

Modelación Matemática y Educación STEM: un enfoque integrado para el desarrollo de competencias científicas

Verónica Hernández-Mena; Iván Loreto-Hernández

RESUMEN

La formación de ciudadanos capaces de comprender y enfrentar problemas complejos constituye un reto prioritario en la actualidad. La creciente interdependencia entre los avances de la investigación científica y la sostenibilidad de los sistemas socioambientales exige enfoques inter y transdisciplinarios. En este marco, la educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) y la modelación matemática de sistemas dinámicos se presentan como campos que, lejos de ser paralelos, pueden nutrirse mutuamente.

La modelación matemática ofrece un lenguaje riguroso para representar, analizar y simular procesos, mientras que la educación STEM busca desarrollar en los estudiantes competencias cognitivas, técnicas y actitudinales para abordar dichos procesos con sentido crítico y creativo. La convergencia entre ambas áreas permite no solo vincular los contenidos escolares con fenómenos reales, sino también potenciar la motivación y la relevancia social del aprendizaje. Este artículo explora los puntos de convergencia y destaca la relevancia de diseñar experiencias educativas que utilicen problemas reales de modelación matemática como vehículo para la formación STEM. Asimismo, se destacan sus aportes en la construcción de habilidades de pensamiento sistémico, resolución de problemas y colaboración, así como en la promoción de una mirada interdisciplinaria hacia los desafíos globales. Finalmente, se subraya la importancia de diseñar prácticas educativas que reconozcan la complejidad del mundo contemporáneo y contribuyan a la preparación de estudiantes capaces de participar activamente en la transformación de su entorno.

Palabras clave: educación STEM; modelación matemática; transdisciplinariedad, pensamiento crítico, resolución de problemas.

Cómo citar: Hernández-Mena, V., Loreto Hernández, I. (2026). Modelación Matemática y Educación STEM: un enfoque integrado para el desarrollo de competencias científicas. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto15>

Mathematical Modeling and STEM Education: an integrated approach for the development of scientific competencies

ABSTRACT

The formation of citizens capable of understanding and addressing complex problems constitutes a priority challenge today. The growing interdependence between advances in scientific research and the sustainability of socio-environmental systems requires interand transdisciplinary approaches. Within this framework, STEM education (science, technology, engineering, and mathematics) and the mathematical modeling of dynamic systems emerge as fields that, rather than being parallel, can mutually enrich each other. Mathematical modeling offers a rigorous language to represent, analyze, and simulate processes, while STEM education seeks to develop in students cognitive, technical, and attitudinal competencies to address such processes with a critical and creative perspective. The convergence between both areas makes it possible not only to connect school content with real phenomena, but also to enhance motivation and the social relevance of learning. This article explores the points of convergence and highlights the importance of designing educational experiences that use real mathematical modeling problems as a vehicle for STEM education. Likewise, its contributions to the development of systemic thinking skills, problem solving, and collaboration are highlighted, as well as the promotion of an interdisciplinary perspective toward global challenges. Finally, the importance of designing educational practices that recognize the complexity of the contemporary world and contribute to the preparation of students capable of actively participating in the transformation of their environment is emphasized.

Keywords: STEM education; mathematical modeling; transdisciplinarity; critical thinking; problem solving.

INTRODUCCIÓN

En un contexto global caracterizado por la incertidumbre, la interdependencia, la acelerada transformación tecnológica y los desafíos ambientales, la educación enfrenta el reto de formar ciudadanos capaces de comprender, analizar y actuar frente a realidades complejas (Bybee, 2013). En este sentido, la educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) se ha consolidado como una respuesta educativa orientada a integrar estas disciplinas en experiencias significativas y contextualizadas, promoviendo el desarrollo de competencias cognitivas, sociales y emocionales orientadas a la resolución de problemas reales (Honey et al., 2014).

Sin embargo, la práctica educativa continúa siendo desarticulada, con estructuras curriculares rígidas que aíslan el conocimiento y dificultan la transferencia entre disciplinas (Roehrig et al., 2021). En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar propuestas metodológicas que promuevan aprendizajes significativos y socialmente relevantes, capaces de conectar los contenidos escolares con los fenómenos globales.

Una vía prometedora para alcanzar esta integración es la modelación matemática, misma que se ha consolidado

como una herramienta poderosa para comprender sistemas dinámicos y para representar de manera estructurada los fenómenos del mundo real (Blum, 2015). Al incorporar la modelación al enfoque STEM, se puede ofrecer a cada estudiante una oportunidad para construir conocimiento a través de la exploración, la simulación y el análisis de fenómenos complejos, reforzando el vínculo entre la teoría y la práctica (Pessoa da Silva et al., 2022), transitando así de la abstracción a la aplicación y fortaleciendo el pensamiento crítico.

Sin embargo, a pesar de los beneficios ampliamente reconocidos de la modelación matemática, su incorporación efectiva en los entornos educativos continúa enfrentando múltiples desafíos. Diversos estudios señalan que las principales dificultades se relacionan con la falta de formación docente específica, la resistencia a modificar las prácticas tradicionales de enseñanza y la ausencia de materiales y recursos adaptados al enfoque de modelación (Quilantán-Ortega & Rodríguez-Velázquez, 2025). Los docentes suelen mostrar inseguridad al guiar procesos abiertos y no lineales, especialmente cuando se requiere integrar diversas

áreas del conocimiento o promover el trabajo colaborativo (Castaño Torres & Guerra Ramos, 2025). Además, los currículos escolares suelen estar estructurados de manera rígida, lo que dificulta dedicar tiempo suficiente a la exploración y validación de modelos, o a la discusión interdisciplinaria que esta metodología demanda (Stillman et al., 2010).

