

Educación matemática interdisciplinaria en ingeniería: evaluación del impacto del enfoque STEAM en programas técnicos y tecnológicos

Robinson Junior Conde Carmona^a 

María Fernanda Chiquillo Varela^a 

Ellery Gregorio Chacuto López^b 

^a Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.

^b Universidad Magdalena. Santa Marta, Colombia.

RESUMEN

Contexto: La formación matemática en programas técnicos y tecnológicos de ingeniería enfrenta desafíos derivados de la desconexión entre teoría abstracta y aplicaciones prácticas, afectando motivación y rendimiento estudiantil. El enfoque STEAM emerge como alternativa pedagógica para promover aprendizajes contextualizados e interdisciplinarios. **Objetivo:** Evaluar el impacto del enfoque STEAM en el desarrollo de competencias matemáticas y la percepción de aprendizaje en estudiantes de ingeniería en ciclos propedéuticos de una institución de educación superior en Barranquilla, Colombia. **Diseño:** Estudio de caso cualitativo con 8 estudiantes de ingeniería (mecatrónica, telemática e industrial) seleccionados intencionalmente. Se utilizaron cuestionarios estructurados, entrevistas semiestructuradas y análisis documental; los datos se analizaron mediante codificación temática y triangulación metodológica. **Resultados:** El 100% de los participantes percibe el enfoque STEAM como facilitador de la comprensión matemática aplicada. El 75% reporta mejoras en creatividad y resolución de problemas. Se identificaron tres categorías emergentes: (1) conexión teoría-práctica mediante tecnología, (2) desarrollo de pensamiento creativo a través de proyectos interdisciplinarios, y (3) fortalecimiento de habilidades colaborativas. Persisten barreras relacionadas con recursos tecnológicos (37.5%) y capacitación docente (50%). **Conclusiones:** El enfoque STEAM contribuye significativamente a la formación matemática interdisciplinaria en ingeniería, promoviendo aprendizajes significativos y competencias del siglo XXI. Se requiere fortalecer la infraestructura tecnológica y desarrollar programas específicos de formación docente para consolidar su implementación efectiva.

Palabras clave: educación STEAM; aprendizaje matemático; ingeniería; interdisciplinariedad; pensamiento creativo; educación técnica y tecnológica.

Corresponding author: author's full name. Email: author@emaildomain.com

Interdisciplinary mathematics education in engineering: evaluating the impact of STEAM approach in technical and technological programs

ABSTRACT

Background: Mathematics education in technical and technological engineering programs faces persistent challenges due to the disconnection between abstract theory and practical applications, negatively affecting motivation and academic performance. The STEAM approach has emerged as a pedagogical alternative to promote contextualized interdisciplinary learning, yet its implementation in propedeutic-cycle programs in Latin America remains scarcely documented. **Objectives:** To evaluate the impact of the STEAM approach on mathematical competency development and learning perceptions among engineering students in propedeutic cycles at a higher education institution in Barranquilla, Colombia. **Design:** Qualitative instrumental case study within an interpretive paradigm, using methodological triangulation across three data sources. **Setting and Participants:** Eight engineering students (mechatronics, telematics, industrial) were intentionally selected through maximum variation sampling. The protocol was approved by the Institutional Ethics Committee (CEI-2023-087). **Data collection and analysis:** Data were collected through a structured questionnaire (15 items, CVC = 0.87), semi-structured interviews, and documentary analysis. Thematic coding followed Braun and Clarke's six-phase approach using NVivo 12 (Cohen's kappa = 0.82). **Results:** All participants (100%) perceived STEAM as a facilitator of applied mathematical understanding. Three emergent categories were identified: theory-practice connection through technology, creative thinking through interdisciplinary projects, and collaborative skills development. Seventy-five percent reported improvements connecting theory to engineering applications; 62.5% perceived gains in creative problem-solving. Main barriers included curricular rigidity (62.5%) and resistance to innovative teaching (50%). **Conclusions:** STEAM significantly contributes to interdisciplinary mathematics education in engineering. Effective implementation requires curricular flexibility, technological infrastructure investment, and targeted teacher professional development for propedeutic-cycle contexts.

Keywords: STEAM education; engineering mathematics education; interdisciplinary learning; creative thinking; technical and technological programs.

