

Enfoque STEAM y modelo TPACK en los métodos numéricos aplicados con *software*

STEAM approach and TPACK model in Numerical methods applied with software

Sonia Valbuena Duarte ¹, Luis Márquez Herrera ², Robinson Conde Carmona ³ y María Fernanda Chiquillo Varela ⁴

Fecha de recepción: 14 de julio de 2024

Fecha de aceptación: 10 de diciembre de 2024

Cómo citar: Valbuena Duarte, S., Márquez Herrera, L., Conde Carmona, R., y Chiquillo Varela, M. F. (2024). Enfoque STEAM y modelo TPACK en los métodos numéricos aplicados con *software*. *Tecnura*, 28(82), 27-47. <https://doi.org/10.14483/22487638.22481>

Resumen

El presente estudio explora las perspectivas y experiencias de docentes en formación inicial de matemáticas, particularmente en el contexto del curso de métodos numéricos aplicados con *software*. La investigación se enmarca en el enfoque *ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas* (STEAM, por su sigla en inglés) y el modelo *conocimiento tecnológico, pedagógico y del contenido* (TPACK, por su sigla en inglés). La metodología cualitativa adoptada utiliza un diseño de casos múltiples y emplea herramientas como cuestionarios, observación participante, grupos focales y registros audiovisuales. La muestra está compuesta por 16 docentes en formación inicial de una universidad pública en la costa Caribe colombiana. Según los resultados, la apropiación de conocimientos y habilidades por parte de los docentes en formación promueve el pensamiento tecnológico y creativo, así como el fortalecimiento de las habilidades matemáticas y tecnológicas. En conclusión, se sugiere la implementación del enfoque STEAM y el modelo TPACK como una alternativa efectiva para potenciar la enseñanza de métodos numéricos en el ámbito educativo.

Palabras clave: métodos numéricos, enfoque STEAM, modelo TPACK, docente de matemática en formación, *softwares* matemáticos.

¹Licenciada en Matemáticas y Física, especialista en Informática, especialista en Física, Msc. en Educación, M. C. en Matemática, Ph. D. en Ciencias- Matemática. Docente de Licenciatura en Matemáticas, Universidad del Atlántico (Colombia) . Líder de grupo de investigación GIMED, investigador sénior MinCiencias. Correo electrónico: soniabalbuena@mail.uniatlantico.edu.co

²Licenciado en Matemática. Correo electrónico: lamarquezh@mail.uniatlantico.edu.co

³Licenciado en Matemáticas; especialista en Métodos Numéricos Aplicados; Ph. D. en Educación Matemática. Docente de cátedra, Licenciatura en Matemática, Universidad del Atlántico  y Universidad de La Salle (Colombia). Integrante del grupo de investigación GIMED. Investigador asociado. MinCiencias. Correo electrónico: rjconde@mail.uniatlantico.edu.co

⁴Licenciada en Matemática(e).

Correo electrónico: mfchiquillo@mail.uniatlantico.edu.co

Abstract

This study explores the perspectives and experiences of pre-service mathematics teachers, specifically within the context of the course on numerical methods applied with software. The research is framed within the STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) approach and the TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) model. The qualitative methodology employed utilizes a multiple-case design, incorporating tools such as ad-hoc questionnaires, participant observation, focus groups, and audiovisual records. The sample consists of 16 pre-service mathematics teachers from a public university in the Colombian Caribbean region. Results reveal the acquisition of knowledge and skills by pre-service teachers, emphasizing the promotion of technological and creative thinking, along with the enhancement of mathematical and technological skills. In conclusion, the implementation of the STEAM approach and the TPACK model emerges as an effective alternative for enhancing the teaching of numerical methods in the educational context.

Keywords: Numerical Methods, STEAM Approach, TPACK Model, Pre-service Mathematics Teacher, Mathematical Software.

Introducción

En el escenario educativo internacional, la pedagogía de las matemáticas ha sufrido una metamorfosis radical con la incorporación de la tecnología digital. Esta transformación no solo ha reconfigurado los métodos didácticos convencionales, sino que también ha abierto nuevos caminos para examinar nociones matemáticas intrincadas de una manera más interactiva y asequible. Así, el empleo de técnicas numéricas se ha vuelto un elemento medular, al brindarles a los discentes un enfoque pragmático y aplicado de las matemáticas, lo cual les permite entender y resolver problemáticas del mundo real con eficacia ([Castro-Maldonado et al., 2023](#), [Chai, 2019](#), [Buteau et al., 2022](#), [Hidalgo et al., 2023](#)).

La computación ofrece una vasta variedad de herramientas para modelar fenómenos complejos y ejecutar cálculos sofisticados que anteriormente hubiesen sido irrealizables. Así, los estudiantes pueden articular conceptos abstractos al explorar escenarios y datos reales, en lugar de limitarse a fórmulas descontextualizadas. Esta orientación práctica motiva su aprendizaje y les dota de competencias valiosas para encarar los desafíos contemporáneos. En definitiva, la incursión de la informática ha revolucionado la educación matemática, y la ha hecho más tangible, atractiva y relevante para los educandos ([Atmojo et al., 2022](#)).

En particular, los métodos numéricos, una rama esencial de las matemáticas, han adquirido una relevancia renovada en la era digital. Además de fundamentales para la aproximación y resolución de problemas matemáticos que de otro modo serían intratables, se han convertido en una herramienta indispensable en la enseñanza y el aprendizaje matemático para el caso. La habilidad para implementar métodos numéricos mediante *software* y aplicaciones tecnológicas enriquece la comprensión

de los estudiantes sobre conceptos matemáticos, y los prepara para aplicaciones prácticas en diversas disciplinas científicas y de ingeniería (Karampelas, 2023).

Esta nueva era exige que los profesores de matemáticas en formación desarrollen competencias tecnológicas sólidas, ya que su papel va más allá de la simple transmisión de conocimientos matemáticos (Valbuena *et al.*, 2021). Ellos deben estar equipados para guiar a los estudiantes a través de un paisaje educativo donde la tecnología desempeña un papel central. Desarrollar estas competencias mejora su capacidad para enseñar matemáticas de manera efectiva, y les permite integrar métodos numéricos y herramientas tecnológicas en su enseñanza; así, enriquecen la experiencia de aprendizaje (Buteau *et al.*, 2022).

En este sentido, la incorporación de métodos numéricos en la formación de profesores de matemáticas ofrece múltiples ventajas como el hecho de facilitar una comprensión más intuitiva y aplicada de conceptos matemáticos, facilitar la simulación de escenarios complejos y proporcionar una oportunidad para que los estudiantes experimenten con aplicaciones prácticas de las matemáticas (Chai, 2019, Montes *et al.*, 2023). Esta experiencia práctica es invaluable, ya que prepara a los estudiantes para los desafíos del mundo real y fomenta una apreciación más profunda de la utilidad y la belleza de las matemáticas.