Estas limitaciones generan una tensión entre el ideal de una enseñanza centrada en la resolución de problemas reales y la presión institucional por cumplir con los contenidos estandarizados, lo que explica por qué la modelación matemática, pese a su potencial transformador, sigue siendo un componente marginal en muchas aulas.

Este artículo propone un marco de integración conceptual y metodológico entre ambas áreas y argumenta que la inclusión sistemática de experiencias de modelación aplicada en entornos educativos fortalece las competencias científicas y favorece la orientación vocacional hacia disciplinas STEM. Asimismo, se presentan fundamentos teóricos, ejemplos de implementación y consideraciones prácticas para diseñar estrategias pedagógicas que se vinculen a los problemas reales de modelación con el aprendizaje activo.

DESARROLLO

Educación STEM: fundamentos y retos

La educación STEM se orienta hacia el desarrollo de competencias integrales que trascienden la mera memorización de contenidos disciplinares. Su propósito central es fomentar la comprensión conceptual profunda de los fenómenos científicos y tecnológicos, promover la resolución de problemas complejos y estimular la curiosidad, la creatividad y el interés vocacional por las disciplinas científicas (Bybee, 2013; English, 2016). Este enfoque busca preparar a los estudiantes para participar activamente en una sociedad caracterizada por la innovación, la sostenibilidad y la interdependencia tecnológica.

Todo ello pretende que los estudiantes comprendan la naturaleza interconectada del conocimiento científico y tecnológico, y que sean capaces de aplicar los conceptos aprendidos en contextos auténticos. La educación STEM no solo busca la adquisición de conocimientos técnicos, sino también el desarrollo de competencias para pensar de manera interdisciplinaria y creativa frente a problemas auténticos, desarrollando habilidades de pensamiento crítico, creatividad e innovación. Además, fomenta la alfabetización científica y tecnológica necesaria para la participación ciudadana (National Academy of Sciences, 2014).

A pesar de su potencial transformador, diversas investigaciones advierten sobre una serie de retos estructurales y pedagógicos que obstaculizan la implementación efectiva de programas de educación STEM en el nivel básico. Entre los principales desafíos está la ausencia de sinergia interdisciplinaria (Tamargo-Pedregal et al., 2022), la escasa vinculación con contextos reales y la falta de estrategias que integren teoría y práctica de manera significativa (Honey et al., 2014).

Numerosos informes indican que muchos profesores

carecen de la formación disciplinar y metodológica necesaria para implementar enfoques interdisciplinarios y basados en proyectos, pilares esenciales de la educación STEM (Castaño Torres & Guerra Ramos, 2025; Silva & Alsina, 2023). Se observan también barreras pedagógicas, ya que la persistencia de estrategias tradicionales inhibe la integración curricular y reduce el potencial del enfoque STEM, orientado a la resolución creativa de problemas mediante la articulación entre ciencia, arte y tecnología (Mendoza Molina, 2023).

Estas limitaciones no solo reducen la percepción de relevancia del aprendizaje, sino que también dificultan la atracción y retención de estudiantes hacia los campos STEM, especialmente en niveles preuniversitarios. Frente a este panorama, los estudios destacan diversas estrategias de mejora orientadas a fortalecer la educación STEM. Entre ellas sobresalen la inversión en infraestructura, la implementación de programas continuos de formación docente y la adaptación de metodologías activas basadas en proyectos y en la indagación científica (Cifuentes & Caplan, 2020; Gaibor Bustamante et al., 2025).

El desafío consiste en trascender la enseñanza instrumental de contenidos hacia la comprensión relacional y el razonamiento sistémico, aspectos en los que la modelación matemática puede desempeñar un papel clave. Cuando las acciones se articulan con una comprensión profunda del contexto, contribuyen a reducir las brechas estructurales y a consolidar una educación STEM más inclusiva, pertinente y sostenible.

Modelación matemática

La modelación matemática ha sido reconocida como una práctica esencial tanto en la ciencia como en la educación. En el ámbito escolar, constituye un proceso mediante el cual los estudiantes traducen situaciones del mundo real en representaciones simbólicas, a través de un proceso que implica la identificación de un problema, la formulación de un modelo, el análisis, la validación y la interpretación de resultados. Este proceso exige a los estudiantes movilizar conocimientos matemáticos, científicos y tecnológicos, además de habilidades de comunicación y reflexión (Stillman et al., 2010).

Además, la modelación matemática permite representar fenómenos reales por medio de estructuras formales, tales como ecuaciones diferenciales, modelos estocásticos o autómatas celulares, con el propósito de describir, explicar y predecir comportamientos dinámicos; traduce procesos complejos en representaciones simbólicas que facilitan su análisis y comprensión, al tiempo que posibilita la toma de decisiones fundamentadas en evidencia cuantitativa (Blum, 2015).

