



Metamodelización en un aula de física universitaria: visiones del estudiantado sobre los modelos científicos

- Meta-modelling in a University Physics Classroom: Student Views on Scientific Models
- Meta-modelagem em uma sala de aula universitária de física: visões dos alunos sobre modelos científicos

Forma de citar este artículo:







Useche-Arciniegas, V. J., Rodríguez-Pineda, D. P. y Adúriz-Bravo, A. (2025). Metamodelización en un aula de física universitaria: visiones del estudiantado sobre los modelos científicos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (57), 11 - 31. <https://doi.org/10.17227/ted.num57-20151>

Resumen

Algunos resultados de investigación en didáctica de las ciencias dan a conocer que la incorporación de los modelos científicos en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias es escasa, más aún en la actividad científica escolar universitaria. Por ello, el objetivo de esta investigación es analizar el involucramiento del estudiantado de una clase de física universitaria en actividades de meta-modelización, dirigidas a que comprendan la naturaleza e importancia de los modelos científicos. El proceso investigativo se realizó desde el paradigma interpretativo con enfoque cualitativo, en el marco de una intervención didáctica implementada con 24 estudiantes matriculados en la asignatura de Física Mecánica, orientada por uno de los investigadores en la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicada en Norte de Santander, Colombia. Para la recolección de la información, se realizó una intervención de aula que se desarrolló en cuatro fases: exploración de las ideas iniciales de los estudiantes sobre noción de modelo científico, implementación del artefacto didáctico, ajuste de los mapas mentales construidos inicialmente y realización de entrevistas. El análisis de los datos reveló que, inicialmente, algunos estudiantes relacionaban el modelo científico con unos estándares o pasos, es decir, con una forma de investigar. Además, manifestaron que no conocían la importancia de los modelos científicos en la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave

actividad científica; cognición; educación superior; enfoque científico; enseñanza

Víctor Julio Useche-Arciniegas*  
Diana Patricia Rodríguez-Pineda**  
Agustín Adúriz-Bravo***  

* Estudiante de Doctorado en Didáctica, Universidad Tecnológica de Pereira. Docente, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. victorjulioua@ufps.edu.co

** Doctora en Educación. Profesora del Cuerpo Académico de Educación en Ciencias, Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México, México. dpineda@upn.mx

*** Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Director del Instituto de Investigaciones CeFIEC de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina. aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

Artículo de investigación

Fecha de recepción: 09/10/2023
Fecha de aprobación: 07/05/2024
Fecha de publicación: 01/01/2025



Abstract

Research findings in science education reveals that the incorporation of scientific models in the teaching and learning of sciences is limited, especially in the university-level school science activities. Therefore, the objective of this research is to analyze the engagement of students in a university physics class in meta-modelling activities, aimed at helping them understand the nature and importance of scientific models. The research was carried out from an interpretative paradigm with a qualitative approach, within the framework of a didactic intervention implemented with 24 students enrolled in the Mechanical Physics course, taught by one of the researchers at Universidad Francisco de Paula Santander, located in Norte de Santander, Colombia. Information was collected through a classroom intervention developed in four phases: exploration of the students' initial ideas about the notion of scientific model, implementation of the didactic artifact, adjustment of the initially constructed mental maps, and conducting interviews. Data analysis revealed that initially, some students associated the scientific model with standards or steps, that is, with a way of investigating. Additionally, they stated that they were unaware of the importance of scientific models in science education.

Keywords

scientific activity; cognition; higher education; scientific approach; teaching

Resumo

Algumas pesquisas em didática das ciências revelam que a incorporação de modelos científicos no ensino e na aprendizagem das ciências é limitada, especialmente nas atividades científicas no ensino universitário. Portanto, o objetivo desta investigação é analisar o envolvimento dos alunos de uma turma universitária de física em atividades de meta-modelagem, visando a compreensão da natureza e importância dos modelos científicos. A pesquisa foi realizada a partir do paradigma interpretativo com abordagem qualitativa, no âmbito de uma intervenção didática implementada com 24 alunos inscritos na disciplina de Física Mecânica, ministrada por um dos investigadores na Universidade Francisco de Paula Santander, localizada em Norte de Santander, Colômbia. Para a coleta de informações, foi realizada uma intervenção em sala de aula em quatro fases: exploração das ideias iniciais dos alunos sobre a noção de modelo científico, implementação do artefato didático, ajuste dos mapas mentais construídos inicialmente e realização de entrevistas. A análise dos dados revelou que, inicialmente, alguns alunos relacionavam o modelo científico com padrões ou etapas, ou seja, com uma forma de investigar. Além disso, manifestaram não conhecer a importância dos modelos científicos no ensino das ciências.

Palavras-chave

atividade científica; cognição; ensino superior; abordagem científica; ensino

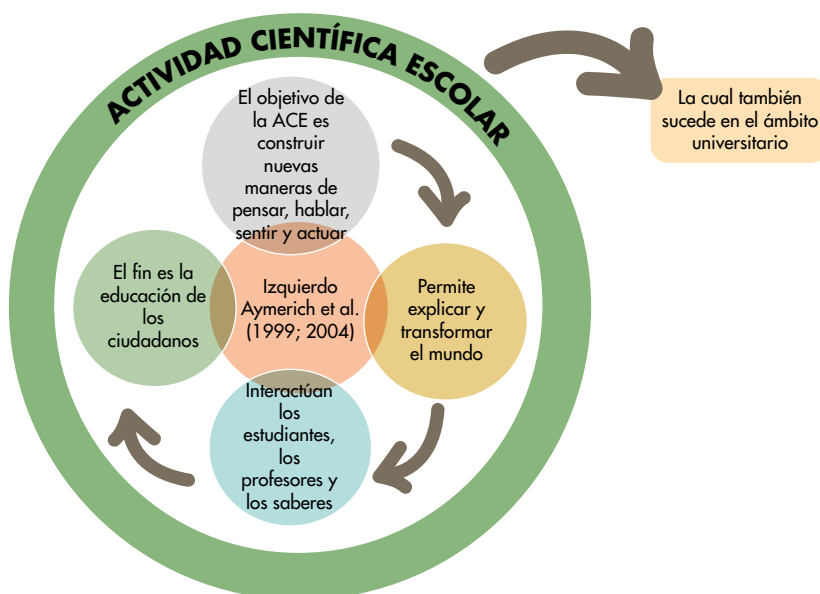
Introducción

A través de la enseñanza de las ciencias se procura que los estudiantes desarrollen una actitud crítica y reflexiva que los conduzca a ser personas responsables y transformadoras ante los problemas que su entorno y la sociedad les presentan. Para lograr este objetivo, múltiples investigadores en didáctica de las ciencias apuestan por una enseñanza de las ciencias basada en modelos (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Figueiredo y Peticarrari, 2022; Marzabal *et al.*, 2024). Estos autores señalan que trabajar en las aulas de ciencias con modelos científicos favorece una formación del estudiantado consistente con las prácticas científicas. Utilizar y evaluar sistemáticamente los modelos permite ilustrar, explicar y predecir fenómenos naturales y, con las precauciones del caso, también realizar procesos metacognitivos, como evaluar la pertinencia del uso de

un determinado modelo en la construcción de la respuesta a una pregunta científica.