Para articular efectivamente la integración de la tecnología y los métodos numéricos en la enseñanza de las matemáticas, es esencial adoptar metodologías y marcos pedagógicos adecuados. Enfoques como el de *ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas* (STEAM, por su sigla en inglés) y el modelo *conocimiento tecnológico, pedagógico y de contenido* (TPACK) ofrecen estructuras sólidas para esta integración. STEAM, por ejemplo, enfatiza un enfoque interdisciplinario, donde las matemáticas se conectan con otras disciplinas, mientras que TPACK se centra en la integración efectiva de la tecnología en la enseñanza (Chai, 2019, Chai *et al.*, 2020, Karampelas, 2023, Merlano *et al.*, 2022).

Sin embargo, surge una interrogante fundamental: ¿cómo se puede diseñar e implementar una estrategia que no solo integre de manera efectiva los métodos numéricos y la tecnología en la enseñanza de las matemáticas, sino que también prepare a los profesores de matemáticas en formación para utilizar estos recursos de manera innovadora y pedagógica? Este problema de investigación plantea la necesidad de explorar estrategias y prácticas educativas que puedan unir los beneficios de la tecnología, los métodos numéricos y los marcos pedagógicos modernos, a la vez que creen un enfoque de enseñanza de matemáticas verdaderamente integrado.

Investigaciones recientes como las de Lv y otros autores (Lv *et al.*, 2023, Karampelas, 2023, Merlano *et al.*, 2022, Torggler *et al.*, 2023) muestran que en el estado del arte existe una tendencia a investigar la integración de los enfoques STEAM y TPACK en la enseñanza de las matemáticas, mediante

el uso de tecnología. Estos estudios señalan un camino prometedor para abordar las preocupaciones planteadas en el presente trabajo, respecto a cómo diseñar e implementar estrategias efectivas que integren métodos numéricos, tecnología y marcos pedagógicos innovadores en la formación de profesores de matemáticas. La literatura reciente apunta a la necesidad de seguir explorando el potencial de unir los beneficios del enfoque STEAM, el modelo TPACK y los recursos tecnológicos en la enseñanza de las matemáticas.

A pesar de los avances reportados en la literatura, se identifican importantes limitaciones en los estudios revisados. En primer lugar, existe una escasez de investigaciones que aborden específicamente la integración simultánea de métodos numéricos, tecnología y marcos pedagógicos como STEAM y TPACK en la formación inicial de profesores de matemáticas. Además, los estudios existentes tienden a enfocarse en contextos educativos específicos sin considerar las particularidades y desafíos propios de la formación docente en matemáticas. Por otra parte, se evidencian problemas recurrentes en la formación inicial de profesores de matemáticas, entre ellos la dificultad para integrar conocimientos tecnológicos con contenidos pedagógicos y disciplinares, la falta de experiencias prácticas significativas con métodos numéricos aplicados, y la limitada preparación para implementar enfoques interdisciplinarios en sus futuras prácticas docentes. Estas limitaciones y problemáticas revelan una brecha significativa entre el potencial teórico de la integración tecnológica y su implementación efectiva en la formación de futuros profesores de matemáticas, lo cual justifica la necesidad de investigar las experiencias y perspectivas de los docentes en formación respecto a esta integración.

Esta investigación surge con el propósito de conocer las perspectivas, experiencias y opiniones de los docentes en formación de licenciatura en matemáticas, a partir del enfoque STEAM y el modelo TPACK. El trabajo se desarrolló durante un semestre, durante el curso electivo denominado Métodos Numéricos Aplicados con Software.

TPACK y enseñanza de matemática

El modelo TPACK ha permeado diversos campos educativos en los que se busca integrar tecnologías digitales para potenciar los aprendizajes. Autores como ([Chai et al., 2013](#), [Chai et al., 2020](#), [Si-mangunsong et al., 2023](#)) han revisado su creciente influencia como marco teórico y práctico para comprender esta integración.

En educación matemática, múltiples estudios dan cuenta de iniciativas basadas en TPACK para formación inicial docente ([Merlano et al., 2022](#), [Karampelas, 2023](#), [Chai et al., 2020](#), [Chai, 2019](#)), evaluación de competencias tecnopedagógicas ([El Nagdi et al., 2018](#), [Harris y Hofer, 2011](#)) y diseño de intervenciones para áreas como geometría, álgebra o cálculo ([Valbuena-Duarte et al., 2021](#), [Berrío et](#)

al., 2021, OzgunOzgun *et al.*, 2010, Willis *et al.*, 2023, Pedraza y Valbuena, 2014, Duarte y Roca, 2014) y otras en campos propios de la computación (Trejos-Buriticá y Muñoz-Guerrero, 2023).

Específicamente, en campos más avanzados como la enseñanza de programación y métodos numéricos, también existen antecedentes. Por ejemplo, en programación computacional, se ha adaptado y validado el instrumento TPACK considerando aspectos propios de este dominio (Rodríguez *et al.*, 2021). Los hallazgos revelan dificultades para que los futuros profesores integren conocimientos pedagógicos y de programación al seleccionar tecnologías para la enseñanza. Asimismo, (Kong *et al.*, 2017) emplearon el modelo TPACK para el diseño de un curso sobre métodos matemáticos asistido por tecnologías. Los resultados muestran aumentos significativos en las subdimensiones del conocimiento tecnológico y pedagógico de los participantes.

Por tanto, el objetivo de esta investigación es analizar las perspectivas, experiencias y percepciones de los docentes en formación de licenciatura en matemáticas sobre la integración de métodos numéricos, tecnología y marcos pedagógicos STEAM y TPACK durante el desarrollo de la asignatura Métodos Numéricos Aplicados con Software.

STEAM y enseñanza de matemática

STEAM corresponde a la integración de las disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas, y representa una evolución de este movimiento, el cual busca otorgar mayor énfasis al desarrollo creativo y las habilidades de diseño e innovación en los estudiantes (El Nagdi *et al.*, 2018, Atmojo *et al.*, 2022, Chai, 2019, Lv *et al.*, 2023, Watson y Watson, 2013). Se espera que al aplicar principios STEAM en educación matemática se logren beneficios como: mayor motivación estudiantil al conectar contenidos teóricos con proyectos interdisciplinarios, desarrollo de pensamiento crítico y resolución de problemas ante desafíos reales, comprensión integrada de conceptos complejos, y construcción de competencias digitales en áreas de modelado, simulación y diseño (Herro y Quigley, 2017, Díaz *et al.*, 2023).

Si bien su implementación en matemáticas escolares es aún incipiente, el potencial parece prometedor. En programación, algunos trabajos como el de (Kokotsaki *et al.*, 2016) mostraron cómo proyectos de robótica y modelado 3D con enfoque STEAM mejoran habilidades técnicas y motivación de estudiantes. Por su parte, (Moreno *et al.*, 2021) evidenciaron beneficios en términos creativos y de aprendizaje al integrar programación y música con electrónica en proyectos STEAM.

