



Impacto de la enseñanza del modelo de inmunidad y vacunas en el conocimiento sobre la naturaleza de los modelos en estudiantes de secundaria

 Marta Gómiz-Aragón,  María del Mar Aragón-Méndez,  José María Oliva

Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz. Cádiz. España.

[Recibido: 17 febrero 2025; Revisado: 07 abril 2025; Aceptado: 29 abril 2025]

Resumen: Este trabajo analiza el impacto de una intervención didáctica centrada en el modelo de inmunidad y vacunas en el conocimiento sobre la naturaleza de los modelos de 181 estudiantes de educación secundaria. Se utilizó el cuestionario sobre el conocimiento de la naturaleza de los modelos (CoNaMo) como instrumento de evaluación. Los resultados muestran mejoras significativas en la puntuación global del CoNaMo y en dos de sus dimensiones específicas, las únicas trabajadas a través de la secuencia de actividades. Estos hallazgos sugieren la importancia de abordar de manera explícita y reflexiva la naturaleza de los modelos en el aula de ciencias.

Palabras clave: modelización; naturaleza de los modelos; inmunidad; educación secundaria.

Impact of Teaching the Immunity and Vaccine Model on Secondary School Students' Knowledge of the Nature of Models

Abstract: This study examines the impact of an educational activity based on the immunity and vaccines model on secondary school students' knowledge of the nature of models. The sample for the study comprised 181 students and the Spanish Knowledge of the Nature of Models questionnaire (CoNaMo) was used as the assessment instrument. The results reveal significant improvements in the overall CoNaMo score and in the two specific dimensions addressed by the activities conducted. These findings highlight the importance of addressing the nature of models explicitly and reflectively in science classrooms.

Keywords: modeling; nature of models; immunity; secondary education.

Introducción

Existen numerosos tópicos científicos que permiten alcanzar diversos propósitos de la enseñanza de las ciencias de manera simultánea. Uno de ellos es la inmunología, que, además de conllevar la comprensión de conceptos básicos de la biología, en concreto del modelo de inmunidad y vacunas, puede promover el pensamiento crítico y una mayor comprensión de la naturaleza de la ciencia (Reiss, 2022; Rowe et al., 2015).

Coincidiendo con Schwarz y White (2005), suponemos que la enseñanza a través de la modelización no solo favorece la progresión del aprendizaje del modelo científico escolar de referencia, en nuestro caso de la inmunidad y las vacunas, sino que también potencia el conocimiento sobre la naturaleza de los modelos. Este tipo de conocimiento contribuye a la alfabetización científica, permitiendo a los estudiantes comprender cómo se construye y valida el conocimiento científico a través de modelos (Schwartz, 2019).

En consonancia con esta hipótesis, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué medida progresa el conocimiento sobre la naturaleza de los modelos de estudiantes de 3º de ESO tras una intervención didáctica basada en el modelo de inmunidad y vacunas?

Marco teórico

Competencia de modelización

El aprendizaje basado en modelos se entiende como un proceso guiado en el que los modelos mentales implícitos y personales del alumnado evolucionan, a través de los modelos conceptuales escolares, hacia otros más explícitos, complejos y coherentes con el modelo científico (Nicolaou y Constantinou, 2014). Este enfoque no solo se dirige a la elaboración de conocimientos científicos, sino que también pretende el desarrollo de la competencia de modelización. La competencia de modelización, tal como se recoge en la Figura 1, abarca un conjunto de prácticas científicas y de conocimientos epistémicos (metaconocimiento) que se asocian con la comprensión de fenómenos naturales complejos, a la vez que promueven el desarrollo de saberes sobre cómo opera la ciencia (Tasquier et al., 2016; Oliva, 2019).

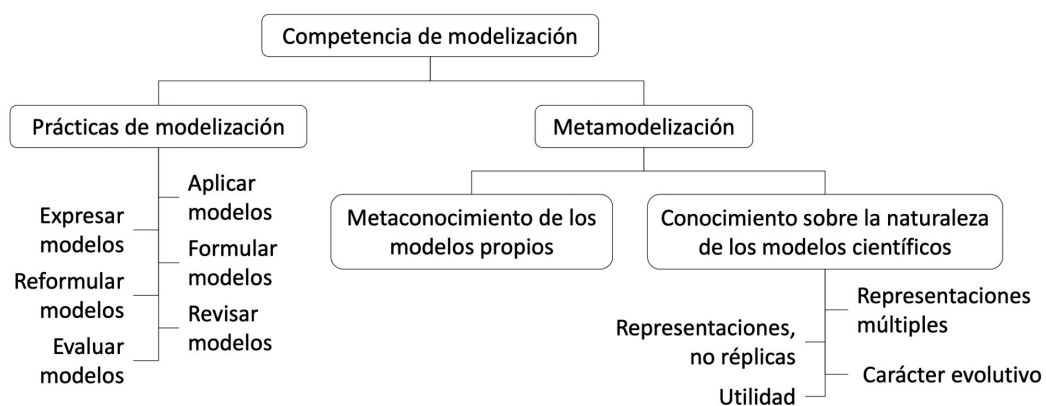


Figura 1. Componentes de la competencia de modelización. Basado en una adaptación extendida de la clasificación de Nicolaou y Constantinou (2014)

De un lado, las prácticas de modelización incluyen la capacidad de formular, expresar, aplicar, evaluar, revisar modelos y reformular modelos (Couso, 2020; Justí y Gilbert, 2002; Oliva y Aragón-Méndez, 2017). Estas prácticas no solo buscan que los estudiantes

interioricen conceptos científicos, sino también que fortalezcan su habilidad para interpretar y realizar predicciones sobre los fenómenos representados, evaluar los modelos y, cuando sea necesario, reconstruirlos. En definitiva, las prácticas de modelización implican la participación de los estudiantes en prácticas científicas.

