

Marín-Ríos, A., & Quiros-Orrego, D. (2026, mayo-agosto). Enfoque STEAM en la formación inicial de profesores de matemáticas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (78), 162-196. <https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n78a7>

Enfoque STEAM en la formación inicial de profesores de matemáticas

STEAM Approach in Mathematics Pre-service Teacher Education

Alejandra Marín-Ríos

Candidata a Doctora en Educación
Facultad de Educación, Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia

alejandra.marinr@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2321-3247>

CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001599038

Daniela Quiros-Orrego

Estudiante de Maestría en Educación
Facultad de Educación, Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia

daniela.quiros1@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5888-2059>

CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001860259

Recibido: 29 de abril de 2025

Evaluado: 22 de octubre de 2025

Aprobado: 21 de noviembre de 2025

Tipo de artículo: Investigación.

Resumen

La implementación del enfoque interdisciplinario STEAM¹ en educación básica requiere acciones concretas en la formación docente, sin embargo, en el contexto colombiano aún se cuenta con

¹ En la literatura, en los discursos y prácticas educativas se hace referencia a una diversidad de acrónimos, entre ellos se encuentran STEM, STEAM, STEM+H, entre otras. Para efectos del presente artículo, se empleará el término STEAM, debido a que nos posicionamos frente a este como un enfoque interdisciplinario en términos amplios y flexibles, no exclusivamente en las relaciones que se pueden establecer entre las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas.

evidencias limitadas. Este artículo reconoce percepciones e iniciativas STEAM en programas de Licenciatura en Matemáticas, a partir de un estudio cualitativo descriptivo en el que se realizaron entrevistas a catorce coordinadores y tres profesores. Los resultados muestran posturas desde apertura y aceptación hasta escepticismo y oposición; iniciativas en cursos disciplinares, de práctica pedagógica, trabajos de grado y semilleros de investigación; resultados favorables como la motivación de los futuros profesores y desafíos como la falta de cooperación entre los formadores. Se concluye que la noción interdisciplinariedad genera menor resistencia y las prácticas son escenarios beneficiosos para reflexionar y mejorar la integración de áreas.

Palabras clave: Educación STEAM; Formación docente; Interdisciplinariedad; Práctica pedagógica; Educación matemática.

Abstract

Implementing the interdisciplinary STEAM approach in basic education requires concrete actions in teacher training; however, in the Colombian context, evidence is still limited. This article examines STEAM perceptions and initiatives in undergraduate mathematics programs, based on a descriptive qualitative study involving interviews with fourteen coordinators and three professors. The results show positions ranging from openness and acceptance to skepticism and opposition; initiatives in disciplinary courses, teaching practice, theses, and research groups; positive outcomes such as increased motivation among future teachers; and challenges such as a lack of cooperation among teacher educators. The study concludes that the notion of interdisciplinarity generates less resistance, and that these practices provide beneficial opportunities for reflection and improved integration of subject areas.

Keywords: STEAM education; Teacher training; Interdisciplinarity; Teaching practice; Mathematics education.

Introducción

El interés por la educación STEAM ha crecido en Colombia en los últimos años, consolidándose como un enfoque interdisciplinar orientado a la resolución de problemas relevantes y pertinentes a los contextos educativos, sociales, culturales y laborales, mediante la implementación de metodologías como el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en problemas, la gamificación, entre otros (Cano Vásquez & Ángel Uribe, 2020). Su objetivo es desarrollar competencias transversales tales como: pensamiento crítico, resolución de problemas, investigación, creatividad, comunicación y colaboración (Botero Espinosa, 2018), que permitan a los futuros ciudadanos participar de forma crítica en la toma de decisiones en una sociedad altamente digitalizada, así como contribuir al progreso económico nacional e individual (Marín-Ríos et al., 2023), a partir de su apropiación de las áreas científicas y humanísticas.

Aunque los primeros usos del acrónimo STEM aludían a una sola disciplina, progresivamente se comenzó a defender un uso más integrado de las áreas que lo componen, proceso que puede comprenderse en un espectro que va desde la multidisciplinariedad hasta la transdisciplinariedad (English, 2016). En Colombia también se han difundido ambos significados de STEM y progresivamente se está incluyendo al arte como una de las áreas de integración (Marín-Ríos et al., 2023). En este contexto, es relevante ubicar la educación STEAM como una resignificación de la propuesta inicial para promover la integración de diversas áreas, incluyendo artes y humanidades (Cano Vásquez & Ángel Uribe, 2020). Sin embargo, algunos autores afirman que no es necesario incluir simultáneamente todas las áreas del acrónimo, ya que algunas conexiones entre ellas pueden emerger del tratamiento de problemas específicos (Castrillón-Yepes & Lebrun-Llano, 2023; Domènech-Casal et al., 2019).

En Colombia, las adhesiones al movimiento educativo STEM, se basaron inicialmente en referentes internacionales (Botero Espinosa, 2018), pero también se reporta la continuación de estrategias propias adaptadas al contexto, tal como el paso de pequeños científicos a academia STEM (Tovar Rodríguez, 2019). A nivel nacional, el Gobierno impulsó la RUTA STEM 2020 enfocada en el desarrollo del pensamiento computacional y también la creación del documento *Visión STEM+ Educación expandida para la vida* (Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura [OEI] et al., 2020). Posteriormente, en 2022 lanzó *Territorios*

STEM+, una estrategia para fomentar la innovación educativa mediante tecnologías digitales y transformación institucional, a los cuales se han sumado más de 21 entidades territoriales, entre municipios y departamentos².

El interés institucional por el enfoque STEM o STEAM se ha complementado con una expansión académica y en la oferta de posgrado. Entre 2014 y 2021, se produjeron alrededor de 65 trabajos de posgrado que contienen los términos STEM o STEAM en sus títulos, procedentes de más de 10 universidades (públicas y privadas), cubriendo 14 departamentos. Además, se creó la Maestría en Educación STEM para el Desarrollo Social en la Universidad Santo Tomás y más recientemente las maestrías en Educación STEM en la Corporación Universitaria Minuto de Dios y en la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. Este dinamismo en la formación continua de profesores contrasta con la producción registrada para la formación inicial de docentes. En una revisión que se realizó para el mismo periodo 2014-2021 se identificaron 14 trabajos de grado de licenciatura, de los cuales solo uno correspondió a la Licenciatura en Matemáticas y Física (Marín-Ríos et al., 2023).

Por otro lado, al analizar documentos rectores de las licenciaturas en matemáticas, tales como: programas, mallas curriculares y documentos maestros, se encontró propuestas centradas en lo disciplinar, con elementos de integración entre los componentes pedagógico y didáctico; pero no aparece de forma explícita o sistemática en dichos documentos posibilidades de conexión entre las áreas escolares que permitan a los futuros profesores adelantar propuestas de aula con una perspectiva integradora, y menos aún se identifican perspectivas sobre STEAM y formas de implementación. Como marco de referencia general, a continuación, se abordarán estudios referidos a estrategias y desafíos del enfoque STEM en la formación y práctica docente, incluyendo reportes de su aplicación con futuros profesores.

² Ver nota relacionada en: <https://www.mineduacion.gov.co/portal/salaprensa/Noticias/411542:El-Ministerio-de-Educacion-realizo-el-Encuentro-Nacional-STEM+-para-la-consolidacion-y-reconocimiento-de-la-educacion-STEM-en-los-territorios-de-Colombia>

Educación STEM y formación de profesores

La necesidad de implementación del enfoque STEM en las instituciones escolares ha generado una creciente demanda en la formación inicial y continua de profesores (Cano Vásquez & Ángel Uribe, 2020; Zhang & Zhu, 2023). A nivel global, ha tenido cada vez mayor atención, pero algunos resultados de investigación no han podido ser interpretados de manera uniforme debido a que el desarrollo curricular de STEM integrado no es homogéneo y difícilmente responde a las diversas perspectivas teóricas de las universidades (Zhang & Zhu, 2023).

En el caso de los profesores de matemáticas, se han identificado dificultades en el diseño e implementación de lecciones interdisciplinarias debido a tensiones propias de la naturaleza del conocimiento matemático (Carmona-Mesa, Cardona-Zapata & Castrillón-Yepes, 2020). A ello se suma la formación tradicional de los profesores, a menudo centrada en el aprendizaje de contenidos disciplinares aislados (Ramos-Lizcano et al., 2022), lo que limita la posibilidad de una integración STEAM en escenarios educativos reales. De ahí la necesidad de preparación de los profesores para la selección, implementación y evaluación de propuestas STEM (Yang & Ball, 2024). Dicha formación articulada desde sus componentes educativo, pedagógico, humanístico e investigativo deben favorecer prácticas pedagógicas pertinentes en un entorno educativo en constante cambio, en medio de avances tecnológicos y sociales (Segarra-Morales & Juca-Aulestia, 2024).

Un desafío clave es propiciar estrategias para una “comprensión amplia de las posibles relaciones entre las disciplinas” (Cano Vásquez & Ángel Uribe, 2020, p.22), lo cual requiere de una formación previa para su posterior implementación (Castro-Rodríguez & Montoro, 2021). Otro obstáculo refiere a la falta de currículos integrados de calidad y de modelos a seguir: escuelas con este enfoque, profesores experimentados y vivencias propias con tareas que promuevan dicha integración (Kelley et al., 2021; Ryu et al., 2019). Aunque el diseño curricular no depende exclusivamente de los profesores, su conocimiento y apertura hacia la integración son cruciales.