En métodos numéricos avanzados, (El Nagdi *et al.*, 2018, Teo y Ke, 2014) señalan que STEAM entrega un marco propicio para motivar a los estudiantes e impulsar soluciones innovadoras que integren tecnologías emergentes. Finalmente, en formación de profesores de matemáticas, desarro-

llar competencias STEAM parece clave para su futuro desempeño profesional en aulas con crecientes demandas por proyectos interdisciplinarios.

En conclusión, aunque se requiere más evidencia, integrar el enfoque STEAM en educación matemática y áreas como programación o métodos numéricos parece una alternativa fructífera para conectar la enseñanza con necesidades profesionales actuales.

La tecnología en la enseñanza de los métodos numéricos

Métodos numéricos para la interpolación, aproximación, integración y derivación numérica son fundamentales, debido a su amplia aplicabilidad en la ciencia, la ingeniería y la economía. Sin embargo, históricamente su enseñanza ha sido muy teórica, con poca oportunidad para que los estudiantes experimenten con aplicaciones reales. La tecnología abre nuevas posibilidades para un aprendizaje práctico y significativo de estos métodos con *software* especializado como *MatLab*, *Mathematica*, *Octave* y *Mathcad* entre otros, dando la oportunidad al estudiante de trabajar con algoritmos avanzados para analizar y visualizar datos experimentales; esto promueve una comprensión más profunda y experiencial de los conceptos (Buteau *et al.*, 2022, Berrío *et al.*, 2021). Por otro lado, los proyectos STEAM ofrecen oportunidades de aplicar creativamente conceptos de análisis numérico en contextos interdisciplinarios de arte computacional, diseño industrial o telecomunicaciones (Sotiriou *et al.*, 2023).

Por otra parte, para implementar efectivamente estas tecnologías, los docentes requieren una sólida base en TPACK: entendimiento conceptual de los métodos numéricos (CK), estrategias pedagógicas activas centradas en la indagación (PK), y habilidades técnicas en lenguajes de programación como *Matlab*, *Octave*, *Excel*, *Python*, *Mathematica* u otros (TK) (Merlano *et al.*, 2022).

La tecnología es clave para una enseñanza de los métodos numéricos contextual, práctica y centrada en la indagación. Marcos teóricos como TPACK y STEAM sirven de guía para que los docentes integren efectivamente estas herramientas en pos de un aprendizaje significativo, y que promuevan creatividad, pensamiento crítico y competencias evaluadas en la actualidad (Karampelas, 2023).

El objeto de estudio de esta investigación son las experiencias vividas por docentes en formación de licenciatura en matemáticas, durante el desarrollo de la asignatura de métodos numéricos aplicados con *software*, y cómo el uso de la tecnología mejoró y facilitó su aprendizaje e interpretación de los métodos.

Materiales y método

Teniendo en cuenta el objetivo de estudio, se adopta un enfoque cualitativo, debido a que este busca la comprensión, interpretación y análisis en profundidad de experiencias de estudiantes en

relación con el enfoque STEAM y el modelo TPACK. Además, porque le otorga relevancia al diseño de estudio de casos múltiples (Dawson, 2007), ya que describe la experiencia de cada docente en formación con la asignatura de métodos numéricos. Con el fin de obtener una conclusión general y detallada del contenido, que se lleva a cabo durante la asignatura.

Participantes

Participan 16 docentes de matemáticas en formación inicial de una universidad pública del departamento de Atlántico (Colombia), que cursan una electiva de métodos numéricos aplicados con *software*. Se oferta a estudiantes de octavo a noveno semestre. La muestra es conformada por 10 hombres y 6 mujeres con edades entre 21 y 26 años. Los criterios de selección de muestra son por conveniencia propia al estudio que estuvieran matriculados en el curso electivo.

Técnicas e instrumentos

Se diseñan y aplican dos cuestionarios. El primero tiene 13 preguntas, entre única respuesta y abiertas, por Google Forms, y se divulga por WhatsApp. En el segundo responden 10 preguntas abiertas. Además, se realizan observaciones participantes (Busetto *et al.*, 2020) en todas las clases, con registros audiovisuales y fotográficos de las sesiones presenciales, grabadas también por Meet. Luego, se hace un grupo focal para conocer opiniones, percepciones y experiencias de los participantes con la asignatura (tabla 1).

Tabla 1. Técnicas e instrumentos para la recolección de información y sus objetivos

Técnicas e instrumentos	Objetivo
Encuestas	Conocer la experiencia de los docentes en formación con relación a la electiva de métodos numéricos aplicados con <i>software</i>
Observación participante	Conocer las actividades, trabajos e interacciones que se presentaron en el desarrollo de la electiva de métodos numéricos aplicados con <i>software</i>
Grupo focal	Conocer la forma en que los docentes en formación vivieron su experiencia en las aplicaciones de métodos numéricos con <i>software</i>
Registo audiovisual	Tener acceso a las clases y actividades realizadas por <i>Meet</i> y evidencias de estas

Resultados

En este estudio se presentan hallazgos sobre las opiniones, experiencias y vivencias de los docentes en formación que cursaban la electiva de Métodos Numéricos Aplicados con Software. Mediante cuestionarios, observación participante y un grupo focal, se evaluaron componentes como: (a) disciplinar, (b) teoría y práctica, (c) tecnología, (d) creatividad y (e) experiencias, con el fin de obtener percepciones sobre el desarrollo de clases y cómo la asignatura aportaba a su formación en relación

con los enfoques STEAM y el modelo TPACK. En el primer cuestionario, más de la mitad reconocía el enfoque STEAM, mientras que el 40 % no tenía conocimientos previos, por lo que se indagó si lo identificaban durante la asignatura; así, se destacaron componentes como el uso de tecnología para resolver métodos numéricos. La observación participante dio a conocer el desarrollo de las actividades, y el grupo focal confirmó las experiencias descritas en los cuestionarios.

Ya que se usan programas como *Matlab*, *Octave* y *Excel*, es fundamental explorar las capacidades de estas herramientas y evaluar si sus componentes tecnológicos facilitan el aprendizaje. El más utilizado en este estudio fue *Matlab*, seguido por *Octave* y *Excel*. Según los resultados, el uso de *software* especializado para implementar métodos numéricos complejos les permite a los futuros docentes de matemáticas tener una comprensión más práctica y aplicada de conceptos matemáticos abstractos. Al modelar y resolver problemas reales mediante simulaciones y herramientas computacionales, se promueve un aprendizaje significativo, ya que se conectan las matemáticas con otras disciplinas y contextos profesionales, gracias a lo cual se aprecia la utilidad y aplicabilidad de los conceptos matemáticos en situaciones prácticas, y se fomenta una mayor motivación y compromiso con el aprendizaje.

Asimismo, el enfoque STEAM posibilita a los profesores en formación desarrollar proyectos interdisciplinarios que integren creativamente el conocimiento de métodos numéricos con aplicaciones tecnológicas innovadoras en campos como ingeniería, arte computacional o análisis de datos. Esto redundará en un aprendizaje situado y en una valoración más profunda de la utilidad de las matemáticas para dar solución a problemáticas contemporáneas.