De otro lado, el metaconocimiento, segunda componente de la competencia de modelización, permite a los estudiantes reflexionar críticamente sobre los modelos y su uso en la ciencia y sobre su aprendizaje (Gobert et al., 2011).

El metaconocimiento de los modelos propios implica la conciencia de los procesos de pensamiento y la capacidad de regularlos durante la construcción, evaluación y revisión de modelos, e incluye seleccionar modelos apropiados para situaciones específicas y adaptar modelos existentes en función de nueva evidencia o comprensión (Nicolaou y Constantinou, 2014). Esto se refiere a los procesos de toma de conciencia y autorregulación que deben acompañar al alumnado en sus prácticas de modelización, tanto al decidir qué modelo utilizar ante a una situación determinada como al modificar o ajustar los modelos que ya poseen (Schraw y Moshman, 1995). No obstante, este trabajo no se centra en esta parte del metaconocimiento.

El conocimiento sobre la naturaleza de los modelos, que es al que se refiere el objetivo y la pregunta de investigación de este estudio, promueve una visión epistemológica sobre su papel en la ciencia, al integrar la comprensión de los propósitos, usos y limitaciones de los modelos científicos (Nicolaou y Constantinou, 2014; Schwarz et al., 2009; Schwarz y White, 2005). Este conocimiento implica entender que los modelos son representaciones útiles para explicar y predecir fenómenos, y que son susceptibles de validación y revisión (Krell y Kruger, 2015; Oh y Oh, 2011).

A lo anterior se suma la comprensión de los modelos como representaciones aproximadas. Por ejemplo, se reconoce que los modelos no son copias exactas de la realidad, sino reinterpretaciones que tienen un carácter representacional y aproximado (Jansen et al., 2019; Krell y Krüger, 2017; Upmeier zu Belzen y Krüger, 2010). También se considera su carácter provisional y evolutivo (Crawford y Cullin, 2004; Oliva y Aragón-Méndez, 2017; Raviolo et al., 2010), impulsado por ajustes y transformaciones que originan la aparición de nuevas evidencias (Treagust et al., 2002). Además, resalta su naturaleza múltiple: los modelos son herramientas flexibles y plurales, capaces de explicar un mismo fenómeno desde enfoques diversos. Así, un mismo modelo puede representarse de distintas formas —gráfica, visual, verbal, matemática, física— según el contexto y el propósito (Justi y Gilbert, 2002; Schwarz y White, 2005; Upmeier zu Belzen et al., 2019). Al respecto, algunos trabajos integran todas estas características en un marco teórico unificado, ofreciendo una perspectiva holística de los modelos (Oh y Oh, 2011; Oliva y Blanco-López, 2021; Treagust et al., 2002).

Enseñanza-aprendizaje de la naturaleza de los modelos

Algunos estudios sugieren que explicitar los contenidos relacionados con la naturaleza de los modelos no solo mejora la comprensión de los modelos científicos, sino que también potencia el desarrollo de habilidades metacognitivas y críticas en los estudiantes. Además, diversos autores muestran que un tratamiento didáctico explícito y reflexivo de la naturaleza de la ciencia (Lederman, 2007), aspecto que incluye también a la naturaleza de los modelos, es más eficaz que uno implícito. Un enfoque explícito y reflexivo en la enseñanza implica implementar estrategias que visibilicen aspectos clave del aprendizaje y fomenten la reflexión crítica (Acevedo, 2009). Para ello, es esencial explicitar y verbalizar los contenidos del conocimiento sobre la naturaleza de los modelos, facilitando así una comprensión más profunda de los procesos científicos. Existen diferentes herramientas que permiten llevar a cabo esta explicitación.

En primer lugar, los enfoques comunicativos resultan fundamentales para promover una comprensión más profunda de los modelos. Por un lado, los enfoques dialógicos, caracterizados por la exploración y cuestionamiento de ideas a través del diálogo, permiten que los estudiantes participen activamente en la construcción de modelos. Por otro lado, los enfoques unidireccionales, que dirigen la atención hacia aspectos clave mediante guías estructuradas, complementan este proceso al asegurar que los conceptos científicos sean comprendidos. Estos dos enfoques son compatibles y complementarios (Scott et al., 2006).

En segundo lugar, las estrategias de andamiaje docente son fundamentales para que haya una comunicación interactiva entre docentes y estudiantes (Van de Pol et al., 2010; Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018). Por ejemplo, las preguntas abiertas son una estrategia interesante en el proceso de modelización, ya que incita a los estudiantes a reflexionar sobre la selección de modelos, los criterios para evaluar su eficacia y la interpretación de sus resultados. Estas preguntas no solo estimulan el pensamiento crítico, sino que también contribuyen al desarrollo de un conocimiento sobre la naturaleza de los modelos, lo que implica entender los modelos como herramientas descriptivas, además de como representaciones interpretativas y limitadas.