La necesidad de preparación en STEM ha impulsado la búsqueda de espacios propicios para su desarrollo en la formación inicial. En la literatura se reportan dos formas principales de incorporarlo: a través de cursos disciplinares específicos y mediante cursos pedagógicos o didácticos. En cuanto a la primera forma, se busca mejorar las habilidades en disciplinas específicas a través del uso de herramientas, estrategias o contenidos que provienen de otras

disciplinas. Por ejemplo, García Cartagena et al. (2017) informan la mejora en las habilidades científicas de un grupo de profesores de biología al usar la robótica en un curso de física, y Carmona-Mesa, Cardona-Zapata & Castrillón-Yepes (2020) analizan la construcción de significados matemáticos en estudiantes de licenciatura a partir del análisis de modelos de un fenómeno físico. En el último caso, los autores destacan que los participantes también realizaron reflexiones didácticas relacionadas con la enseñanza del fenómeno estudiado.

La segunda forma se da a través de cursos de enseñanza de las ciencias (Bogdan Toma & Retana-Alvarado, 2021) o seminarios de tecnología (Carmona-Mesa et al., 2019), en los cuales se busca que los futuros profesores diseñen sus propios proyectos STEAM y se fomentan habilidades en diseño de propuestas de enseñanza para la educación básica. En ambos escenarios se emplean estrategias metodológicas como la indagación, el diseño de ingeniería (Bogdan Toma & Retana-Alvarado, 2021; Sanders, 2009), la modelación matemática (Carmona-Mesa, Cardona-Zapata & Castrillón-Yepes, 2020), el aprendizaje basado en proyectos -ABP- (Carmona-Mesa et al., 2019; Domènech-Casal et al., 2019) y el uso de la robótica (García Cartagena et al., 2017).

En otras latitudes se han identificado experiencias en las que los profesores adaptan propuestas existentes (Kelley et al., 2019), y al facilitar espacios para compartir experiencias y reconocer buenas prácticas entre colegas e instituciones, los docentes obtienen inspiración para desarrollar sus propias lecciones y proyectos STEM (Kelley et al., 2021). Asimismo, se han documentado casos que promueven la discusión teórica, la vivencia de experiencias STEM en conjunto con profesores de otras asignaturas (Berisha & Vula, 2021). No obstante, pocas iniciativas realizan un seguimiento a la implementación que hacen los futuros profesores en el aula.

Una visión panorámica acerca de la educación STEM en la FIP de matemáticas y ciencias es presentada por Castrillón-Yepes y Lebrun-Llano (2023) a través de una revisión sistemática en las bases de datos Scopus y Eric. Los autores identificaron 96 estudios en el periodo 2012-2021, ninguno de ellos latinoamericano. Encontraron que la estrategia formativa más usada es el curso, seguido de lecciones y programas enfocados en STEM. En los primeros, se presenta la creación de nuevos cursos o la adaptación de los ya existentes (Ryu et al., 2019), y en las lecciones se destacan los diálogos con profesores de varias disciplinas, así como el diseño y evaluación de lecciones. Las lecciones también pueden comprenderse como una estrategia formativa en sí misma

(usada al interior de cursos), en la que se ponen en juego discusiones sobre el conocimiento y la integración STEM en el aula. Otras estrategias identificadas son: el diseño de ingeniería, el aprendizaje basado en proyectos, en indagación y solución de problemas. Los autores concluyen que se evidencia una falta de integración sistemática de estrategias con tradición en educación matemática, como la modelación.

Otro estudio por destacar es el análisis bibliométrico de Zhang y Zhu (2023) en la base de datos Web of Science con una muestra de 166 artículos publicados entre 2012 y 2021, no específicamente con profesores de matemáticas. Sus resultados señalan tres aspectos críticos de la investigación en este campo: la formación en una sola disciplina como punto de partida, el diseño de programas y la aplicación de la tecnología de punta.

Por último, en el estudio de Margot & Ketler (2019), centrado en las percepciones docentes sobre la integración STEM, encontraron que los principales desafíos identificados por los profesores son de tipo pedagógico, curricular, estructural, y señalan preocupaciones en cuanto a los alumnos, la evaluación y el apoyo a los docentes. Uno de los aspectos a resaltar es la influencia de las experiencias previas de los futuros profesores para modelar sus prácticas de enseñanza. De ahí la importancia de reconocer las percepciones de los formadores de profesores sobre el enfoque, ya que ellos son agentes movilizados en la formación inicial. Su nivel de comprensión influye en la calidad de la formación y son el punto de partida en el diseño de actividades de desarrollo profesional, orientadas al cambio en las prácticas de enseñanza orientadas hacia el enfoque STEAM (Herro & Quigley, 2017).

Por otro lado, al analizar documentos rectores de catorce licenciaturas en matemáticas, tales como: programas, mallas curriculares y documentos maestros, se encontró propuestas centradas en lo disciplinar, con elementos de integración entre los componentes pedagógico y didáctico; mientras que la búsqueda de conexiones entre las áreas escolares que permita a los futuros profesores adelantar propuestas de aula con una perspectiva integradora, no aparece de forma explícita o sistemática en dichos documentos y menos aún se identifican perspectivas sobre STEAM y formas de implementación. Esta falta de información sistematizada motivó la exploración de experiencias informales de los formadores, las cuales aún no han sido documentadas ni analizadas.

En concordancia con lo anterior, además de la creciente demanda por la preparación en el enfoque STEAM para la Formación Inicial de Profesores de Matemáticas (FIPM), estudios recientes señalan la importancia de investigar la formación docente como elemento clave para su implementación, pero tanto en Colombia como en Iberoamérica este aspecto sigue siendo limitado e incipiente (Camacho-Tamayo & Bernal-Ballén, 2023). La documentación rectora de las licenciaturas colombianas no evidencia una perspectiva STEAM explícita o sistematizada. Ante esta falta de información clara acerca de la penetración de STEAM en los programas, el presente estudio tuvo como objetivo reconocer las percepciones e iniciativas con enfoque STEAM en la FIPM en Colombia, explorando las posiciones frente a este enfoque y los desarrollos en los programas a partir de entrevistas con sus formadores.

Metodología

Debido a que este estudio tuvo como objetivo reconocer percepciones e iniciativas STEAM en la FIPM en Colombia, se adoptó un enfoque cualitativo bajo el paradigma interpretativo (Hernández et al., 2010). El estudio tuvo un alcance descriptivo, dado que buscó identificar experiencias, percepciones y significados que atribuyen los formadores (directores y profesores) al enfoque STEAM en los programas de FIPM. Este acercamiento permitió comprender cómo interpretan y valoran las iniciativas, así como desafíos y oportunidades que identifican en su implementación. La selección de los sujetos potenciales para participar se basó en su capacidad para proporcionar información relevante y diversa sobre la educación STEAM en la FIPM. Los coordinadores, debido a su posición estratégica, tanto académica como administrativa, ofrecieron una visión global de los programas, y en algunos casos, al igual que los profesores, aportaron perspectivas más específicas acerca de la implementación de iniciativas STEAM. Su experiencia en los programas varía de cinco a más de cuarenta años en distintas líneas de investigación en Matemáticas y Educación Matemática.

Se envió la invitación a los correos electrónicos de todos los coordinadores y posteriormente a algunos profesores que fueron recomendados por los primeros, debido a su experiencia en el programa y a los procesos que estaban liderando en relación con STEAM; por tanto, se trató de un muestreo intencional. Los formadores que aceptaron participar en este estudio

fueron catorce coordinadores (en algunos casos llamados directores) y tres profesores, de catorce universidades colombianas, ubicadas en doce departamentos del país, que al momento ofrecían el programa de Licenciatura en Matemáticas (o denominación similar). A lo largo de este artículo se emplearon códigos alfanuméricos de P1 a P17 para identificar a los participantes e indicar sus aportes a través de fragmentos textuales o parafraseados. En los casos de P4 y P9 pertenecen a la misma universidad, al igual que P5, P12 y P13.

Se optó por la entrevista como técnica de recolección de datos por su naturaleza íntima, flexible y abierta. Al respecto, Hernández et al. (2010) indican que se trata de un diálogo entre el entrevistador y el entrevistado en el que se generan significados de un tema específico. En particular, las entrevistas semiestructuradas emplean una guía flexible para el investigador. Los temas que orientaron la formulación de preguntas fueron: experiencia al interior del programa, apuestas formativas de la licenciatura, posicionamiento respecto a la educación STEAM, desarrollo de estrategias específicas en el programa con sus resultados y dificultades, y maneras en que se promueve la interdisciplinariedad. Los encuentros tuvieron una duración promedio de 45 minutos.

El tratamiento de la información se inició con la transcripción de las grabaciones que fueron codificadas por cada investigadora de forma independiente en el software Atlas ti de acuerdo con los temas generales que orientaron la entrevista. El método de triangulación empleado fue entre investigadoras (Hernández et al., 2010), mediante un proceso de codificación en paralelo que permitió la búsqueda de patrones, la discusión de las categorías emergentes y reducir sesgos individuales, favoreciendo la validación y fiabilidad de los resultados. El análisis de datos cualitativos, según la perspectiva de Coffey y Atkinson (2005), no se limita a la aplicación de un conjunto de técnicas específicas, sino que requiere un enfoque imaginativo, perspicaz, adaptable y reflexivo que genera una nueva comprensión o perspectiva. Así, las categorías emergieron de un proceso inductivo (ver Tabla 1) basado en la revisión de literatura, las perspectivas de las investigadoras y principalmente en las respuestas de los participantes (Carrillo Pineda et al., 2011).