La simbiosis entre dominio conceptual de métodos numéricos, alfabetización digital y enfoque STEAM en la formación docente empodera a los futuros profesores de matemáticas para implementar metodologías de enseñanza activas y contextualizadas, que preparen significativamente a las nuevas generaciones para los requerimientos de un mundo cada vez más tecnológico e interdisciplinario.

Categorías de análisis desde los marcos teóricos STEAM y TPACK

Para el análisis de los resultados se establecieron categorías específicas derivadas de los marcos teóricos STEAM y TPACK; estas ayudan a valorar, de manera sistemática, las experiencias y perspectivas de los docentes en formación:

Categorías del enfoque STEAM

Ciencia (S): aplicación del método científico y pensamiento crítico en la resolución de problemas numéricos. Tecnología (T): uso e integración de *software* especializado (*Matlab*, *Octave*, *Excel*) en el

proceso de aprendizaje. Ingeniería (E): diseño y desarrollo de soluciones computacionales para problemas matemáticos complejos. Arte (A): desarrollo de creatividad, innovación y diseño en la creación de aplicaciones interactivas. Matemáticas (M): comprensión y aplicación de métodos numéricos como interpolación, derivación e integración.

Categorías del Modelo TPACK

Conocimiento del contenido (CK): dominio conceptual de métodos numéricos y teorías matemáticas. Conocimiento pedagógico (PK): estrategias didácticas, metodologías de enseñanza y habilidades docentes. Conocimiento tecnológico (TK): Competencias en programación, manejo de software y herramientas digitales. Intersecciones TPACK: Integración efectiva de conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos.

Estas categorías guían el análisis de las respuestas de los cuestionarios, observaciones y grupos focales, y ayudan a identificar cómo se articulan funcionalmente ambos marcos teóricos en la formación de futuros docentes de matemáticas.

Para caracterizar el componente de arte en el enfoque STEAM, se formula el siguiente interrogante: “¿Sentiste que tu imaginación y creatividad estaban restringidas durante las clases? Explica tu respuesta”. En su mayoría, se registran respuestas negativas, con las cuales expresan que el ambiente de participación y la metodología de la clase fomentaron la imaginación y creatividad a la hora de realizar las actividades propuestas. Esto se observa en las siguientes respuestas: docente uno (D1): “No, puesto que siempre se nos permitió ser miembros activos de la clase, y la docente ha estado dispuesta a escucharnos”; docente dos (D2): “No. Realmente siento que conocer un nuevo lenguaje de programación me permitió desarrollar imaginación y, en consecuencia, la creatividad también tomó rumbo a mi favor. Es decir, sentí que mi creatividad también se desarrolló”.

Luego, al ser docentes en formación, se busca indagar la influencia que generó cursar la electiva en su práctica pedagógica con el siguiente interrogante: “Luego de ver la asignatura, ¿consideras que enriqueció tu práctica pedagógica? ¿En qué aspectos?”. En las respuestas se encuentra cómo el uso de la tecnología impactó a los estudiantes del curso y cómo, con la ayuda de estas herramientas, se puede aprender matemáticas, además de que despertó el interés por nuevas áreas de conocimiento para el aprendizaje. Se ve en respuestas como: docente uno (D1): “Sí, esta asignatura me ayudó a expandir mis horizontes sobre otros campos en los que se puede desarrollar un licenciado en matemáticas y aportó significativamente a mi forma de ver la programación”; docente dos (D2): “Sí. No consideré antes que las matemáticas podían enseñarse con desarrollo de códigos. Ahora pienso que su enseñanza en sociedades globalizadas debe considerar estos aspectos, pues apuntan al desarrollo de nuevas tecnologías”; docente (D): “La enriqueció en manejo de *software*. La enseñanza de mate-

máticas de la mano con herramientas informáticas”.

Los hallazgos resaltan que cursar una asignatura enfocada en métodos numéricos mediante programa especializado amplía los horizontes pedagógicos de los profesores de matemáticas en formación. Al experimentar directamente cómo estas técnicas computacionales permiten modelar y resolver problemas complejos, los docentes aprecian el potencial de integrar códigos y programación en la enseñanza de las matemáticas. Esto les proporciona nuevas competencias para analizar contenidos matemáticos en contexto y acorde a las demandas de la era digital. Además, dominar métodos numéricos mediante prácticas con tecnología les ayuda a diseñar actividades de aprendizaje significativo, donde sus estudiantes puedan aplicar conceptos abstractos en la solución de problemas reales de diversas disciplinas.

Como pregunta final (“¿Consideras positivo el uso de la tecnología en la enseñanza de las matemáticas? ¿Por qué?”), se busca conocer la percepción de los estudiantes sobre la integración de la tecnología en el proceso de enseñanza de las matemáticas. En las respuestas se identifica un impacto positivo respecto al uso de la tecnología. Esto se expresa en respuestas de algunos docentes como: docente (D): “La tecnología facilita la visualización de conceptos matemáticos abstractos. Gráficos interactivos, simulaciones y herramientas de visualización pueden ayudar a los estudiantes a comprender mejor los conceptos complejos al ver representaciones visuales”; docente (D): “Sí, porque las matemáticas usan pensamiento computacional, y utilizar estas tecnologías hace que el estudiante interiorice más el aprendizaje, siendo una buena práctica”.

Según los resultados del segundo cuestionario, sobre el modelo TPACK, el 30 % lo conocen por lecturas, lo cual no es relevante ni interfiere en el análisis, dado que no se evalúa puntualmente. La mayoría no está familiarizada con programación, lo cual no impidió el desarrollo y apropiación de las clases; las cuales se iniciaron con fundamentos y brindaron herramientas y recursos para la apropiación del lenguaje.

En el desarrollo de la electiva se usó con mayor frecuencia el programa *MatLab*, el cual fue trabajado en línea y la mayoría de los estudiantes consideran que les facilita resolver problemas con métodos numéricos. Un docente (D) responde: “Dentro de las herramientas tecnológicas que me ayudaron en el curso, destaco el software *MatLab*, puesto que a partir de la creación de códigos de métodos numéricos iterativos reduce el tiempo necesario para resolver problemas y ejercicios, y permite centrarnos en aspectos más importantes como la interpretación de resultados y el significado implícito de cada método”.

Por otra parte, los docentes en formación consideran que durante el curso no solo se maneja conocimiento disciplinar y didáctico, sino que también se desarrolla lo práctico y teórico, ya que cada tema se ponía en práctica mediante *software*. Según las indagaciones, el conocimiento tecnológico es

fundamental para el buen desarrollo de la electiva. Los estudiantes tuvieron la oportunidad de presenciar diferentes formas en que se aplican recursos y herramientas tecnológicas en la enseñanza de contenidos de la electiva, con lo cual se logró desarrollar nuevas habilidades y fortalecer conocimientos.