El fin educativo central que da forma a lo que se llama “actividad científica escolar” (ACE) es proporcionar a los estudiantes una cultura científica, sin importar si prefieren los estudios tecnológicos, la ingeniería o cualquier otra rama de la educación superior. La meta de la ACE es construir nuevas maneras de pensar, hablar, sentir y actuar que permitan a las personas explicar y transformar su mundo (Izquierdo *et al.*, 1999; 2004; Aliberas *et al.*, 2021). En la ACE, estudiantes, profesores y saberes interactúan para una educación de la ciudadanía con responsabilidad social (Rodríguez-Pineda *et al.*, 2011), lo que implica el uso activo y flexible de modelos científicos. La ACE también se configura en el ámbito universitario, con características comunes a otros niveles y algunas que le son propias (figura 1).

Figura 1. Esquema de la actividad científica escolar universitaria



Fuente: elaboración propia.

Contrario al marco teórico que proponemos, a veces se observa que en algunas instituciones de educación superior no se prepara al estudiantado para trabajar de una manera completamente científica y, antes bien, se pone demasiado énfasis en el aprendizaje mecánico de lenguajes y acciones con poco potencial de transformación. Las prácticas tradicionales, con un fuerte acento en lo declarativo y procedimental, llevan a que los estudiantes no puedan desarrollar a cabalidad unos “modos de pensamiento” semejantes a los de los científicos en actividad, modos que son “basados en modelos” (Adúriz-Bravo y Sans-Pinillos, 2022).

De acuerdo con lo anterior, planteamos las siguientes preguntas de investigación: ¿qué idea de modelo científico tienen los estudiantes universitarios? y ¿se pueden transformar las ideas iniciales que los estudiantes tienen al involucrarlos en las actividades de modelización y metamodelización?

Antecedentes

Según Osborne (2014), la participación activa y comprometida del estudiantado en las prácticas de aula ha ganado enorme relevancia en la didáctica de las ciencias. Por esto, con base en el modelo cognitivo de ciencia y la visión semántica de las teorías científicas (Adúriz-Bravo, 2013; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021), las prácticas científicas en el aula se consideran una genuina ACE, centrada en la construcción de modelos científicos (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Garrido-Espeja *et al.*, 2022). En la actividad científica escolar universitaria (ACEU), los jóvenes estudiantes son investigadores en potencia, a quienes sus docentes deberían motivar y orientar en sus actividades académicas mediante el uso extensivo y explícito de modelos y de prácticas de modelización. La idea es que el estudiantado adquiera tempranamente en su carrera hábitos y cualidades investigativas, asociadas a una actitud crítica y reflexiva sobre los diferentes fenómenos naturales y nuestra intervención sobre ellos.

En las clases de física universitaria que nosotros hemos venido analizando, los estudiantes han trabajado con prácticas de ACEU desde sus ideas iniciales para hacerlas progresar hacia ideas científicas, pero no han podido identificar la naturaleza y características del proceso de construcción de modelos. En otras palabras, quizás la perspectiva de modelos y modelización se ha incorporado, pero no así la reflexión explícita y sostenida sobre la función de los modelos científicos en el proceso.

De acuerdo con las revisiones realizadas por Oh y Oh (2011) y Gutiérrez (2014), la idea de modelo que circula en la educación científica puede entenderse de varios modos o admitir distintas interpretaciones. Desde la perspectiva que sigue a Bunge (1985), por ejemplo, un modelo científico es una representación provisoria, perfectible e idealizada de una entidad o fenómeno físico. Una posición superadora de la anterior, la de Giere (2004), supone que el modelo científico

es el constructo que establece el vínculo sustantivo entre las teorías y el mundo, y por lo tanto, permite explicar y predecir fenómenos naturales. Los modelos científicos pueden representarse y funcionar de múltiples formas; en última instancia, pueden pensarse como constituidos por unas entidades con propiedades claras, un conjunto de relaciones entre ellas y unas condiciones válidas de puesta en funcionamiento (Giere, 2004; Chamizo, 2006; Schwarz *et al.*, 2009; Raviolo *et al.*, 2010; Adúriz-Bravo, 2013; Acher, 2014; Gutiérrez, 2014). Esta última idea nos permite postular que es necesario que el estudiantado que modeliza también adquiera experiencia sobre los modelos científicos durante su aprendizaje en las aulas de ciencias del nivel superior.

Marco teórico

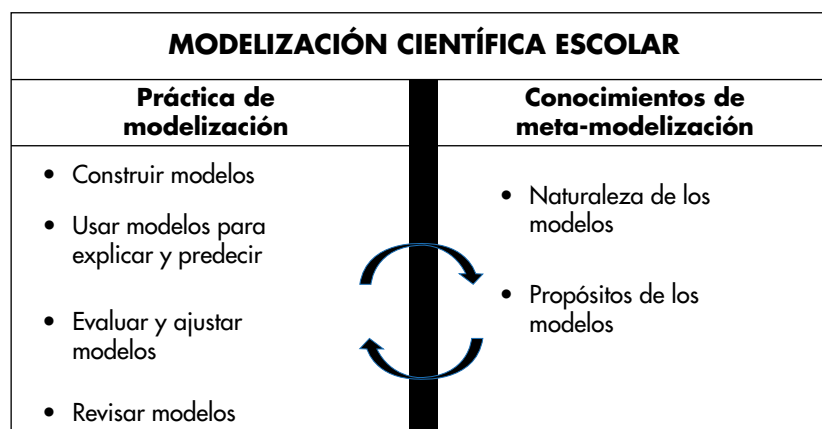
Los estudios de Khan (2011) y Torres y Vasconcelos (2017), entre otros, evidencian que muchos estudiantes —incluso profesores— no han incorporado completamente la perspectiva de modelos en la ciencia escolar. Los estudiantes modelizan con mayor o menor eficacia, pero no tienen una formación sobre lo que “son los modelos, sus características, sus funciones y limitaciones” (Raviolo *et al.*, 2010, p. 593). Si hay poca costumbre de emplear modelos y de fomentar prácticas de modelización en las asignaturas de ciencias, hay aún menos costumbre de explicitar su poder estructurante. Sin embargo, como plantea Acher, los “documentos oficiales continúan comunicando la necesidad de incluir la modelización científica en las aulas siempre de manera más convincente” (2014, p. 65). Por ende, este sigue siendo un foco de trabajo

importante y urgente para la investigación didáctica.

No obstante, incluso cuando los estudiantes participan en la construcción de modelos científicos encaminados a la indagación y argumentación de fenómenos naturales, siguen sin incorporar conocimientos sobre la naturaleza y el propósito de los modelos. A este segundo componente fuerte de una enseñanza basada en modelos lo llamaremos *metamodelización* (Schwarz y White, 2005; Aragón-Méndez y Oliva, 2020). Así, “el conocimiento de meta-modelización supone comprender la naturaleza de los modelos y de la modelización, lo que implica comprensión acerca del rol de los modelos en las ciencias y del acto de modelizar” (Oliva, 2019, p. 11).

La figura 2 representa la interacción constante que, de acuerdo con nuestro posicionamiento teórico, debería existir entre los elementos de la práctica de modelización (construir, usar, evaluar y revisar modelos) y el conocimiento a nivel de metamodelización (naturaleza y propósitos de los modelos). Por lo tanto, modelización y metamodelización no deberían convertirse en asuntos de aprendizaje separados (Schwarz y White, 2005; Nicolaou y Constantinou, 2014; Fortus *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2018; Aragón-Méndez y Oliva, 2020). Sin metaconocimiento o sin competencias de modelización (Chiu y Lin, 2019), los estudiantes no comprenden aspectos básicos de la naturaleza de la ciencia —entendida aquí como un proceso continuo de proposición y validación de modelos (Gilbert, 1991)—. Esto restringe significativamente su capacidad para utilizar, desarrollar, transferir y aplicar modelos científicos.