En esta investigación, se implementó un protocolo ético que contempló la obtención del consentimiento informado verbal de los participantes, la protección de la privacidad y confidencialidad de la información recopilada y la reducción de riesgos potenciales. Asimismo, se aseguró la igualdad de trato y se respetó la autonomía de los profesores, al considerar su criterio y

opinión en todo momento. En coherencia con el objetivo de explorar el fenómeno y reconocer los significados de los participantes, se incluyeron perspectivas opuestas e incluso aparentes divergencias en cada participante, reconociendo el dinamismo y la complejidad de los fenómenos educativos. Como estrategia para fortalecer la credibilidad, se les solicitó a los entrevistados hacer una revisión de los resultados ya sistematizados (Hernández et al., 2010), para contar con su validación en dos sentidos. Primero, en la interpretación de los datos: asegurar que sus perspectivas y las de su programa quedaran representadas. Segundo, para verificar la protección de su identidad: que pudieran constatar que el tratamiento de la información garantice la confidencialidad y el anonimato de los entrevistados y su institución.

Tabla 1

Matriz de categorías de análisis sobre Educación STEAM en la FIPM

Categoría	Subcategoría	Definición	Citas ancla	Cobertura	Total citas	Mayor frecuencia
Percepciones sobre Educación STEAM	Apertura, valoraciones positivas / Necesidad de discusión	Discursos que presentan a STEAM como tendencia educativa relevante, que promueve la interdisciplinariedad y el desarrollo de competencias.	“El consenso debe ser que es un enfoque llamativo, que es una estrategia bastante positiva que puede animar al aprendiz” (P17)	P2, P3, P4, P6, P8, P9, P13, P17. P4, P13.	39	P3 (6) P12 (6)
	Escepticismo / oposición	Discursos que expresan duda sobre la necesidad, viabilidad y efectividad de STEAM en el contexto colombiano y posiciones que leen STEAM como discurso político-ideológico.	“Lo que yo tengo muchas dudas [es] que se puedan implementar de buena manera en un mundo, en un país con tan pocos recursos en las escuelas” (P1) “Entonces el STEAM es, en últimas, otra manera de [...] proponer la formación de competencias en un sujeto trabajador” (P14)	P1 P7, P13 y P14	29	P14 (14) P1 (10)
	Ausencia de discurso / presencia de prácticas afines	Casos en los que el término STEAM no aparece en documentos ni en el lenguaje cotidiano del programa, pero se reconocen	“Aunque nosotros no lo llamamos así [...] me doy cuenta de que nosotros adoptamos el modelo de aprendizaje basado en problemas” (P2).	P2, P12, P13, P16.	16	P2 (5) P12 (4)

Categoría	Subcategoría	Definición	Citas ancla	Cobertura	Total citas	Mayor frecuencia
		prácticas alineadas con el enfoque.				
Desarrollo de propuestas STEAM en la FIPM	Cursos disciplinares, electivos y profesionales	Iniciativas que integran elementos STEAM en cursos de matemáticas, tecnología o investigación.	“Desde los cursos que yo actualmente doy [... ellos deben] generar una propuesta de diseño que intente tocar temas un poco más transversales que permitan también conectar con otros contextos, no necesariamente matemáticos. Podemos citar ejemplos de problemas ecológicos” (P12)	P6, P8, P11, P12, P13, P15.	15	P13 (7) P11 (2)
	Semilleros / proyectos de investigación y extensión	Espacios voluntarios y proyectos formales donde se exploran líneas STEAM, se desarrollan habilidades investigativas, se produce y divulga conocimiento, y se consolidan alianzas interinstitucionales.	“Tiene un seminario [semillero] de investigación con metodología STEAM, y allí hacen partícipes varios estudiantes del programa de licenciatura en matemáticas y de ingenierías” (P9).	P1, P3, P4, P11, P12.	41	P4 (24) P12 (5)
	Prácticas / trabajo de grado	Experiencias en centros de práctica donde los futuros profesores observan, diseñan e implementan propuestas y proyectos investigación documental o aplicada con enfoque STEAM.	“Ahorita los trabajos de práctica docente lo están haciendo con relación a robótica y en la metodología STEAM. Entonces, sí, al menos en la práctica docente, lo ven muy de cerca” (P9)	P1, P4, P8, P9, P11, P13, P3, P4, P11, P12.	33	P9 (11) P4 (8)
Resultados de iniciativas STEAM	Aspectos positivos	Condiciones favorables para la introducción del enfoque STEAM y resultados positivos percibidos con su implementación.	“Reconocemos una diversidad teórica y metodológica en el campo de la educación matemática que nos está llevando a explorar espacios de formación de profesores en los que estas teorías y estas metodologías cobran importancia” (P12)	P1, P3, P4, P9, P12, P13.	47	P9 (11) P4 (9) P1 (5) P12 (5)
	Obstáculos y limitaciones	Condiciones desfavorables para la implementación del enfoque	“Nosotros contamos únicamente con una sala de informática, y, pues las instalaciones	P2, P3, P4, P6, P8, P15, P16.	51	P4 (15) P3 (8) P8 (8)

Categoría	Subcategoría	Definición	Citas ancla	Cobertura	Total citas	Mayor frecuencia
Interdisciplinariedad en la FIPM		STEAM y dificultades administrativas, académicas, contextuales, normativas, entre otros.	de la Universidad son bastante insipientes en términos tecnológicos” (P15) “Cuando los chicos llegan a la parte de práctica docente, pues en los colegios no les permiten ese tipo de cosas, están amarrados al sistema escolar [...] ha sido un tema tabú en las instituciones” (P6)			
	Concepciones	Representaciones de la interdisciplinariedad dentro del programa de FIPM	“Tiene de ventaja el hecho de tratar de restablecer lo que separamos [...] que nos dejó profundamente lesionados en la cuestión social, en la cuestión política” (P14) “No hay alternativa, es que yo no le veo por donde más [...] Les tenemos que enseñar a pensar, a que se adapten a nuevos contextos [...] el mundo se conecta, las empresas no funcionan sino a través del diálogo interdisciplinar” (P6)	P2, P6, P7, P14, P15, P17.	40	P14 (12) P6 (5)
	Estrategias y escenarios	Prácticas que los formadores asocian con interdisciplinariedad	“Un espacio [obligatorio] por excelencia para que se dé la interdisciplinariedad” (P14) “Un diseño donde están estudiantes de química, español e historia” (P11)	P2, P7, P8, P11, P15, P16, P17.	75	P15 (9) P7 (8) P8 (8)
	Barreras	Limitaciones, dificultades y resistencias de docentes, entre otros factores que afectan la consolidación de cultura de colaboración entre agentes y disciplinas.	“Hay muchas contradicciones en cómo se formula esto, porque finalmente resultas siendo segmentado y resulta haciendo trabajos multidisciplinares, al considerar que el eje es matemáticas” (P4)	P4, P7, P15 y P11.	5	P4 (2) P7 (1) P15 (1) P11 (1)

Resultados

Esta sección presenta los hallazgos relacionados con: 1) percepciones sobre educación STEAM³ en los programas de Formación Inicial de Profesores de Matemáticas (FIPM), que abarcan conceptualizaciones y posiciones frente al enfoque; 2) desarrollos de las propuestas STEAM con sus estrategias; 3) resultados de iniciativas STEAM; 4) sus proyecciones en los programas de FIPM; y 5) el papel de la interdisciplinariedad en los programas de FIPM. Estos hallazgos destacan la diversidad de concepciones acerca del enfoque para los niveles básico y universitario, los argumentos en discusión y su potencial para contribuir a las necesidades formativas de los futuros profesores de matemáticas.

Percepciones sobre educación STEM en los programas de FIPM

El análisis de las entrevistas revela que el término educación STEAM se está incluyendo en espacios académicos, con un alcance limitado. Aunque se identifican procesos relacionados con STEAM en diversas instituciones, las opiniones de los entrevistados varían significativamente respecto a su acogida, necesidad y relevancia en la educación básica, media y en la FIPM. Estas posturas reflejan razones tanto para fomentar como para rechazar su implementación, pero no representan necesariamente la posición de las instituciones, sino perspectivas individuales o grupales.

Apertura, valoraciones positivas y necesidad de discusión

Los participantes reconocen la relevancia de STEAM como una tendencia educativa que promueve la interdisciplinariedad, el desarrollo de competencias y el uso de metodologías innovadoras. Se destaca su interpretación como un movimiento contra la fragmentación del conocimiento, integrando saberes y articulando la utilidad de las disciplinas con fines educativos

³ Aunque en ocasiones haya un uso indistinto entre los acrónimos STEM y STEAM o su única diferencia radique en la integración de las artes, se procuró mantener los términos que los profesores usaron en sus respuestas con respecto a los temas planteados durante la entrevista.

más amplios (P3). Esta perspectiva resalta su capacidad para generar conexiones y fomentar el diálogo entre disciplinas, especialmente en proyectos basados en problemáticas reales, por ejemplo, ambientales y sociales, que requieren colaboración multi o interdisciplinaria para soluciones integrales.

