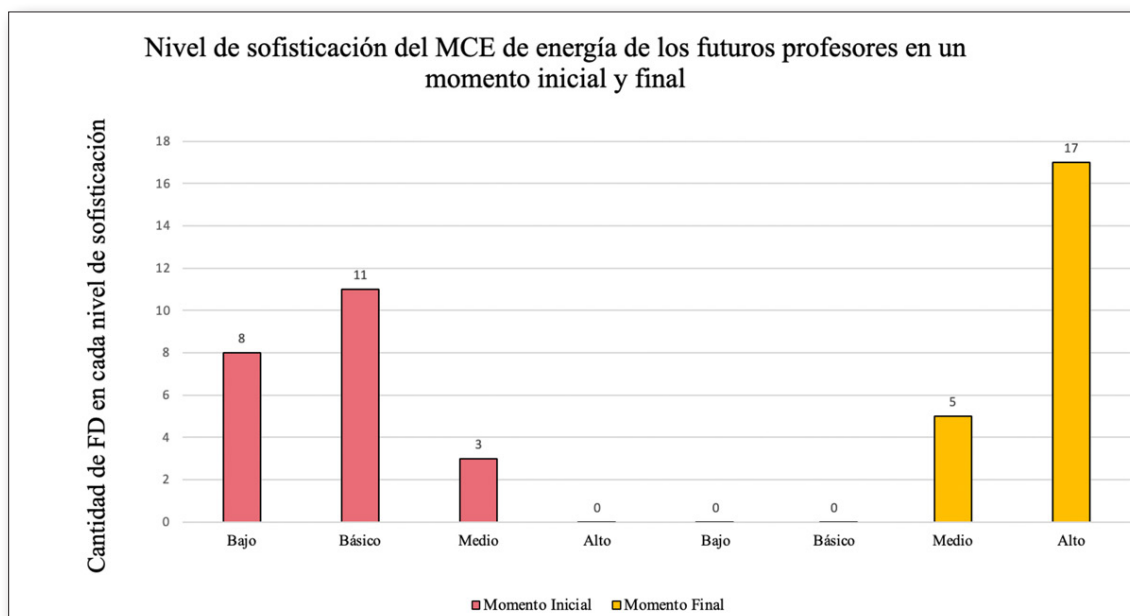


Fig. 5. Contraste del nivel de sofisticación del MCE de energía en el momento inicial y final.

Analizando en detalle qué ocurrió con la sofisticación de cada una de las ideas del MCE de energía, observamos que la idea de naturaleza de la energía comenzó siendo muy sofisticada en las producciones de los FD, tal como se puede apreciar en la respuesta de A1:

Asocio el estado de reposo y movimiento como variables que influyen directamente en la energía; la velocidad la relaciono con energía cinética; las partículas del agua están en un movimiento constante y exaltado y la temperatura se relaciona con la energía de acuerdo con la capacidad calorífica de los cuerpos.

Y finalizó siendo aún más sofisticada: «Representa a nivel macro la variación de energía de acuerdo con la altura, respecto al sistema de referencia. Existe una relación continua delimitada por un sistema de referencia, es decir, la energía depende directamente del estado del sistema». En ese sentido, esta idea no experimentó una gran evolución. Esto lo atribuimos, principalmente, al diseño de las actividades planteadas, ya que promovían pensar y discutir explícitamente desde los inicios de la SEA en torno a cómo estaban los sistemas, qué características tenían o qué variables físicas se les podían asociar a lo largo de una cadena energética, lo que orientó a los FD a alejarse de la idea intuitiva de concebir la energía como una sustancia perteneciente a los cuerpos.

En cuanto a la idea de transferencia de la energía, observamos que en un momento inicial de la SEA algunos de los FD explicaban los fenómenos en términos de transformaciones de energía (A12: «La energía se transforma en cada cambio y se manifiesta de distinta manera») o tipos de energía, sin

incluir una visión de transferencia de energía entre partes de un sistema y asociada a los cambios que experimentan estas partes del sistema. Sin embargo, al proponer actividades que explícitamente promovían pensar en términos de cambios en los estados de un sistema e intentar reconocer la naturaleza de estos cambios, es decir, si se generaban por la acción de fuerzas que provocaban desplazamientos/deformaciones o si se generaban por la interacción de cuerpos a distintas temperaturas, los FD fueron incorporando las nociones de transferencia de la energía entre partes de un sistema y posteriormente asociaron estos cambios a transferencias de energía a través de trabajo o calor:

A12: La temperatura ambiente no afectaría en el cambio de la energía que ocurre en el interior. En el interior hay una transferencia de energía en pro del equilibrio térmico, el tupper cede energía a la botella de agua y el yogurt (...) La energía se ha transferido a través del choque; el trabajo realizado por el tenista permite golpear la pelota y transferirle energía.