Figura 2. Interacción de elementos entre modelización y metamodelización



Fuente: adaptado de Schwarz *et al.* (2009).

Metodología

Enfoque

El paradigma que orientó la investigación fue interpretativo y procuró comprender un aspecto concreto de la realidad educativa a través de significados propios de los estudiantes universitarios. Para ello, se investigaron las percepciones, intenciones y acciones de los sujetos participantes, plasmadas en textos escritos y discurso oral. El estudio se realizó desde un enfoque cualitativo, cuyo desarrollo permitió “obtener una comprensión profunda de los significados y definiciones de la situación tal cual nos la presentan las personas” (Salgado-Lévano, 2007, p. 71) en torno a la idea de modelo científico.

Participantes

Aceptaron participar 24 estudiantes (3 mujeres y 21 hombres), de entre 17 y 20 años de edad, que estaban matriculados en la asignatura de Física Mecánica de los programas de Ingeniería Electrónica y Electromecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS), sede Cúcuta, en Colombia.

Recolección de la información

La información se recolectó a través del diseño e implementación de una secuencia didáctica (SD) organizada desde la perspectiva de los modelos, la modelización y la metamodelización. La SD estuvo compuesta por diez actividades didácticas, pero para este reporte se toma únicamente una de esas diez actividades, cuya intención fue que el alumnado participante reflexionara sobre la naturaleza e importancia de los modelos científicos en la ACEU. Una

vez concluida la actividad didáctica que aquí se analiza, se realizaron entrevistas que contaron con el consentimiento informado de los participantes. Dichas entrevistas estaban enfocadas en las categorías de la meta-modelización (naturaleza de los modelos y propósitos de los modelos) y fueron validadas en un grupo de discusión conformado por profesores especialistas en metodología de la investigación y didáctica de las ciencias.

Como resultado de la validación del instrumento, los evaluadores recomendaron realizar dos tipos de entrevistas, una para cada categoría de la metamodelización. Con el material recolectado —escrito, gráfico y oral— se llevó a cabo una “comparación constante” (hasta saturación) de las ideas de los estudiantes que permitió la construcción

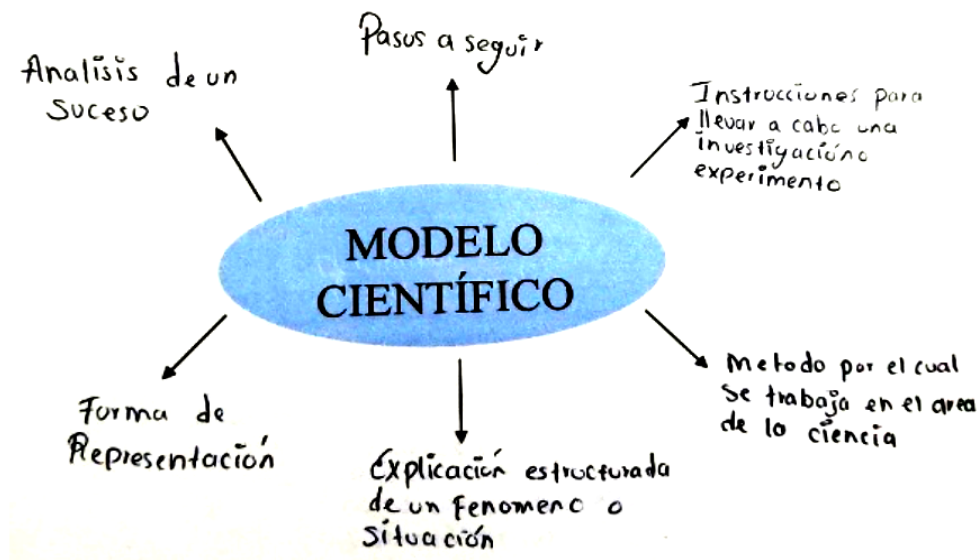
de las categorías y subcategorías (Varela y Sutton, 2021).

Planteamiento del estudio

La intervención de aula se desarrolló en cuatro fases:

1) Exploración de las ideas iniciales de los estudiantes sobre la noción de modelo científico (MC): en esta fase se solicitó a los estudiantes completar de manera individual un mapa mental (figura 3), escribiendo o dibujando lo primero que viniera a su mente sobre la idea de MC. Posteriormente, los estudiantes se organizaron en grupos con la finalidad de socializar, comparar y revisar los mapas mentales construidos de manera individual, y responder la siguiente pregunta: ¿qué entienden o saben acerca de lo que es un modelo científico?

Figura 3. Formato estándar del mapa mental de ideas iniciales de los estudiantes

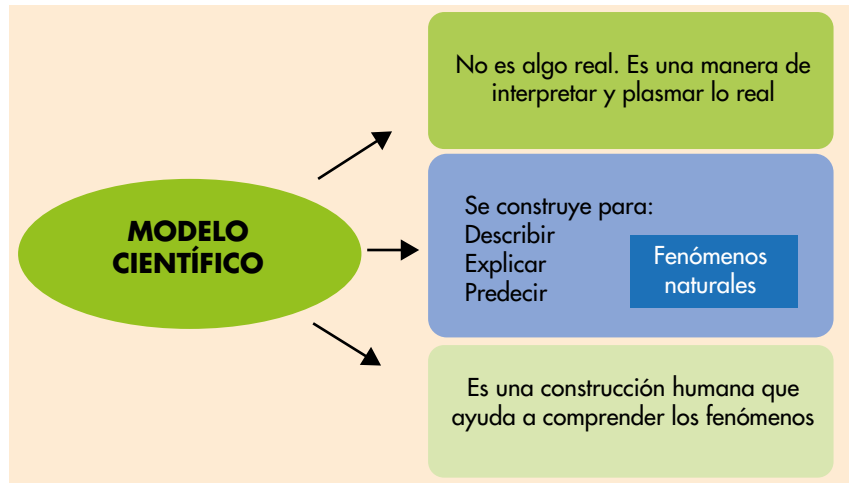


Fuente: mapa elaborado por uno de los participantes.

2) Implementación del artefacto didáctico: al terminar de elaborar el texto grupal, los mismos grupos realizaron la lectura “Ideas sobre los modelos científicos”. Este material fue diseñado ex profeso para ayudar a comprender la naturaleza de los modelos, su importancia y sus propósitos en la ciencia. El docente a cargo planteó, a modo de conclusiones, distintos aspectos centrales de la idea de modelo desde una perspectiva semántica (figura 4). A continuación, analizó junto

con los estudiantes algunos modelos como el geocéntrico propuesto por Ptolomeo, el modelo heliocéntrico propuesto por Copérnico, el modelo atómico de Bohr y el modelo del péndulo simple. Esta actividad propició que reflexionaran y utilizaran explícitamente esas categorías teóricas.

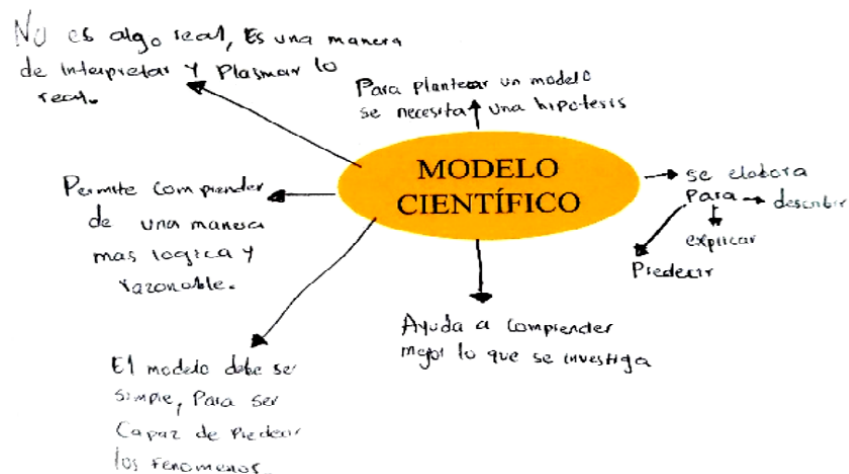
Figura 4. Puntos centrales de la visión semántica de los modelos científicos



Fuente: elaboración propia.