El 100 % de los docentes en formación, antes del curso, no había experimentado el uso de tecnología para resolución de problemas con métodos numéricos. Esto fue nuevo e innovador, y constituyó un gran aporte para su profesión al experimentar distintas formas de analizar la resolución de problemas por métodos numéricos. Los docentes en formación demostraron buena disposición al uso de herramientas y *software* para las actividades y clases.

Por último, los participantes manifiestan que haber cursado la electiva les hizo comprender distintas formas de solucionar problemas por medio de recursos tecnológicos y *software*, con los que sus estudiantes puedan experimentar y explorar conceptos matemáticos complejos, y visualizarlos. Gracias a esos programas, pueden dimensionar y representar problemas numéricos para un análisis visual de lo que sucede al resolverlos.

Observación participante y grupo focal en sustentaciones de proyectos

Los proyectos finales desarrollados por los futuros profesores evidencian una apropiación profunda de conceptos de métodos numéricos, al diseñar creativamente aplicaciones con *software* que integran interpolación, derivación numérica, sistemas de ecuaciones lineales y otras técnicas para modelar situaciones matemáticas complejas. Los programas computacionales especializados les ayudó a implementar algoritmos sofisticados, analizar visualmente los resultados y validar soluciones; lo que demuestra las ventajas de la computación para comprender y aplicar métodos numéricos.

Asimismo, al vincular sus aplicaciones a contextos educativos, pusieron en práctica los principios STEAM, y conectaron las matemáticas con la tecnología y la ingeniería computacional para crear recursos digitales interactivos e innovadores.

Asimismo, evidenciaron la integración efectiva de conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos (TPACK), al emplear *software* de forma didáctica para facilitar la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. El desarrollo de estos proyectos consolida la importancia de los métodos numéricos y el uso de tecnología en la formación STEAM de los futuros docentes de matemáticas, para empoderarlos en metodologías activas apoyadas en computación.

Durante la observación de la sustentación y las respuestas del grupo focal, se evidenció variedad de temáticas correspondientes a la construcción de cada aplicación; expresaron creatividad e innova-

ción en cada diseño, y una apropiación de las herramientas que les ofrecía el *software*. Esta actividad, junto con el desarrollo total del curso, fue destacada por los estudiantes debido a la metodología de la clase al ser desarrollada de forma práctica y teórica haciendo uso de la tecnología. Esto se alinea con la investigación realizado por ([Kong et al., 2017](#)) quienes, al aplicar el modelo TPACK en un curso de métodos matemáticos, desarrollaron el conocimiento pedagógico y tecnológico en los participantes.

De igual forma sucede con los docentes en formación, lo que se infiere de por sus apreciaciones en el grupo focal y en la exposición de sus trabajos. Ellos expresan que fue un reto usar la tecnología y a su vez relacionarla con el contenido matemático propuesto en el curso, lo cual los llevó a consolidar el contenido disciplinar necesario para cumplir con los objetivos del curso. Todo esto fue propiciado por el uso de los componentes del enfoque STEAM y da indicios de la motivación que surge en los estudiante al hacer uso de este enfoque, lo cual se evidenció por medio de los comentarios de los docentes.

Además, los comentarios de los docentes del grupo focal tuvieron como punto en común el beneficio que les generó recurrir a la tecnología para su formación como docentes en matemáticas; manifestaron que les despertó su interés por profundizar en esta herramienta como metodología de aprendizaje, por lo que alcanzaron un manejo sobresaliente de los diferentes programas utilizados, como se pudo evidenciar en la presentación de las aplicaciones tras demostrar un conocimiento profundo de cada función de las herramientas computacionales y de la capacidad para generar líneas de código de cada una de las temáticas vistas en la electiva.

A diferencia de los hallazgos en la investigación de Rodríguez y otros autores ([Rodríguez et al., 2021](#)), que encontraron dificultades en la integración de los conocimientos pedagógicos y de programación, podemos resaltar la importancia de la metodología empleada para llevar a cabo la relación de estas áreas de conocimiento y también las facilidades que otorga la parte computacional para lograr la conexión de ambos conocimientos. A pesar de que al inicio del curso un grupo significativo no tenía conocimiento previo de programación computacional (como mencionan en el grupo focal que se realizó al final del curso), lograron la comprensión de cada temática de la electiva, desarrollar interés por el uso de herramientas digitales y el pensamiento crítico al interesarse por conocer a profundidad las ventajas del uso de software. Lo anterior es lo esperado al considerar durante el transcurso de la electiva elementos del enfoque STEAM al contemplar los beneficios descritos por ([Moreno et al., 2021](#), [El Nagdi et al., 2018](#), [Chai, 2019](#), [Sotiriou et al., 2023](#)) en el empleo de este enfoque.

A continuación, se presenta una muestra de las aplicaciones presentadas por los docentes en formación durante las socializaciones y los desarrollos realizados en los grupos focales llevados a cabo en el curso (figura 1). En general, se destaca el uso de los conocimientos adquiridos en el transcurso de la electiva, como el lenguaje de programación y los diferentes temas de métodos numéricos para

resolver problemas de las ciencias.



Figura 1. Socialización de aplicaciones

En la figura 2 del lado izquierdo se presenta un listado de recomendaciones, elaborado por los docentes, para su implementación óptima. En la misma figura del lado derecho se presenta la interfaz creada por uno de los equipos de docentes en formación en la cual se expone cómo utilizar diferentes métodos tales como *bisección*, *secante* y Newton, Raphson para calcular raíces de ecuaciones no lineales y de sistemas de ecuaciones en el último método; con la applets interactivas creadas por los estudiantes, pudieron modelar visualmente ideas abstractas como convergencia, error o estabilidad de los métodos iterativos, modificar parámetros de entrada vía interface creada y observar estos efectos dinámicamente.

En el diseño utilizaron varias herramientas que proporciona *MatLab*: el “Tab group”, para organizar cada método en pestañas, botones para crear interfaces, tablas, cajas de texto editables y no editables, entre otras.

Con la figura 3 se crea un ambiente de aprendizaje digital, mediante la aplicación de diferentes métodos numéricos. En el caso los métodos de bisección y secante, se permitía ingresar la función y el intervalo candidato de búsqueda de la raíz; también se da la posibilidad de graficar la función y a partir de ella obtener un intervalo o raíz candidata a raíz. Con la interfaz creada puede tener información de errores de aproximación, visualizar la función y resaltar el cero o raíz aproximada obtenida con el método numérico aplicado.