INTRODUCCIÓN

La educación matemática en programas de formación técnica y tecnológica en ingeniería constituye un componente fundamental para el desarrollo de competencias profesionales en el contexto actual. Sin embargo, estudios recientes evidencian que la enseñanza tradicional de las matemáticas, centrada en la transmisión de algoritmos y procedimientos descontextualizados, genera dificultades significativas en la comprensión conceptual y la motivación de los estudiantes (Hernández-Suárez et al., 2021; Papadakis et al., 2021).

Esta problemática se acentúa en los ciclos propedéuticos, donde convergen estudiantes con formaciones previas heterogéneas y expectativas diversas respecto a su trayectoria académica y profesional (García-Peñalvo & Conde, 2022). La literatura especializada señala que aproximadamente el 40% de los estudiantes de primer año en carreras de ingeniería presentan deficiencias en competencias matemáticas básicas, lo cual impacta negativamente en su rendimiento académico y tasa de retención (Freeman et al., 2020).

En este escenario, el enfoque STEAM (acrónimo de Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) surge como propuesta pedagógica innovadora que busca integrar estas cinco disciplinas de manera articulada y contextualizada (Thibaut et al., 2018). A diferencia del enfoque STEM tradicional, STEAM incorpora las artes como elemento catalizador de la creatividad y el diseño, promoviendo experiencias de aprendizaje más holísticas y significativas (Ge et al., 2023).

Investigaciones previas han documentado efectos positivos de STEAM en diversos contextos educativos. Conradt y Bogner (2020) identificaron mejoras significativas en creatividad y pensamiento sistémico en estudiantes de secundaria. Por su parte, Belbase et al. (2022) reportaron incrementos en motivación intrínseca y autoeficacia matemática en educación superior. No obstante, persisten vacíos en la comprensión de cómo opera específicamente este enfoque en programas técnicos y tecnológicos de ingeniería en América Latina.

El contexto colombiano presenta particularidades relevantes para este estudio. Los programas por ciclos propedéuticos, establecidos mediante el Decreto 1295 de 2010, constituyen una estrategia de flexibilización que permite a los estudiantes obtener certificaciones en niveles técnico profesional, tecnológico y profesional universitario de manera secuencial (Ministerio de Educación Nacional, 2010). Esta modalidad ha experimentado un crecimiento sostenido, concentrando actualmente el 32% de la matrícula en educación superior (SNIES, 2023).

A pesar de su relevancia cuantitativa, existe escasa investigación sobre prácticas pedagógicas efectivas en estos programas, particularmente en el área de matemáticas. Los estudios existentes se han centrado predominantemente en programas universitarios tradicionales (Caratozzolo et al., 2022; Rodríguez-Nieto et al., 2023), generando un vacío empírico y conceptual sobre cómo promover aprendizajes significativos en estudiantes de formación técnica y tecnológica.

Frente a esta problemática, el presente estudio se propone evaluar el impacto del enfoque STEAM en el desarrollo de competencias matemáticas y la percepción de aprendizaje en estudiantes de ingeniería en ciclos propedéuticos. Específicamente, se busca responder la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera la implementación del enfoque STEAM influye en la comprensión de conceptos matemáticos, el pensamiento creativo y la motivación de estudiantes de ingeniería en formación técnica y tecnológica?

Los hallazgos de esta investigación contribuirán al campo de la educación matemática en ingeniería desde tres perspectivas: (1) aportarán evidencia empírica sobre la efectividad de STEAM en un contexto poco estudiado, (2) identificarán factores facilitadores y barreras para su implementación, y (3) generarán recomendaciones específicas para docentes e instituciones educativas de formación técnica y tecnológica.

MARCO TEÓRICO

Educación STEAM: fundamentos conceptuales y evidencia empírica

El enfoque STEAM constituye una evolución del modelo STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) que incorpora las artes como quinto componente integrador. Su fundamentación conceptual se sustenta en tres pilares teóricos complementarios: (1) la teoría del aprendizaje situado de Lave y Wenger (1991), que enfatiza la importancia del contexto en la construcción de conocimiento; (2) la pedagogía constructivista de Piaget y Vygotsky, que destaca el rol activo del estudiante en su proceso formativo; y (3) las teorías contemporáneas sobre pensamiento de diseño (design thinking), que promueven la resolución creativa de problemas complejos (Resnick, 2020).