En tercer lugar, las analogías pueden considerarse herramientas facilitadoras para el aprendizaje de modelos científicos (Marrero-Galván y González-Pérez, 2023). Asimismo, un valor importante de estas radica en su potencial para desarrollar estrategias, habilidades y visiones epistemológicas de interés para la ciencia y para los procesos de modelización (Oliva, 2004). Por tanto, las analogías son una herramienta de andamiaje en la modelización, en el sentido más amplio. No obstante, para estos propósitos no es válido cualquier uso de las analogías en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se debe explicitar de forma completa la analogía, destacando sus correspondencias con el concepto objetivo y asegurándose de que los estudiantes comprendan la relación entre ambos. También es importante analizar las limitaciones de la analogía y, cuando sea posible, comparar varias analogías (Petchey et al., 2023).

En definitiva, el desarrollo de la competencia de modelización demanda el aprendizaje de todo un conjunto de habilidades y principios epistemológicos, el cual puede fomentarse a través de un proceso de enseñanza (Oliva et al., 2018). Por tanto, los procesos de modelización son, al mismo tiempo, un objeto de aprendizaje y una vía de enseñanza.

Metodología

Participantes

La intervención involucró a 181 estudiantes —97 alumnas y 84 alumnos— de 3º de ESO (14-15 años) procedentes de dos institutos públicos de enseñanza secundaria, organizados en un total de nueve grupos-clase a cargo de dos docentes. Las profesoras, con 10 y 5 años de experiencia docente, recibieron una guía docente sobre la propuesta didáctica, en la que se describían todos los principios de diseño de la secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA). Además, participaron en una validación del diseño de la SEA previa a la intervención en el aula.

Contexto didáctico

La SEA se integró en el desarrollo habitual de la asignatura de Biología y Geología a lo largo de seis sesiones de una hora cada una. Los contenidos se corresponden con el currículo de 3º ESO en España (Tabla 1).

Tabla 1. Elementos curriculares relacionados con la inmunología (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2022).

Saberes básicos	Competencias específicas
<p>Las barreras del organismo frente a los patógenos (mecánicas, estructurales, bioquímicas y biológicas).</p> <p>Mecanismos de defensa del organismo frente a agentes patógenos (barreras externas y sistema inmunitario): su papel en la prevención y superación de enfermedades infecciosas.</p> <p>La importancia de la vacunación en la prevención de enfermedades y en la mejora de la calidad de vida humana.</p> <p>Modelado como método de representación y comprensión de procesos o elementos de la naturaleza.</p>	<p>Analizar y explicar fenómenos biológicos y geológicos representándolos mediante modelos</p> <p>Reconocer la información sobre temas biológicos y geológicos con base científica, distinguiéndola de pseudociencias, bulos, teorías conspiratorias y creencias infundadas y manteniendo una actitud escéptica ante estos.</p> <p>Proponer y adoptar hábitos saludables, analizando las acciones propias y ajenas con actitud crítica y a partir de fundamentos fisiológicos.</p>

La intervención didáctica consistió en una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) basada en modelización. La modelización puede describirse como un proceso compuesto por distintas fases (Oliva, 2019):

1. Reconocimiento de la necesidad de un modelo. Todo proceso de modelización comienza con la identificación de un fenómeno que requiere explicación. En este caso, se trataba de justificar la necesidad de comprender los mecanismos inmunitarios para entender fenómenos como la fiebre o la inmunización.
2. Construcción del modelo. La modelización requiere recursos para facilitar la construcción de los modelos (Aragón-Méndez y Oliva, 2020). En este caso se empleó un modelo analógico. Concretamente, se utilizó la analogía de un sistema de seguridad, por sus similitudes funcionales con el sistema inmunitario. La eficacia de este recurso se basa en el pensamiento analógico, que permite transferir conocimiento del análogo al objeto (Gray y Holyoak, 2021).
3. Aplicación del modelo. Una vez construido, el modelo debe trasladarse a otros contextos o utilizarse para realizar predicciones. En este caso, se propusieron actividades en las que el alumnado aplicase el modelo de inmunidad desde el contexto de infección al de vacunación.
4. Revisión del modelo. Finalmente, se fomentó la reflexión sobre la validez y adecuación del modelo (re)construido mediante la evaluación del modelo analógico y la síntesis del mismo.

La tabla 2 correlaciona las actividades de la SEA con las fases de la modelización y con los diferentes elementos de la competencia de modelización. El objetivo de este artículo no es hacer una descripción detallada de las actividades ni una crónica de la intervención en el aula. No obstante, es necesario señalar que, de manera explícita, se trataron dos cuestiones importantes sobre la naturaleza de los modelos: «utilidad de los modelos», en la actividad A1 y «más allá de réplicas exactas», en la actividad A5. Estas actividades tenían el objetivo de que los estudiantes desarrollaran una comprensión más profunda de los modelos científicos aplicados en biología.

