

Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM

Study of Physical Phenomena in Mathematics Teachers Training. A STEM Education Experience

Jaime Andrés Carmona-Mesa^{*}

 <https://orcid.org/0000-0002-0100-7090>

Mónica Eliana Cardona Zapata^{**}

 <https://orcid.org/0000-0002-3697-2288>

Alexander Castrillón-Yepes^{***}

 <https://orcid.org/0000-0002-4055-9613>

Tipo de Artículo: Informes de Investigación y ensayos inéditos

Doi: 10.17533/udea.unipluri.20.1.02

Carmona-Mesa, J. A., Cardona, M. E., y Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM. *Uni-Pluriversidad*, 20(1), e2020101. doi:10.17533/udea.unipluri.20.1.02



FACULTAD DE EDUCACIÓN

Recibido: 2019-11-01 • Aprobado: 2020-06-05

* Universidad de Antioquia. Colombia
Email: jandres.carmona@udea.edu.co

** Universidad de Antioquia. Colombia
Email: meliana.cardona@udea.edu.co

*** Universidad de Antioquia. Colombia
Email: alexander.castrillony@udea.edu.co

Resumen

La literatura reporta que los conocimientos para identificar conexiones entre las disciplinas al momento de orientar los procesos educativos se reconocen como una limitante, pese al interés de los profesores de matemáticas por integrar la educación STEM. En ese sentido, se diseñó y fundamentó una experiencia en educación STEM que integró, por medio de la modelación matemática, las matemáticas en contextos de las ciencias (física) y la tecnología. La experiencia se analiza a partir de una metodología cualitativa con enfoque interpretativo. Se utiliza el análisis de contenido para estudiar los significados de las matemáticas que se amplían en el análisis del modelo del fenómeno físico, integrando termómetros y simulaciones computacionales. Los resultados informan que la experiencia permitió que los futuros profesores alcanzaran reflexiones didácticas que reflejan un nivel de preparación y potencial que puede favorecer la integración de la educación STEM en su futuro ejercicio profesional; además, se reportan los alcances y limitaciones de esta experiencia.

Palabras clave: Educación STEM, modelación matemática, formación de formación de profesores.

Abstract

Research reports as a limiting factor the knowledge to recognize a connection between disciplines when students are supported, despite the interest of the teachers in integrating STEM education. In this respect, a STEM education experience was designed. This experience integrated mathematics in contexts of science (physics) and technology, through mathematical modelling. The analysis derives from a qualitative methodology with an interpretive approach. Content analysis is used to study the meanings of mathematics that are expanded in the analysis of the physical phenomenon model integrating thermometers and computational simulations. Results report that the experience allowed pre-service mathematics teachers to reflect on training issues. It evidences a level of preparation and potential that favors the integration of STEM education in their future professional performance. In addition, the scope and limitations of this experience are also reported.

Keywords: STEM Education, Mathematical Modelling, Teacher Training.

INTRODUCTION

El acrónimo STEM fue introducido en Estados Unidos para referir la integración de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*, por sus siglas en inglés) y, a partir de su génesis en 1990, se consolidó como movimiento gubernamental principalmente orientado a fortalecer la fuerza de trabajo y los procesos de integración en las disciplinas que lo componen (Sjoquist y Winters, 2015), para conectarlas con la vida real y las necesidades de la sociedad actual (Kertil y Gurel, 2016). Desde entonces, se reportan investigaciones que discuten la integración de la educación STEM en los diferentes niveles de escolaridad, principalmente en Estados Unidos.

Discusiones contemporáneas plantean la necesidad de visiones alternas para la educación STEM que visibilicen su potencial para abordar las crisis sociales y ambientales de la actualidad (Chesky y Wolfmeyer, 2015); en palabras de Jaramillo (2016), que se posibilite una reinención de la educación como valor social y recuperación del valor humanizador de los proyectos educativos. Al respecto, Corea extiende en el año 2011 el acrónimo a STEAM, en donde la “A” (artes) amplía las discusiones frente a cómo las áreas sociales buscan involucrarse en estas lógicas interdisciplinarias (Carmona-Mesa, Arias-Suárez y Villa-Ochoa, 2019). En los países Latinoamericanos, si bien la discusión de la temática es reciente (Tavor, 2019), se identifica un predominio en el uso del acrónimo STEM. A pesar de los avances en las investigaciones desarrolladas desde su génesis, autores como English (2016) y

Kertil y Gurel (2016) consideran relevante ampliar en estudios sobre los recursos y estrategias para la formación de profesores que favorezcan la interdisciplinariedad a partir de las matemáticas y las ciencias.

En un enfoque de educación STEM, los profesores enfrentan el desafío de favorecer procesos educativos que permitan identificar conexiones entre las disciplinas, por medio del diseño de lecciones interdisciplinarias (Carmona-Mesa et al., 2019; Li, Ernst y Williams, 2016). En ese sentido, autores como Shernoff, Sinha, Bressler y Ginsburg (2017) reportan que existe aceptación de los profesores para integrar educación STEM, pero no se sienten preparados para hacerlo; en otros casos implementan actividades bajo la denominación de STEM, aunque no hay una integración genuina de las áreas. Esto tiende a generar dificultades en el aprendizaje, especialmente en matemáticas (English, 2016). Además, otros estudios muestran que los profesores de matemáticas evitan el trabajo con colegas de otras disciplinas (Li et al., 2016) y, aunque la educación STEM se ha convertido en una tendencia entre educadores, se reconoce que “no existe un entendimiento común entre los temas básicos” (Kertil y Gurel, 2016, p. 45).

Esta tendencia de los profesores de matemáticas tiene explicación en tensiones derivadas de la naturaleza del conocimiento disciplinar. Al respecto, Siew, Amir y Chong (2015) informan que, a pesar de existir diferencias en la argumentación en matemáticas y en las ciencias, es apremiante fomentar estudios para comprender los motivos de



estas discrepancias y establecer conexiones más elaboradas. Así pues, la formación de profesores para el diseño de lecciones interdisciplinarias debe trascender los ejemplos interesantes o solo informar la importancia de la educación STEM, a promover el vivir experiencias que permitan establecer comprensiones profundas de las relaciones entre las disciplinas (Badri et al., 2016).

En consecuencia, es importante ampliar en evidencia empírica para identificar el potencial de propuestas educativas en la formación inicial de profesores de matemáticas que integren otras disciplinas (Shernoff

et al., 2017), que fomenten experimentar, cuestionar, analizar, adaptar, prever y reflexionar en aulas de matemáticas (Baker y Galanti, 2017) y una percepción donde las restricciones en recursos tecnológicos no se consideren como limitante en dicha integración (Siew et al., 2015). En ese sentido, este artículo propone responder *¿cuál es el aporte de una experiencia en educación STEM que integra ciencias, tecnología y matemáticas en la formación inicial de profesores de matemáticas a través del estudio del calentamiento del agua?*

RECURSOS METODOLÓGICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EXPERIENCIAS EN EDUCACIÓN STEM

Existen diferentes perspectivas sobre la implementación de la educación STEM que se categorizan esencialmente en dos tipos: integración de contenido e integración de contexto (Kertil y Gurel, 2016). La integración de contenido se refiere a estructurar un plan de estudios flexible que reúna más de una disciplina; la integración de contexto tiene que ver con darle protagonismo a una disciplina y enseñarla de manera significativa ubicándola en contextos relevantes de otras disciplinas, sin olvidar el rigor y la profundidad de la disciplina principal. En ese sentido, se asume por *experiencia en educación STEM* el diseño de una actividad que proyecta una integración de al menos dos disciplinas a través de contenido o de contexto.