En el ámbito de las poblaciones y los flujos, la modelación matemática ofrece un amplio rango de aplicaciones que van desde la ecología hasta la ingeniería ambiental o la planificación urbana. Los modelos logísticos, así como los de Lotka-Volterra, por ejemplo, se utilizan para analizar la dinámica de crecimiento y competencia entre especies,

así como las interacciones depredador-presa o los equilibrios ecológicos en comunidades biológicas (Xiong et al., 2019). De manera similar, es posible realizar simulaciones computacionales que permitan generar escenarios probables de violencia de pareja con distintos niveles de severidad (Leal-Enríquez, 2018). En contextos urbanos, los modelos de redes y flujos de tráfico posibilitan examinar la distribución temporal y espacial del movimiento de personas y vehículos, favoreciendo el diseño de sistemas de transporte más sostenibles (Petelin et al., 2023).

La capacidad de estos modelos para integrar datos empíricos, evaluar escenarios y optimizar decisiones los convierte en herramientas de gran valor tanto para la investigación aplicada como para la gestión de sistemas complejos. Además, su potencial pedagógico reside en la posibilidad de representar fenómenos observables y relevantes para los estudiantes, convirtiéndolos en un puente entre la abstracción matemática y la comprensión de la realidad (Blum, 2015).

En términos pedagógicos, la modelación promueve aprendizajes profundos, dado que sitúa al estudiante como protagonista de la construcción del conocimiento y lo enfrenta a la incertidumbre inherente a los fenómenos reales (Dominguez et al., 2024). Mediante el modelado, desarrollan una comprensión más orgánica de las relaciones causa-efecto, la variabilidad y la naturaleza dinámica de los sistemas.

La modelación matemática como estrategia integradora en la educación STEM

La convergencia entre STEM y modelación matemática puede entenderse desde el pensamiento complejo (Doğan et al., 2019), que reconoce la multidimensionalidad de los fenómenos y la necesidad de abordarlos de forma integrada. La integración de la modelación matemática dentro del enfoque STEM promueve experiencias de aprendizaje interdisciplinarias donde los estudiantes construyen modelos para explicar, predecir y transformar fenómenos del entorno (Panche, 2019), permitiendo representar y analizar sistemas físicos, biológicos, sociales o tecnológicos con rigor conceptual y pertinencia contextual.

Esta fusión potencia el desarrollo de competencias interdisciplinarias, como la resolución de problemas, la colaboración y la argumentación basada en evidencia, que son esenciales para la formación de ciudadanos científicos (Bybee, 2013). La modelación aporta el componente analítico y metodológico que permite que STEM pueda trascender la acumulación de contenidos para convertirse en un marco de pensamiento.

La incorporación de problemas auténticos de la modelación matemática dentro de entornos educativos STEM es una estrategia pedagógica potente que supera la brecha entre conocimiento teórico y aplicación práctica, que promueve una comprensión interdisciplinaria del aprendizaje, favoreciendo la conexión entre los contenidos curriculares y las problemáticas del mundo real (Schulz, 2016).

Modelación matemática en entornos educativos

Diversos estudios han mostrado que la modelación matemática empleada en entornos STEM se asocia con mejoras significativas en las competencias científicas y matemáticas de estudiantes de distintos niveles educativos, desde la educación básica hasta la superior (Cardona & Leal, 2024). En particular, se evidencian incrementos estadísticamente significativos en habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y razonamiento científico cuando se integran actividades interdisciplinarias y herramientas digitales en el aula (Bernal Parraga et al., 2024). Del mismo modo, experiencias basadas en metodologías de aprendizaje por proyectos y por problemas demuestran mejoras tanto cuantitativas en el rendimiento académico como cualitativas en la capacidad de modelar y analizar fenómenos reales (Gómez Urgellés, 2008; Panche, 2019).

Los modelos educativos integrales que incorporan la modelación matemática no solo fortalecen las habilidades analíticas y el pensamiento sistémico, sino que también promueven una comprensión más profunda de las interrelaciones entre teoría y práctica. En este sentido, diversos autores destacan que estos enfoques favorecen la formulación y aplicación de modelos, la identificación de variables críticas y el uso de analogías y representaciones prácticas para comprender sistemas complejos (Carmona-Mesa et al., 2020; Carrasco Lecona & Bernal Córdova, 2025; Del Mar Aragón et al., 2014). Asimismo, las intervenciones que integran la modelación con herramientas tecnológicas avanzadas e inductivas evidencian un fortalecimiento del vínculo entre el conocimiento científico y su aplicación contextual, aunque también subrayan la necesidad de ajustar los diseños de los modelos y ampliar la oferta tecnológica para optimizar los procesos formativos (Latifi et al., 2022).

En conjunto, la evidencia empírica y teórica disponible respalda que un enfoque educativo integrado, sustentado en la modelación matemática y en los principios de la educación STEM, favorece el desarrollo de competencias científicas esenciales, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad aplicada, al tiempo que impulsa una formación más reflexiva, interdisciplinaria y socialmente relevante para los desafíos contemporáneos.

Desarrollo de competencias transversales

El proceso de modelación matemática es inherentemente interdisciplinario y promueve la movilización de un conjunto amplio de competencias transversales esenciales para la educación STEM. Este proceso, que abarca la recopilación e interpretación de datos, la formulación de supuestos, la construcción del modelo, la validación de resultados y la comunicación de hallazgos, exige que los estudiantes integren habilidades cognitivas, procedimentales y actitudinales de alto nivel (Blum, 2015).