Tabla 2. Fases y componentes de modelización incluidos en la SEA

Fases de la modelización	Competencia de modelización		Secuencia de actividades
	Prácticas de modelización	Conocimiento sobre la naturaleza de los modelos	
Justificación del modelo		Utilidad del modelo	A1 Sobre experiencias previas con modelos
Construcción del modelo	Expresión del modelo		A2 Sobre el análogo: componentes de un sistema de seguridad
			A3 Analogía incompleta del sistema inmunitario
Aplicación del modelo	Transferencia del modelo		A7 Analogía incompleta de las vacunas
			A8 Naturaleza de argumentos antivacunas
Revisión del modelo	Evaluación del modelo	Más allá de réplicas exactas	A5 Evaluación del modelo analógico
	Reconstrucción del modelo		A4 Texto A6/A9 Mapa conceptual

En la actividad A1, a través de un enfoque comunicativo interactivo, las profesoras plantearon preguntas orientadas a explorar las ideas previas del alumnado. Preguntas como ¿qué ocurre cuando persona tiene gripe?, ¿qué es la fiebre?, ¿por qué solamente se pasa la varicela una vez en la vida? o ¿vacunarse significa que los virus o bacterias no entran nunca más en el organismo? dieron pie a que el alumnado explicitase sus ideas y percibiese la necesidad de adquirir conocimientos que le permitiese explicar y hacer predicciones sobre fenómenos relacionados con la inmunidad.

En cuanto a posibles maneras de estudiar el cuerpo humano en el aula, se les preguntó cómo abordarían el estudio del sistema digestivo y el circulatorio, dirigiendo sus respuestas hacia el uso de modelos anatómicos, comunes en los laboratorios escolares de biología, y la elaboración de maquetas. Cuatro de los grupos –todos de uno de los centros participantes– tenían experiencia previa con estos recursos.

Al tratar el estudio del sistema inmunitario se deben tener en cuenta las particularidades de este sistema, cuyos elementos componentes no están reunidos en un órgano específico ni tienen una ubicación fija en el cuerpo. Por ello, las profesoras usaron preguntas como ¿dónde está el sistema inmunitario en el cuerpo?, ¿se puede señalar en un modelo anatómico? a modo de pistas guiar la reflexión del alumnado de manera que llegaran por sí mismos a la necesidad de recurrir a un modelo analógico. A diferencia de los modelos anatómicos, los modelos analógicos permiten representar conceptos abstractos y estructuras que no forman órganos macroscópicos. De este modo, se pretendía que los estudiantes comprendieran que, al igual que los modelos anatómicos son importantes para representar la anatomía del cuerpo humano, los modelos analógicos abordan la comprensión de sistemas menos tangibles que incluyen aspectos funcionales, promoviendo así un entendimiento más integral de los fenómenos biológicos.

Por tanto, la actividad A1 tenía un propósito doble: que el alumnado viese la necesidad de construir un modelo explicativo y predictivo sobre la función inmunitaria, y el interés de hacer esta construcción a través de modelo analógico.

La actividad A5 tenía como objetivo que los estudiantes analizaran con mayor profundidad la utilidad y las limitaciones del modelo analógico. Para ello las profesoras formularon preguntas como: ¿las células del sistema inmunitario y los patógenos tienen la capacidad de planear lo que van a hacer?, ¿el modelo que hemos estudiado explica cómo se comunican los leucocitos?, ¿el modelo del sistema inmunitario sirve para saber cómo reacciona el cuerpo ante una infección?, ¿sirve para algo más? El objetivo de estas preguntas era profundizar en las similitudes y diferencias entre el modelo analógico del sistema inmunitario y la realidad representada, así como su utilidad práctica en el aprendizaje, alentando a los estudiantes a reconocer que, aunque los modelos analógicos son herramientas valiosas para facilitar la comprensión de conceptos complejos, también pueden simplificar en exceso ciertos aspectos del funcionamiento biológico.

Instrumentos de evaluación

Para evaluar la comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza de los modelos científicos y su uso, se dispone de instrumentos como el cuestionario *Students' Understanding of Models in Science* (SUMS) (Treagust et al., 2002) o el cuestionario sobre Comprensión de la Naturaleza de los Modelos (CoNaMo; Oliva y Blanco-López, 2021). Ambos consideran dimensiones clave, como la idea de que los modelos no son réplicas exactas de la realidad, el reconocimiento de sus funciones y finalidades, la aceptación de que diferentes modelos pueden representar el mismo fenómeno y la comprensión de que los modelos científicos evolucionan con el tiempo. No obstante, el segundo de ellos tiene la ventaja de haberse desarrollado para estudiantes hispanohablantes, como ocurre con la muestra que será objeto de este estudio.

Los datos que se analizan en este estudio se obtuvieron mediante el cuestionario CoNaMo. Este instrumento se administró antes y después de una intervención didáctica diseñada para procurar el aprendizaje del modelo de inmunidad y vacunas. El CoNaMo es un cuestionario a lápiz y papel que comprende 20 ítems distribuidos uniformemente en cuatro dimensiones: «más allá de las réplicas exactas» (ítems 1 a 5), «utilidad de los modelos» (ítems 6 a 10), «representaciones múltiples» (ítems 11 a 15) y «naturaleza cambiante» (ítems 16 al 20). La mitad de los ítems están redactados positivamente con respecto a una visión epistemológicamente adecuada, mientras que el resto está invertido; cada dimensión contiene al menos dos elementos positivos y dos inversos. Los encuestados califican cada ítem en una escala tipo Likert de 5 opciones: totalmente de acuerdo, de acuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, en desacuerdo, totalmente en desacuerdo. En el Anexo 1 se incluye un ejemplo de ítem de cada dimensión. Cada ítem se puntúa de 0 a 4 puntos, invirtiendo los valores de los ítems redactados de forma inversa. Ello permite puntuar cada dimensión entre 0 y 20 puntos. Al sumar estas puntuaciones del conjunto de los 20 ítems, se obtiene una puntuación total que varía entre 0 y 80 puntos, lo que proporciona una medida cuantitativa del nivel de comprensión de la naturaleza de los modelos.