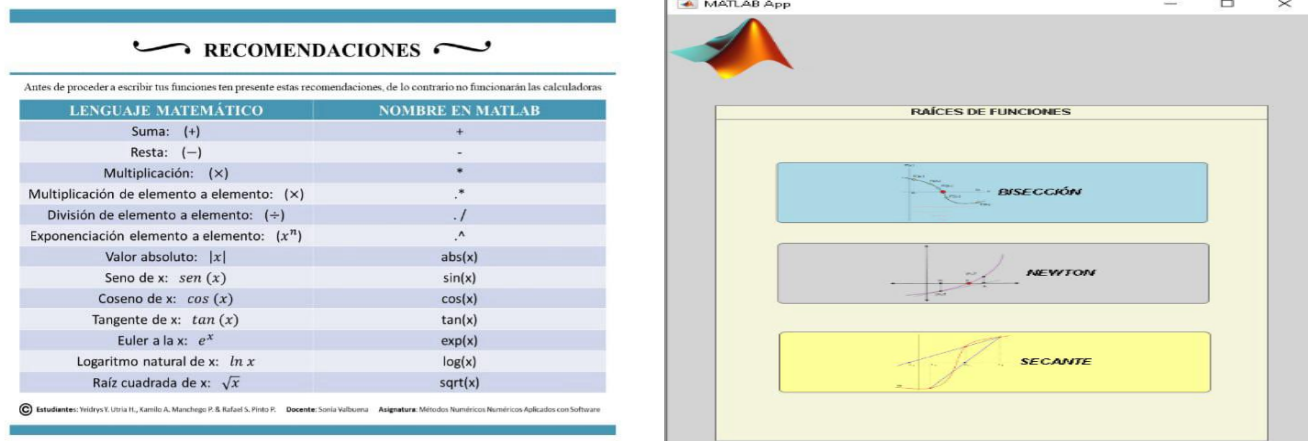
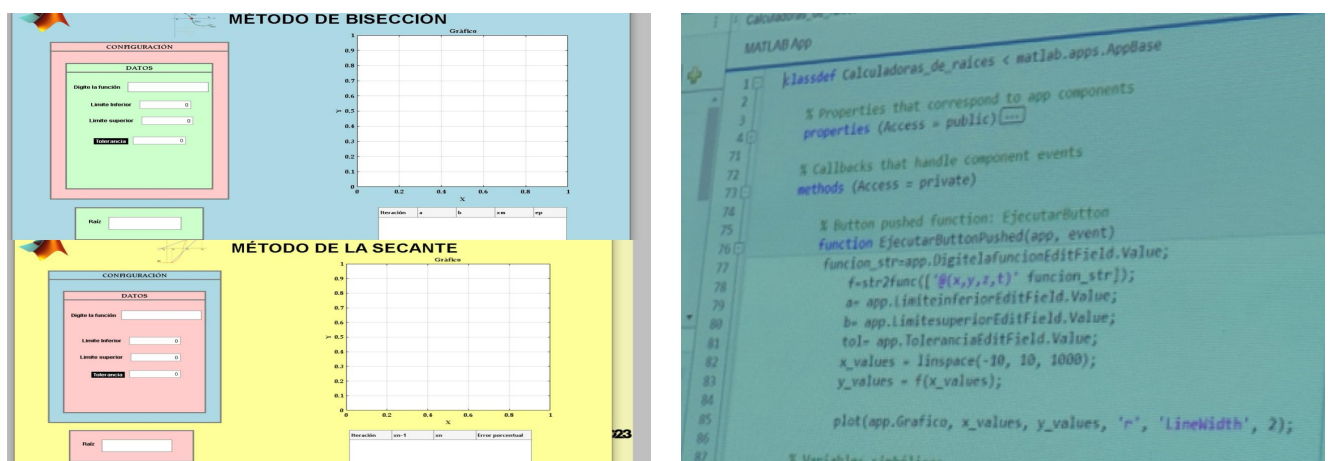


Figura 2. Presentación de aplicaciones

Nota: Elaboración propia



mental para la profesión docente. La experimentación es un aspecto novedoso que, integrado a la tecnología, les permite a los alumnos aprender de forma autónoma y adquirir una experiencia valiosa, como en el desarrollo de la electiva donde las clases se trabajaron por medio de herramientas tecnológicas. Esto les facilitó a los docentes en formación una visión para resolver métodos numéricos con *software* y observar la visualización gráfica de los métodos numéricos, gracias a un mejor análisis e interpretación de estos.

Por otra parte, la educación con enfoque STEAM guía a los estudiantes a indagar, desarrollar pensamiento crítico y creativo, a apropiarse del conocimiento y a desarrollar habilidades necesarias para este siglo. En cada clase, los docentes en formación ponían en práctica habilidades cuando interactuaban con los diferentes *softwares*, lo cual les despertó la creatividad para generar las soluciones a los problemas con diferentes métodos numéricos.

Implementar articuladamente el enfoque STEAM en procesos educativos genera impacto significativo, tanto para el estudiante como la institución. Desde una electiva se puede incentivar a romper con tradiciones en el proceso enseñanza-aprendizaje e innovar formas donde los estudiantes se sientan partícipes, experimenten todas sus habilidades y puedan seguir formándose con bases tecnológicas, presente y futuro de este siglo.

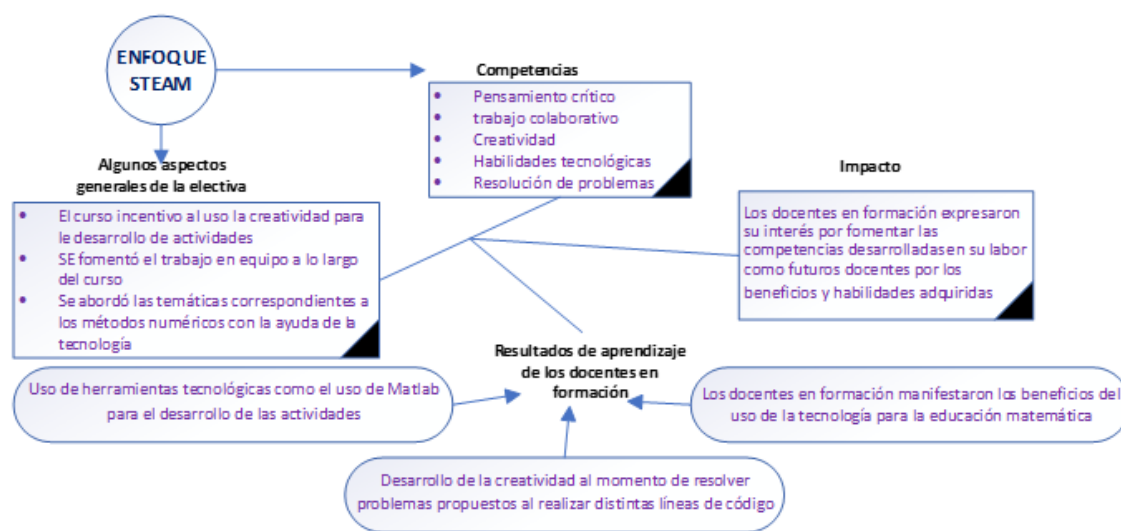


Figura 4. Enfoque STEAM desde los métodos numéricos con *software*

En la figura 4, la representación gráfica sintetiza efectivamente la integración de los métodos numéricos dentro del enfoque pedagógico STEAM. En el centro se ubican las matemáticas, específicamente los métodos numéricos como la interpolación, derivación e integración numérica. Estos constituyen un conocimiento disciplinar clave que se busca aplicar de forma interdisciplinaria. Luego, mediante las conexiones con la tecnología, se destaca cómo los métodos numéricos cobraron una

nueva dimensión y utilidad al ser implementados en *softwares* y lenguajes de programación. Esto ayuda a modelar y resolver problemas complejos con estos algoritmos.