Por otra parte, en las diferentes investigaciones, es posible identificar una regularidad en recursos metodológicos para la implementación de *experiencias en educación*

STEM que conservan cierta conexión epistemológica con la disciplina de formación predominante. Si bien no se reporta en la literatura una metodología particular como propia de la educación STEM, es posible identificar que, a partir de cada disciplina que compone el acrónimo, los diferentes colectivos de investigadores delimitan de forma implícita las metodologías más potentes para favorecer las conexiones interdisciplinarias deseadas. Al respecto, se destacan el *diseño ingenieril* en ingeniería (Guzey, Moore y Harwell, 2016), el *pensamiento computacional* en tecnología (Hsu, Chang y Hung, 2018), la *indagación* en ciencias (Greca, 2018) y la *modelación matemática* en matemáticas (Araya, 2016). Además, se reporta el *aprendizaje basado en proyectos* sin una conexión disciplinar implícita, pero se proyecta con un nivel de experticia mayor para identificar, favorecer y desarrollar las conexiones interdisciplinarias (Carmena-Mesa et al., 2019).

El *diseño ingenieril* es una metodología que se caracteriza porque favorece el aprendizaje por medio del diseño de productos o procesos para resolver problemas del mundo real (Kilty y Burrows, 2019). Entre los aspectos propios de esta metodología se encuentra un proceso iterativo que incluye (a) definir problemas mediante la especificación de criterios y restricciones para soluciones aceptables, (b) generar una serie de posibles soluciones y evaluarlas para determinar cuáles cumplen mejor los criterios de problemas dados y restricciones, y (c) optimizar la solución probando y refinando sistemáticamente, incluyendo la anulación de características menos significativas para las más importantes (English, 2016; Guzey et al., 2016).

Existe una gran tendencia a vincular el *pensamiento computacional* en los procesos educativos por medio del lenguaje de programación (por líneas o bloques), la robótica y el desarrollo de videojuegos; sin embargo, estas ideas estereotipadas podrían limitar su potencial educativo (Hsu et al., 2018). Al respecto, autores como Weintrop et al. (2016) establecen que, en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas, el *pensamiento computacional* se puede entender como práctica de datos, práctica de modelado y simulación, práctica de resolución de problemas computacionales y práctica de proceso sistemático. La idea de proceso sistemático para resolver problemas al identificar y aislar los diferentes elementos que lo componen es estudiada por Carmona-Mesa, Krugel y Villa-Ochoa (2021) en la enseñanza de las matemáticas; estos autores informan que, si bien el razonamiento matemático conserva mucha relación con un proceso sistemático, aspectos como el diseño de algoritmos son una característica

más compleja que trasciende al contexto de la informática.

La *indagación* se asocia con una aproximación a la investigación científica que permite a los estudiantes trascender una visión absolutista de las ciencias diferenciando entre idealizaciones de experimentos controlados y situaciones de la realidad (Davis, Chandra y Bellocchi, 2019). En ese sentido, Greca (2018) afirma que la *indagación* permite desarrollar tanto el conocimiento y la comprensión de ideas científicas como la forma en que los científicos estudian el mundo natural; la autora informa la existencia de diferentes tipos de indagaciones.

De acuerdo con Araya (2016), la *modelación matemática* en educación STEM constituye una valiosa oportunidad para favorecer una integración profunda entre las matemáticas y las ciencias al estar en los nuevos currículos escolares de ambas disciplinas. Este proceso involucra la matematisación, interpretación, verificación, revisión y generalización de situaciones de la vida real o sistemas complejos (Kertil y Gurel, 2016); por tanto, involucra a los estudiantes en procesos de diseño, análisis, verificación y comunicación de modelos matemáticos que se hallan en todas las disciplinas STEM. En otras palabras, podría considerarse que, aunque no todas las actividades en educación STEM comprenden la *modelación matemática*, esta se puede experimentar mientras se desarrollan muchas de ellas (Kertil y Gurel, 2016).

Como se declaró antes, el *aprendizaje basado en proyectos* presenta algunas características importantes. Esta metodología se ubica a partir de 1918 (antecede a la génesis de la educación STEM) y se re-



conoce como privilegiada para favorecer los procesos interdisciplinarios al resolver conflictos en contextos reales por medio de etapas como: planeación, ejecución y evaluación del proyecto (Carmona-Mesa et al., 2019; Domènech-Casal, 2018). Al respecto, Domènech-Casal, Lope y Mora (2019) advierten que la resolución de un conflicto en contextos reales implica más de un contenido disciplinar que emerge de forma espontánea e imprevista. Es decir, a diferencia de las anteriores metodologías, el *aprendizaje basado en proyectos*, al centrar el interés en resolver un conflicto y sin alguna conexión disciplinar implícita, demanda un nivel de experticia mayor para identificar, favorecer y desarrollar las conexiones interdisciplinarias necesarias.

Hasta este punto se sugiere que para aproximaciones iniciales a los procesos interdisciplinarios propios de la educación STEM son más apropiados recursos metodológicos como *diseño ingenieril, pensamiento computacional, indagación y modelación matemática*. De forma complementaria, Kertil y Gurel (2016) consideran que las

actividades de *modelación matemática* son más convenientes para posibilitar conexiones con otras disciplinas a partir de las matemáticas; favorecen contextos de aprendizaje que se pueden manejar fácilmente y solo toman una o dos horas de clase. En ese sentido, y sumado a la posible conexión epistemológica con la disciplina de formación predominante, es factible intuir que las aproximaciones iniciales a la educación STEM podrían darse de forma más fluida al vincular el recurso metodológico con mayor conexión a la disciplina de predominio en la integración interdisciplinaria deseada.

En coherencia con lo anterior, esta investigación asume la formación de profesores de matemáticas por medio de *experiencias en educación STEM* fundamentadas en la *modelación matemática*, con el propósito de favorecer una aproximación inicial que integra ciencias (física), tecnologías y matemáticas a través del análisis del calentamiento del agua. A continuación, se amplían elementos en relación con el diseño y fundamentación de la *experiencia en educación STEM*.

MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS EN EL CONTEXTO DE LAS CIENCIAS Y LA TECNOLOGÍA.



Al proyectarse como una aproximación inicial con predominio en las matemáticas, para el diseño de la *experiencia en educación STEM* se toma como punto de partida la integración de las tres disciplinas a través del contexto. Es decir, a las matemáticas se les brinda significado a partir del contexto de las ciencias y de la tecnología. Por otra parte, la fundamentación de la *experiencia en educación STEM* se desarrolla a partir

de la *modelación matemática* como recurso metodológico.

De acuerdo con Araya (2016), la *modelación matemática* contribuye al establecimiento de relaciones entre las matemáticas y otras disciplinas. En ese sentido, para que la modelación favorezca la integración de las tres disciplinas no se puede agotar en experiencias rígidas ni en la construcción y manipulación de representaciones matemáticas

(Molina-Toro, Villa-Ochoa y Suárez-Téllez, 2018), sino que se deben considerar los roles del fenómeno modelado, de los recursos utilizados para la construcción del modelo y los de quienes modelan.