Esta idea fue la que experimentó una mayor evolución y todos los FD finalizaron la SEA reconociendo al menos uno de los dos mecanismos de transferencia de energía. Sin embargo, el mecanismo de trabajo fue el que presentó mayores dificultades, al ser considerado por algunos FD como una forma de disipación de la energía, tal como lo han corroborado otros estudios (Pintó et al., 2005).

Por otra parte, la idea de degradación de la energía es otra de las ideas que experimentó una mayor evolución, pues la SEA promovió que todos los FD que la obviaban en un momento inicial comenzaran a mencionarla en sus explicaciones al final. Así, en la mayoría del alumnado, la sofisticación de esta idea alcanzó el estadio 3; es decir, llegaron a mencionar que la energía cada vez es menos aprovechable para generar nuevos cambios porque se ha disipado. En contraste, la idea de conservación de la energía fue poco mencionada por los FD, en un momento tanto inicial como final.

El aumento de respuestas que incluyen la degradación de la energía y no su conservación lo asociamos principalmente a la cotidianidad de la primera idea, pues es habitual convivir con fenómenos de degradación de la energía, así como con la asociación de energía a combustible, lo que nos puede llevar a pensar que la energía se pierde o gasta en todo proceso. Sin embargo, se observó que a partir del uso de analogías bien escogidas (Oliva y Aragón, 2009) durante la cuarta sesión de la SEA (actividad de etiquetado de vasos descrita anteriormente), los FD comenzaron a incluir la conservación de la energía en sus explicaciones:

A1: No toda la energía que se transfiere es útil y aprovechable para un mecanismo en particular. La energía útil depende del dispositivo, del estado del sistema y la función que le queremos dar. La energía es transferida a través de trabajo y es aprovechable y útil, mientras que al final ese calentamiento y enfriamiento por calor es inútil y poco aprovechable. En este caso el calentamiento y el enfriamiento representan disipaciones de energía. Por lo tanto, a lo largo del proceso, la cantidad de energía útil y aprovechable disminuye. Esta cantidad de energía sobrante se degrada, pero no se pierde. Solo es de menos calidad. Esta energía tiene a homogeneizarse según la naturaleza física de las cosas.

Estos resultados nos hacen valorar la importancia de seguir trabajando con los FD, en otras asignaturas, la idea de disminución de la energía útil, pues es la que permite explicar múltiples fenómenos socialmente relevantes hoy, como por qué la energía se está agotando o por qué hay un desperdicio de ella (Pintó et al., 2005, López-Simó y Couso 2022). Asimismo, es un reto buscar nuevos fenómenos paradigmáticos que requieran el uso de la conservación de la energía, y resulta necesario plantear preguntas explícitas en torno a esta idea, considerando que no surge espontáneamente en las explicaciones de los FD.

En la figura 6 presentamos dos ejemplos de la evolución de los modelos de energía aplicados por dos FD. El estudiante A1 experimentó una sofisticación desde un nivel básico hasta un nivel alto, pues en sus explicaciones todas las ideas del modelo de energía, pero principalmente la idea de degradación

de la energía, evolucionaron. Por otra parte, el estudiante A17 nos remite a aquellos FD que un momento final no alcanzaron el nivel de sofisticación alto por presentar dificultades en la comprensión de la idea de conservación de la energía.