Los participantes conciben el enfoque STEAM como una visión integradora y disruptiva que no solo incluye las artes plásticas, sino también la música (P6), las humanidades y otros idiomas, abarcando aspectos como la lengua de señas y otras formas de comunicación (P8). Esta expansión refleja un carácter disruptivo que reconoce la necesidad de colaboración entre disciplinas para enfrentar desafíos educativos contemporáneos como la inclusión. El carácter interdisciplinar de STEAM no se percibe como una propuesta nueva, sino como una continuación de debates históricos referente a la integración curricular y las relaciones de las matemáticas con otros saberes (P13).

Respecto a los fines del enfoque STEM, se enfatiza el fortalecimiento de competencias blandas (P2), el desarrollo del pensamiento crítico, la creatividad, el trabajo en equipo y la investigación. Para algunos, STEAM se proyecta como una vía hacia el desarrollo personal (P17), la formación de “mejores seres humanos” (P8) capaces de abordar problemáticas modernas al emplear explicaciones interdisciplinarias (P17), desde el pensamiento crítico (P4) y la preparación para desempeñarse en contextos industriales o tecnológicos. Se concibe que los futuros profesores primero desarrollen estas competencias (P13), las apliquen en el diseño de planes de clase y, con su implementación, contribuyan a transformar la cultura de las instituciones educativas (P3).

A pesar de las ventajas percibidas y la acogida por parte de profesores y grupos de investigación, existen elementos de discusión referente al enfoque STEAM. Tanto sus defensores como sus opositores reconocen que carece de una base empírica robusta. Sin embargo, se destaca un potencial de articulación con otros campos para complementar enfoques ya existentes: “hay desarrollos dentro de la educación matemática que permiten complementar o cuestionar esos posicionamientos que se han desarrollado desde los estudios de STEM en el campo” (P13).

Se evidencia preocupación por la falta de comprensión del enfoque y su asociación acrítica con la innovación tecnológica, limitándose al uso de dispositivos como celulares y tabletas (P4). Además, se identifica una ambivalencia en su implementación, ya que en ocasiones se reduce a una etiqueta o receta para proyectos que carecen de una verdadera interdisciplinaria; por

ejemplo, proyectos centrados en la réplica de robots o en exhibiciones de arte sin trabajo conceptual profundo (P4). La falta de claridad conduce a concepciones reduccionistas que limitan su alcance: “se confunde STEM con gamificación de las clases. Se confunde robótica con el uso de scratch, con la réplica de robots” (P4). Según estas percepciones, las estrategias STEAM deben trascender teorías sueltas o prácticas desconectadas, enfocándose en diseños pedagógicos sólidos que promuevan una integración auténtica de disciplinas.

Escepticismo y oposición

Se identificaron expresiones de duda frente a la necesidad y la efectividad de aplicar el enfoque STEAM en el contexto colombiano, señalando tensiones entre los discursos teóricos y las realidades prácticas (P1). Se cuestiona el énfasis en la novedad tecnológica, las concepciones acerca de la innovación misma y la viabilidad de su aplicación en los diversos contextos educativos del país. Asimismo, se cuestiona su fundamentación epistémica, señalando los problemas que surgen al intentar integrar múltiples disciplinas (P1). Aunque se reconoce como un campo en construcción, en el contexto local se ha centrado en aspectos metodológicos con poca claridad conceptual, manteniendo el debate en un nivel bajo, sin abordar las tensiones y desafíos reales, estableciéndose solo como una moda.

Por otra parte, se argumenta que los docentes formadores enfrentan una sobrecarga laboral, ya que se les exige incluir múltiples temas de actualidad en sus planes de curso y cualidades adicionales, con poco margen para la especialización en el conocimiento como sí sucede en otras profesiones (P1). Entonces, el escepticismo hacia STEM se convierte en rechazo debido a que se presenta como una nueva exigencia que se hace al programa y a los profesores (P1). No se considera que el enfoque STEAM deba tener un lugar privilegiado, ya que todas las perspectivas son importantes y no todos los profesores deben adherirse a esta tendencia, favoreciendo la multiplicidad de intereses académicos.

Las percepciones más críticas hacia STEAM señalan intereses ideológicos, un sesgo disciplinar y la instrumentalización de la educación (P7, P14). Se afirma que se trata más bien de un discurso político superficial o una etiqueta en lugar de una propuesta pedagógica profunda y alternativa. Esta crítica se intensifica al considerar su procedencia de un paradigma modernista y

neopositivista, donde las matemáticas, la ciencia y la tecnología se perciben como garantía de progreso, ignorando las complejidades socioculturales e históricas del conocimiento:

Veo una postura política y epistémica que es hostil a ese discurso STEM. Y mi opinión personal [es que] STEM es neoliberalismo por otros medios (...) para mí el STEM es de lo más viejo que hay, ese es el paradigma del modernismo. (P7)

El enfoque STEAM privilegia áreas con potencial económico como las matemáticas y las ciencias, marginando disciplinas esenciales para el desarrollo humano integral, como las ciencias sociales, el arte y la filosofía (P14). Esta visión se refuerza cuando se resaltan áreas como la computación, la inteligencia artificial y la ingeniería, vinculándolas con STEM y destacando su relevancia en contextos futuros (P7). Esta perspectiva deshumaniza la educación, fomenta la estandarización curricular y prioriza fines económicos, por encima de propósitos éticos y críticos para la formación, reduciendo la educación a un instrumento al servicio del mercado y la productividad: “es un discurso que modifica un poco el centro en lo que ya estaba estandarizado (...) ¿Por qué tenemos que reducir la educación y particularmente la educación matemática a una formación para el trabajo?” (P14)

Ausencia de discurso y presencia de prácticas afines

El análisis revela una inexistencia del término en los planes de estudio de las licenciaturas. Esta carencia se complementa con la falta de docentes especializados en STEM e incluso, en algunos casos, pocos espacios académicos dedicados a las TIC (P2). La ausencia informal se identifica por la escasa circulación de discursos de STEM lo que resulta en desconocimiento, falta de información y profundización referente al tema (P2, P10, P16). Esta falta de apropiación del enfoque se debe a la priorización de otras apuestas formativas (P3) y la ausencia de comunicación sobre el tema por parte de fuentes externas al programa (P7).

Aunque el discurso sobre la educación STEAM no está formalmente presente y su conocimiento es superficial, los participantes reconocen prácticas afines, como la integración curricular, el aprendizaje basado en problemas y el estudio de casos: “[no] la denominemos educación STEAM, pero sí hay cosas que tienen que ver con ese tipo de modelo educativo, aunque no a profundidad” (P2). Sumado a esto, se identifican antecedentes históricos, como la renovación

curricular en Colombia (P13) y proyectos de investigación en diversos contextos educativos que reflejan principios STEAM, cuando se trata la conexión con contextos reales (P12).

Desarrollo de propuestas STEAM en los programas de FIPM

Las iniciativas en los programas de FIPM se encuentran en diferentes estados de desarrollo, desde la indagación y desarrollo individual (mayoría), propiciada en escenarios formales e informales con otros docentes, hasta la implementación activa y la conformación de comunidades académicas. En particular, al menos seis formadores reportan escenarios para su difusión (P1, P3, P4, P5, P8, P14). A continuación, se amplían las principales estrategias identificadas.

Cursos disciplinares, electivos y profesionales

En los programas de FIPM, los cursos se han convertido en un escenario para explorar elementos del enfoque, abarcando cursos específicos de STEM e investigación científica (P11), en modalidades electivas y dirigidos a un público más abierto que los futuros profesores de matemáticas (P8), hasta cursos disciplinares de matemáticas que integran elementos del enfoque STEAM (P15). Entre las estrategias destacadas se encuentran la resolución de problemas, la gamificación, el uso de las TIC y la programación. Por ejemplo, en cursos de carácter profesional se proponen diseños que conecten las matemáticas con otros contextos, por ejemplo, los problemas ecológicos (P12). Estos cursos buscan desarrollar competencias STEAM (P6) o servir a los propósitos específicos del espacio de formación (P12, P15).

P13 indica que dentro de cursos de tecnología se promueve el análisis de STEAM como objeto de estudio, abordando su impacto curricular, sus alcances y limitaciones. La modelación matemática, el pensamiento métrico y la optimización se han integrado en los cursos a través del análisis de problemas interdisciplinarios. Además, se fomenta la reflexión teórica acerca de enfoques como el construccionismo y el enfoque documental, para enriquecer la formación docente al ofrecer múltiples perspectivas de la integración de STEM en la educación, como su

impacto curricular, y a partir de este acercamiento, algunos futuros profesores pueden encontrar una manera de fundamentar sus trabajos (P13).

Cursos de práctica pedagógica y trabajos de grado

Algunos programas de formación tienen convenios con instituciones educativas para realizar prácticas con enfoque STEAM, permitiendo a los futuros docentes observar y participar activamente de este tipo de enseñanza (P1, P9, P11). En colaboración con docentes, los practicantes exploran estrategias como la robótica para la enseñanza de las matemáticas: “hay una institución que nos ha pedido que las prácticas sean en ese estilo, y les ha gustado, y entonces estamos en que no solamente sea una sugerencia de nosotros, sino que ellos las quieren así” (P9). Además, es posible integrar intereses como la educación inclusiva y la colaboración con Tecnoacademia para desarrollo de habilidades científicas (P8).