3) Ajuste de los mapas mentales construidos inicialmente: en esta fase, los estudiantes, a partir de la información proporcionada por la lectura y las conclusiones, producto del análisis al que se llegó junto con el docente, se dispusieron de forma individual a revisar, ajustar y reconstruir los mapas mentales de MC (figura 5). A través de ellos, expresaron sus ideas sobre el MC, en virtud de su naturaleza y propósitos. Posteriormente, se realizó una discusión plenaria para compartir ideas, aclarar dudas y revisar los modelos.

Figura 5. Ejemplo de ajuste del mapa mental construido inicialmente



Fuente: mapa elaborado por uno de los participantes.

4) Realización de entrevistas: sobre los mapas mentales ajustados se realizaron entrevistas semiestructuradas a todos los participantes, con la intención de profundizar y aclarar las ideas expresadas por ellos en sus producciones escritas, particularmente sobre el propósito de los modelos y el uso de los modelos científicos en el aula.

Con la información obtenida se procedió al análisis de contenido, que se desarrolló en tres etapas relacionadas. La primera, de reducción de datos, implicó organizarlos y categorizarlos a partir de las ideas iniciales y finales de los estudiantes, apuntando a la construcción de un sistema de categorías y subcategorías. En la segunda, se formalizaron las interpretaciones que permitieron establecer conclusiones teóricas de esta primera parte de la investigación. En la tercera, se transcribieron y analizaron con detalle las entrevistas realizadas, buscando obtener una interpretación plausible de lo que piensa el estudiantado sobre los modelos científicos.

Los textos escritos y orales codificados fueron sujetos a análisis iterativos, con el método comparativo constante, hasta que el equipo de investigadores estuvo de acuerdo en sus interpretaciones independientes del material.

Resultados y análisis

Para identificar las ideas del estudiantado sobre lo que es un MC, a cada estudiante se le asignó un código conformado por la letra E y un número, seguidos de las letras I o F, que indican ideas iniciales y finales, respectivamente. Todas estas ideas codificadas fueron tabuladas en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para facilitar su comparación. Para la agrupación, comparación y categorización

de las ideas, se plantearon unas categorías y subcategorías, las cuales se discuten a partir del sistema categorial previamente construido con base en lo postulado por Schwarz *et al.* (2009) (tabla 1).

Tabla 1. Sistema categorial de la metamodelización siguiendo la propuesta de Schwarz *et al.* (2009)

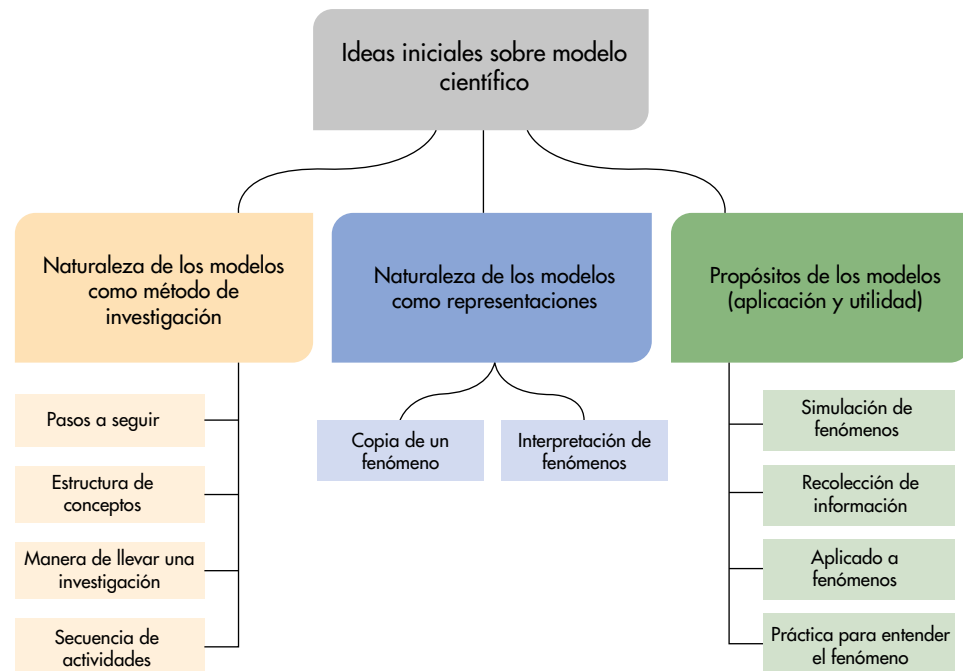
Categorías de la metamodelización	Subcategorías de la metamodelización
Naturaleza de los modelos	<p>Los modelos son representaciones que tienen limitaciones en lo que representan sobre los fenómenos.</p> <p>Los modelos pueden representar procesos y características no visibles y no accesibles.</p> <p>Los modelos se pueden cambiar para reflejar la creciente comprensión de los fenómenos.</p> <p>Existen múltiples tipos de modelos: diagramas, modelos materiales, etc.</p> <p>Los modelos son herramientas con sentido para construir conocimiento.</p>
Propósitos de los modelos	<p>Los modelos se utilizan para ilustrar, explicar y predecir fenómenos.</p> <p>Los modelos son herramientas de comunicación para transmitir conocimiento.</p>

Fuente: elaboración propia.

Análisis de las ideas iniciales de los estudiantes sobre el modelo científico

Las ideas iniciales se agruparon en tres categorías: naturaleza de los modelos como un método de investigación (NMM), naturaleza de los modelos como representaciones (NMR) y propósitos de los modelos —aplicación y utilidad— (PM-AU). La figura 6 presenta estas tres categorías con sus subcategorías respectivas antes de la intervención didáctica (ID).

Figura 6. Categorías y subcategorías sobre el concepto de modelo científico antes de la ID



Fuente: elaboración propia.

La categoría de NMM hace referencia al procedimiento o a los pasos que los estudiantes consideran se deben seguir para llevar a cabo una investigación científica que usa modelos. Esta categoría tiene cuatro subcategorías: instrucciones, estructura, procedimiento y proceso. Así, se observa que algunos participantes piensan que trabajar con modelos científicos es seguir un conjunto preciso de instrucciones, pasos o reglas: “[Un MC] son instrucciones para llevar a cabo en una investigación” (E5-I). Otros expresan que un modelo científico es una estructura de conceptos coherentes enlazados entre sí, tal como lo expone este estudiante (E23-I): “[Un MC es] un planteamiento estructurado de conceptos”. Hay quienes manifiestan que un modelo científico es una forma o manera específica de llevar a cabo una investigación: “[Un MC es] un procedimiento a seguir en la investigación” (E2-I). También los hay quienes opinan que el MC se identifica con un proceso realizado para conseguir un fin determinado: “[Un MC es] un proceso adecuado para investigar” (E21-I).