Asimismo, y según el vínculo con la ingeniería, numerosos campos del saber y disciplinas, como la mecánica, electrónica y telecomunicaciones, recurren a técnicas numéricas computacionales para análisis de datos y procesamiento de señales. A su vez, el arte se integra creativamente mediante aplicaciones como el arte generativo, la animación 3D y el procesamiento de imágenes, que se apoyan en métodos numéricos. Finalmente, el nexo con las ciencias refleja la utilidad de estas técnicas para modelado y simulación en campos como la física, química y biología computacional.

En conclusión, esta representación sintetiza cómo los métodos numéricos adquieren mayor potencial, utilidad y aplicabilidad interdisciplinaria al integrarse efectivamente en el enfoque STEAM, enriqueciendo la formación de los futuros profesores de matemáticas.

Así que, para diseñar e implementar una estrategia efectiva que integre métodos numéricos y tecnología en la enseñanza de matemáticas, preparando a futuros docentes para utilizar estos recursos de forma innovadora, podría ser de gran utilidad:

1. Incorporar en los programas de formación docente materias sobre alfabetización digital, pensamiento computacional y uso de tecnologías educativas, que provean competencias básicas para integrar tecnología en la enseñanza.
2. Desarrollar cursos especializados en aplicaciones concretas como software matemático, programación para modelar problemas y creación de recursos digitales interactivos, para una transferencia directa a la práctica pedagógica.
3. Realizar capacitación continua a través de talleres, seminarios y comunidades para actualizar a los docentes en tendencias, herramientas y estrategias de tecnología educativa.
4. Promover la colaboración interdisciplinaria en proyectos que integren conceptos matemáticos, habilidades digitales y aplicaciones del mundo real, fomentando un aprendizaje contextualizado.

Brindar acompañamiento y retroalimentación durante la implementación de estas metodologías, para guiar a los docentes en el uso adecuado de recursos tecnológicos con fines pedagógicos. Con el aporte que visiona este trabajo se podrían diseñar estrategias innovadoras y efectivas para el aprendizaje de la programación de computadoras y el aprendizaje de los métodos numéricos aplicados con *softwares*.

Conclusiones

Luego de analizar los resultados, se puede determinar que el enfoque STEAM se desarrolló durante las clases. Este enfoque, por manejar múltiples áreas del conocimiento, facilitó en los estudiantes una mayor comprensión de los métodos numéricos, haciéndolos despertar su creatividad y habilidades tecnológicas.

En el desarrollo de las clases de métodos numéricos se deja a un lado la forma tradicional de resolverlos y se innova, gracias al uso de *softwares* y herramientas tecnológicas. Esto los llevó por caminos más eficientes para resolver métodos numéricos, sin necesidad de realizar muchos cálculos. Este mismo ejercicio arrojó una visualización de gráficos óptimos para un análisis más eficiente.

El uso de ciencias, tecnologías, ingeniería, arte y matemáticas estuvo presente en cada clase de la electiva. Los docentes en formación fomentaron el pensamiento tecnológico, creativo y crítico para la toma de decisiones en sus actividades; esto les mostró una visión pragmática del área de matemáticas.

Es necesario dominar el contenido que se enseña para conocer las herramientas tecnológicas adecuadas a utilizar. En este sentido, se debe realizar un análisis del contenido para comprobar su compatibilidad con la tecnología elegida. El uso de esta es un factor que le otorga autonomía al docente para seleccionar la herramienta que mejor se ajuste al contenido a enseñar.

Con esta electiva, los futuros docentes participantes adquirieron nuevos conocimientos tecnológicos, habilidades y herramientas para impactar su proceso de enseñanza/aprendizaje. Además, les aportó a las metodologías de enseñanza implementadas en su labor, a la vez que los llevó a modificar el modelo tradicional de abordar problemas matemáticos y les fortaleció sus competencias pedagógicas y tecnológicas.

Los docentes, como agentes de cambio del sistema educativo, deben estar abiertos a transformaciones actuales que requieren cada vez más de tecnología para generar mayores impactos positivos y aprendizajes significativos en sus alumnos. Esta electiva solamente mostró algunos contenidos de métodos numéricos y cómo analizarlos y resolverlos con *software*. Queda la tarea de abarcar mucho más contenido que fortalezca ampliamente las habilidades tecnológicas, matemáticas y creativas, así como desarrollo del pensamiento matemático crítico.

En conclusión, la electiva aportó un sinnúmero de experiencias significativas, fortaleció habilidades matemáticas y tecnológicas, y mostró diferentes formas de abordar métodos numéricos. Se considera pertinente investigar, en asignaturas y cursos relacionados con el uso de tecnología en matemáticas, cómo esta se desarrolla y su aporte a los alumnos.

Referencias

- Atmojo, I. R. W., Saputri, D. Y., y Fajri, A. K. (2022). Analysis of STEAM-based TPACK integrated activities in elementary school thematic books. *Elementary School Forum*, 9(2), 317-335. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1363573.pdf>
- Berrío, J. D., Cantillo, S. L, y Calderón, O. W. (2021). Enseñanza del método de bisección en la secundaria con Geogebra como medio didáctico. *Boletín Redipe*, 10(10), 313-327. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1489>
- Busetto, L., Wick, W., y Gumbinger, C. (2020).. How to use and assess qualitative research methods. *Neurological Research and Practice*, 2, art. 14. <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00059-z>
- Buteau, C., Broley, L., Mgombelo, J. (2022). University students learning programming-based practices for mathematical inquiry: Contributions of an institutional approach. *Conference: CERME 12, Twelfth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* https://www.researchgate.net/publication/369622656_University_students_learning_programming-based_practices_for_mathematical_inquiry_Contributions_of_an_institutional_approach
- Castro-Maldonado., J. J., Gómez-Macho, L. K., y Camargo-Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Chai, C. S., Koh, J. H. L. y Tsai, C. C. (2013). A review of technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(2), 31-51. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.16.2.31>
- Chai, C. S. (2019). Teacher professional development for science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: a review from the perspectives of technological pedagogical content (TPACK). *The Asia-Pacific Education Researcher*, 28(1), 5-13. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0400-7>
- Chai, C. S., Rahmawati, Y., y Jong, M. S. Y. (2020). Indonesian science, mathematics, and engineering preservice teachers' experiences in STEM-TPACK design-based learning. *Sustainability*, 12(21), 9050. <https://doi.org/10.3390/su12219050>
- Dawson, C. (2007). *A practical guide to research methods a user-friendly manual for mastering research techniques and projects*. (3.^a ed.). Oxford : How To Books, 2007. <https://www.loc.gov/item/2009659371/>
- Díaz Cedeño, V., Salazar Caraballo, I. M., y López Brito, R. (2023). STEAM: una breve conceptualización de una metodología orientada al desarrollo de competencias del siglo XXI. *Revista Educare*. 27(2), 73-91. <https://doi.org/10.46498/reduipb.v27i2.1916>