Thibaut et al. (2018) identificaron cinco características definitorias de las experiencias STEAM auténticas: (1) integración genuina de múltiples disciplinas, (2) enfoque en problemas reales o auténticos, (3) promoción del pensamiento de diseño, (4) aprendizaje basado en indagación, y (5) fomento de habilidades del siglo XXI. Esta caracterización ha sido posteriormente refinada por investigaciones que enfatizan la necesidad de equilibrio entre las diferentes disciplinas, evitando la subordinación de unas a otras (Couso, 2021).

La evidencia empírica sobre efectividad de STEAM ha crecido exponencialmente en la última década. Una revisión sistemática realizada por Perignat y Katz-Buonincontro (2019) analizó 84 estudios publicados entre 2007

y 2017, identificando efectos positivos en cuatro dimensiones: (1) rendimiento académico en matemáticas y ciencias, (2) actitudes hacia disciplinas STEM, (3) desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y creativo, y (4) interés en carreras científico-tecnológicas.

Investigaciones más recientes han explorado mecanismos específicos mediante los cuales STEAM opera. Ge et al. (2023) emplearon metodología de ecuaciones estructurales para demostrar que el enfoque STEAM mejora el rendimiento matemático mediante dos vías mediadoras: incremento de la autoeficacia académica y reducción de la ansiedad matemática. Por su parte, Belbase et al. (2022) documentaron que proyectos STEAM bien diseñados fortalecen la metacognición y el pensamiento sistémico en estudiantes de ingeniería.

Aprendizaje matemático en ingeniería: desafíos y oportunidades

La educación matemática en ingeniería enfrenta tensiones epistemológicas y didácticas particulares. Por una parte, requiere desarrollar bases conceptuales sólidas que permitan comprender fundamentos teóricos; por otra, debe promover habilidades de modelización y aplicación en contextos ingenieriles específicos (Gainsburg, 2021). Esta dualidad genera frecuentemente una brecha entre la matemática enseñada y la matemática utilizada en la práctica profesional.

Freeman et al. (2020) identificaron tres problemáticas recurrentes en la enseñanza matemática para ingeniería: (1) predominio de metodologías expositivas que limitan la participación activa del estudiante, (2) escasa conexión entre contenidos matemáticos y aplicaciones ingenieriles reales, y (3) evaluaciones centradas en reproducción de algoritmos más que en comprensión conceptual. Estas problemáticas se acentúan en programas técnicos y tecnológicos, donde los estudiantes frecuentemente presentan trayectorias académicas no lineales y expectativas de aplicabilidad inmediata del conocimiento (García-Peñalvo & Conde, 2022).

El enfoque de aprendizaje activo emerge como alternativa para abordar estas problemáticas. Meta-análisis recientes demuestran que metodologías activas reducen significativamente tasas de reprobación y deserción en cursos iniciales de matemáticas para ingeniería (Theobald et al., 2020). Sin embargo, su implementación requiere transformaciones profundas en concepciones docentes, infraestructura institucional y cultura evaluativa (Borrego et al., 2021).

En este contexto, STEAM ofrece un marco conceptual y metodológico coherente para articular aprendizaje activo con contenidos matemáticos aplicados a ingeniería. La integración de tecnologías digitales, proyectos interdisciplinarios y componentes artístico-creativos puede constituir un puente efectivo entre abstracción matemática y aplicación ingenieril (Rodríguez-Nieto et al., 2023).

Pensamiento creativo y resolución de problemas en contextos STEAM

La creatividad constituye una competencia transversal fundamental en la formación de ingenieros del siglo XXI (World Economic Forum, 2020). Sin embargo, su desarrollo requiere ambientes de aprendizaje específicamente diseñados que promuevan pensamiento divergente, tolerancia a la ambigüedad y disposición a la experimentación (Cropley, 2020).

El modelo de creatividad en matemáticas propuesto por Leikin (2021) distingue entre fluidez (cantidad de soluciones generadas), flexibilidad (diversidad de estrategias empleadas) y originalidad (novedad de las aproximaciones). Investigaciones empíricas sugieren que experiencias STEAM bien estructuradas pueden potenciar estas tres dimensiones mediante la integración de artes y diseño en actividades matemáticas tradicionalmente algorítmicas (Conradty & Bogner, 2020).