De la información suministrada por los alumnos universitarios, se destaca que, inicialmente, 18 de 24 participantes piensan que el MC es esencialmente el conjunto de pasos a seguir para obtener nuevos conocimientos —método científico—. Asimismo, manifiestan que el uso de un MC cumple con ciertas reglas y sigue unos estándares o pasos en la investigación. En sus ideas iniciales, estos estudiantes confunden el modelo científico con el propio método científico; algo similar se reporta en Windschitl *et al.* (2008).

La segunda categoría que surgió es la de NMR. Esta implica concebir el modelo como medio para dar a conocer una idea a otra persona, por medio de palabras, imágenes o signos. En esta categoría se encontraron dos subcategorías: reproducir e interpretar. Algunos estudiantes señalaron que un modelo se reduce prácticamente a una copia de un fenómeno: “[Un MC es] una manera de reproducir un fenómeno físico” (E17-I). Para otros, “[un MC es] una interpretación de un fenómeno” (E5-I), suponiendo así que el modelo nace para explicar el sentido del fenómeno.

Un grupo relativamente pequeño de estudiantes (6 de 24) se sitúa muy cerca de lo manifestado por *Gilbert et al.* (2000). Ellos expresan que un modelo es una representación de un fenómeno, proceso o sistema, creado con una intención específica —recuérdese que esta definición, de matriz bungeana, es restringida—. Entonces, se puede constatar que, aunque existen estudiantes que reconocen finalidades canónicas a los modelos en la ciencia (*Treagust et al.*, 2007), la mayor parte del grupo no llega a estos cursos con una formación sobre lo que “son los modelos, sus características, sus funciones y limitaciones” (*Raviolo et al.*, 2010, p. 593).

La última categoría analizada, PM-AU, hace referencia a cómo los modelos se usan en la actividad científica. Esta categoría se divide en cuatro subcategorías: simulación, recolección, utilidad y práctica. Algunos participantes afirman que un MC funciona por ser semejante al fenómeno que se quiere estudiar: “[Un MC es] una simulación de la realidad” (E4-I). Para otros, un modelo se usa para reunir o recoger una determinada información: “[Un MC] sirve para recolectar información científica” (E2-I). La mayoría entiende que un modelo se emplea para ser aplicado a fenómenos naturales: “[Un MC] se usa para ser aplicado en fenómenos científicos” (E15-I). En este apartado es común

el solapamiento con las categorías anteriores, sobre todo con la primera: “[Un MC es] una práctica para entender mejor el fenómeno físico” (E21-I).

De los datos obtenidos, se infiere que los estudiantes universitarios de ingeniería con los que trabajamos saben que los modelos científicos se usan para estudiar fenómenos físicos y químicos, obtener datos experimentales, especificar lo que dicen las leyes físicas, observar y sacar conclusiones. Sin embargo, no parecen comprender que los modelos científicos se usan para ejemplificar, explicar y representar fenómenos, como lo plantea *Schwarz et al.* (2009).

Una vez finalizado el proceso de recolección de las ideas iniciales de los 24 participantes sobre MC, se conformaron siete grupos de trabajo —de 2 a 4 estudiantes por grupo— con la finalidad de socializar los mapas mentales construidos previamente y de responder una pregunta abierta: ¿qué entienden o saben acerca de lo que es un modelo científico? Los argumentos obtenidos de las discusiones grupales se codificaron con la letra G y un número, seguido de la letra I, para indicar que son ideas iniciales del estudiantado. Nuevamente, se procedió a un análisis cualitativo del material obtenido.

Al examinar las respuestas de los grupos de trabajo, se encuentra que muchos estudiantes todavía confunden el modelo científico con el método científico: “Los modelos científicos son esos modelos o pasos a seguir para comprobar, rectificar y analizar los fenómenos del universo” (G1-I); “Un MC es aquel que se basa en investigar hechos que siguen una serie de pasos establecidos de acuerdo al tipo de investigación” (G3-I).

Por otra parte, dos grupos de trabajo entienden el MC como una representación de un fenómeno: “El MC es una forma de representar

un fenómeno” (G2-I) y “un MC es una representación abstracta que nos permite describir, explicar y predecir fenómenos o problemas naturales” (G6-I). Los estudiantes del primero de estos grupos (G2) no aciertan con una respuesta elaborada, solo producen una mera identificación. Las ideas del segundo grupo (G6), en cambio, son mucho más elaboradas y encajan en el marco semántico propuesto por Giere (2004). En efecto, estas ideas están muy próximas a la formulación giereana de modelo planteada por Meinardi *et al.* (2002), que lo definen como “una representación abstracta (externa) de un recorte teórico de la realidad, de aquello que pretendemos describir y explicar” (p. 17).

Se encontraron también grupos de trabajo que atribuyen al MC ciertas aplicaciones o usos. Por ejemplo, el grupo G5-I solo contempla una función: “[Un MC se usa] para ser aplicado en fenómenos físicos o científicos, principalmente en el área de la física”. Otro grupo logra relacionar varias aplicaciones: “[Un MC científico nos permite] obtener datos o medidas exactas mediante los procesos de observación, análisis, hipótesis y experimentación” (G4-I). En esta primera parte de la actividad didáctica se observa que, a pesar de que los estudiantes socializan ideas productivas de lo que es un MC, aún siguen muy distantes de la conceptualización recomendada desde la didáctica de las ciencias.

En resumen, las ideas iniciales del alumnado sobre MC giran alrededor de la organización (formal) de la investigación; la comprensión que ellos tienen de la naturaleza y uso de modelos se restringe a tareas estereotipadas como recolectar información para *detallar* un fenómeno. Un número bajo de estudiantes identifica la modelización con la representación del mundo y ninguno se enfoca en la posibilidad que dan los modelos de analizar puntos de vista diferentes sobre un fenómeno para argumentar sobre él. En nuestra población de análisis, los estudiantes universitarios no conocen concepciones de modelo epistemológicamente robustas, que sean más fructíferas para el trabajo en el aula; consecuentemente, estas deben ser enseñadas intencionadamente.

Al comparar el sistema categorial proveniente de las ideas iniciales de los estudiantes sobre modelo científico (figura 6) con el sistema categorial propuesto en la tabla 1, se encontró que la categoría *naturaleza* de los modelos como método de investigación no aparece en los postulados planteados por Schwarz *et al.* (2009). Este hecho llama la atención dado que es un grupo mayoritario de estudiantes (18 de 24) los que asocian o confunden la idea de modelo científico con la de método científico.

Análisis de las ideas finales de los estudiantes sobre el *modelo científico*

Lo que llamamos aquí *ideas finales* de los estudiantes sobre la naturaleza y función de los modelos es el resultado de una progresión gradual que va desde sus ideas iniciales hasta nuevas concepciones, informadas por la interacción social

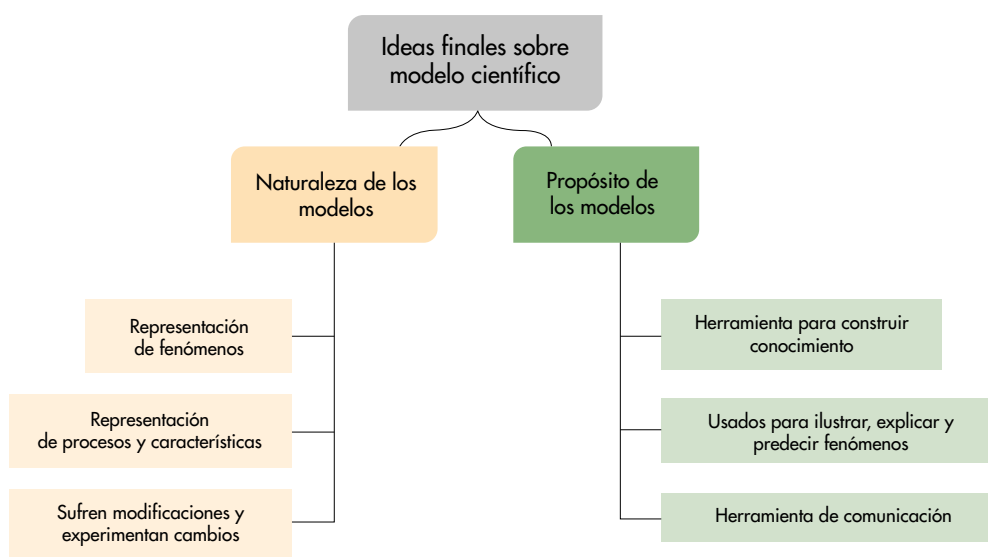
con sus pares, el contacto con el texto académico proporcionado y las ayudas ofrecidas por el docente, que constituyen los tres tipos de contribuciones de la intervención didáctica.