Los roles del fenómeno modelado son un aspecto esencial para analizar a partir de la relación de las ciencias y la modelación. Esta relación se ha justificado debido a que la modelación es un proceso clave en el pensamiento, porque promueve el aprendizaje de conceptos matemáticos y del contexto en el cual se desarrolla la actividad de modelado, está vinculado con la naturaleza de las ciencias y porque contribuye a que los estudiantes cierren brechas entre estas y las matemáticas (Domínguez, de la Garza, y Zavala, 2015; Rodríguez y Quiroz, 2016; Ortega, Puig y Albarracín, 2019).

Los recursos tecnológicos en el proceso de modelación se han reconocido como factores constitutivos del conocimiento matemático (Villa-Ochoa, González-Gómez y Carmona-Mesa, 2018). En ese sentido, cumplen roles que potencian el análisis de los fenómenos al fomentar procesos vinculados a la visualización, al establecimiento de variables y a la validación de hipótesis y conjeturas (Molina-Toro et al., 2018). Por tanto, la tecnología se asume con una visión integradora de análogas y digitales, que trasciende la concepción de recursos aislados de un contexto o una praxis, y transforma lo que es cognoscible y la manera en que algo puede conocerse (Carmona-Mesa, Salazar y Villa-Ochoa, 2018).

Los roles de quienes modelan no son un aspecto neutral o estático en el proceso de modelación (Villa-Ochoa, y Berrío, 2015; Villa-Ochoa, 2016), pues son ellos quienes establecen conexiones de las tres disciplinas

en la *experiencia en educación STEM*. En ese sentido, reconocer el rol de los futuros profesores en el proceso de modelación se fundamenta en cuánto lo pueden limitar o potenciar; además, particularizan los procesos educativos propios del nivel de formación, por ejemplo, en sus reflexiones didácticas.

En síntesis, la *experiencia en educación STEM* en esta investigación se fundamenta y operativiza a partir del reconocimiento de que la *modelación matemática* da lugar a los roles de los fenómenos modelados, los recursos utilizados y los sujetos en el proceso de modelación. Por tanto, se planteó a los futuros profesores, por medio de la modelación, el análisis del calentamiento del agua a través del uso de termómetros y simulaciones computacionales, recursos de fácil acceso con potencial para problematizar fenómenos térmicos por medio de visualizaciones y la cuantificación de variables intensivas.

La experiencia tuvo una duración de dos sesiones de dos horas cada una. En la primera sesión se utilizó un recipiente de plástico, un electrodo y un termómetro (experimento 1); se discutió con los profesores en formación los conocimientos previos relacionados con hervir agua, identificar patrones y variables, y proyectar una posible curva que describiera ese comportamiento; de esta experiencia emergieron elementos importantes. Sin embargo, no puntualizaron datos como cuáles variables eran dependientes o independientes y las particularidades o la tendencia que tendría la función que describe el fenómeno. En la segunda sesión se desarrolló un experimento con una simulación computacional (<https://goo.gl/Lr9mQR>) para favorecer el estudio de la función en los valores extremos (experimento 2).



METODOLOGÍA

La *experiencia en educación STEM* se implementó en un curso regular de un programa de formación de profesores de matemáticas de una universidad pública de Medellín-Colombia. Para el análisis de la información se seleccionaron tres participantes que fueron identificados con los códigos E1, E2 y E3; su elección obedeció a su motivación y participación en todas las actividades propuestas. Asimismo, atendiendo a consideraciones éticas, cada uno firmó un consentimiento informado para autorizar el uso de los datos.

Este estudio se realizó desde la metodología de investigación cualitativa que, de acuerdo con Bautista (2011), “trata de identificar la naturaleza profunda de las realidades, su sistema de relaciones, su estructura dinámica” (p. 16). En consecuencia, los investigadores estuvieron inmersos en un ambiente que correspondió a un curso de formación de profesores de matemáticas y registraron las experiencias de los participantes en su cotidianidad. De esta manera, se entendió el contexto y las situaciones desde el análisis de la complejidad del pensamiento y del comportamiento humano.

En cuanto al registro de la información, se propuso como instrumento principal la elaboración de una bitácora digital individual en la que los participantes realizaron el registro de sus percepciones durante el de-

sarrollo de la experiencia. De acuerdo con Gueudet y Trouche (2009), la bitácora se concibe como un documento que surge de la experiencia del futuro profesor, del resultado de su práctica y, a partir de su análisis es posible estudiar el desarrollo profesional. Por tanto, el propósito de la bitácora fue el de contar con un espacio para plasmar observaciones, registros y descripciones de manera permanente en todas las actividades desarrolladas; se enfatiza principalmente en la descripción de las situaciones abordadas y en las representaciones sobre la comprensión de los fenómenos.

Se empleó el análisis de contenido, a partir del cual fue posible comprender la información con el fin de llegar a una interpretación de los razonamientos de los futuros profesores frente al fenómeno estudiado (Bautista, 2011). Asimismo, se llevó a cabo un proceso de categorización, a partir del cual se sistematizaron los registros y se establecieron relaciones y convergencias en los episodios ligados a la pregunta de la investigación.

Para lo anterior, la atención se centró en los significados matemáticos logrados por futuros profesores en el contexto del calentamiento del agua mediante el uso de termómetros y la simulación computacional. En consecuencia, se generaron tres categorías de análisis que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1.
Categorías para el análisis de la información

Categoría	Descripción
Análisis matemático del fenómeno físico a través de la identificación y cuantificación de variables.	Permite identificar los procesos de análisis del fenómeno físico, a partir de la identificación de variables y magnitudes, y de las relaciones matemáticas que establecieron entre estas.

Integración de tecnología como apoyo para la elaboración e interpretación de gráficas.	Ayuda a reconocer el papel de las tecnologías utilizadas en la intervención para la comprensión e interpretación de gráficas elaboradas por los participantes.
Implicaciones de la experiencia en educación STEM en las reflexiones didácticas de los futuros profesores	Describe las percepciones y actitudes de los participantes, en cuanto a la reflexión sobre integración de experiencias STEM en su formación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los principales resultados de la investigación y su respectivo análisis. En ese sentido, se desarrollan apartados específicos para las categorías declaradas en la Tabla 1. Luego se presentan las conclusiones más relevantes de la investigación.

Análisis matemático del fenómeno físico a través de la identificación y cuantificación de variables.