Durante la construcción y análisis de estos modelos, los estudiantes desarrollan razonamiento cuantitativo al interpretar patrones y relaciones entre variables y fortalecen su capacidad de argumentar con base en evidencia, lo que

sustenta sus conclusiones en datos y simulaciones. A su vez, la necesidad de validar los resultados y revisar los modelos estimula el pensamiento crítico y metacognitivo, pues los estudiantes deben reflexionar sobre la validez de sus supuestos y las implicaciones de sus decisiones.

De acuerdo con Magani y Bertolotti (2017), la modelación constituye un espacio cognitivo de frontera donde convergen las matemáticas, la experimentación y el razonamiento científico. Este carácter híbrido impulsa el desarrollo de habilidades que trascienden el dominio disciplinar, lo cual promueve la transferencia del conocimiento y la autonomía intelectual. Así, el aprendizaje basado en modelación contribuye a una formación científica integral que combina precisión analítica con creatividad, comunicación y trabajo colaborativo.

Conexión con problemas auténticos

Uno de los mayores aportes de la modelación matemática en la educación STEM es su capacidad para vincular el aprendizaje con problemas auténticos, es decir, con situaciones reales que poseen relevancia social, ambiental o tecnológica. La modelación de poblaciones biológicas, flujos de contaminantes o sistemas de movilidad urbana representan ejemplos claros de cómo los contenidos escolares pueden adquirir sentido y pertinencia en la vida cotidiana (Cardona & Leal, 2024; Panche, 2019).

Al situar a los estudiantes frente a fenómenos de su entorno inmediato, como la conservación de especies, la calidad del agua o la congestión del tráfico, se estimula la motivación intrínseca y se fortalece la percepción de que el conocimiento científico y matemático tiene una utilidad concreta para comprender y mejorar la realidad (Slovinsky et al., 2021).

Este tipo de experiencias promueve el desarrollo de una conciencia socioambiental y de una actitud más reflexiva ante la ciencia, entendida no solo como acumulación de saberes, sino como una herramienta para la acción colectiva. Cuando la modelación se enmarca en contextos reales, los estudiantes asumen un rol activo en la construcción del conocimiento, transformándose en agentes de indagación capaces de interpretar sistemas complejos y proponer soluciones innovadoras. De esta manera, la conexión con los problemas auténticos potencia tanto la relevancia del aprendizaje como la formación de ciudadanía científica, al situar la ciencia al servicio del bienestar social y ambiental (Bybee, 2013).

Orientación vocacional

La exposición temprana a experiencias de modelación matemática desempeña un papel crucial en la orientación vocacional de los estudiantes. Participar en proyectos donde se aplican modelos para resolver problemas reales permite que los jóvenes identifiquen sus intereses personales, reconozcan sus habilidades y descubran posibles trayectorias académicas y profesionales relacionadas con la biología cuantitativa, la ingeniería ambiental, la ciencia de datos o las mate-

máticas aplicadas (Caspi & Gorsky, 2024; Leyva et al., 2022).

Estas experiencias contribuyen al fortalecimiento de la autoeficacia científica, es decir, la confianza en la propia capacidad para comprender y usar la ciencia de manera competente (Bandura, 2011). Además, favorecen una percepción más humana y creativa de la ciencia, al presentarla como una actividad colaborativa, abierta a la exploración y al error. Según Honey et al. (2014), los entornos STEM que incorporan modelación promueven un aprendizaje activo en el que los estudiantes se reconocen como participantes legítimos en la construcción del conocimiento científico.

Desde esta perspectiva, la modelación matemática puede considerarse una estrategia de orientación vocacional de doble vía: por un lado, motiva el interés por las disciplinas científicas; y, por otro, permite visibilizar la diversidad de campos profesionales donde la ciencia y las matemáticas tienen aplicación directa. Tal enfoque resulta especialmente valioso en contextos donde los estereotipos de género o las desigualdades sociales limitan el acceso y la permanencia en carreras STEM (Luo et al., 2021). Además, puede mejorar la calidad académica y el rendimiento estudiantil, reduciendo potencialmente las tasas de deserción escolar mediante el desarrollo de competencias y la alineación de los objetivos de aprendizaje con las actividades y evaluaciones en el aula (Barragán & Cala, 2020).

Ejemplos de implementación educativa

Diversas experiencias en el nivel medio han demostrado que la modelación matemática y los proyectos basados en datos pueden integrarse eficazmente en el currículo STEM, favoreciendo el aprendizaje activo y la comprensión de fenómenos complejos desde edades tempranas. Este tipo de iniciativas promueven una comprensión interdisciplinaria, pues los estudiantes aplican conceptos de física, química y matemáticas para construir modelos de simulación que representan procesos hidrológicos reales (Young et al., 2025).

Por ejemplo, en una unidad didáctica centrada en el uso del modelado matemático en la educación secundaria, los estudiantes emplearon software como GeoGebra para formular y explorar aquellos modelos basados en ecuaciones diferenciales simplificadas. A partir de fenómenos cotidianos, como el crecimiento de una población o la propagación de una sustancia, se guiaron para identificar variables, establecer relaciones y validar los resultados obtenidos frente a los datos observados. Esta experiencia permitió no solo reforzar su comprensión conceptual, sino que también contribuyó al desarrollo de competencias de razonamiento matemático, pensamiento computacional y trabajo colaborativo, esenciales en la formación STEM (Latifi et al., 2022).