En esta fase de la intervención en el aula, los 24 estudiantes, de manera individual, revisan y ajustan sus mapas mentales iniciales sobre la idea de modelo científico (MC) y responden explícitamente a la pregunta: ¿qué ha cambiado en estos mapas mentales ajustados respecto a los primeros y por qué? Al analizar las nuevas ideas recogidas, se puede

establecer que estas son más completas, detalladas, robustas y coherentes que las iniciales, y progresivamente más consistentes con la visión semántica sostenida desde la didáctica de las ciencias.

Agrupamos estas ideas finales sobre el MC en dos categorías, basadas en la concepción de metamodelización de Schwarz *et al.* (2009): naturaleza de los modelos (NM) y propósitos de los modelos (PM). En la figura 7 se pueden apreciar las categorías y subcategorías elaboradas.

Figura 7. Categorías y subcategorías sobre el concepto de modelo científico después de la ID



Fuente: elaboración propia a partir de la propuesta de Schwarz *et al.* (2009).

La categoría NM hace referencia a lo que es y cómo surge un modelo científico. Aquí aparecen dos subcategorías cercanas a las enunciadas en el trabajo original que seguimos (Schwarz *et al.*, 2009). En la primera, los estudiantes describen los modelos como un modo de representación de fenómenos: “[Un MC] es una representación simplificada de un proceso o fenómeno” (E7-F). Así, intentan separar el modelo de la realidad misma, lo cual es un punto central en el progreso hacia una concepción más robusta (Chamizo, 2006; Adúriz-Bravo e Izquierdo Aymerich, 2009; Acevedo-Díaz *et al.*, 2017). En la segunda subcategoría, los estudiantes identifican los modelos con representaciones de procesos y características del mundo real: “[Un MC] es una representación abstracta, conceptual, gráfica o visual [de un fenómeno]” (E20-F) y “[Un MC] expresa ideas simples para su conceptualización” (E21-F). Estos resultados, en los que ya aparecen la abstracción y el componente conceptual, son consistentes con lo expresado por varios autores del campo (Oh y Oh, 2011; Pérez *et al.*, 2018).

En la categoría de *PM* hemos construido tres subcategorías. En la primera, los modelos se entienden como herramientas útiles para construir conocimiento: “[Un *MC*] es una herramienta para investigar un tema” (E2-F) y “[Un *MC*] es una forma de investigar y construir conocimiento” (E22-F). Estas ideas son congruentes con lo expuesto por Rosaría Justi (2006) y Raviolo *et al.* (2010), quienes señalan que los modelos se elaboran en el ámbito de la ciencia con el fin de producir conocimiento. Según estos autores, los modelos permiten expresar de manera clara y concisa preguntas de interés científico y ofrecer respuestas más críticas y razonables a dichas preguntas.

La segunda subcategoría se refiere al uso de los modelos científicos para ilustrar, explicar y predecir fenómenos. Varios estudiantes avanzan en esta línea, aunque sus formulaciones aún son tímidas y marcadamente tradicionales: “[Con un *MC*] las entidades se pueden describir, explicar y predecir” (E20-F) y “[Un *MC*] sirve para describir, explicar y predecir resultados” (E23-F). Aunque estas formulaciones son fructíferas, se quedan cortas desde una concepción semántica de modelo, evidenciando la influencia del texto proporcionado a los estudiantes, que reforzó principalmente estos aspectos. Todavía están ausentes los usos relacionados con revisar y evaluar diferentes modelos para aumentar su poder explicativo.

La tercera y última subcategoría, que considera al *MC* como una herramienta de comunicación, aparece en el discurso de varios estudiantes: “[Un *MC*] sirve para comprender y transmitir conocimiento” (E1-F), “[Un *MC*] nos ayuda a describir fenómenos presentados” (E2-F) y “[Un *MC*] es una construcción humana para transmitir conocimiento” (E19-F). Schwarz y *et al.* (2009) destacan que un *MC* sirve para que los alumnos compartan o comuniquen sus ideas con otros, con el fin de comprender el fenómeno natural que están examinando y tratar de persuadir a sus compañeros de su pertinencia. Que nuestros estudiantes puedan identificar esta capacidad de los modelos en la ciencia es un paso auspicioso para que se comprometan de manera más efectiva con la actividad científica escolar y universitaria.

Para cerrar esta fase de la intervención didáctica (*ID*), los estudiantes se organizan nuevamente en siete grupos con la finalidad de responder una pregunta abierta, lo que permitió indagar sobre las percepciones del estudiantado respecto a por qué sus mapas mentales tuvieron que cambiar a lo largo de la actividad didáctica. El grupo G1 entiende que el mapa inicial era insatisfactorio “por desconocimiento del tema, falta de claridad en la conceptualización sobre modelos científicos y desconocer su aplicación en los diferentes campos de la ciencia”. De manera similar, el grupo G5 responde que “por no conocer las propiedades del tema”. Los integrantes del grupo G7, en cambio, dan una respuesta trivial, pero reconociendo que no tenían una noción correcta del modelo: “porque inicialmente no sabíamos claramente qué era el concepto”.

El contraste entre las ideas iniciales y las finales nos permite postular, con evidencias que apoyan tal postulación, la existencia de ganancias conceptuales tras, y muy probablemente a causa de, el proceso de metamodelización llevado a cabo. Algunos estudiantes comienzan a incorporar ideas construidas por la filosofía de la ciencia del último cuarto del siglo *xx* en torno a la naturaleza y propósitos de los modelos, aunque aún queda mucho camino por recorrer.

Al analizar los resultados del segundo trabajo grupal, pudimos observar que surgieron dos nuevas subcategorías —emergentes— en la categoría de *NM*. La primera de ellas es que los modelos científicos sufren modificaciones y experimentan cambios que, a su vez, conducen a mejoras en la comprensión de los fenómenos bajo estudio, una idea sostenida en Oh y Oh (2011), Adúriz-Bravo (2012), y Bravo Torija y Mateo González (2017). Esto fue expresado por dos de los grupos: “Los modelos científicos tienen como objetivo proporcionarnos una mejor idea y entendimiento sobre un fenómeno determinado, el cual puede ser modificado con el tiempo” (G1), y “El fin del *MC* es modelar algo a escala para que sea lo más parecido a la realidad; estos modelos pueden ir cambiando para adoptar nuevas ideas y asimilarse más a algo real” (G3).