Esta categoría de análisis refleja las comprensiones de la temática alcanzadas por parte de los futuros profesores, en términos de la identificación y cuantificación que realizaron por medio del calentamiento del agua. Al respecto, se retomaron expresiones que los profesores en formación registraron en la bitácora individual y se asumen como explicaciones del fenómeno, pues originan “procesos discursivos en relación a lo que se quiere ‘observar’, lo que se ‘percibe’, lo que se nombra como ‘hecho’ y lo que se pretende ‘representar’ con ese hecho” (Romero y Aguilar, 2013, p. 14). Algunos registros iniciales informan la relevancia de la medición para determinar correspondencias entre las variables estudiadas en el fenómeno:

“El conocimiento matemático emergió en la medida en que se fue desarrollando el experimento; se identificaron variables involucradas (volumen de agua, tiempo, temperatura) y posibles relaciones matemáticas entre estas”. (E1)

“En el momento de elaborar un modelo para describir el calentamiento del agua emergieron diferentes variables a tomar en cuenta, como la altura en la cual nos encontrábamos (metros sobre el nivel del mar), la cantidad de agua, el voltaje del calentador y la temperatura ambiente, entre otras”. (E1)

“Se realizó la regresión lineal de los datos obtenidos mediante los registros de la temperatura tomados cada minuto, ya que sabíamos que el calor del agua aumentaría progresivamente. Concluimos que las variables independientes fueron el tiempo, el contexto, la cantidad de agua y el material de la jarra, y la variable dependiente era la temperatura”. (E2)

En los registros anteriores se destaca el evocar la construcción de modelos como uno de los elementos principales en la comprensión de las relaciones entre variables; sin duda, es necesario apropiarse del comportamiento y cuantificación de las diferentes magnitudes físicas bajo condiciones



específicas (Malagón, Ayala y Sandoval, 2011). Al respecto, E1 amplía la descripción de las relaciones iniciales y manifiesta una aproximación a reglas de acción derivadas de explorar la creación de un modelo más general para las curvas de calentamiento, al considerar como variables independientes el tiempo y la cantidad de agua. En esa línea, este participante reportó en la bitácora:

“[...] se compararon las funciones propuestas para el experimento 1, observando el cambio en algunos valores entre un experimento y otro, a la vez que intentaban establecerse relaciones numéricas entre estos valores y las cantidades de agua utilizadas en cada uno de estos experimentos, con el propósito de involucrar una tercera variable (cantidad de agua). Esto puede resultar un

poco complejo en el momento de intentar explicarlo.

Paso 1: Dado que en el experimento 1 (100 gr) se tiene la recta de aumento de temperatura: $y = (3/5)x + 10$, y en el experimento 2 (200 gr) esta recta es $y = (3/10)x + 10$ [donde “y” representa la temperatura y “x” el tiempo].

Se obtuvo la siguiente conclusión: en un experimento con 400 gr de agua, se tendría la recta de aumento de temperatura $y = (3/20)x + 10$. De igual forma, en el experimento con 100 gr el punto de ebullición se alcanza a los 150 segundos, y en el experimento 2 (200 gr) se alcanza a los 300 segundos, se obtuvo la siguiente conclusión: en un experimento con 400 gr de agua se alcanzaría el punto de ebullición a los 600 segundos” (ver Figura 1).

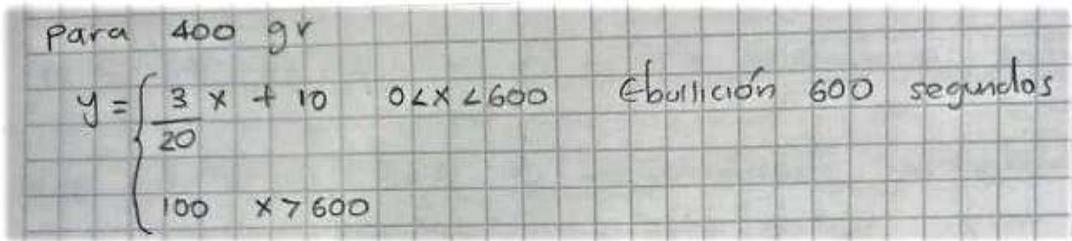


Figura 1. Ecuación de la recta de temperatura para un experimento con 400 gramos de agua.

“En estos procedimientos se planearon unas posibles relaciones de proporcionalidad entre la cantidad de agua y los valores que cambiaban en las funciones entre un experimento y otro (el denominador del coeficiente que acompaña la x y el tiempo en el que se alcanza el punto de ebullición).

Luego, se buscó la forma de expresar estas relaciones de manera numérica, expresando este denominador y este tiempo en términos de la cantidad de agua (z) utilizada durante el experimento. Se obtuvo el siguiente resultado” (ver Figura 2).

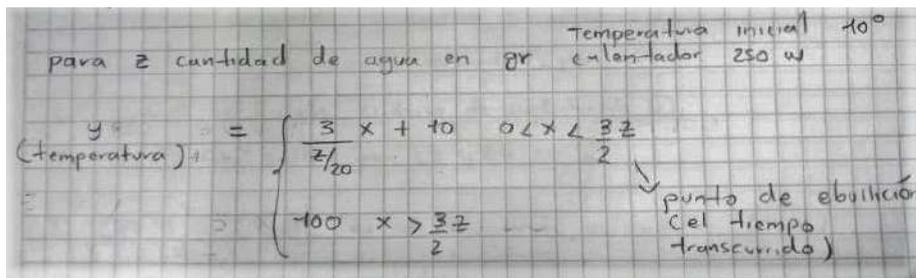


Figura 2. Ecuación de la recta de temperatura para una cantidad z de agua (E1).

“Este es el modelo que se propuso para la curva de calentamiento, donde se involucran las siguientes variables: tiempo (x), cantidad de agua (z) y temperatura (y). Las primeras dos son variables independientes, mientras que “ y ” es variable dependiente. Este modelo fue probado con el valor de “ z ” y los valores de “ x ” usados en los experimentos 1 y 2, encontrando coincidencias en los valores de “ y ” obtenidos mediante el uso del simulador y los valores arrojados por la función propuesta”.

En los fragmentos que se subrayaron antes se observa que E1 evidencia su interés por construir modelos matemáticos para establecer asociaciones entre las variables delimitadas en el estudio del fenómeno físico y, a partir de ello, determinar la dependencia e independencia de cada una de ellas y las relaciones de proporcionalidad que permiten una aproximación al comportamiento de las magnitudes en el fenómeno. Estos razonamientos podrían deberse a que los futuros profesores no se limitan a las interpretaciones intuitivas iniciales sobre el fenómeno; por el contrario, consideran ajustes en los análisis del fenómeno en función de las referencias numéricas que se delimitan en cada momento del experimento (Ortega et al., 2019). Es decir, las matemáticas en el contexto del fenómeno físico adquieren significados más refinados y fundamentados en razonamientos a partir de los datos empíricos; lógica propia de las ciencias.

E3 afirma que en *“los datos obtenidos (...) la temperatura del agua tiende a mantenerse constante (punto de ebullición), en la práctica fue de 94°C mientras que teóricamente fue de 100°C”*. Lo anterior es un proceso importante no solo para la elaboración del modelo, sino también para relativizar la visión generalizada del punto de

ebullición que se fundamenta usualmente en una comprensión teórica del fenómeno. Además, en esos fragmentos es posible identificar acciones propias de las ciencias y de la modelación que les permitieron aproximarse al fenómeno. Estas acciones se relacionan con el estudio de una situación (fenómeno físico modelado); un proceso de simplificación, donde se identifican y excluyen de variables según su influencia en el objeto de estudio; la matematización, que consiste en la construcción y el uso de representaciones y modelos en consideración con el fenómeno; un proceso de validación que evalúa la correspondencia entre los modelos y la situación que se estudia (Perrenet y Zwaneveld, 2012), que en este caso se realizó al contrastar los modelos construidos con los resultados que provee la simulación computacional.