De la misma manera, experiencias de nivel universitario muestran la continuidad y expansión de estas habilidades en proyectos más complejos. Por ejemplo, los equipos de estudiantes de pregrado en la Universidad de California desarrollaron simulaciones y modelos de movilidad en campus y sistemas de transporte, analizando flujos peato-

nales y vehiculares, detectando cuellos de botella y proponiendo soluciones basadas en la optimización del tránsito y el diseño de rutas de microtransporte (Guerra, 2025). Estos proyectos, elaborados de manera interdisciplinaria, integran elementos de matemáticas aplicadas, programación, ingeniería civil y ciencias ambientales, consolidando un enfoque formativo centrado en la resolución de problemas mediante la modelación.

En conjunto, estas experiencias ilustran cómo es que la modelación matemática puede adaptarse a distintos niveles educativos, desde la secundaria hasta el pregrado, articulando la recolección de datos reales, el ajuste de parámetros y la simulación de escenarios con la comprensión de fenómenos del entorno. Ello evidencia la viabilidad de incorporar la modelación como una estrategia pedagógica clave en la educación STEM, fomentando el pensamiento crítico, la creatividad y la transferencia del conocimiento hacia contextos auténticos.

Apreciaciones para la implementación

Para incorporar la modelación matemática de manera efectiva en la educación STEM, es necesario tener en cuenta tanto principios didácticos como organizativos que garanticen que la experiencia de aprendizaje sea auténtica, viable y sostenible (Albarracín Vanoy, 2022). En primer lugar, la selección de problemas de relevancia social y ambiental favorece la motivación del alumnado y conecta el aprendizaje con su contexto inmediato. Esta orientación hacia contextos reales refuerza el sentido del aprendizaje y facilita la transferencia de las actividades al mundo real (Stillman et al., 2015).

Además, es importante ajustar la complejidad del modelo al nivel cognitivo del grupo: modelos excesivamente abstractos o sin relación con la experiencia del alumno pueden provocar la desconexión, mientras que aquellos modelos bien escalonados permiten construir competencias de modelación de manera progresiva (Durandt, 2021).

Dentro de la práctica docente, el trabajo colaborativo y la reflexión sobre cómo se modela son componentes esenciales en la enseñanza. Cuando los estudiantes dialogan, comparan sus procedimientos y justifican sus decisiones, los ciclos de traducción, validación y ajuste del modelo adquieren mayor sentido y profundidad. Autores como Blum (2015) indican que estas iteraciones son esenciales para construir la competencia de modelado.

Por otro lado, a nivel organizativo, resulta fundamental asegurar que los docentes cuenten con recursos digitales accesibles (software de modelado, visualización, hojas de cálculo, sensores, plataformas colaborativas) y guías didácticas que les permitan estructurar la actividad de modelado sin reinventar todo desde cero. Los docentes requieren materiales de apoyo para actividades de modelado aplicable, con el fin de integrarlo con éxito en la enseñanza.

Asimismo, la formación docente y de los espacios de desarrollo profesional continuo son imprescindibles. Los docentes que no han trabajado previamente con modela-

ción expresan barreras como la falta de confianza, el tiempo limitado, el desconocimiento de tareas de modelado y la escasez de ejemplos adecuados (Blum, 2015).

La implementación efectiva de la modelación matemática requiere una organización pedagógica intencional que combine planificación, recursos y acompañamiento docente. Los proyectos más exitosos son aquellos que se integran dentro del currículo regular, en lugar de presentarse como actividades aisladas. Distribuir las fases del proceso en bloques de trabajo claramente definidos de dos a cuatro semanas, permite que los estudiantes puedan recorrer con profundidad cada etapa del ciclo de modelización, desde la formulación del problema y la obtención de datos hasta la validación y comunicación de resultados. Este enfoque, promueve aprendizajes significativos y sostenidos al favorecer la conexión entre la realidad y el pensamiento matemático, así como la reflexión crítica sobre los supuestos empleados (Durandt, 2021; Blum, 2015).

Resulta esencial garantizar condiciones tanto materiales, como didácticas que sostienen el proceso: acceso a datos, herramientas digitales y guías estructuradas que orienten el trabajo de los estudiantes. A su vez, Maaß et al. (2018) destacan que la anticipación de estos recursos permite centrar la atención en la comprensión conceptual, mientras que la evaluación del proceso, más allá del resultado final, refuerza la colaboración, la argumentación y la metacognición (Stillman et al., 2015). Así, la modelación se consolida no solo como una estrategia analítica, sino como un espacio formativo integral que articula la teoría con la acción y promueve el desarrollo de competencias científicas y ciudadanas.

La modelación no se limita a ser un conjunto de cálculos y fórmulas. Es un vehículo pedagógico integrador, capaz de conectar el conocimiento disciplinar (matemáticas, ciencias y tecnología) con la exploración crítica de desafíos contemporáneos, promover el pensamiento sistemático, la argumentación basada en evidencia y la responsabilidad social del alumnado. En resumen, cuando se incorporan estos principios didácticos y organizativos, la modelación matemática se convierte en un motor de aprendizaje STEM auténtico, situado, colaborativo y formativo.