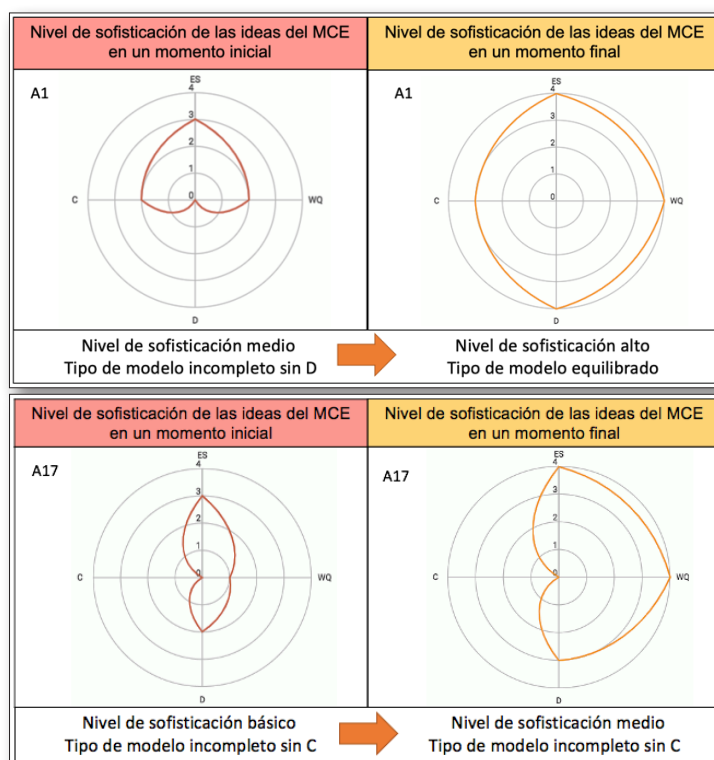


Fig. 6. Ejemplo de la evolución del nivel de sofisticación del MCE de energía del estudiante A1 y A17.

Tipo de modelo de energía de los FD

Respecto al tipo de modelo, en el análisis del momento inicial observamos que 5 de los FD dieron evidencias de un modelo equilibrado en el que todas las ideas del modelo de energía objeto de aprendizaje se mencionaban en estadios similares de sofisticación, manteniendo un patrón geométrico regular. En ese momento predominó el porcentaje de FD que dieron evidencia de un modelo incompleto que obviaba la conservación de la energía (8) y de un modelo altamente incompleto que obviaba dos o más ideas del modelo (6). También, 3 FD presentaron un modelo incompleto sin la degradación de la energía. En un momento final, esta situación cambió y predominaron los FD que dieron evidencia de un modelo equilibrado (17). Sin embargo, 5 de los docentes en formación presentaron un modelo incompleto que obviaba la conservación de la energía. En la figura 7 presentamos la comparativa entre los tipos de modelos iniciales y finales.

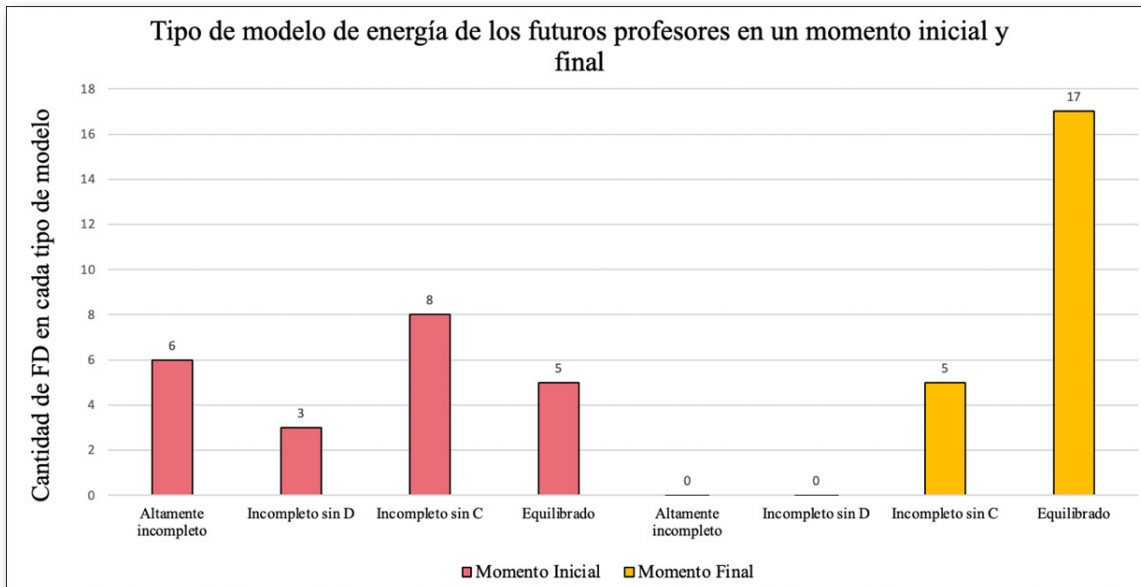


Fig. 7. Contraste del tipo de modelo de energía de los FD en un momento inicial y final.