Por tanto, se afirma que los significados matemáticos de la cuantificación de las variables físicas estudiadas no se redujeron a la asignación de números y permitieron que esta aproximación a un modelo matemático variara en relación con las condiciones del fenómeno que representaba, su utilidad y función percibidas (Boulter y Buckley, 2000; Malagón et al., 2011). Para E3 esto significa que *“los cálculos matemáticos no son todas las matemáticas que podemos sacar de este experimento, estas también están presentes en la interpretación de los resultados y la justificación de los fenómenos a partir de un modelo matemático”*. Por tanto, la experiencia en educación STEM diseñada en esta investigación aporta a la ausencia de material curricular relacionado con las formas de utilizar la modelación matemática para favorecer conexiones interdisciplinarias con disciplinas como las ciencias (Kertil y Gurel, 2016).



Tecnología como apoyo para la elaboración e interpretación de gráficas

Tecnologías como el termómetro de mercurio y la simulación computacional cumplen un papel fundamental en la construcción e interpretación de gráficas, entendidas como representaciones simbólicas que, mediante líneas, puntos o superficies, representan las relaciones entre variables independientes y dependientes y permiten analizar el fenómeno (Boulter y Buckley, 2000). Por tanto, se presenta a continuación cómo la integración de estas tecnologías favoreció la ampliación de los significados de las matemáticas, al elaborar gráficas como información complementaria para extender los análisis matemáticos del fenómeno físico.

Por una parte, se resalta el proceso desarrollado por E1, quien reporta el análisis

del calentamiento del agua a partir de la explicación del procedimiento que llevó a cabo en una simulación computacional que representa el fenómeno y algunos datos matemáticos (Figura 3). A partir de los datos registrados en la tabla que genera el simulador y del cambio de temperatura del agua a lo largo del tiempo al calentarse con una potencia de 250W y durante 150 segundos, E1 menciona que “*en estas tablas se observan regularidades en el aumento de la temperatura entre las mediciones efectuadas cada 15 segundos. En el experimento 1 la temperatura aumentaba 9° cada 15 segundos, mientras que en el experimento 2 la temperatura aumentaba 4.5° cada 15 segundos*”. Luego traslada los valores de la tabla al GeoGebra (Figura 4) con el propósito de ampliar el razonamiento por medio del ajuste de la curva que los agrupa (el uso de GeoGebra fue iniciativa de E1).

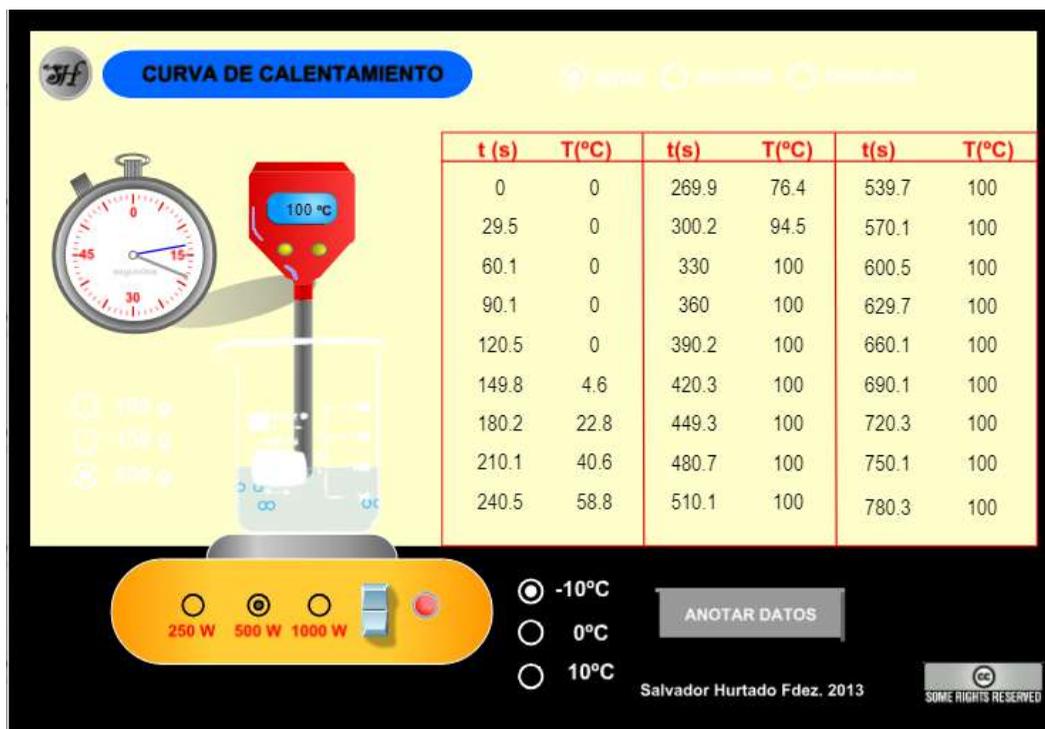


Figura 3. Datos sobre variación de la temperatura del agua en el simulador.

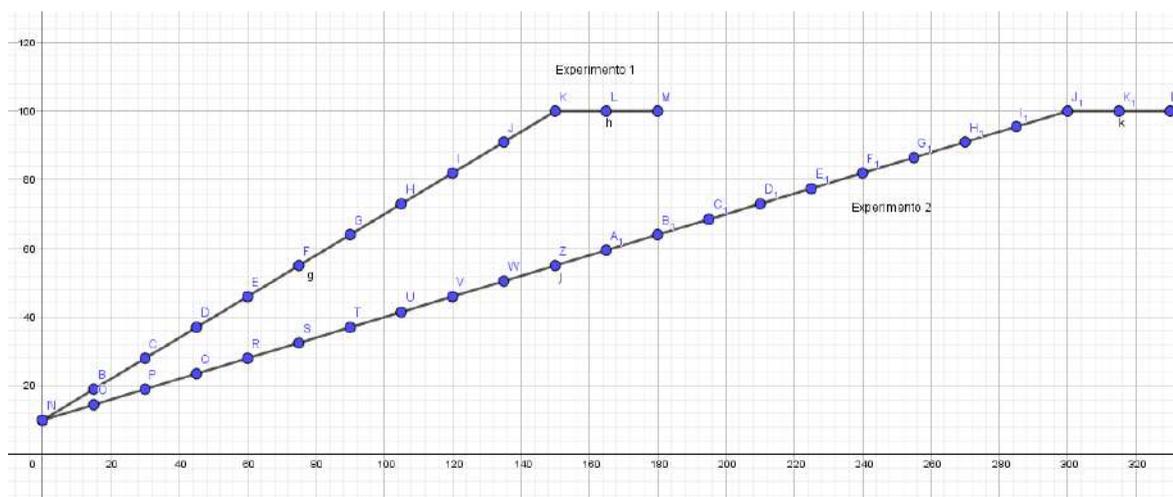


Figura 4. Curva de calentamiento del agua elaborada por participante E1 en GeoGebra.

Respecto a la gráfica de la Figura 4, E1 menciona que

“estos gráficos dieron la posibilidad de observar que la temperatura del agua con respecto al tiempo, desde el comienzo del experimento hasta el punto de ebullición, podía describirse mediante una función lineal. Asimismo, se observó que esta temperatura era constante después del punto de ebullición (a los 150 segundos en el experimento 1, a los 300 segundos en el experimento 2)”.