Además del cuestionario CoNaMo, se recolectaron datos procedentes de los portafolios de los estudiantes, así como del diario docente y de la crónica de la intervención elaborada por una de las autoras del artículo, quien actuó como observadora externa. Los portafolios contenían las producciones escritas del alumnado, mientras que a través del diario docente y la crónica elaborada por la observadora externa se registraron las intervenciones orales de los alumnos y las interacciones de las profesoras con los grupos.

Análisis de datos

Para evaluar los cambios en el conocimiento de los estudiantes sobre la naturaleza de los modelos, se siguió un enfoque cuantitativo basado en un diseño pretest-postest, completado con datos cualitativos procedentes de los otros instrumentos.

Previamente, para verificar la confiabilidad de las mediciones, se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach para datos ordinales de cada dimensión y de puntuación global del CoNaMo (Tabla 3). Los datos de fiabilidad mostraron en el pretest una consistencia interna aceptable en la mayoría de las dimensiones, con excepción de la dimensión «utilidad de los modelos», que presentó una confiabilidad limitada. En el postest, los valores de fiabilidad mejoraron ostensiblemente en todas las dimensiones, alcanzando niveles de consistencia interna aceptables y, en algunos casos, altos. Ello sugiere una mejora en la confiabilidad del cuestionario tras la intervención, lo que de alguna manera revela un mayor grado de convicción del alumnado en la respuesta que aportan. La puntuación global mostró valores elevados de fiabilidad tanto en el pretest como en el postest, lo cual indica una buena consistencia general del instrumento en ambas mediciones.

Tabla 3. Fiabilidad de las dimensiones medidas mediante el coeficiente Alfa de Cronbach

Dimensiones del CoNaMo	Alfa de Cronbach	
	Pretest	Postest
Más allá de réplicas exactas	0,694	0,800
Utilidad	0,567	0,774
Representaciones múltiples	0,709	0,725
Naturaleza cambiante	0,785	0,841
Naturaleza de los modelos (global)	0,812	0,877

Con los resultados de las dimensiones del CoNaMo se realizó un análisis cuantitativo de los datos obtenidos, comparando los resultados entre el pretest y el postest con el fin de evaluar los cambios en el conocimiento de los estudiantes sobre la naturaleza de los modelos. Al objeto de valorar los resultados de esas escalas se consideraron dos puntos de corte. El primero se situó en la mitad de cada escala (10 sobre 20), que representa una posición neutra respecto a la dimensión (valor promedio de 2 que se corresponde con la opción intermedia de la escala Likert: “ni de acuerdo ni en desacuerdo”). A partir de ese valor se entiende que el estudiante se mantiene al menos parcialmente partidario del sentido de la dimensión. El otro corte se situó en el 75% de la escala (15 sobre 20), que es aquel recomendado en estudios anteriores (Oliva y Blanco-López, 2021; 2023) y aquél también que indica una posición netamente favorable del estudiante al sentido de la dimensión (promedio de 3; esto es, opción “favorable” al polo positivo de la dimensión).

El análisis se completó con pruebas de inferencia para evaluar la significancia de las diferencias entre el pretest y el postest, considerando el p-valor de 0,05 como umbral de significación estadística. Se empleó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, adecuada para muestras relacionadas y distribuciones no paramétricas, complementada con el cálculo del tamaño de efecto (d) como indicador de la magnitud de la diferencia observada. Este enfoque permitió cuantificar el impacto de la intervención en el conocimiento de los estudiantes. Estos resultados se interpretaron considerando que un valor de 0,1 se clasifica como pequeño, 0,3 como moderado y 0,5 como grande (Fritz et al., 2012). Todos los análisis se realizaron mediante el software IBM SPSS Statistics v.29.

Resultados y discusión

La tabla 3 presenta los resultados del CoNaMo tanto en el pretest como en el postest. Los datos muestran inicialmente valores variables para las distintas dimensiones, siendo la dimensión «más allá de réplicas exactas» aquella en la que peores resultados se obtuvieron y la de «Naturaleza cambiante» la que arrojó valores más altos. Cabe resaltar que la primera de esas dimensiones puntuó por debajo de la mitad de su valor posible y que sólo la última alcanzó el umbral de 15 sobre 20 en la escala, que es el recomendado como valor mínimo adecuado a conseguir (Oliva y Blanco-López, 2023). En el postest, todas las dimensiones superan la mitad de la puntuación posible, si bien, de nuevo, solo la dimensión «naturaleza cambiante» arroja un resultado totalmente satisfactorio.

La tabla 4 evidencia cierta progresión tanto en las cuatro dimensiones como en la dimensión global. Particularmente, cabe destacar el avance observado en la dimensión «más allá de réplicas exactas» que es, como se mencionaba, la que arrojó peores resultados se reportaron en el pretest.