En la figura 8 se puede observar al estudiante A4 con un modelo inicial y final equilibrado, pero con ideas más sofisticadas en un momento final. Y también podemos observar el cambio que experimentó A13 desde un modelo altamente incompleto hasta un modelo equilibrado.

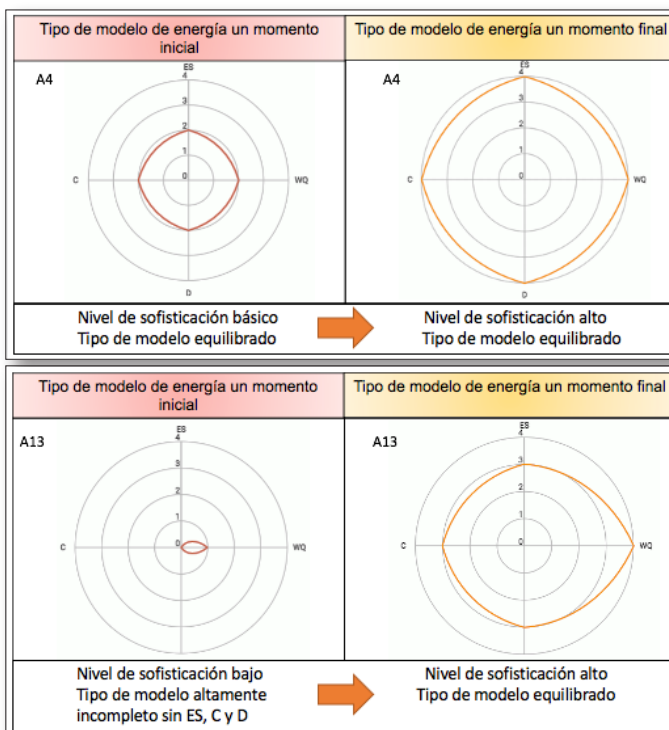


Fig. 8. Ejemplo del tipo de modelo en un momento inicial y final del estudiante A4.

CONCLUSIONES

La modelización es un enfoque didáctico relevante para la construcción del conocimiento científico, en particular los modelos científicos (escolares) (Oliva, 2019), y ofrece oportunidades a los estudiantes para aprender a hacer ciencia y comprender cómo funciona esta. En ese sentido, en este trabajo hemos aportado una breve secuencia didáctica modelizadora sobre energía, delimitando las ideas claves del MCE que se trabajan en dicha secuencia y hemos analizado cómo se han movilizado los modelos de energía de los FD de física al vivenciarla.

En términos generales, hemos visto que una SEA intencionadamente diseñada –en la que los FD puedan pensar, actuar y comunicar ante fenómenos paradigmáticos potentes; en la que se trabajen las ideas del modelo de energía en progresión; en la que se incluyan preguntas relevantes que requieran de la expresión y uso del modelo para interpretar los resultados y generar explicaciones sobre los fenómenos y en la que se promuevan discusiones en grupos pequeños para la revisión y consenso del modelo– permite la sofisticación de los modelos de energía de los FD y la construcción de un modelo equilibrado de energía. Esto aporta evidencias, tal como se ha reportado en otros estudios (por ejemplo, Garrido Espeja, 2016; Jiménez-Liso et al., 2021), de la relevancia del diseño para que los y las estudiantes puedan sofisticar sus modelos de forma autónoma, pero con el suficiente andamiaje.

Sin embargo, pese a que a lo largo de la SEA propuesta se incluían diversidad de contextos, una variedad de oportunidades de aprendizaje relacionadas con la modelización, y demandas cognitivas similares para cada idea, estas no fueron condiciones suficientes para desarrollar un MCE equilibrado y suficientemente sofisticado de energía. El desempeño del profesorado en formación reveló que las ideas de conservación y degradación de la energía son más abstractas y requieren otras oportunidades de aprendizaje. Esto señala la importancia de descomponer el MCE de energía en diferentes ideas que puedan abordarse juntas, pero también por separado para enfatizar aquellas que representan más dificultades (Soto et al., 2021). Asimismo, identificamos que, aunque los FD tengan en mente o incluso mencionen al comienzo de la SEA que «la energía se conserva» de forma rutinaria o memorística, estos no utilizarán esta idea para modelar su mundo (describirlo, predecirlo o explicarlo), si no encontramos situaciones que lo hagan necesario.