CONCLUSIONES

La incorporación de la modelación matemática en la educación STEM se configura como una estrategia pedagógica clave para enfrentar los desafíos contemporáneos de la enseñanza científica. A lo largo de este análisis, se ha evidenciado que la modelación no solo constituye un recurso analítico para describir fenómenos, sino también una práctica epistémica que transforma la manera en que los estudiantes se relacionan con el conocimiento. Al involucrar procesos de abstracción, experimentación, validación y comunicación, la modelación promueve la construcción de un pensamiento sistémico y crítico que trasciende los límites disciplinares tradicionales (Stillman et al., 2015).

En particular, la modelación de poblaciones y flujos ofrece

un campo fértil para articular conceptos de las ciencias naturales, las matemáticas y la ingeniería con problemáticas reales de sostenibilidad, salud o movilidad. Este tipo de experiencias sitúan a los estudiantes frente a fenómenos complejos, donde la interpretación de datos, la formulación de supuestos y la simulación de escenarios se convierten en vehículos para el aprendizaje significativo. La educación STEM cobra sentido cuando conecta los saberes escolares con la comprensión del mundo y con la capacidad de transformarlo.

No obstante, el desarrollo de propuestas integradoras enfrenta retos estructurales y pedagógicos. La rigidez curricular, la limitada formación docente en modelación y la escasez de recursos didácticos y tecnológicos continúan siendo barreras significativas (Quilantán-Ortega & Rodríguez-Vázquez, 2025). Estas dificultades evidencian la necesidad de avanzar hacia políticas y programas de formación que fortalezcan las competencias docentes en pensamiento sistémico, diseño de modelos y uso de herramientas digitales, así como la creación de redes colaborativas entre instituciones educativas y centros de investigación.

Asimismo, resulta indispensable consolidar una cultura educativa basada en la interdisciplinariedad, donde las ciencias y las matemáticas no se perciban como campos aislados, sino como lenguajes complementarios para comprender la complejidad de los sistemas naturales y sociales (Makonye & Moodley, 2023). Desde esta perspectiva, la modelación se convierte en una estrategia integradora que articula la teoría con la práctica, y el razonamiento lógico con la creatividad y la reflexión ética.

Finalmente, puede afirmarse que la educación STEM apoyada en la modelación matemática tiene el potencial de formar ciudadanos críticos, autónomos y comprometidos con la sostenibilidad, capaces de analizar los problemas de su entorno desde una mirada informada y multidimensional. Su implementación efectiva requiere voluntad institucional, innovación pedagógica y apoyo continuo al profesorado, pero los beneficios que ofrece en términos de aprendizaje profundo, motivación y desarrollo de competencias justifican plenamente el esfuerzo. Enseñar modelación no solo

significa enseñar matemáticas de otro modo, sino enseñar a pensar con las matemáticas: un desafío que, más que técnico, es profundamente educativo y cultural.

Si bien este análisis permite visibilizar el potencial de la modelación matemática como eje integrador de la educación STEM, es importante reconocer algunas limitaciones. En primer lugar, el trabajo se sustenta en una revisión teórica, esto limita la posibilidad de evaluar los efectos de dichas estrategias en el aprendizaje, la motivación y el desarrollo de competencias.

Asimismo, el análisis se centra principalmente en experiencias y contextos educativos que cuentan con cierto nivel de infraestructura y apoyo institucional, lo cual puede limitar la transferibilidad de las conclusiones a entornos con mayores carencias. En este sentido, no se profundiza en las adaptaciones pedagógicas necesarias para contextos rurales, interculturales o de alta vulnerabilidad, donde las condiciones para la implementación de la modelación pueden ser significativamente distintas.

Una vez validadas las hipótesis de trabajo que responden al cumplimiento de los objetivos se identifican diversas líneas de investigación que podrían profundizar y ampliar el conocimiento sobre la modelación matemática en la educación STEM.

En primer lugar, resulta necesario desarrollar estudios empíricos, cualitativos y cuantitativos, que analicen la implementación de actividades de modelación en distintos niveles educativos, evaluando su impacto en el aprendizaje conceptual, el pensamiento sistémico, la resolución de problemas complejos y la formación de actitudes hacia las disciplinas STEM.

Asimismo, futuras investigaciones podrían explorar la implementación en contextos educativos diversos, particularmente en escuelas rurales, interculturales o con recursos limitados, analizando cómo esta estrategia puede adaptarse para responder a problemáticas locales relacionadas con la sostenibilidad, la salud o la movilidad.

Estas líneas de investigación contribuirían a consolidar la modelación matemática no solo como una herramienta didáctica, sino como un eje estructurante de una educación STEM más pertinente, inclusiva y socialmente comprometida.

REFERENCIAS

- Albarracín Vanoy, R.J. (2022). STEM Education as a Teaching Method for the Development of XXI Century Competencies. *Metaverse Basic and Applied Research*, 1, 21. <https://doi.org/10.56294/mr202221>
- Bandura, A. (2011). The Explanatory and Predictive Scope of Self-Efficacy Theory. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 4(3), 359-373. <https://doi.org/10.1521/jscp.1986.4.3.359>
- Barragán, S., & Cala, F. (2020). Educación STEM integrada como estrategia para la permanencia estudiantil en la educación superior. En: *Apuestas hacia la formación, impacto y proyectos de seres críticos* (Integrated STEM education as a strategy for student retention in higher education. In: Bets on the training, impact, and projects of critical thinkers) (pp. 85-110). https://doi.org/10.47212/educacion_stem-steam_6
- Bernal Parraga, A.P., Lamina Pasmay, S.V., Orozco Maldonado, M.E., Arreaga Soriano, L.L., Vera Figueroa, L.V., Chimbay Vallejo, N.M., & Zambrano Lamilla, L.M. (2024). Análisis comparativo de la metodología STEM y otras metodologías activas en la educación general básica (Comparative analysis of STEM methodology and other active metho-