Tabla 4. Prueba de Wilcoxon para comparación intragrupo

Dimensiones del CoNaMo	Pretest		Postest		p-valor	r
	M	DS	M	DS		
Más allá de réplicas exactas	9,2	3,2	12,0	4,3	0,000	0,546
Utilidad	13,3	2,5	13,9	3,1	0,009	0,194
Representaciones múltiples	13,9	2,8	14,1	3,0	0,292	-
Naturaleza cambiante	15,9	3,0	16,1	3,3	0,164	-
Naturaleza de los modelos (global)	52,3	6,8	56,1	9,1	0,000	0,467

Para analizar el alcance de los cambios observados, se aplicó la prueba de Wilcoxon (tabla 4). Los valores obtenidos muestran mejoras estadísticamente significativas solo en las dimensiones «más allá de réplicas exactas» y «utilidad», así como en la dimensión global. En estos casos, el tamaño del efecto (r) muestra que la magnitud de cambio en la dimensión «más allá de réplicas exactas» y en la dimensión global es mayor, mientras que en la dimensión «utilidad» es relativamente pequeña.

Las causas que explican la progresión en el conocimiento sobre la naturaleza de los modelos no se encuentran en la mera repetición del CoNaMo (Oliva y Caballero, 2020). Para Torres y Vasconcelos (2017) la exposición a modelos por sí sola tampoco asegura una comprensión profunda de su naturaleza, sino que son necesarias actividades que promuevan la metacognición y el pensamiento crítico sobre ellos. Por tanto, la progresión observada podría atribuirse a la propia intervención. Con el objetivo de localizar cuáles son los aspectos concretos que habrían contribuido a los resultados cuantitativos expuestos, se recogen argumentos de distintos autores que conectan los resultados obtenidos en el CoNaMo con los datos cualitativos de las observaciones de aula, el diario docente, etc.

Ahondando en la interpretación de los resultados encontrados y tal como se apuntaba en el marco teórico, consideramos que la comprensión de la naturaleza de los modelos mejora cuando se visibilizan aspectos clave del aprendizaje y se fomenta la reflexión crítica (Acevedo, 2009). En la SEA, esta oportunidad se dio en las actividades A1 y A5 en las que, respectivamente, se abarcaron las dimensiones «utilidad» y «más allá de réplicas exactas». Estas dimensiones fueron las únicas que mejoraron de forma significativa, coincidiendo con los únicos aspectos abordados de forma explícita.

En cuanto a la reflexión realizada, es fundamental el rol docente, considerando que el enfoque tomado resulta importante para la progresión del aprendizaje (Crujeiras y Jiménez Aleixandre, 2018). En este sentido, al implementar la SEA se combinaron enfoques comunicativos dialógicos, que fomentaron la exploración y cuestionamiento de ideas, con enfoques directivos, que guiaron la atención hacia aspectos clave de la naturaleza de los modelos (Scott et al., 2006). Para guiar esta reflexión y estimular el desarrollo del conocimiento sobre la naturaleza de los modelos se emplearon estrategias como la formulación de preguntas abiertas (Van de Pol et al., 2010) sobre la elección y evaluación de los modelos, se ofrecieron pistas cuando eran necesarias para continuar la discusión y se proporcionaron las explicaciones que se iban requiriendo.

Por ejemplo, en la A1, esta dinámica permitió a los estudiantes reconocer los modelos anatómicos y las maquetas como representaciones útiles de la realidad. A través de la reflexión y discusión, comprendieron que estas herramientas, aunque simplificadas, facilitan el aprendizaje al hacer visibles estructuras y mecanismos complejos. Así lo corroboraron las docentes implicadas en los diarios de clase y las entrevistas realizadas al final de la intervención.

A través del mismo tipo de estrategias de andamiaje, en la actividad A5 algunos estudiantes destacaron que el modelo analógico utilizado les ayudó a comprender el sistema inmunitario, aunque inicialmente no explicaron el porqué. Para guiar la reflexión, la profesora formuló preguntas estratégicas –como las ejemplificadas en el apartado del contexto didáctico– que promovieron un diálogo sobre las similitudes y limitaciones de los modelos analógicos. Algunos ejemplos significativos se encuentran en los portafolios de los estudiantes que, tras haber trabajado la analogía del sistema inmunitario con un sistema de seguridad, reflexionaron sobre si las células y los patógenos planifican sus acciones.

“En mi opinión, creo que el modelo es muy útil para poder hacer una asociación en tu cabeza ya que el sistema inmunitario no se puede representar en una maqueta física. Sin embargo, en términos más científicos no creo que sea tan útil porque puede crear bastante confusión ya que en realidad el sistema inmunitario no tiene alarmas ni guardias ni ladrones que entren en nuestro cuerpo, etc. por eso creo que es bueno para poder hacerte una idea en la cabeza, pero hay que tener claras las diferencias para no confundirse”.

“Yo creo que sirve para ayudar a entender cómo funciona, asociando el sistema inmune a la realidad y haciéndonos recordar situaciones y que sea más fácil asociarlo al sistema. Claro que tiene limitaciones, como la personificación de las células”.

“El modelo ha sido muy acertado para hacerte una clara idea, pero no podemos comparar las células, las cuales no tienen conciencia como seres humanos, que sí saben cuándo atacar y tienen conciencia, aunque su función es la misma, proteger y defender un cuerpo. Es un modelo que no llega a ser muy científico, pero nos ayuda a entender mejor. A pesar de todo, la semejanza me ha parecido muy acertada”.

Estas reflexiones no solo indican que los estudiantes reconocen que los modelos pueden ser útiles para la comprensión, sino que también muestran una comprensión clara de sus

limitaciones. Al señalar que las células no poseen conciencia como los seres humanos, se evidencia cierta capacidad para evaluar el modelo analógico, entendiendo que, aunque las analogías facilitan el aprendizaje, también simplifican la complejidad de los fenómenos biológicos.