Existen escenarios de práctica en el nivel universitario (P9, P13), tales como cursos en programas de ingeniería que requieren de los futuros profesores profundizar en el conocimiento matemático y desarrollar habilidades de enseñanza. Algunas de estas prácticas se articulan con proyectos de investigación en Educación Matemática: “nosotros lo hemos utilizado, para poder mirar competencias de ellos [futuros profesores...] en una tarea profesional que es el diseño y selección de situaciones” (P13).

A través de la realización de trabajos de grado, en su modalidad de investigación, los estudiantes tienen la oportunidad de explorar a fondo diferentes aspectos relacionados con el enfoque STEAM y su implementación en el aula. En estos espacios se realizan tareas inherentes a la investigación, tales como la revisión bibliográfica, la fundamentación teórica y otras, dependiendo de la naturaleza y alcance de los proyectos. Es recurrente que, en principio, estos trabajos tengan un enfoque documental que les permite profundizar en el tema, realizar análisis crítico y comparativo. A medida que se fortalece la línea de trabajo se fundamentan diseños, se implementan y se evalúan propuestas didácticas. Sumado a esto, el vínculo a proyectos de investigación o trabajos previos en los semilleros delimitan los intereses de los estudiantes en esta temática (P4 y P12).

Semilleros de investigación, proyectos de investigación y extensión

Los semilleros son de carácter voluntario y ofrecen a los estudiantes la oportunidad de explorar líneas de investigación, desarrollar proyectos y fortalecer habilidades como el trabajo en equipo (P4). Al menos en cinco programas hay una línea de trabajo en STEAM que se está explorando. Estos espacios se consolidan como entornos dinámicos para el aprendizaje investigativo, el cual se aplican en tareas como, por ejemplo, la sistematización de información para reconocer la producción académica nacional e internacional (P12). Además, se establece diálogo con expertos que son invitados a los encuentros del Semillero. Algunos de estos espacios están abiertos a futuros licenciados de todas las áreas y otros profesionales (P11), en algunos de ellos, se encuentra una participación significativa de estudiantes de ingeniería.

Los semilleros fomentan la producción escrita, la divulgación académica en eventos y la participación en proyectos y pasantías en grupos de investigación. Estas experiencias les permiten compartir conocimientos, aprender de otros investigadores y establecer contactos profesionales: “se está dejando la semilla en ellos para continuar su formación que de alguna manera intentan ver cómo podría eso llevarse al aula lo puedan ejercer, pero también de cómo hacer investigaciones en el área STEM o STEAM” (P4).

Los proyectos de investigación sirven como plataformas para explorar el enfoque STEAM en la formación inicial y continua de profesores (P12). Algunas iniciativas han dado lugar a líneas específicas de educación STEAM en grupos de investigación, mientras que otras se apoyan en el desarrollo de la Educación Matemática. Asimismo, se reporta la creación de un grupo de investigación con el propósito de proyectar cambios curriculares en la FIPM a partir de la producción de conocimiento.

Además de las convocatorias universitarias que permiten la vinculación de estudiantes a través de semilleros (P4), se están fortaleciendo colaboraciones entre grupos de investigación en educación, ingeniería y otras áreas para desarrollar proyectos (P12). También, se han establecido alianzas con secretarías de educación (P3, P12) y otras organizaciones para la formación docente y la participación de futuros profesores en iniciativas STEM dirigidas a estudiantes de educación básica y media (P1). A partir de la realización de doctorados por parte de los docentes de los programas se está propiciando mediación entre los discursos globales sobre STEAM hacia

apuestas locales como el diseño didáctico integrado en la formación inicial (P1) y continua de profesores (P3).

Resultados de iniciativas STEM/STEAM en la FIPM

El desarrollo de las estrategias mencionadas anteriormente ha generado resultados favorables y ha develado algunos obstáculos. Los entrevistados coinciden en que los principales beneficiados son los futuros profesores, destacando cinco aspectos clave, entre ellos: 1) motivación y curiosidad académica al explorar la estética y las conexiones interdisciplinarias (P1); 2) creatividad en la enseñanza de las matemáticas mediante la generación de ideas, la vinculación de conceptos matemáticos en diversos contextos y la aplicación didáctica de enfoques interdisciplinarios (P9, P12). Estos logros se han obtenido a través de todas las estrategias mencionadas anteriormente y son las más específicas respecto al enfoque STEAM.

Los otros resultados positivos vinculados a las prácticas, semilleros y trabajos de grado son: 3) impacto en las prácticas docentes, promoviendo la reflexión y metodologías innovadoras en la enseñanza de las matemáticas, además de contribuir a la transformación cultural en instituciones educativas (P9); 4) expansión de horizontes para los futuros profesores, facilitando la aplicación de conocimientos en contextos interdisciplinarios (P13); y 5) desarrollo de compromiso, perseverancia, habilidades comunicativas y confianza académica, gracias a la participación en eventos académicos nacionales e internacionales (P4) y en proyectos colaborativos con otros investigadores (P12).

Aunque los docentes a cargo de las iniciativas son optimistas, identificaron limitaciones en la implementación de estrategias STEAM en la FIPM. Estas dificultades se suman a los elementos señalados en el apartado anterior referente a la necesidad de discusión y escepticismo. Algunos de los obstáculos no son exclusivos del enfoque, sino que forman parte de los desafíos cotidianos de la FIPM o son propias de las estrategias particulares.

Las limitaciones de tipo *administrativo* abarcan: sobrecarga laboral, falta de tiempo para planificación conjunta (P8, P3), escasez de espacios para compartir experiencias, necesidad de convenios, carencia de recursos didácticos y económicos (P4) y falta de sostenibilidad en los proyectos (P16). Para abordar algunos de estos desafíos, se han promovido alternativas como la

interacción en eventos académicos virtuales, facilitando la colaboración interinstitucional y mitigando restricciones económicas para el desplazamiento (P4).

En cuanto a factores *académicos*, se alude a la falta de cultura investigativa entre los estudiantes que garantice un compromiso sostenido en los semilleros (P3, P4) y el carácter voluntario del trabajo docente, que no siempre es reconocido. Además, se evidencian dificultades en el dominio conceptual de los practicantes, desafíos comunes entre estudiantes y docentes, y una debilitación académica postpandemia que ha afectado el aprendizaje estudiantil (P3).

Un desafío particular que afecta la educación STEAM, son los espacios efectivos para una *implementación sistemática del enfoque*, ya que el sesgo disciplinar dificulta la colaboración interdisciplinar. Además, diseños poco estructurados, así como la falta de comprensión conceptual de la interdisciplinariedad y la multidisciplinariedad, impiden una integración STEAM. Por el contrario, se ha confundido la integración con la suma de aportes independientes de cada área en un proyecto (P4).

En los programas de FIPM se percibe un arraigo a *prácticas disciplinares* y métodos tradicionales, centrados en la demostración y aplicaciones convencionales, que limitan la integración interdisciplinar (P15). El escaso diálogo con docentes del núcleo disciplinar parece debilitar la dimensión pedagógica y didáctica en la enseñanza de las matemáticas (P2, P3). Además, se presenta cierto hermetismo en las líneas específicas de trabajo académico (P3, P8). Estas barreras reflejan la falta de consenso sobre la pertinencia del enfoque STEAM y la importancia de la interdisciplinariedad en la FIPM. En suma, los elementos anteriores dan cuenta de algunas causas en la falta de *colaboración* interdisciplinaria entre los formadores.

Para los profesores es claro que toda transformación requiere un cambio en la *cultura educativa* y este proceso no es rápido ni sencillo. Por esta razón, en algunas instituciones de educación básica y media con convenios de práctica, la interdisciplinariedad es limitada por la segmentación curricular (P6), especialmente en secundaria (P4), aunque existen excepciones (P11). Para favorecer estas prácticas, se requiere un diálogo más fluido entre las universidades y las instituciones educativas (P8), y en particular con los docentes en servicio, cuya disposición influyen significativamente en su implementación.

Por último, la *normativa* y los *referentes curriculares actuales* que orientan la planificación de los docentes representan un obstáculo para la implementación del enfoque

STEAM, ya que su organización es a través de áreas, careciendo de orientaciones claras que fomenten la integración interdisciplinar. Para P4, es crucial un cambio en las políticas educativas, con una apuesta decidida por la interdisciplinariedad que supere la percepción de un currículo estático y fragmentado.

Proyecciones de la educación STEM/STEAM en la FIPM

Respecto a las proyecciones futuras en los programas de FIPM con iniciativas en desarrollo se centraron en el diseño e implementación gradual de estrategias para formar en educación STEAM (P3). Se espera que los proyectos de investigación contribuyan a fundamentar propuestas curriculares, integrando cursos obligatorios, electivos y prácticas dentro de la trayectoria formativa de los futuros profesores (P3). Además, algunas instituciones destacan la importancia de una integración curricular en la educación básica, utilizando secuencias didácticas (P3) y recursos digitales (P4) que sean compartidos con la comunidad educativa.

Las prácticas pedagógicas se conciben como escenario propicio para fomentar la integración curricular y la interdisciplinariedad en los centros de práctica (P6, P8, P12). Ejemplos de ello incluyen el uso de robótica, gamificación (P8) y espacios como la Tecnoacademia (P8), en los que se promueve la interacción y reflexión pedagógica. Sumado a esto, se busca dar continuidad a estrategias como trabajos de grado, semilleros y proyectos, estableciendo alianzas con actores clave, como las secretarías de educación. Todo ello apunta a contribuir, a mediano y largo plazo, a la transformación de la cultura educativa, comenzando por la formación inicial para luego impactar en la educación básica y media. Como señala P3:

Transformar la cultura es bastante complejo, (...) las demás personas empiezan a visibilizar las cosas, y esa es como la mejor manera de ir ampliando el círculo de participantes, a partir de ir mostrando los resultados que se pueden derivar del proceso.