Por otra parte, consideramos fundamental que los FD puedan vivenciar procesos de modelización en primera persona, tal como también lo resaltan Martínez-Chico et al. (2014), y que en ellos puedan desarrollar ideas de energía más coherentes o cercanas a este MCE, pues así tendrán mayores posibilidades de seleccionar, adaptar y diseñar materiales educativos e implementarlos en el aula de manera que sus estudiantes superen algunas de las dificultades mencionadas en el marco teórico respecto a la energía.

Sin embargo, a través de nuestros resultados no podemos garantizar que los FD en sus próximas clases en el aula escolar enseñen con el modelo de energía construido a través de esta SEA modelizadora, incluso aunque muestren que valoran esta propuesta (Garrido et al., 2022). En ese sentido, consideramos necesario potenciar una metarreflexión durante la formación inicial de profesores que promueva una mayor clarificación conceptual y didáctica de la enseñanza de la energía (López et al., 2019), para que puedan mejorar sus versiones del modelo de energía, aprendan cómo enfocar didácticamente su enseñanza y pensar en nuevos fenómenos paradigmáticos para abordarla, y sepan cómo integrar las diferentes versiones del modelo en los diferentes niveles o áreas disciplinares en la escuela. Sin embargo, para el cumplimiento de esta tarea, también es necesario promover espacios de colaboración con la ayuda de los expertos (formadores de profesores) donde se puedan discutir las propias propuestas didácticas de los FD, refinar otros diseños didácticos y aportar nuevas ideas en discusiones productivas, para que los FD vayan desarrollando a lo largo de su formación su conocimiento pedagógico del contenido.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PGC2018-096581-B-C21) y llevada a cabo dentro del grupo de investigación ACELEC (2017SGR1399) y por el proyecto Fondecyt Iniciación n.º 11220317, financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) del 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/sci.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>
- Aragón M., Oliva-Martínez J. y Navarrete A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 337-356.
- Bonil, J. y Márquez, C. (2011). ¿Qué experiencias manifiestan los futuros maestros sobre las clases de ciencias?: Implicaciones para su formación. *Revista de educación (Madrid)*, (354), 447-472.
- Couso, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En *26EDCE. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1-28). Huelva: Servicio de Publicaciones Universidad de Huelva.
- 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. Refojo y J. A. Sacristán (Coords.), *Enseñando Ciencia con Ciencia*. Penguin Random House / FECYT & Fundación Lilly.
- Doménech-Casal, J. (2018). Concepciones de alumnado de secundaria sobre energía: una experiencia de aprendizaje basado en proyectos con globos aerostáticos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 36(2), 191-213.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2462>
- Doménech J., Limiñana R. y Menargues A. (2013). La superficialidad en la enseñanza del concepto de energía: una causa del limitado aprendizaje alcanzado por los estudiantes de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 3, 103-119.
- García-Carmona, A. y Criado, A. M. (2010). La competencia social y ciudadana desde la educación científica: una experiencia en torno al debate de la energía nuclear. *Investigación en la Escuela*, 71, 25-38.
- Duschl, R. A. y Grandy, R. (2012). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22, 2109-2139.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Garrido Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. 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>

- 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>
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science and Education*, 12, 27-43.
- Izquierdo M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(1), 45-59.
- Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J. y Baños, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(1), 5-25.
- Jiménez-Tenorio, N., Aragón-Nuñez, L., Blanco-López, A. y Oliva, J. M. (2016). Comprensión acerca de la naturaleza de los modelos por parte de profesorado de ciencias de secundaria en formación inicial. *Campo Abierto*, 35(1), 121-132.
- López-Simó, V. y Couso, D. (2022). Un currículo operativo con 10 ideas clave sobre energía para construir a lo largo de la escolaridad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3501.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3501
- López V., Ferres, D. y Couso, D. (2019). L'ensenyament sobre energia a Catalunya. Estat actual, necessitats detectades i reptes de futur. Institut Català d' Energia. https://icaen.gencat.cat/ca/detalls/publicacio/20200124_pub_EnsenyamentSobreEnergia
- López, V. y López, Ò. (2022). Modelitzem la transferència, degradació i conservació de l'energia amb gots d'aigua i una safata. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, (44), 21-27.
- López, V. y Pintó, R. (2012). Enseñar energía a secundaria. *Recursos de Física*, (1971), 1-9.
- 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: revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(3), 591-608.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>
- Martínez-Chico, M., Jiménez Liso, M. R. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 149-166.
- Marzábal, A., Delgado, V., Moreira Seguel, P., Merino Rubilar, 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(5), 109-126.
<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78135>
- Millar, R. (2005). *Teaching about energy Teaching about energy Teaching about energy*. University of York, Department of Educational Studies.
- Millar, R. (2015). La Enseñanza en materia de energía: desde los conocimientos cotidianos hasta la formación científica. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 80, 8-16.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J. y Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188.
<https://doi.org/10.1002/tea.21061>