La segunda subcategoría emergente que aparece después de la actividad de metareflexión es que existen múltiples maneras de representar un fenómeno—diagramas, esquemas, modelos a escala o maquetas, simulaciones, textos, etcétera—, también ampliamente discutida en la literatura didáctica (Chamizo, 2006; Treagust *et al.*, 2007; Schwarz *et al.*, 2009; Adúriz-Bravo, 2012; 2013). En esta subcategoría se inscriben expresiones de estudiantes como la siguiente: “[Un *MC*] sirve para explicar o representar un objeto o suceso por medio de gráficas, esquemas, dibujos,

textos, ecuaciones matemáticas” (G2). Para la didáctica de las ciencias, la diversidad de maneras en que se puede representar un fenómeno natural al teorizarlo contribuye a que el estudiantado vincule lo usual con lo desconocido, lo sencillo con lo complejo, haciendo un enlace explícito entre el fenómeno observado y una posible descripción científica (Adúriz-Bravo y Sans-Pinillos, 2022).

Al revisar nuevamente las ideas finales de los estudiantes sobre el modelo científico (figura 7) a la luz del sistema categorial planteado inicialmente en la tabla 1, se observa que ya no aparece la categoría *naturaleza* de los modelos como método de investigación. Esto se debe a las diferentes acciones realizadas durante la intervención didáctica, a la conexión o diálogo entre compañeros —donde alternativamente manifiestan sus ideas—, a la lectura del contenido académico provisto y a su análisis —propuesto por el profesor—. Se nota, pues, la progresión en las visiones de los estudiantes sobre los modelos científicos.

Reflexiones de los estudiantes sobre la metamodelización: las entrevistas

Finalmente, las entrevistas realizadas fortalecieron nuestras interpretaciones de que algunos estudiantes empiezan a adquirir un conocimiento significativo sobre la naturaleza y los propósitos de los modelos a través de su participación en el proceso de metamodelización. En estas entrevistas surgió, aunque todavía tímidamente, una cuarta subcategoría dentro de la categoría de *PM*: los modelos se utilizan para desarrollar nuevas comprensiones por analogía (Adúriz-Bravo, 2013; Izquierdo Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021). Un estudiante comentó: “Los modelos científicos ayudan a organizar ideas, a realizar un análisis objetivo y a comprender mejor el fenómeno en cuestión cada vez que se analice” (E18-E).

En la tabla 2 se muestran algunas ideas expresadas por los estudiantes durante las entrevistas sobre lo que consideran como MC, a partir de su naturaleza y propósitos. Estas ideas corresponden claramente al sistema categorial propuesto inicialmente en la tabla 1. Entendemos que allí se reflejan los conocimientos de metamodelización construidos a través de la intervención didáctica (ID).

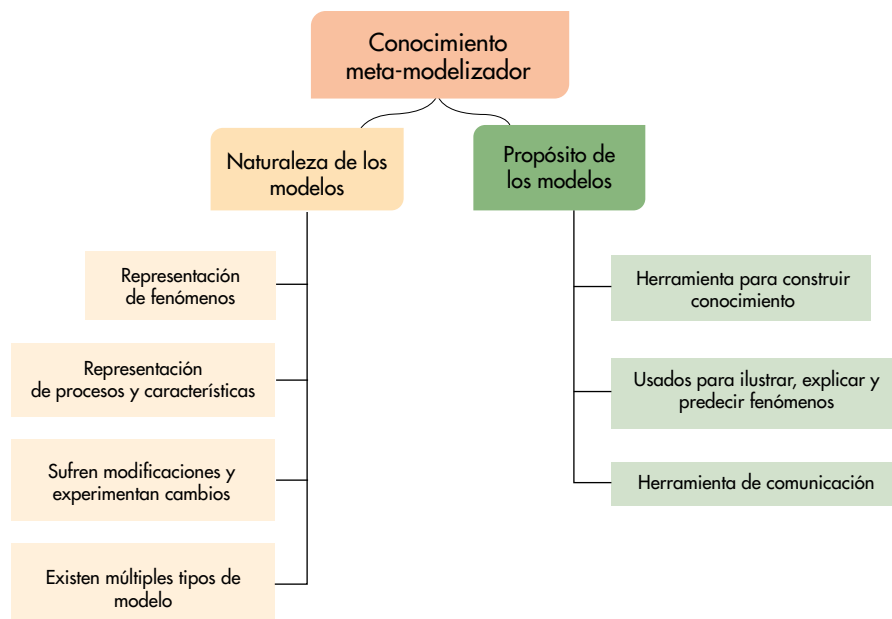
Tabla 2. Ideas de los estudiantes sobre metamodelización a partir de las entrevistas

Categorías de la metamodelización	Subcategorías de la metamodelización	Ideas de los estudiantes en las entrevistas
Naturaleza de los modelos	Los modelos son representaciones con limitaciones para representar los fenómenos.	(E9-E) "Con los modelos científicos es más fácil aprender, representar y describir un fenómeno, ya que los modelos son representaciones a escala de sucesos reales".
	Los modelos pueden representar procesos y características no visibles y no accesibles.	(E9-E) "[Con los modelos científicos] se trabaja en ciencia, ya que estamos observando un fenómeno para luego hablar sobre él, describirlo y expresar con nuestras palabras lo que observamos en dicho fenómeno".
	Los modelos se pueden cambiar para reflejar la creciente comprensión de los fenómenos.	(E7-E) "[Un MC] es muy cercano a la realidad posible y se puede ir modificando; es decir, el modelo que teníamos antes de la universidad, lo vamos ir mejorando hasta que sea lo mejor posible".
	Existen múltiples tipos de modelos: diagramas, modelos materiales, etc.	(E1-E) "[Con un MC] se pueden representar fenómenos físicos de diferentes formas, ya sea de manera gráfica, de manera de fórmulas, diagramas, simulaciones, esquemas, o sea de varias maneras".
Propósitos de los modelos	Los modelos son herramientas con sentido para construir conocimiento.	(E15-E) "Un MC es poder determinar los aspectos o características de un fenómeno, suceso o cosa en específico, con la intención de construir conocimiento sobre eso".
	Los modelos se utilizan para ilustrar, explicar y predecir fenómenos.	(E16-E) "Un MC es usado para explicar o expresar un fenómeno físico, biológico o químico, y así aclarar algo para obtener un resultado final".
	Los modelos son herramientas de comunicación para transmitir conocimiento.	(E19-E) "Un MC es una construcción humana que sirve para transmitir conocimiento".

Fuente: elaboración propia.

En resumen, antes de la intervención didáctica, los estudiantes universitarios de Ingeniería Electrónica y Electromecánica, matriculados en una asignatura de Física Mecánica, mostraban un conocimiento limitado sobre los modelos científicos. Sin embargo, después de la intervención didáctica (ID), se observó que 16 de 24 estudiantes habían incorporado en su concepción de modelo ideas alineadas con las aceptadas por las comunidades de la filosofía de la ciencia y la didáctica de las ciencias, en cuanto a la naturaleza y los propósitos de los modelos. En la figura 8 se pueden observar las categorías y subcategorías del conocimiento de metamodelización construido a lo largo de la ID.

Figura 8. Categorías y subcategorías de metamodelización sobre el concepto de MC



Fuente: elaboración propia a partir de la propuesta de Schwarz *et al.* (2009).

A modo de conclusión

El análisis de contenido realizado sobre las ideas iniciales que los estudiantes tienen sobre los modelos científicos (MC) revelan que estas se centran en constructos marcadamente cientificistas y positivistas. Estas ideas destacan que un modelo se puede identificar con una serie de pasos o instrucciones para llevar a cabo una investigación. La conexión íntima entre modelos y el método científico está explícita en 18 de 24 participantes, aunque se puede inferir que el resto también comparte esta perspectiva, según sus respuestas. La caracterización de esta *línea de base* inscribe a nuestros estudiantes universitarios en tendencias epistemológicas fuertemente tradicionales, en total acuerdo con los resultados ampliamente reportados en estudios previos (Tregust *et al.*, 2007; Bierema *et al.*, 2017; Lazenby *et al.*, 2020).