Algunas consideraciones acerca de la Interdisciplinariedad en los programas de FIPM

Debido a que el enfoque STEAM es concebido como interdisciplinario, también se abordó con los formadores sus perspectivas respecto a la interdisciplinariedad para tener una visión más

completa acerca de su integración en los programas. La noción de interdisciplinariedad es ampliamente aceptada entre los formadores y no enfrenta la misma oposición ideológica que el enfoque STEAM (P7, P14), excepto para P1, quien mantiene una posición escéptica, como se describió antes. En algunos programas, la interdisciplinariedad es un tema de reflexión constante (P14), especialmente en el marco de la autoevaluación institucional (P3, P15). Se concibe como un proceso natural en la matematización del mundo y la comprensión de sus múltiples dimensiones (P14). Sin embargo, a diferencia del enfoque STEAM, facilita la desmatematización de la educación matemática; es decir, reduce el protagonismo de las matemáticas y promueve un equilibrio con otras áreas del conocimiento (P6, P7, P14).

La búsqueda de relaciones entre las matemáticas y otras disciplinas también propicia conexiones con realidades cercanas a los sujetos y favorece la aplicación práctica de las matemáticas en una sociedad en constante cambio, donde las habilidades del siglo XXI requieren un enfoque integrado (P6). A nivel curricular, se evidencian vínculos entre distintas ramas matemáticas, como geometría, aritmética y álgebra (P17), sin embargo, una “verdadera” interdisciplinariedad exige su integración con otras disciplinas para comprender contextos reales (P15) y resolver diversos problemas (P2). En conjunto, estas perspectivas resaltan la necesidad de superar una enseñanza de las matemáticas exclusivamente formalista y fortalecer la formación docente para entornos educativos cada vez más integrados y complejos.

Dentro de la FIPM, la interdisciplinariedad se ha abordado mediante diversas estrategias institucionales, aunque aún carecen de una evaluación sistemática. Generalmente, se asume cierto grado de integración entre los componentes disciplinar, didáctico y pedagógico, y en algunos espacios se enfatiza la relación entre lenguaje y matemáticas desde los primeros semestres (P2, P7). Entre los escenarios que los formadores asocian con interdisciplinariedad se encuentran: cursos abiertos a toda la comunidad universitaria en áreas como artes, deportes y formación sociohumanística, donde se propicia el intercambio con estudiantes de otras disciplinas (P11, P16), así como materias electivas dentro de la unidad académica o la licenciatura (P8). Estrategias más cercanas a la interdisciplinariedad dentro de los programas se evidencian en cursos disciplinares, como Probabilidad y Estadística, que incorporan problemas del mundo real (P15, P17).

Aunque existen actividades extracurriculares con potencial interdisciplinario, muchas no son reconocidas formalmente (P5). La eliminación de la física en algunos planes de estudio ha

generado una sensación de pérdida (P17), mientras que la oferta de electivas en otras ciencias se percibe como una oportunidad desaprovechada debido a su limitada conexión explícita con las matemáticas (P7). En este sentido, estrategias como la doble titulación (con física o informática) pueden promover una formación integral siempre que exista una apuesta intencionada desde las asignaturas (P11).

Las necesidades del contexto educativo han impulsado la interdisciplinariedad en la formación docente para responder a demandas externas y la implementación de estrategias pedagógicas basadas en proyectos para contextos educativos reales (P2). La proyección laboral a entornos rurales impulsa la necesidad de desarrollar habilidades para la interdisciplinariedad desde la formación inicial (P2), mientras que, en la educación primaria, la monodocencia facilita la integración curricular interdisciplinaria mediante proyectos (P4).

La interdisciplinariedad en la FIPM enfrenta barreras similares al enfoque STEAM, principalmente por la resistencia de docentes de áreas disciplinares a modificar enfoques tradicionales (P2, P6, P15). Pero, a diferencia de STEAM, no está directamente ligada a la innovación tecnológica, no obstante, las TIC han surgido como herramienta clave para la interdisciplinariedad y la multidisciplinariedad con las matemáticas y su uso intencionado se ve reflejado en iniciativas que vinculan la ciencia de datos y programación en los programas de formación inicial (P1, P7, P16).

Discusión

La apertura a la interdisciplinariedad y las competencias del siglo XXI responden a necesidades formativas en la FIPM (Castrillón-Yepes & Lebrun-Llano, 2023). En el caso de la educación STEM, su expansión como modelo de integración disciplinar no ha sido homogénea en los países del sur (Tovar Rodríguez, 2019), ni en otras partes del mundo (English, 2016). Cuando se interpreta como un discurso renovado o un eslogan político que solo persigue fines económicos basado en el desarrollo tecnológico (Domènech-Casal et al., 2019) genera rechazo. Sin embargo, también se encuentra que, al ser un discurso apropiado por las autoridades educativas, a la vez que genera resistencia, representa para algunos una oportunidad para establecer alianzas, trabajar en objetivos comunes y acceder a financiamiento para proyectos.

Los discursos de los formadores evidenciaron la inclusión de algunas estrategias que podrían considerarse STEAM, como el uso de software educativo y la resolución de problemas en cursos disciplinares, con el objetivo de fortalecer el aprendizaje conceptual y procedimental en el área de estudio, como se reporta en García Cartagena et al. (2017) con el uso de la robótica. Estas intervenciones pueden clasificarse como *lecciones* (Castrillón-Yepes & Lebrun-Llano, 2023), similares a la experiencia descrita por Carmona-Mesa, Cardona-Zapata & Castrillón-Yepes (2020). No se identificaron iniciativas con el triple propósito de adquirir conocimientos específicos en el área, promover una reflexión explícita de la conexión entre distintas áreas del conocimiento (matemáticas, ciencias y tecnología) y proyectar su uso didáctico en el futuro (Herro & Quigley, 2017).

No se tiene certeza de si en los cursos del componente didáctico, en general, se fomentan estas reflexiones o se incentiva el diseño de propuestas con enfoque STEAM. Sin embargo, en un par de universidades sí se ha promovido la planeación didáctica con el uso de recursos tecnológicos digitales y la integración de áreas, lo que se constituye en un punto de partida relevante. Asimismo, en seminarios centrados en tecnología se identificó el estudio de STEM como una posibilidad para fundamentar trabajos de los futuros profesores, es decir, es tratado como un objeto de estudio (Castrillón-Yepes & Lebrun-Llano, 2023). También, los cursos en los que se lleva a cabo procesos de modelación matemática se reconocen como espacios potenciales para fomentar la interdisciplinariedad en general (una propuesta similar, pero enfocada a STEM específicamente, se encuentra en Wiegand y Borromeo Ferri, 2023).

En la FIPM se identificaron iniciativas en fase inicial, precedidas por procesos de indagación y fundamentación teórica, primero por parte de los formadores, y luego transmitido a los futuros profesores. Se reconocen múltiples estrategias, como el aprendizaje basado en proyectos (ABP), un poco menos común la modelación matemática y más recurrente, la resolución de problemas, que funciona como un punto de conexión entre las apuestas formativas de los programas y el enfoque STEAM. Estos hallazgos podrían relacionarse con la tendencia a vincular las metodologías que sean más acordes con una tradición de investigación y enseñanza en cada área (Carmona-Mesa, Acevedo-Zapata & Villa-Ochoa, 2020). Así, a diferencia de los hallazgos de Castrillón-Yepes y Lebrun-Llano (2023), el diseño en ingeniería y estrategias de indagación están muy ausentes en los programas de FIPM. Como temática particular de interés en varias

universidades, se puede nombrar la sostenibilidad ambiental como puente entre el enfoque y otras disciplinas (Wiegand & Borromeo Ferri, 2023).

Algunos autores han resaltado la importancia del trabajo colaborativo entre futuros profesores y profesionales de distintas áreas (Castrillón-Yepes & Lebrun-Llano, 2023; Yang & Ball, 2024). Este vínculo se observa con mayor frecuencia en los semilleros de investigación, que cuentan con la participación de estudiantes de diferentes licenciaturas y de ingenierías. Sin embargo, no es una forma de trabajo generalizada y los formadores aún no evidencian de manera contundente las ventajas de estas interacciones. Además, en la literatura internacional se ha sugerido un esfuerzo para establecer colaboraciones entre los programas de FIPM y de formación continua con profesores en servicio (Ryu, 2019), una alternativa que se proyecta explorar en algunas universidades a través de las alianzas interinstitucionales.

Por otra parte, en la revisión de Margot y Kettler (2019) la colaboración entre docentes, el apoyo institucional y el desarrollo profesional se identifican precisamente como apoyos clave para la implementación STEM, mientras que Herro y Quigley (2017) muestran cómo un desarrollo profesional colaborativo orientado a proyectos STEAM contribuye a transformar las percepciones y prácticas docentes. En nuestro caso, la colaboración aparece más como carencia estructural que como recurso consolidado, lo que marca un contraste relevante con estas experiencias. En definitiva, la colaboración es relevante para incidir en los propósitos formativos, pero para esto se requiere dinamizar las relaciones entre los formadores de los programas como entre estudiantes de distintas licenciaturas y otros agentes.