A través de este análisis, los estudiantes lograron extraer conclusiones más amplias sobre los modelos científicos en general, y no solo sobre la analogía discutida en la actividad A5. Esta evolución en su comprensión se refleja en los cambios observados en las dimensiones «más allá de réplicas exactas» y «utilidad».

Conclusiones y propuestas de mejora

Respondiendo a la pregunta de investigación, el conocimiento sobre la naturaleza de los modelos de estudiantes de 3º de ESO progresa parcialmente tras la SEA basada en el modelo de inmunidad y vacunas. En concreto se han observado mejoras en las dimensiones «utilidad» y «más allá de réplicas exactas», las únicas abordadas a través de actividades con un carácter explícito y reflexivo.

Aun considerando el carácter multifactorial de los procesos de enseñanza - aprendizaje y la dificultad de encontrar una relación lineal entre un resultado y un único elemento de una propuesta didáctica, los resultados de este estudio se alinean con los de Acevedo (2009) o Toma (2020), que subrayan la importancia de tratar explícitamente la epistemología de los modelos y la naturaleza de la ciencia en intervenciones didácticas.

Las limitaciones del aula de secundaria, en cuanto a la cobertura de contenido en un tiempo limitado, dificultan la enseñanza completa de la competencia de modelización en una única secuencia de aprendizaje. De hecho, como se ha podido ver, si bien los resultados del CoNaMo mejoraron tras la enseñanza, los logros alcanzados fueron solo limitados. Por lo tanto, es conveniente planificar, tanto en varias propuestas de una misma materia como en el conjunto de asignaturas de ciencias, actividades centradas en la modelización para abordar tanto las habilidades prácticas como las dimensiones de comprensión de los modelos.

Por lo que respecta a la SEA sobre inmunidad y vacunas referida en este estudio, parece oportuno proponer mejoras, sobre todo atendiendo a la necesidad de incluir explícita y reflexivamente las dimensiones que no se han abordado de esta manera.

En cuanto a la dimensión «representaciones múltiples», la exposición a modelos diversos y la comparación entre ellos fomentan una comprensión más crítica de sus puntos fuertes y limitaciones (Krell et al., 2012). En el caso del tópico de este estudio, al considerar cada vacuna como un modelo de solución a una enfermedad infecciosa, se podría utilizar la diversidad de clases de vacunas como vía para tratar la dimensión «representaciones múltiples». La multiplicidad puede ayudar al alumnado a percibirlos como herramientas para comprender la inmunidad, evaluando las ventajas y desventajas de cada uno para explicar y predecir el fenómeno (Schwarz et al., 2012).

Respecto a la dimensión «naturaleza cambiante», sería oportuno incluir la historia de la inmunología para proporcionar un contexto sobre cómo se han desarrollado y refinado los modelos científicos de inmunidad y vacunas a lo largo del tiempo, demostrando que son provisionales y sujetos a revisión según nuevas evidencias y cambios en el conocimiento científico (Acevedo y García-Carmona, 2016). Los episodios históricos cuidadosamente seleccionados pueden usarse para desmitificar la imagen de la ciencia como un conjunto de verdades absolutas; la historia de la ciencia muestra que el conocimiento científico es provisional y está en constante evolución (Adúriz-Bravo, 2009).

La enseñanza de la naturaleza de los modelos debe integrarse con los contenidos curriculares (García-Carmona, 2021) e incluir actividades que promuevan una reflexión activa de los estudiantes. Actividades como el análisis de casos históricos o de noticias de actualidad tienen un gran potencial para involucrar a los estudiantes en la construcción de su propio conocimiento sobre la naturaleza de los modelos científicos. Esto les permite ir más allá de ser receptores pasivos de información y evita que simplemente asuman las reflexiones realizadas por los docentes en el aula sobre la naturaleza de los modelos (Vicente et al., 2022).

Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto PID2022-136353NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER/UE.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, J. A. y García-Carmona, A. (2016). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia: Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista CTS*, 11(33), 203–226. DOI: <https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-455>
- Acevedo, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 6(3), 355–386. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.04
- Aduriz-Bravo, A. (2009). La naturaleza de la ciencia “ambientada” en la historia de la ciencia. En *VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*.
- Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (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. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.14441>
- 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* (pp. 63-74). Penguin Random House.
- Crawford, B. y Cullin, M. J. (2004) Supporting prospective teachers’ conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401. DOI: <http://doi.org/10.1080/09500690410001673775>
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>
- Fritz, C. O., Morris, P. E y Richler, J. J. (2012). Effect Size Estimates: Current Use, Calculations and Interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141 (1), 2-18. DOI: <https://doi.org/10.1037/a0024338>
- García-Carmona, A. (2021). La naturaleza de la ciencia en la bibliografía española sobre educación científica: Una revisión sistemática de la última década. *Revista de Educación*, 394.

- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Levy, S. T. y Wilensky, U. (2011). Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), 653–684. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500691003720671>
- Gray, M. y Holyoak, K. J. (2021). Teaching by analogy: From theory to practice. *Mind, Brain, and Education*, 15(2). DOI: <https://doi.org/10.1111/mbe.12288>
- Jansen, S., Knippels, M. C. P. J. y van Joolingen, W. R. (2019). Assessing students' understanding of models of biological processes: A revised framework. *International Journal of Science Education*, 41(8), 981–994. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1582821>
- Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Krell, M., Upmeier zu Belzen, A. y Krüger, D. (2012). Students' understanding of the purpose of models in different biological contexts. *International Journal of Biology Education*, 2(2).
- Krell, M. y Krüger, D. (2015). Testing Models: A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to Models and Modelling in Biology Lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), 160-173. DOI: <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1028570>
- Krell, M. y Krüger, D. (2017). University students' meta-modelling knowledge. *Research in Science and Technological Education*, 35(3), 261–273. DOI: <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1274724>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Lawrence Erlbaum.
- Marrero Galván, J. J. y González Pérez, P. (2023). Investigaciones sobre el uso de analogías en el aula de ciencias: Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1). DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1101
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). *Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria*. Boletín Oficial del Estado, 76, 4915–5008. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- Nicolaou, C. Th. y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Oliva, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 363–384.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>

- Oliva, J. M. y Aragón-Méndez, M. M. (2017). Modelización y pensamiento analógico en el aprendizaje del cambio químico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(3), 903–929
- Oliva, J. M., Aragón-Méndez, M. M., Jiménez-Tenorio, N. y Aragón, L. (2022). La modelización como enfoque didáctico y de investigación en torno a la educación científica. *International Journal of 21st Century Education*, 5(1), 3–18. DOI: <https://doi.org/10.21071/ij21ce.v5i1.4156>
- Oliva, J. M. y Blanco-López, A. (2021). Development of a questionnaire for assessing Spanish-speaking students' understanding of the nature of models and their uses in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(6), 852–878. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.21681>
- Oliva, J. M. y Blanco-López, Á. (2023). Rasch analysis and validity of the construct understanding of the nature of models in Spanish-speaking students. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 11(2), 344–359. DOI: <https://doi.org/10.30935/scimath/12651>
- Oliva, J. M. y Caballero, Á. (2020). El aprendizaje de los modelos atómicos y su contribución al desarrollo de prácticas de metamodelización en ciencias. *1er Congreso Internacional Sobre Educación Científica y Problemas Relevantes Para La Ciudadanía*, 152–155.
- Pérez, G. M., Gómez Galindo, A. 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). DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102
- Petchey, S., Treagust, D. y Niebert, K. (2023). Improving university life science instruction with analogies: Insights from a course for graduate teaching assistants. *CBE—Life Sciences Education*, 22(2). DOI: <https://doi.org/10.1187/cbe.22-07-0142>
- Raviolo, A., Ramírez, P., López, E. A. y Aguilar, A. (2010). Concepciones sobre el conocimiento y los modelos científicos: Un estudio preliminar. *Formación Universitaria*, 3(5), 29–36.
- Reiss, M. J. (2022). Trust, Science Education and Vaccines. *Science & Education*, 31(5), 1263–1280. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00339-x>
- Rowe, M. P., Gillespie, B. M., Harris, K. R., Koether, S. D., Shannon, L. J. Y. y Rose, L. A. (2015). Redesigning a General Education Science Course to Promote Critical Thinking. *CBE—Life Sciences Education*, 14(3), ar30. DOI: <https://doi.org/10.1187/cbe.15-02-0032>
- Schraw, G. y Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review*, 7(4), 351–371. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02212307>
- Schwarz, C. V. y White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–205. DOI: https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.20311>

- Schwarz, C., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L. y Fortus, D. (2012). Models: Challenges in Defining a Learning Progression for Scientific Modeling. En *Learning Progressions in Science* (pp. 101–137). SensePublishers. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_6
- Schwartz, R. S. (2019). Modeling competence in the light of nature of science. En A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger y J. van Driel (Eds.), *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (pp. 59-78). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_4
- Scott, P. H., Mortimer, E. F. y Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605–631. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20131>
- Tasquier, G., Levrini, O. y Dillon, J. (2016). Exploring students' epistemological knowledge of models and modelling in science: results from a teaching/learning experience on climate change. *International Journal of Science Education*, 38(4), 539–563. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1148828>
- Toma, R. B. (2020) Comprensión de aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia y valoración de su dimensión social. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(2), 2303. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2303
- 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. DOI: <http://hdl.handle.net/10498/18855>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. y Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690110066485>
- Upmeier zu Belzen, A. y Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Upmeier zu Belzen, A., van Driel, J. y Krüger, D. (2019). Introducing a framework for modeling competence. En A. Upmeier zu Belzen, J. van Driel y D. Krüger (Eds.), *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (pp. 3-19). Springer Nature. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_1
- Van de Pol, J., Volman, M. y Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher-student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271–296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>
- Vicente, J. J., Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J. M. (2022). La naturaleza de la ciencia como objeto de aprendizaje en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 97(36.1), 123–142. DOI: <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92424>

Anexo 1.

Ejemplos de ítems del CoNaMo

Ítem 3. Un modelo tiene que ser igual que el objeto que estudia (“Más allá de réplicas exactas”, redacción inversa)

Ítem 10. Los modelos sirven para comprender los fenómenos naturales (“Utilidad”, redacción directa).

Ítem 12. Los científicos suelen recurrir a varios modelos para estudiar diferentes aspectos de un mismo fenómeno (“Representaciones múltiples”, redacción directa).

Ítem 17. Cuando un modelo es aceptado por los científicos ya nunca es cambiado por otro modelo (“Naturaleza cambiante”, redacción inversa).