- Ogborn, J. (1986). Energy and Fuel: The Meaning of «The Go of Things». *School Science Review*, 68(242), 30-35.
- Oh, P. y Oh, S. (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. y Aragón M. (2009). Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química. *Educación Química*, 20(1), 41-54.
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30006-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30006-5)
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias didácticas*, 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>
- Pintó R., Couso D. y Gutiérrez R. (2005). Using research on teachers' transformations of innovations to inform teacher education. The case of energy degradation. *Science Education*, 89(1), 38-55.
<https://doi.org/10.1002/sce.20042>
- Schwarz C., Reiser B., Davis E., 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>
- Solbes J. y Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(3), 387-397.
- 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*. Universitat Autònoma de Barcelona. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2019/hdl_10803_667161/mbsa1de1.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/Rev>
- Soto M., Couso D., López, V. y Hernández, M. I. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4º de ESO a través del diseño didáctico. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 90-106.
<https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2003>
- Soto, M., Couso, D. y Pintó, R. (2021). Modeling in Pre-service Secondary School Teacher Education: developing an School Scientific Model of Energy. *Journal of Physics: Conference Series* 1929(1), 012087. IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012087>
- Yin, R. (2003). *Case study research design and methods* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Construction of a Sophisticated Model of Energy in Pre-service Secondary School Physics Teachers

Macarena Soto Alvarado

Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Educación, Santiago, Chile
macarena.soto@uc.cl

Digna Couso Lagarón

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Barcelona, España
digna.couso@uab.cat

Energy is one of the most relevant concepts in the science teaching and learning process: it is present transversally in most science school curricula and is one of the greatest scientific ideas to be learned in mandatory schooling. Its understanding can be useful for students to predict, give their opinion and make informed decisions about socially relevant problems (López-Simó & Couso, 2022; Marzábal et al., 2021).

On account of its potential, several investigations have explored the construction processes of the model of energy, identifying intrinsic complexities that hinder its learning, some of which are: *a*) the polysemy/ambiguity of the concept of energy (López & Pintó, 2012); *b*) the multiple alternative conceptions of students, teachers and school texts (Doménech-Casal, 2018; Doménech et al., 2013; Pintó et al., 2005) and *c*) the conceptual reductionism evidenced in some curricula, in which the teaching of energy is reduced to the criticized notion of «energy transformation» (Millar, 2005; Soto et al., 2019).

The relevance of the model of energy and the difficulties mentioned above led us to focus this research on the initial training of educators, considering that it is necessary for them to master a school scientific model of energy consistent with the scientific model and which enables their teaching to work in the 12-16 years-old stage. To do this, we explored which models of energy were constructed by pre-service physics teachers in Chile after participating in a teaching and learning sequence (TLS) focused on modeling. We consider modeling to be an essential scientific practice to build abstract school scientific models such as the model of energy. But, in addition, we consider that offering future teachers the possibility of experiencing modeling in the first person can allow them to learn how to do science and understand how it works, as well as favor the acquisition of tools that contribute to the development of their pedagogical content knowledge.

In general terms, the results showed that participation in scientific modeling practices through an intentionally designed TLS contributes to the sophistication of energy models of the pre-service teachers and to the construction of a balanced model of energy. However, despite the fact that diversity of contexts, variety of learning opportunities related to modeling, and similar cognitive demands were included throughout the proposed TLS in order to address each of the ideas of the model of energy, these conditions were not sufficient to develop a sophisticated and balanced SSM of energy in all students. The performance of pre-service teachers revealed that the ideas of energy conservation and degradation are more abstract and require other learning opportunities.

We consider it essential to promote opportunities for the construction of disciplinary knowledge in the initial training of science teachers, as we have done in this research. But it is also crucial to generate instances of explicit reflection with future teachers on the modeling process and the teaching and learning methodology they have experienced, in order to favor the transfer of this approach to the classroom.