La realización de trabajos de grado se ha convertido en una estrategia clave para fortalecer la formación, la investigación y la producción académica en el ámbito de la educación STEAM en Colombia. Mientras que la participación en proyectos de investigación y la presentación de ponencias en eventos académicos les permite a los estudiantes establecer contactos con otros investigadores, lo que puede generar nuevas oportunidades de desarrollo profesional y contribuir al avance de esta línea de trabajo.

Debido al estado de desarrollo y la naturaleza de las iniciativas, aún no se ha generado una discusión amplia de la gestión y la evaluación de propuestas integradoras (Cano Vásquez & Ángel Uribe, 2020). Tampoco se han identificado detalles claros en relación con el papel del arte, la robótica y la gamificación en los procesos de FIPM, o el desarrollo de habilidades blandas o

transversales que se presentan como aspectos recurrentes en las propuestas colombianas sobre el enfoque y susceptibles de discusión (Marín-Ríos et al., 2023).

En cuanto a las dificultades en la implementación, se identificaron tensiones entre la pretensión de los programas de incluir experiencias interdisciplinarias significativas, con perspectivas de enseñanza de las matemáticas más rigurosas (Botero Espinosa, 2018; English, 2016) preferidas por docentes universitarios. También, se reitera la limitación de recursos (Berisha & Vula, 2021; Margot & Kettler, 2019; Ramos-Lizcano et al., 2022), los costos asociados, las complicaciones administrativas y el desafío de diseñar lecciones que integren diversas disciplinas (Kelley et al., 2021).

Otros obstáculos relacionados con las pocas oportunidades de integración interdisciplinar en la formación regular son el trabajo aislado de los formadores por la falta de una cultura de colaboración (Berisha & Vula, 2021), espacios restringidos para la planeación colaborativa y tiempos insuficientes para el desarrollo de las lecciones diseñadas (Ryu et al., 2019). Adicionalmente, como factor externo se identifican las orientaciones normativas para la educación básica y media con un estilo segmentado de las áreas. Esto se complementa con la idea de que las estructuras institucionales –físicas, organizacionales y curriculares– son altamente reguladoras diseñadas para enseñar en silos (Kelley et al., 2021). Sin embargo, otros autores resaltan que no sería suficiente con la prescripción y orientación curricular sobre la integración para hacerla efectiva; es necesaria la formación (Berisha & Vula, 2021).

Como señala Alrwaished (2024), aunque existe interés por la educación STEM, los docentes enfrentan desafíos significativos al tratar de integrar el enfoque en su práctica, tales como la identificación de problemas del mundo real (Cano Vásquez & Ángel Uribe, 2020) y la integración efectiva de diversas disciplinas en una misma lección o proyecto (Goos et al., 2023; Kelley, et al., 2021). En este sentido, incluir planes de lecciones basadas en STEM en los programas de formación docente puede mejorar la planificación y fomentar el desarrollo de habilidades como el trabajo en equipo y la resolución de problemas reales. Sin embargo, los objetivos para fomentar la educación STEAM en la FIPM son diversos y, en ocasiones, demasiado amplios (Alrwaished, 2024).

Un tema de debate recurrente es la relación entre STEM y las TIC. Las investigaciones resaltan el uso potencial de las TIC para favorecer los procesos de aprendizaje en la educación

básica y la formación de profesores (Zhang & Zhu, 2023). No obstante, el uso de tecnología de punta no garantiza una contribución al desarrollo de competencias digitales (Toledo Lara, 2022). Tampoco es suficiente para caracterizarla como propuesta STEM o STEAM. Su trascendencia radica en la articulación intencionada con la ingeniería y otras disciplinas (Botero Espinosa, 2018). En todo caso, estos debates dan lugar a una amplia gama de interpretaciones y ambigüedades respecto a los criterios que definen una implementación integrada de STEAM. En este sentido, es importante generar reflexiones al interior de los programas acerca de los propósitos y alcances de este enfoque para la educación matemática y el lugar de cada una de las disciplinas en procesos de este tipo.

Desde la perspectiva de algunos formadores, a futuro, la educación STEM en la FIPM puede convertirse en un motor de cambio cultural en las instituciones educativas a partir de una transformación curricular (Sanders, 2009), comprendiendo el currículo como ese campo de fuerzas donde no solamente entran en juego las autoridades educativas, sino los mismos docentes con la interpretación y el dinamismo que le imprimen (Toledo Lara, 2022). Entonces, el enfoque STEAM, puede tener un impacto más allá de la integración formal al currículo, promoviendo cambios en la formación y práctica docente mediante una preparación continua y colaborativa (Herro & Quigley, 2017; Margot & Kettler, 2019). Es posible empoderar a los profesores para aplicar enfoques STEAM en la educación básica y media, pero se requiere apoyo institucional constante, mejores recursos y políticas públicas claras para que estas prácticas sean sostenibles (Dos Santos Dos Santos et al., 2025) e integradas a las perspectivas teóricas desarrolladas por los formadores en las universidades.

Conclusiones

Con este estudio se ha mostrado que existe un creciente interés y reconocimiento del enfoque STEAM en la FIPM en Colombia, lo que sugiere una apertura hacia métodos de enseñanza más integrados e interdisciplinarios, que favorece una formación de futuros licenciados con potencial para influir en una transformación educativa en la escuela. Sin embargo, a pesar del optimismo entre algunos formadores, las percepciones acerca de STEAM varían significativamente desde la apertura hasta la oposición. Uno de los asuntos en discusión es la

necesidad de tecnología avanzada, postura que suele ser rechazada y se plantea más bien la importancia de una articulación intencionada entre varias disciplinas, dentro de las cuales está la tecnología.

Las iniciativas identificadas en cursos y semilleros de investigación han mostrado efectos positivos como un aumento en la motivación, curiosidad académica y creatividad en los futuros profesores. No obstante, persisten desafíos importantes, como la necesidad de mayor cooperación entre los formadores para superar limitaciones administrativas y consolidar un propósito común. Además, algunos docentes manifiestan interés por desarrollar estrategias más concretas y sistemáticas para integrar el enfoque STEAM en sus clases; sin embargo, también señalan una demanda por la formación continua, investigación y reflexión sobre el enfoque debido a la falta de claridad sobre cómo diseñar tareas interdisciplinarias adecuadas.

A partir de la literatura y de los hallazgos en las experiencias prácticas de los participantes se propone los escenarios de práctica pedagógica o *practicum* como lugar propicio para la FIP en la educación STEAM. Allí, un enfoque interdisciplinario promueve la integración de conocimientos disciplinares, pedagógicos y didácticos, favoreciendo la reflexión sobre la práctica docente. Asimismo, dichos escenarios ofrecen condiciones para el seguimiento y la mejora continua de las iniciativas implementadas, así como la observación y el intercambio de experiencias. Tanto el estudio teórico como la participación en escenarios de práctica contribuyen a valorar su pertinencia en contextos educativos reales para diseñar procesos más relevantes y pertinentes para los estudiantes.

Es posible concluir que pese al esfuerzo de formadores y futuros profesores por integrar experiencias concretas y sistemáticas con un enfoque STEAM, los resultados muestran la necesidad de desarrollo profesional. Se requiere una formación que incluya el análisis crítico de otras propuestas, el diseño de tareas y la reflexión sobre las experiencias implementadas. Esto significa avanzar hacia marcos teórico-prácticos que orienten la planificación, ejecución y seguimiento de propuestas formativas con enfoque STEAM en la FIPM, de manera coherente con las condiciones y demandas de los contextos escolares colombianos.

Asimismo, los hallazgos evidencian la necesidad de fortalecer la colaboración entre docentes de diversas disciplinas en el marco de diseños curriculares, así como de contar con investigaciones que documenten y analicen dichas experiencias. Promover la interdisciplinariedad

puede contribuir al desarrollo de habilidades que requieren los futuros profesores, superando el rechazo ideológico que suscitan ciertos discursos asociados a STEAM. De esta manera también se puede favorecer el protagonismo de propuestas latinoamericanas relacionadas con la interdisciplinariedad que, desde una lectura contextualizada de los problemas de la educación matemática, ofrezcan alternativas más pertinentes y equitativas en la formación de profesores desde la ética, el compromiso con la transformación educativa y cultural y valorando la necesidad y posibilidad de incluir las TIC en cada caso, como un medio que fortalezca la resolución de problemas y desarrolle capacidades.

En consecuencia, se abren líneas de investigación orientadas a diseñar y evaluar programas de desarrollo profesional para formadores de profesores, estudiar en profundidad experiencias de colaboración interdisciplinar en la FIPM y analizar, mediante estudios longitudinales, el impacto de estas propuestas en las prácticas de los futuros docentes y en las instituciones escolares donde se desempeñan. Asimismo, resulta relevante indagar cómo las propuestas interdisciplinarias contribuyen al desarrollo de las habilidades requeridas en la profesión docente. Finalmente, profundizar en la dimensión ética y política de las iniciativas STEAM, analizando cómo se articulan con la responsabilidad profesional orientada a la transformación educativa en el contexto latinoamericano.