En consecuencia, se intuye que el futuro profesor realiza una interpretación coherente con el fenómeno físico y el simulador lo representa a través de valores numéricos que lo cuantifican (Boulter y Buckley, 2000); estas interpretaciones son consistentes y amplían la aproximación al modelo que se presentó en la categoría anterior. Un elemento adicional para destacar es la asociación entre diferentes registros de representación como el algebraico y el gráfico, al relacionar el fenómeno con una función lineal, en donde la comprensión de la función no se vincula únicamente con una fórmula, en cuanto amplía a una interpretación del comporta-

miento o tendencia entre variables y no en términos deterministas (Kjeldsen y Lützen, 2015).

Los planteamientos del párrafo anterior son consecuentes con investigaciones donde los estudiantes se centran en identificar y comprender la relación entre las variables y las diferentes representaciones, al tiempo que dichos aspectos contribuyen a la construcción de modelos más robustos (Domínguez et al., 2015). Asimismo, se identifica el establecimiento de relaciones entre esas representaciones y modelos matemáticos con conocimientos propios de las ciencias (Rodríguez y Quiroz, 2016).

Por otra parte, E2 menciona para el mismo episodio el procedimiento que desarrolló para establecer la curva de calentamiento, donde centra el análisis en la identificación de patrones (Figura 5); no obstante, no realiza interpretaciones fundamentadas en gráficos. El procedimiento de E2 es limitado en cuanto no evidencia alguna explicación o razonamiento propio de este tipo de modelos, en donde las representaciones gráficas son



fundamentales (Boulter y Buckley, 2000).

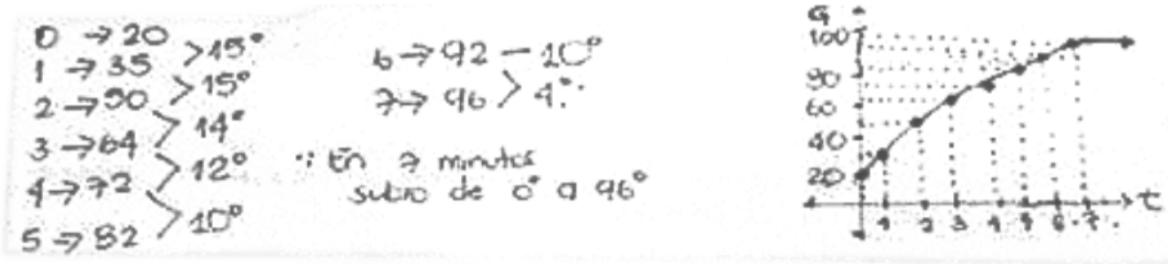


Figura 5. Curva de calentamiento del agua elaborada por la participante E2.

De forma similar, E3 evoca el registro de datos por medio del simulador y reporta un contraste con los datos logrados experimentalmente con el termómetro de mercurio. Expresa que “los datos obtenidos en el recurso, en contraste con los que arrojó el experimento realizado en la clase anterior tienen un comportamiento similar; esto en cuanto a que ha transcurrido un tiempo, la temperatura del agua tiende a mantenerse constante (punto de ebullición), en la práctica fue de 94°C mientras que teóricamente fue de 100°C ”. Además, E3 reporta que “esta comparación permitió analizar y reflexionar sobre otros fenómenos o variables que no fueron tenidos en cuenta o no se percibieron en el desarrollo de la actividad o del taller”. Luego, destaca el potencial de simulador para el registro de los datos del experimento de forma detallada y organizada que favorece la construcción de gráficas y el análisis de la relación entre las magnitudes estudiadas en el fenómeno.

Los informado en el párrafo anterior es consistente con los resultados de otras investigaciones que resaltan el potencial de los simuladores para potenciar los significados matemáticos (Molina-Toro et al., 2018; Villa-Ochoa et al., 2018) e incorporar modelación y modelos con tecnologías en el estudio de fenómenos físicos (Domínguez

et al., 2015; Ortega et al., 2019). Además, se presenta evidencia empírica de cómo los significados matemáticos son ampliados y relativizados en el contraste con los datos experimentales. En otras palabras, la integración de termómetros de mercurio y simuladores favoreció que el futuro profesor elaborara interpretaciones complementarias del análisis matemático, por medio de gráficos derivados del fenómeno físico en estudio. En consecuencia, se afirma que la tecnología favorece una integración más amplia que las ciencias, pues logra vincular tanto las matemáticas como las ciencias y tecnología.

A partir de los hallazgos descritos en las dos categorías iniciales también se identifican desafíos para considerar en futuras investigaciones. En este sentido, se logran ampliar los significados de las matemáticas en relación con las condiciones del fenómeno que representan, su utilidad y función percibidas (Malagón et al., 2011; Ortega et al., 2019), y a partir de la elaboración de gráficas que permitieron ampliar los análisis y comprensiones (Boulter y Buckley, 2000; Molina-Toro et al., 2018); sin embargo, es importante fortalecer en los futuros profesores habilidades de razonamiento que trasciendan las fronteras de la disciplina predominante. Es decir, asumir una integración de contexto parece limitar la profundidad de los análisis en las otras disciplinas, por ejemplo, la diferencia del punto de ebulli-

ción entre los dos experimentos no favorece la discusión en términos de la pérdida de energía en el sistema por la transferencia de energía, los márgenes de error por los instrumentos de cuantificación, la potencia del calentador, entre otros.

Otro aspecto que se relaciona con la integración de contexto se refiere a las diferencias identificadas para las ciencias y la tecnología. Las matemáticas en el contexto de las ciencias lograron integrar ambas, mientras que en el contexto de la tecnología se logra la integración de las tres disciplinas en estudio. Las dos limitaciones de este tipo de integración permiten intuir que, dependiendo del contexto de la disciplina en la cual se procura ampliar significados, puede favorecerse una mayor conexión de disciplinas; de igual forma, se percibe que esta integración tiende, de forma implícita, a yuxtaponer las disciplinas y los conceptos que conservaban la identidad de la disciplina predominante, es decir, este tipo de integración puede llevar inconscientemente a una conexión multidisciplinaria (Carmona-Mesa et al., 2019). Esta puede ser una de las causas posibles de las discrepancias en las conexiones de las matemáticas y las ciencias (Siew et al., 2015).

Implicaciones de la experiencia en educación STEM en las reflexiones didácticas de los futuros profesores.

Esta categoría presenta los resultados relacionados con indicios en donde los profesores en formación evidencian influencia de la experiencia en educación STEM en las reflexiones didácticas. Los indicios reflejan que los roles de los sujetos no fueron neutrales y revelaron aspectos propios de su proceso de formación como profesores (Villa-Ochoa, y Berrío, 2015; Villa-Ochoa, 2016). En consecuencia, se rastrearon recu-

rrencias en los discursos de los profesores en formación. Al respecto, se encontró que E1 se refiere a la relación de los análisis matemáticos y sus implicaciones en el fenómeno físico estudiado:

“resulta interesante conocer cómo se pueden generar procesos de experimentación y modelación matemática a partir de situaciones cotidianas como el calentamiento del agua. Esta situación permitió, a pesar de su sencillez aparente, desarrollar procesos de exploración, abstracción y sistematización, e involucró el trabajo con diferentes pensamientos matemáticos a la vez (métrico, aleatorio y variacional, principalmente)”.