- Duarte, S. V., y Roca Arroyo, D. C. (2014). Simulación numérica por MDF para la solución de la ecuación diferencial parcial que modela el flujo de contaminantes de un acuífero. *Revista MATUA*, 1(1). <https://revistas.uniatlantico.edu.co/index.php/MATUA/article/view/1037>
- El Nagdi, M. *et al.* (2018). STEAM education: a methodological guiding framework for learning analytics. En E. Lavoué É., H. Drachsler, K. Verbert, J. Broisin, y M. Pérez-Sanagustín (eds.), *Data driven approaches in digital education. ECTEL 2018. Lecture Notes in Computer Science*. (Vol. 11082). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-66610-5?page=2#toc>
- Harris, J., y Hofer, M. (2011). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) in action. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(3), 211-229. <https://doi.org/10.1080/15391523.2011.10782570>
- Herro, D., y Quigley, C. (2017). Exploring teachers perceptions of STEAM teaching through professional development: implications for teacher educators. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438. <https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>
- Hidalgo, C. G., Bucheli-Guerrero, V. A., y Ordóñez-Eraso, H. A. (2023). Artificial intelligence and computer-supported collaborative learning in programming: a systematic mapping study. *Tecnura*, 27(75), 175-206. <https://doi.org/10.14483/22487638.19637>
- Karampelas, K. (2023). Examining the relationship between TPACK and STEAM through a bibliometric study. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3), 488-498. <https://doi.org/10.30935/scimath/12981>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., y Wiggins, A. (2016). Project-based learning: a review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Kong, S. C., Looi, C. K., y Huang, R. (2017). Teacher development in computational thinking education. *On the Horizon*, 25(2), 153-163. <https://doi.org/10.1108/OTH-02-2016-0005>
- Lv, L., Zhong, B., y Liu, X. (2023). A literature review on the empirical studies of the integration of mathematics and computational thinking. *Education and Information Technologies*, 28(7), 8171-8193. <http://dx.doi.org/10.1007/s10639-022-11518-2>
- Magiera, M. T., y Lesser, L. (2022). GeoGebra applets: enhancing the teaching and learning of numerical analysis. *TIDES: Teaching Innovation and Digital Education Solutions*, 1(1), 7-15. <https://doi.org/10.54839/tides2022v1i1pp7-15>
- Merlano, D., Valbuena, S., y Conde, R. (2022). Conocimiento de contenido tecnológico y pedagógico (TPACK) y creencias sobre las TIC de profesores de matemáticas en formación inicial. *Revista Hamutay*, 9 (1), 12-23. <http://dx.doi.org/10.21503/hamu.v9i1.2372>

- Montes, N., Zapatera, A., Ruiz, F., Zuccato, L., Rainero, S., Zanetti, A., ... Marathefti, M. (2023). A novel methodology to develop STEAM projects according to national curricula. *Education Sciences*, 13(2), 169. <https://doi.org/10.3390/educsci13020169>
- Moreno, J. E. *et al.* (2021). STEAM methodology for learning computer programming and electronics through the development of musical projects. *Sustainability*, 13(12), 6604. <https://doi.org/10.3390/su13126604>
- Ozgun Koca, S. A., Meagher, M. y Edwards, M. T. (2010). Preservice teachers' emerging TPACK in a technology-rich methods class. *Mathematics Educator*, 19(2), 10-20. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ882221.pdf>
- Pedraza C. L., y Valbuena D. S. (2014). Plataforma móvil con realidad aumentada para la enseñanza de los cálculos. *Revista Ventana Informática*. 30(1), 205-216. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.30.292.2014>
- Rodríguez, G., Sáez-López, J. M., Román-González, M., y Vázquez-Cano, E. (2021). Analysis of pre-service teachers technological pedagogical content knowledge to teach computer programming in secondary education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 259-269. <https://doi.org/10.1002/cae.22329>
- Simangunsong, M. F., Waspada, I., Rasto, R., Muhammad, I., Triansyah, F. A., y Gunawan, A. (2023). The impact of technological pedagogical content knowledge (TPACK) on learning outcomes: a bibliometric review. *Jurnal EDUCATIO (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 9(2), 1098-1107. <https://doi.org/10.29210/1202323188>
- Sotiriou, S. *et al.* (2022). STEAM frameworks for 21st century learning skills. En P. J. Williams, y D. Gedera (eds.), *Technology tools for teaching and learning* (pp. 38-54). EdTech Books. <https://edtechbooks.org/steam>
- Teo, T. W., y Ke, K. J. (2014). Challenges in STEM teaching: implication for preservice and inservice teacher education program. *Theory Into Practice*, 53(1), 18-24. <https://doi.org/10.1080/00405841.2014.862117>
- Torggler, C., Miesera, S., y Nerdel, C. (2023). From TPACK to N-TPACK framework for vocational education and training with a focus on nutritional science and home economics. *International Journal for Research in Vocational Education and Training*, 10(2), 168-190. <https://doi.org/10.13152/IJRVET.10.2.2>
- Trejos-Buriticá, O. I., y Muñoz-Guerrero, L. E. (2023). Aprendiendo programación de computadores a partir de STEAMRW en ingeniería de sistemas. *Tecnura*, 27(76), 95-110. <https://doi.org/10.14483/22487638.15985>

- Valbuena D., S., Medina G., A., y Teherán B., V. (2021). Empoderamiento docente para la integración de las TIC en la práctica pedagógica, a partir de la problematización del saber matemático. *Revista Academia y Virtualidad*, 2021, 14(1), 41-61. https://www.researchgate.net/publication/352013229_Empoderamiento_docente_para_la_integracion_de_las_TIC_en_la_practica_pedagogica_a_partir_de_la_problematizacion_del_saber_matematico
- Valbuena-Duarte, S., Tamara-Gutiérrez, Y., y Berrío-Valbuena, J. (2021). Intervención didáctica tecnológica para el estudio de las secciones cónicas basada en el potencial semiótico. *Formación Universitaria*, 14(1), 181-194. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000100181>
- Watson, A., y Watson, G. (2013). Transitioning STEM to STEAM: reformation of engineering education. *The Journal for Quality and Participation*, 36(1), 1-5. <https://asq.org/quality-resources/articles/bonus-article-transitioning-stem-to-steam-reformation-of-engineering-education?id=f71f8226f1674b5ca44d303fab0e431>
- Willis Elías, L. Valbuena D., S., y Berrio, V. D. (2023). Pensamiento computacional en matemáticas con Code.org. *Revista Cedotic*, 9(1). 95-113. <https://revistas.uniatlantico.edu.co/index.php/CEDOTIC/article/view/3999>