Este estudio presenta varias limitaciones. En primer lugar, se trabajó con una muestra intencional de programas de formación inicial de profesores de matemáticas de un conjunto acotado de universidades (en su mayoría públicas), por lo que los resultados no son generalizables al total de programas del país y deben entenderse como una caracterización inicial. En segundo lugar, la información se recogió a partir de las voces de formadores: coordinadores y profesores universitarios, lo que deja por fuera las perspectivas de estudiantes y los demás docentes. En tercer lugar, el énfasis en datos producidos mediante entrevistas privilegió los discursos y prácticas declaradas, sin incluir observaciones en campo, de modo que pueden existir discrepancias entre lo dicho y lo efectivamente realizado. Además, el carácter transversal del estudio ofrece un diagnóstico de un momento específico, sin dar cuenta de la evolución y sostenibilidad en el tiempo. Finalmente, el número de sujetos participantes y el uso de un solo instrumento: la entrevista, limitó la profundidad del análisis de cada programa, lo que abre la necesidad de estudios de caso que

permitan comprender con mayor detalle los procesos de diseño, implementación y evaluación de propuestas STEAM en la FIPM.

Agradecimientos

Este artículo fue publicado gracias al apoyo del Comité para el Desarrollo de la Investigación -(CODI)- de la Universidad de Antioquia, el cual financió el proyecto de investigación “Fundamentación y desarrollo de una propuesta de formación STEM para futuros profesores de matemáticas” (Código: 2018-22989).

Referencias

- Alrwaished, N. (2024). Mathematics pre-service teachers’ preparation program for designing STEM based lesson plan: enhanced skills and challenges [Programa de preparación para futuros docentes de matemáticas para el diseño de planes de clase basados en STEM: habilidades mejoradas y desafíos]. *Cogent Education*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2320467>
- Berisha, F., & Vula, E. (2021). Developing pre-service teachers conceptualization of STEM and STEM pedagogical practices [Desarrollo de la conceptualización de STEM y prácticas pedagógicas STEM por parte de docentes en formación]. *Frontiers in Education*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.585075>
- Bogdan Toma, R., & Retana-Alvarado, D. (2021). Mejora de las concepciones de maestros en formación de la educación STEM. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(1), 15-33. <https://doi.org/10.35362/rie8714538>
- Botero Espinosa, J. (2018). *Educación STEM. Introducción a una nueva forma de enseñar y aprender*. STEM Educación Colombia.
- Camacho-Tamayo, E., & Bernal-Ballé, A. (2023). Elementos teóricos sobre la formación docente en ciencias naturales con enfoque STEAMH. Revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 1598-1618. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4508

- Cano Vásquez, L. & Ángel Uribe, I. (2020). *Medellín Territorio STEM+H: un diagnóstico de la Secretaría de Educación de Medellín sobre el desarrollo del enfoque en las instituciones educativas de la ciudad*. Universidad Pontificia Bolivariana. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/6205>
- Carmona-Mesa, J., Arias-Suárez, J., & Villa-Ochoa, J. (2019). *Formación inicial de profesores basada en proyectos para el diseño de lecciones STEAM*. En E. Serna (Ed.), *Revolución en la Formación y la Capacitación para el Siglo XXI* (2a ed., pp. 483-492). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8720174>
- Carmona-Mesa, J. A., Cardona-Zapata, M. E., & Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM. *Uni-Pluriversidad*, 20(1), 18-38. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.02>
- Carmona-Mesa, J. A., Acevedo-Zapata, S., & Villa-Ochoa, J. A. (2020). Producción académica iberoamericana en educación STEM/STEAM: el caso de los eventos académicos y la formación de profesores. En A. Paz, V. Figueroa Gutiérrez, J. Rodríguez & A. Montes Miranda (Coords.), *Libro de Actas del 1.er Congreso Caribeño de Investigación Educativa «Repensando la formación de los profesionales de la Educación»* (pp. 337-342). ISFODOSU. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=835291>
- Carrillo Pineda, M., Leyva-Moral, J. M., & Medina Moya, J. L. (2011). El análisis de los datos cualitativos: un proceso complejo. *Index de Enfermería*, 20(1-2), 96-100. <https://dx.doi.org/10.4321/S1132-12962011000100020>
- Castrillón-Yepes, A., & Lebrun-Llano, V. (2023). A Systematic Literature Review on STEM Education for Mathematics and Science Pre-Service Teachers [Una revisión sistemática de la literatura sobre la educación STEM para futuros docentes de matemáticas y ciencias]. *Uni-Pluriversidad*, 23(1-2), 1-20. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/unip/article/view/348447>
- Castro-Rodríguez, E., & Montoro, A. (2021). Educación STEM y formación del profesorado de Primaria en España. *Revista de Educación*, (393), 353-378. <https://recyt.fecyt.es/index.php/Redu/article/view/89857>

- Coffey, A., & Atkinson, P. (2005). *Encontrar el sentido a los datos cualitativos*. Universidad de Antioquia.
- Domènech-Casal, J., Lope, S., & 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), 1-16. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- Dos Santos Dos Santos, J. M., Pires Rocha Silveira, A., Reis d'Azevedo Breda, A. M., & Lavicza, Z. (2025). Challenges in Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics Education in Cape Verde: A Study of a Mathematics Teacher Training Project [Desafíos en la educación en ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas en Cabo Verde: Estudio de un proyecto de formación de profesores de matemáticas]. *Ciencias de la Educación*, 15(1), Artículo 81. <https://doi.org/10.3390/educsci15010081>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration [Educación STEM K-12: perspectivas sobre la Integración]. *International Journal of STEM Education*, 3, Artículo 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- García Cartagena, Y., Reyes González, D., & Burgos Oviedo, F. (2017). Actividades STEM en la formación inicial de profesores: nuevos enfoques didácticos para los desafíos del siglo XXI. *Revista Electrónica Diálogos Educativos. REDE*, 18(33), 35-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6212470>
- Goos, M., Carreira, S., & Kizito Namukasa, I. (2023). Mathematics and interdisciplinary STEM education: recent developments and future directions [Matemáticas y educación STEM interdisciplinaria: avances recientes y direcciones futuras]. *ZDM–Mathematics Education*, 55(7), 1199-1217. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01533-z>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5 Ed.). Editorial McGraw-Hill.
- Herro, D. & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: implications for teacher educators [Explorando las percepciones de los docentes sobre la enseñanza STEAM a través del desarrollo profesional: implicaciones para los formadores de docentes]. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438. <https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>

- Kelley, T. R., Knowles, J. G., Han, J., & Trice, A. N. (2021). Integrated STEM Models of Implementation [Modelos integrados de implementación STEM]. *Journal of STEM Education: Innovations & Research*, 22(1), 34-45. <https://www.jstem.org/jstem/index.php/JSTEM/article/view/2395/2200>
- Margot, K., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: a systematic literature review [Percepción de los docentes sobre la integración y la educación STEM: una revisión sistemática de la literatura]. *International Journal of STEM Education*, 6(1). Artículo 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Marín-Ríos, A., Cano-Villa, J. & Mazo-Castañeda, A. (2023). Apropiación de la educación STEM/STEAM en Colombia: una revisión a la producción de trabajos de grado. *Revista Científica*, 47(2), 55-70. <https://doi.org/10.14483/23448350.20473>
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Ministerio de Educación Nacional & Parque Explora. (2020). *Visión STEM+: Educación expandida para la vida*. MEN. <http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/explora-oei-men-vision-stem>
- Ramos-Lizcano, C., Ángel-Uribe, I. C., López-Molina, G., & Cano-Ruiz, Y. M. (2022, septiembre-diciembre). Elementos centrales de experiencias educativas con enfoque STEM. *Revista Científica*, 45(3), 345-357. <https://doi.org/10.14483/23448350.19298>
- Ryu, M., Mentzer, N., & Knobloch, N. (2019). Preservice teachers' experiences of STEM integration: challenges and implications for integrated STEM teacher preparation [Experiencias de los futuros docentes en la integración de STEM: desafíos e implicaciones para la preparación integrada de docentes STEM]. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(3), 493-512. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9440-9>
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania [STEM, educación STEM, manía STEM]. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26. <http://hdl.handle.net/10919/51616>
- Segarra-Morales, A. K., & Juca-Aulestia, J. M. (2024). Proposal for Teacher Training Model in Steam Education [Propuesta de modelo de formación docente en educación steam]. *Journal of Ecohumanism*, 3(8), 2655-2666. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.4913>
- Toledo Lara, G. (2022, mayo-agosto). El currículum en la formación universitaria docente: aportes para un análisis crítico. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (66), 183-212. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n66a8>

- Tovar Rodríguez, D. L. (2019). Educación STEM en la Sudamérica hispanohablante. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 1-7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7553951>
- Wiegand, S., & Borromeo Ferri, R. (2023). Promoting pre-service teachers' professionalism in steam education and education for sustainable development through mathematical modelling activities [Promoción del profesionalismo de los docentes en formación en educación de vapor y educación para el desarrollo sostenible mediante actividades de modelización matemática]. *ZDM–Mathematics Education*, 55(7), 1269-1282. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01500-8>
- Yang, K. L., & Ball, L. (2024). STEM teacher education programs for preservice and in-service secondary mathematics teachers: a review study [Programas de formación de profesores de STEM para profesores de matemáticas de secundaria en formación y en servicio: un estudio de revisión]. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 27(2), 185-207. <https://doi.org/10.1007/s10857-022-09557-0>
- Zhang, Y., & Zhu, J. (2023). STEM pre-service teacher education: A review of research trends in the past ten years [Formación docente previa al servicio en STEM: una revisión de las tendencias de investigación en los últimos diez años]. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(7). <https://doi.org/10.29333/ejmste/13300>