- dologies in basic general education). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 10094-10113. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13153
- Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. Cho (Ed.), *The proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 73-96). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12688-3_9
- Bybee, R.W. (2013). *The Case for Education. Challenges and Opportunities*. NSTA Press.
- Cardona, J.P., & Leal, J.J. (2024). *Evaluación del desarrollo de habilidades de modelado matemático en un curso de ecuaciones diferenciales ordinarias: un enfoque desde la ingeniería* (Assessing mathematical modeling skills development in an ordinary differential equations course: an engineering approach). *Formacion Universitaria*, 17(2), 1-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062024000200001>
- Carmona-Mesa, J.A., Cardona Zapata, M.E., & Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM (Studying physical phenomena in the initial training of mathematics teachers: A STEM-focused experience). *Uni-Pluri/versidad*, 20(1), 18-38. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.02>
- Carrasco Lecona, J.O. & Bernal Córdova, A. (2025). Fomentando habilidades en Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas (STEAM) en Educación Media Superior: Retos y oportunidades en Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 164 "José María Luis Mora" (Promoting skills in Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics (STEAM) in Upper Secondary Education: Challenges and opportunities at the Center for Technological, Industrial and Service Studies No. 164 "José María Luis Mora"). *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(3), 1408-1418. https://www.researchgate.net/publication/392857556_Fomentando_habilidades_en_Ciencia_Tecnologia_Ingenieria_Artes_y_Matematicas_STEAM_en_Educacion_Media_Superior_Retos_y_oportunidades_en_Centro_de_Estudios_Tecnologicos_Industrial_y_de_Servicios_No_164
- Caspi, A., & Gorsky, P. (2024). STEM career expectations across four diverse countries: motivation to learn mathematics mediates the effects of gender and math classroom environments. *International Journal of STEM Education*, 11(52), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00511-5>
- Castaña Torres, Y., & Guerra Ramos, M.T. (2025, January 30). *Perspectivas de docentes de secundaria frente a una enseñanza con enfoque STEM en escuelas rurales* (Secondary school teachers' perspectives on STEM-focused teaching in rural schools). Critical Proceedings of the STEM ED Conference (2024). <https://doi.org/10.51734/enkj5089>
- Cifuentes G., A.P., & Caplan, M. (2019). Experiencias de educación STEM en el ámbito formal y rural. En N. Moreno Cáceres (Comp.), *Educación STEM/STEAM: Apuestas hacia la formación, impacto y proyección de seres críticos* [STEM education experiences in formal and rural settings. In N. Moreno Cáceres (Comp.), *STEM/STEAM Education: Bets on the training, impact and projection of critical beings*] (pp. 27-39). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés. https://doi.org/10.47212/educacion_stem-steam_3
- Del Mar Aragón, M., Oliva-Martínez, J.M., & Navarrete, A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico (Developing the modelling competence through the use and application of analogies around the chemical change). *Enseñanza de Las Ciencias. Revista De investigación Y Experiencias didácticas*, 32(3), 337-356. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1193>
- Doğan, M.F., Gürbüz, R., Çavuş-Erdem, Z., & Şahin, S. (2019). Using mathematical modeling for integrating STEM disciplines: A theoretical framework. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 10(3), 628-653. <https://doi.org/10.16949/turkbilmat.502007>
- Dominguez, A., De la Garza, J., Quezada-Espinoza, M., & Zavala, G. (2024). Integration of Physics and Mathematics in STEM Education: Use of Modeling. *Education Sciences*, 14(1), 20. <https://doi.org/10.3390/educsci14010020>
- Durandt, R. (2021). Design principles to consider when student teachers are expected to learn mathematical modelling. *Pythagoras-Journal of the Association for Mathematics Education of South Africa*, 42(1), 1-13. <https://doi.org/10.4102/pythagoras.v42i1.618>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Gaibor Bustamante, M.S., Alvarado Triviño, E.E., Cedeño Barre, C.R., Luzuriaga Franco, E., & Mamonte Bohórquez, R.W. (2025). Análisis del acceso a educación STEM en zonas rurales de América Latina: implicaciones para el desarrollo social y económico sostenible. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6 (1), 2012 - 2034. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i1.3472>
- Gómez I Urgellés, J. (2008). La ingeniería como escenario y los modelos matemáticos como actores (The Engineering as Scenario and the Mathematical Models as Actors). *Modelling in Science Education and Learning*, 1(1), 3-9. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/cb4f48f2-8878-4d30-9568-9688a6e9d4be/content>
- Guerra, P. (2025, junio 24). *Project Envisioning Air Transport Between UC Campuses Earns Award*. UCMERCED. <https://www.ucmerced.edu/news/2025/project-envisioning-air-transport-between-uc-campuses-earns-award/>
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H.A. (2014). *STEM integration in K-12 education: status, prospects, and an agenda for research* (1st ed.). The National Academies Press.
- Latifi, M., Esegir, A., Elmaroufi, A., Hattaf, K., & Achtaich, N. (2022). Modeling with Differential Equations and Geogebra in High School Mathematics Education. *Journal of Educational and Social Research*, 12(3), 47-91. <https://doi.org/10.36941/jesr-2022-0065>
- Leal-Enriquez, E. (2018). Mathematical modeling of intimate partner violence: Simulations of loss of control scenarios. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 330, 105-1062. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2017.07.002>
- Leyva, E., Walkington, C., Perera, H., & Bernacki, M. (2022). Making Mathematics Relevant: an Examination of Student Interest in Mathematics, Interest in STEM Careers, and Perceived Relevance. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 8(3), 612-641. <https://doi.org/10.1007/s40753-021-00159-4>
- Luo, T., So, W.W.M., Wan, Z. H., & Li, W.C. (2021). STEM stereotypes predict students' STEM career interest via self-efficacy and outcome expectations. *International Journal of STEM Education*, 8(36), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00295-y>