E1 hace alusión a las competencias que corresponden con el desarrollo de habilidades científicas y a la posibilidad de construir conocimiento a partir del estudio de fenómenos físicos (Romero y Aguilar, 2013). Esto se ratifica en los siguientes registros:

“De este modo, la experimentación se presenta como una propuesta a través de la cual se puede favorecer la construcción del conocimiento matemático en el aula y promover el aprendizaje activo, debido a que los alumnos se implican en los procesos que dan lugar a ese conocimiento; tienen la posibilidad de explorar, analizar, conjeturar, validar o refutar hipótesis, sistematizar y generar modelos matemáticos para describir diferentes fenómenos”. (E1)

“Durante los encuentros se apreciaron posibilidades en cuanto a los siguientes aspectos: desarrollo y articulación de procesos de la actividad matemática (comunicación, razonamiento, resolución de problemas, ejecución de procedimientos, modelación). De manera especial, se pueden favorecer diferentes procesos asociados a la modelación matemática (exploración, análisis, sistematización, matematización, validación); integración entre pensamientos matemáticos y transversalización de la



matemática (relaciones con otras ciencias, como la física)”. (E1)

“La tecnología sin duda es un pilar fuerte que conectado con la experimentación puede estructurar conocimientos nuevos en los estudiantes”. (E2)

“La experimentación en el aula mediada por otro tipo de instrumentos o recursos y no solo por los simuladores, puede generar experiencias y aprendizajes significativos por el hecho de que el estudiante va estar involucrado en toda la “investigación” mediante la observación, indagación, recolección de datos, planteando hipótesis y conclusiones etc.”. (E3)

Los anteriores fragmentos dan cuenta de una relación mucho más profunda que los futuros profesores establecen entre ciencias, tecnología y matemáticas, aspecto clave en la educación STEM (Baker y Galanti, 2017). Esta relación se reporta en la literatura como un desafío en la formación de profesores (Li et al., 2016). Además, la elección de tecnologías como termómetros de mercurio y simulaciones computacionales posibilita trascender el habitual argumento de las limitaciones de infraestructura (Siew et al., 2015), pues *“a través de la tecnología se pueden apoyar procesos de experimentación en el aula con amplias posibilidades y, relativamente, con bajo coste”* (E1). Esta afirmación es ampliada por E3 al mencionar que:

“...en los diferentes experimentos llevados a cabo (...), fue evidente el uso de recursos tecnológicos propios de los laboratorios y otros materiales más simples que posibilitaron en gran medida un acercamiento de manera analítica a los diferentes fenómenos y situaciones en cuestión, esto permitió percibir la actividad experimental, no sólo como un asunto propio de científicos o que es posible llevar a cabo sólo en espacios como laboratorios”.

Las líneas anteriores brindaron argumentos sobre cómo los futuros profesores de matemáticas cambian su percepción del uso de la tecnología (como un simple recurso para medir alguna magnitud) para hacerla parte constitutiva de la construcción de conocimiento (Carmona-Mesa et al., 2018). Si bien lograron atender necesidades de formación funcionales y actitudinales identificadas en el uso de tecnología por futuros profesores (Carmona-Mesa y Villa-Ochoa, 2017), es importante ampliar las reflexiones a los aspectos educativos claves de la tecnología para favorecer la integración de las disciplinas que componen el acrónimo.

En esa línea, E2 manifiesta una posición crítica al plantear que *“la educación no debe ser centralizada en los recursos tecnológicos, pero sí usados como una herramienta que ayude a optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula de clases”*. Además, este futuro profesor registra la necesidad de un conocimiento funcional y crítico para alcanzar un desarrollo adecuado de la actividad al destacar que *“a la hora de hacer experimentación (...), el tema de la logística con las herramientas tecnológicas a utilizar es vital para poder llevar a cabo este experimento, el docente debe ser muy claro y preciso con las indicaciones iniciales dejando que los estudiantes también puedan explorar los recursos y ellos mismos indicar las orientaciones que son necesarias para resolver de manera adecuada el ejercicio”*.

El análisis permite argumentar que los futuros profesores de matemáticas van más allá de un interés y motivación por la educación STEM, hacia reflexiones didácticas que reflejan un nivel de preparación y potencial para favorecer el diseño de lecciones y experiencias en este enfoque (Carmona-Mesa

et al., 2019; Shernoff et al., 2017). Además, se reporta que el diseño y fundamentación de esta experiencia en la presente investigación trasciende la generación de un ejemplo interesante al establecer comprensiones y reflexiones didácticas de las relaciones entre las disciplinas (Badri et al., 2016). Por tanto,

este estudio aporta a temas básicos abiertos a discusión como los recursos metodológicos en la educación STEM (Kertil y Gurel, 2016), en donde la modelación matemática se convirtió en una oportunidad para favorecer una integración de los contenidos curriculares de tres disciplinas (Araya, 2016).

CONCLUSIONES

Este estudio aporta evidencia empírica en la formación inicial de profesores de matemáticas para fomentar la integración de la educación STEM en su futuro ejercicio profesional. Para ello, se diseñó y fundamentó una experiencia que integró, por medio de la modelación matemática, las matemáticas en contextos de las ciencias (física) y la tecnología. Los resultados concluyen que la experiencia permitió que los futuros profesores de matemáticas alcanzaran reflexiones didácticas que reflejan un nivel de preparación y potencial para favorecer la integración de la educación STEM en su futuro ejercicio profesional. Estos resultados aportan a temas básicos abiertos a discusión, como los recursos metodológicos en este enfoque, y constituyen un ejemplo para integrar la modelación matemática en futuras investigaciones.

Por otra parte, se concluye que si bien (a) los futuros profesores ampliaron los

significados de las matemáticas al analizar el modelo del fenómeno físico que describe el calentamiento del agua, su utilidad y función percibidas, y (b) la elaboración de gráficas amplió los análisis y comprensiones de los significados de las matemáticas en la ciencia, es importante fortalecer habilidades de razonamiento que les permitan trascender a análisis más profundos en las ciencias. En ese sentido, la evidencia empírica informa que la implementación de la educación STEM a partir de la integración en contexto debe analizarse con mayor detalle en futuras investigaciones. Por una parte, la elección del contexto es relevante para favorecer una mayor conexión y significados más profundos de las disciplinas a integrar. Por otra parte, este tipo de integración favorece de forma implícita una yuxtaposición de las disciplinas al mantener el argumento de que los conceptos conserven la identidad de la disciplina predominante.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI) de la Universidad de Antioquia, por el financiamiento del proyecto “Fundamentación y desarrollo de una propuesta de formación STEM para futuros profesores de matemáticas”. De igual forma, al Programa de Becas de Excelencia Doctoral del Bicentenario de MinCiencias-Colombia por el financiamiento del proyecto “Diseño y validación de una propuesta de formación STEM para profesores del Departamento de Antioquia”.