Al concluir las actividades de metamodelización, las ideas de los estudiantes se

muestran más elaboradas y coherentes con las concepciones actuales sobre la naturaleza y los propósitos de los modelos científicos. En los mapas mentales ajustados, 16 de 24 participantes incorporaron ideas más sofisticadas en su concepción de modelo. No obstante, muchos no pudieron explicar satisfactoriamente por qué habían introducido esos cambios, lo que evidencia limitaciones en el carácter meta-reflexivo que debería tener el conocimiento de metamodelización que están desarrollando; es necesario seguir trabajando en este aspecto.

Durante la implementación de la actividad de metamodelización, se observó que los estudiantes se sintieron cómodos y motivados a participar. Estamos convencidos de que nuestra propuesta, a pesar de sus limitaciones, fue una herramienta motivadora de aprendizaje, ya que generó actividades positivas para alcanzar la meta didáctica propuesta.

A partir del análisis de los resultados y la reflexión crítica del equipo de investigación, destacamos que el trabajo en grupos y la

introducción del resumen sinóptico, junto con el ejemplo concreto de modelo proporcionado por el docente, fueron los elementos que más contribuyeron a los logros de aprendizaje. Por otro lado, el texto y las imágenes provistos mostraron limitaciones y deben revisarse para futuras implementaciones.

Los resultados indican claramente que el movimiento de las ideas ingenuas sobre modelos científicos hacia concepciones epistemológicamente más robustas requiere una enseñanza explícita. Esto implica que el profesorado de ciencias —en nuestro caso, de nivel universitario— debe revisar críticamente sus propias concepciones de modelo y adoptar las más productivas para su docencia. Según nuestra tesis, estas son las concepciones que se alinean con una visión semántica de las ciencias.

Referencias

- Acevedo-Díaz, J., García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M. y Oliva-Martínez, J. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30(3), 155-166. <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Acher, A. (2014). ¿Cómo facilitar la modelización científica en el aula? *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, 36, 63-75. <https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23(2), 248-256. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A Semantic View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1612. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Adúriz-Bravo, A. y Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005>
- Adúriz-Bravo, A. y Sans-Pinillos, A. (2022). Abduction as a Mode of Inference in Science Education. *Science & Education*, (online first). <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00366-8>
- Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (2021). Identifying Changes in a Student's Mental Models and Stimulating Intrinsic Motivation for Learning During a Dialogue Regulated by the Teach Back Technique: A Case Study. *Research in Science Education*, 51(3), 617-645. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9810-z>
- Aragón-Méndez, M. y Oliva, J. (2020). Relación entre la competencia de pensamiento analógico y la competencia de modelización en torno al cambio químico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(1), 83-100. <http://doi.org/10.14483/23464712.14441>
- Bierema, A., Schwarz, C. y Stoltzfus, J. (2017). Engaging Undergraduate Biology Students in Scientific Modeling: Analysis of Group Interactions, sense-making,

- and Justification. *CBE-Life Sciences Education*, 16(4). <https://doi.org/10.1187/cbe.17-01-0023>
- Bravo-Torija, B. y Mateo-González, E. (2017). Visión de los maestros en formación sobre los modelos científicos y sus funciones en las ciencias y en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 33, 143-160. <http://hdl.handle.net/10550/64991>
- Bunge, M. (1985). *La investigación científica*. Ariel.
- Chamizo, J. (2006). Los modelos de la química. *Educación Química*, 17(4), 476-482. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.4.66030>
- Chiu, M. y Lin, J. (2019). Modeling Competence in Science Education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>
- Figueiredo, A. y Peticarrari, A. (2022) El aprendizaje basado en modelos mantiene a los alumnos activos y con atención sostenida. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3102
- Fortus, D., Shwarz, Y. y Rosenfeld, S. (2016). High School Students' meta-modeling Knowledge. *Research in Science Education*, 46, 787-810. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9480-z>
- Garrido-Espeja, A., Soto-Alvarado, M. y Couso-Lagarón, 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>
- Giere, R. (2004). How Models are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742-752. <https://doi.org/10.1086/425063>
- Gilbert, J., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. Gilbert y C. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1
- Gilbert, S. (1991). Model Building and a Definition of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280107>
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-Grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 7(13), 37-66. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia37.66>
- Izquierdo M., Espinet, M., García, M., Pujol, R. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 79-92. <https://www.researchgate.net/publication/283364116>
- Izquierdo-Aymerich, M., Bonil, J., Pujol-Villalonga, R. y Espinet, M. (2004). Ciencia escolar y complejidad. *Revista Investigación en la Escuela*, 53, 21-29. <http://hdl.handle.net/11441/61000>
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12(1), 27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS. Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.14201/art2021101>

- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184. <http://hdl.handle.net/11162/22332>
- Khan, S. (2011). What's Missing in model-based Teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 22(6), 535-560. <https://doi.org/10.1007/s10972-011-9248-x>
- Lazenby, K., Stricker, A., Brandriet, A., Rupp, C., Mauger-Sonnek, K. y Becker, N. (2020). Mapping Undergraduate Chemistry Students' Epistemic Ideas about Models and Modeling. *Journal of Research in Science Teaching*, 57, 794-824. <https://doi.org/10.1002/tea.21614>
- Marzabal, A., Merino, C., Soto, M. y Cortés, A. (2024). Modeling-Based Science Education. En A. Marzabal y C. Merino (eds.), *Rethinking Science Education in Latin-America. Contemporary Trends and Issues in Science Education* (vol. 59) (pp. 245-261). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52830-9_13
- Meinardi, E., Adúriz-Bravo, A., Morales, L. y Bonana, L. (2002). El modelo de ciencia escolar: una propuesta de la didáctica de las ciencias naturales para articular la normativa educacional y la realidad del aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, 15(1), 13-22. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15875>
- Nicolaou, C. y Constantinou, C. (2014). Assessment of the Modeling Competence: A Systematic Review and Synthesis of Empirical Research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Oh, P. 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. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Pérez, G., Gómez-Galindo, A. y González-Galli, L. (2018). Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2102-13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92053848005>
- Raviolo, A., Ramírez, P. y López, A. (2010). Enseñanza y aprendizaje del concepto de modelo científico a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 591-612. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/2402>
- Rodríguez-Pineda, D., Izquierdo-Aymerich, M. y López-Valentín, D. (2011). ¿Por qué y para qué enseñar ciencias? En A. López y T. Guerra (coords.), *Las ciencias*

- naturales en educación básica: formación de ciudadanos para el siglo XXI (pp. 13-42). SEP.
- Salgado-Lévano, A. (2007). Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit*, 13(13), 71-78. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/1449>
- Schwarz, C. y White, B. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D. 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>
- Torres, J. y Vasconcelos, C. (2017). Desarrollo y validación de un instrumento para analizar las visiones de los profesores sobre modelos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 181-198. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.14
- Treagust, D., Chittleborough, G. y Mamiala, T. (2007). La comprensión de los estudiantes sobre el papel de los modelos científicos en el aprendizaje de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), 364-366. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i2.17
- Varela, T. y Sutton, L. (2021). La codificación y categorización en la teoría fundamentada, un método para el análisis de los datos cualitativos. *Investigación en Educación Médica*, 10(40), 97-104.
- Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>