- Maaß, J., O'Meara, N., Johnson, P., & O'Donoghue, J. (2018). *Mathematical Modelling for Teachers A Practical Guide to Applicable Mathematics Education*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-00431-6>
- Magani, L., & Bertolotti, T. (2017). *Springer Handbook of Model-Based Science* (Vol. 1). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30526-4>
- Makonye, J.P., & Moodley, N.P. (2023). Connecting mathematics to STEM education: interdisciplinary teaching and learning facilitation. *ZDM Mathematics Education*, 55(7), 1365-1373. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01522-2>
- Mendoza Molina, M. (2023). El Enfoque Steam en el Desarrollo de Competencias Científicas en los Estudiantes de Básica Secundaria en Instituciones Oficiales de Cúcuta, Norte de Santander (The STEAM Approach in the Development of Scientific Competencies in Secondary School Students in Official Institutions of Cúcuta, Norte de Santander). *Línea Imaginaria*, 2(18), 356-379. <https://doi.org/10.56219/lineaimaginaria.v2i18.2742>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2014). *STEM integration in K–12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>
- Panche, F.S. (2019). Formulación e implementación de un modelo de innovación educativa para fortalecer las capacidades de estudiantes de educación media, en la resolución de problemas con el uso de tics y stem (Formulation and implementation of an educational innovation model to strengthen middle school student's abilities, in solving problems with the use of ICTs and STEM). *Polotécnico Grancolombiano*, 1(1), 1-8. <https://scispace.com/pdf/formulacion-e-implementacion-de-un-modelo-de-innovacion-2oho1q3y9q.pdf>
- Pessoa da Silva, K.A., Hideki Araki, P.H., & Borssoi, A.H. (2022). Integração STEM na Educação Básica veiculada por atividades de modelagem matemática com experimentação. *Educação Matemática Pesquisa: Revista Do Programa De Estudos Pós-Graduados Em Educação Matemática*, 24(3), 323-354. <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2022v24i3p323-354>
- Petelin, G., Hribar, R. & Papa, G. (2023). Models for forecasting the traffic flow within the city of Ljubljana. *European Transport Research Review*, 15(30), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00600-6>
- Quilantán-Ortega, I., & Rodríguez-Vázquez, F.M. (2025). Qualitative analysis of the logistic equation in Mathematics Education. *Revista Electronica Educare*, 29(2), 1-23. <https://doi.org/10.15359/ree.29-2.18642>
- Roehrig, G.H., Dare, E.A., Ring-Whalen, E., & Wieselmann, J.R. (2021). Understanding coherence and integration in integrated STEM curriculum. *International Journal of STEM Education*, 8(2) 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00259-8>
- Schulz, R.A. (2016). STEM y Modelamiento Matemático 1. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 11(15), 291-317. <https://funes.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/tainacan-items/32454/1176831/Araya2016Stem.pdf>
- Silva, M., & Alsina, Á. (2023). STEAM para la sostenibilidad: integrando la educación estadística y científica en un contexto rural. *Innovaciones Educativas*, 25(39), 188-204. <https://doi.org/10.22458/ie.v25i39.4728>
- Slovinsky, E., Kapanadze, M., & Bolte, C. (2021). The Effect of a Socio-Scientific Context-Based Science Teaching Program on Motivational Aspects of the Learning Environment. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(8), 1-16. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11070>
- Stillman, G. A., Blum, W., & Biembengut, M.S. (2015). *Mathematical Modelling in Education Research and Practice Cultural, Social and Cognitive Influences* (Vol. 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18272-8>
- Stillman, G., Brown, J., & Galbraith, P. (2010). Identifying challenges within transition phases of mathematical modeling activities at year 9. In: R. Lesh, P. Galbraith, C. Haines, A. Hurford (Eds.). *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies* (pp. 385-398). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0561-1_33
- Tamargo-Pedregal, L.-A., Agudo-Prado, S., & Fombona, J. (2022). Intereses STEM/STEAM del alumnado de Secundaria de zona rural y de zona urbana en España. *Educação E Pesquisa*, (48), e240890. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634202248240890>
- Xiong, J., Li, X., & Wang, H. (2019). The survival analysis of a stochastic Lotka-Volterra competition model with a coexistence equilibrium. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16(4), 2717-2737. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019135>
- Young, M., Datta, T., Moore, K., & Kalyanapu, A. (2025). Engaging Rural High School Students in a Watershed Literacy Program. *Water*, 17(11), 1588. <https://doi.org/10.3390/w17111588>