REFERENCIAS

- Araya, R. (2016). STEM y Modelamiento Matemático. *Cuadernos de Investigación y Formación En Educación Matemática*, 11(15), 291–317.
- Badri, M., Alnuaimi, A., Mohaidat, J., Al Rashedi, A., Yang, G. & Al Mazroui, K. (2016). My science class and expected career choices—a structural equation model of determinants involving Abu Dhabi high school students. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 12. doi:10.1186/s40594-016-0045-0
- Bautista, C. (2011). Proceso de la investigación cualitativa: Epistemología, metodología y aplicaciones. Bogotá: Manual Moderno.
- Baker, C. K. & Galanti, T. M. (2017). Integrating STEM in elementary classrooms using model-eliciting activities: responsive professional development for mathematics coaches and teachers. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 10. doi:10.1186/s40594-017-0066-3
- Boulter, C. J. & Buckley, B. C. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education. In *Developing Models in Science Education* (pp. 41–57). Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-94-010-0876-1_3
- Carmona-Mesa, J. A., Krugel, J., & Villa-Ochoa, J. A. (2021). Formación de futuros profesores en tecnología. Aportes al debate actual sobre los programas de licenciatura en Colombia. In A. Richit & H. Oliveira (Eds.), *Formação de Professores e Tecnologias Digitais* (pp. 35–61). Livraria da Física.
- Carmona-Mesa, J. A., Arias-Suárez, J. y Villa-Ochoa, J. A. (2019). Formación inicial de profesores basados en proyectos para el diseño de lecciones STEAM. In E. Serna (Ed.), *Revolución en la Formación y la Capacitación para el Siglo XXI* (2a ed.) (Vol. I) (pp. 483–492). Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. doi: 10.5281/zenodo.3524356
- Carmona-Mesa, J. A., Salazar, J. V. y Villa-Ochoa, J. A. (2018). Uso de calculadoras simples y videojuegos en un curso de formación de profesores. *Uni-pluriversidad*, 18(1), 13-24. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.18.1.02>
- Carmona-Mesa, J. A. y Villa-Ochoa, J. A. (2017). Necesidades de formación en futuros profesores para el uso de tecnologías. Resultados de un estudio documental. *Revista Paradigma*, 38(1), 169–185. <https://doi.org/10.37618/PARADIGMA.1011-2251.2017.p169-185.id606>
- Chesky, N. Z. & Wolfmeyer, M. R. (2015). *Philosophy of STEM Education* (Vol. 44). New York: Palgrave Macmillan US. doi: 10.1057/9781137535467
- Davis, J. P., Chandra, V. & Bellocchi, A. (2019). Integrated STEM in Initial Teacher Education: Tackling Diverse Epistemologies (pp. 23–40). Suiza: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-29489-2_2

- Domènech-Casal, J. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 29–42. doi: 10.17979/arec.2018.2.2.4524
- Domènech-Casal, J., Lope, S. y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(2), 2203. doi: 10.25267/Rev
- Domínguez, A., De la Garza, J. & Zavala, G. (2015). Models and modelling in an integrated physics and mathematics course. In *Mathematical modelling in education research and practice* (pp. 513-522). Cham: Springer.English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. doi:10.1186/s40594-016-0036-1
- Greca, I. M. (2018). La enseñanza STEAM en la Educación Primaria. In I. M. Greca & J. Meneses (Eds.), *Proyectos STEAM para la Educación Primaria. Fundamentos y aplicaciones prácticas*. (pp. 19–39). Dextra Editorial S.L.
- Gueudet, G. & Trouche, L. (2009). Towards new documentation systems for mathematics teachers?. *Educational studies in mathematics*, 71(3), 199-218.
- Guzey, S. S., Moore, T. J. & Harwell, M. (2016). Building Up STEM: An Analysis of Teacher-Developed Engineering Design-Based STEM Integration Curricular Materials. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 6(1). doi: 10.7771/2157-9288.1129
- Hsu, T. C., Chang, S. C. & Hung, Y. T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers & Education*, 126, 296-310.
- Jaramillo, R. (2016). La calidad en la educación superior colombiana: ¿léxicos de deshumanización? *Uni-pluriversidad*, 16(2), 88–96. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/unip/article/view/328316>
- Kjeldsen, T. H. & Lützen, J. (2015). Interactions Between Mathematics and Physics: The History of the Concept of Function—Teaching with and About Nature of Mathematics. *Science and Education*, 24(5–6), 543–559. doi: 10.1007/s11191-015-9746-x
- Kertil, M. & Gurel, C. (2016). Mathematical modeling: A bridge to STEM education. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology*, 4(1), 44-55.
- Kilty, T. J. & Burrows, A. C. (2019). Secondary science preservice teachers' perceptions of engineering: A learner analysis. *Education Sciences*, 9(1). doi: 10.3390/educsci9010029
- Li, S., Ernst, J. V. & Williams, T. O. (2016). Supporting students with disabilities and limited English proficiency: STEM educator professional development participation and perceived utility. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 2. doi:10.1186/s40594-016-0035-2



- Malagón, J. F., Ayala, M. M. y Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo Editorial.
- Molina-Toro, J. F., Villa-Ochoa, J. A. y Suárez-Téllez, L. (2018). La modelación en el aula como un ambiente de experimentación-con-graficación-y-tecnología. Un estudio con funciones trigonométricas. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 11(1), 87–115.
- Ortega, M., Puig, L. & Albarracín, L. (2019). The Influence of Technology on the Mathematical Modelling of Physical Phenomena. In *Lines of Inquiry in Mathematical Modelling Research in Education* (pp. 161–178). Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-3-030-14931-4_9
- Perrenet, J. & Zwaneveld, B. (2012). The many faces of the mathematical modeling cycle. *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(6), 3-21.
- Rodríguez, R. & Quiroz, S. (2016). El rol de la experimentación en la modelación matemática. *Educación matemática*, 28(3), 91-110.
- Romero, Á. R. y Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M. & Ginsburg, L. (2017). Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 13. Doi: 10.1186/s40594-017-0068-1
- Siew, N., Amir, N. & Chong, C. (2015). The perceptions of pre-service and in-service teachers regarding a project-based STEM approach to teaching science. *SpringerPlus*, 4(1), 8. Doi: 10.1186/2193-1801-4-8
- Sjoquist, D. L. & Winters, J. V. (2015). The effect of Georgia's HOPE scholarship on college major: a focus on STEM. *IZA Journal of Labor Economics*, 4(1), 15. Doi: 10.1186/s40172-015-0032-6
- Tavor, D. (2019). Educación STEM en la Sudamérica hispanohablante. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 1–7.
- Villa-Ochoa, J. A. y Berrío, M. J. (2015). Mathematical Modelling and Culture. An Empirical Study. En Gloria A. Stillman, Werner Blum y Maria Sallet-Biembengut (eds.). *Mathematical Modelling in Education Research and Practice: Cultural, Social and Cognitive Influences*, chapter 19. New York: Springer.
- Villa-Ochoa, J. A., González-Gómez, D. y Carmona-Mesa, J. A. (2018). Modelación y tecnología en el estudio de la tasa de variación instantánea en matemáticas. *Formación Universitaria*, 11(2), 25–34. doi:10.4067/S0718-50062018000200025



Villa-Ochoa, J. A. (2016). Aspectos de la modelación matemática en el aula de clase. El análisis de modelos como ejemplo. In J. Arrieta y L. Díaz (Eds.), *Investigaciones latinoamericanas de modelación de la matemática educativa* (pp. 109–138). Barcelona: Gedisa.

Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L. & Wilensky, U. (2016). Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. doi: 10.1007/s10956-015-9581-5