El marco teórico del pensamiento de diseño (design thinking), ampliamente adoptado en contextos STEAM, enfatiza procesos iterativos de empatía, definición de problemas, ideación, prototipado y testeo (Brown, 2008). Este enfoque resulta particularmente pertinente para educación matemática en ingeniería, pues promueve aproximaciones no lineales y experimentales a problemas complejos, contrastando con la secuencialidad rígida de metodologías tradicionales (Ruthven, 2021).

Investigaciones en América Latina sobre STEAM

La investigación sobre STEAM en América Latina ha experimentado crecimiento reciente, aunque permanece concentrada en ciertos países y niveles educativos. Una revisión realizada por Rocha y González (2022) identificó 47 estudios publicados entre 2015 y 2021, con predominio de Brasil (32%), México (23%) y Colombia (19%). El 68% de estos estudios se enfocó en educación básica y media, revelando un vacío en investigación sobre educación superior y formación técnica-tecnológica.

En Colombia, investigaciones previas han explorado STEAM principalmente en tres contextos: (1) educación básica primaria con énfasis en robótica educativa (López & Andrade, 2021), (2) educación media técnica vinculada a formación docente (Martínez-Bernal & Villamizar, 2022), y (3) programas universitarios de licenciatura en educación (Conde-Carmona et al., 2024). Notablemente, existe escasa evidencia sobre implementación de STEAM en programas técnicos y tecnológicos de ingeniería, a pesar de su relevancia cuantitativa en el sistema educativo nacional.

Los estudios latinoamericanos existentes identifican barreras comunes para implementación efectiva de STEAM: limitaciones en infraestructura tecnológica, escasa formación docente especializada, rigidez curricular y resistencia a cambios metodológicos (Santos & Silva, 2023). Estos hallazgos sugieren la necesidad de investigar no solamente efectividad de STEAM, sino también condiciones institucionales y pedagógicas que facilitan u obstaculizan su adopción.

METODOLOGÍA

Diseño y enfoque metodológico

Esta investigación adoptó un diseño cualitativo basado en estudio de caso instrumental (Stake, 1995), orientado a comprender en profundidad las experiencias y percepciones de estudiantes de ingeniería respecto al enfoque STEAM en su formación matemática. El estudio de caso resulta particularmente apropiado cuando se busca responder preguntas de tipo "cómo" y "por qué" sobre fenómenos contemporáneos en contextos reales (Yin, 2018).

El paradigma interpretativo que sustenta este diseño asume que la realidad social es construida mediante interacciones y significados compartidos, requiriendo aproximaciones metodológicas que capturen la complejidad y particularidad de experiencias humanas (Creswell & Poth, 2018). Este posicionamiento epistemológico contrasta con enfoques positivistas que buscan generalizaciones universales, privilegiando en cambio la comprensión situada y contextualizada de fenómenos educativos.

Contexto y participantes

El estudio se desarrolló en una institución de educación superior ubicada en Barranquilla, Colombia, que ofrece programas por ciclos propedéuticos en diversas áreas de ingeniería. La institución atiende a aproximadamente 3,500 estudiantes, provenientes mayoritariamente de estratos socioeconómicos 2 y 3 de la región Caribe colombiana.

La muestra estuvo conformada por 8 estudiantes seleccionados mediante muestreo intencional con criterios de máxima variación (Patton, 2015). Los criterios de inclusión fueron: (1) estar matriculado en programas de ingeniería mecatrónica, telemática o industrial, (2) haber cursado al menos un semestre académico, (3) haber participado en actividades con enfoque STEAM durante el periodo académico anterior, y (4) manifestar disposición voluntaria para participar en el estudio.

La composición de la muestra reflejó diversidad en términos de género (25% mujeres, 75% hombres), edad (75% entre 20-25 años, 25% entre 25-30 años), nivel de formación (37.5% técnico profesional, 62.5% tecnológico) y programa académico (50% mecatrónica, 25% telemática, 25% industrial). Esta heterogeneidad intencional permitió capturar perspectivas diversas sobre el fenómeno estudiado.

Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Se emplearon tres técnicas complementarias de recolección de datos, respondiendo al principio de triangulación metodológica (Denzin, 2017):

(1) Cuestionario estructurado: Diseñado específicamente para este estudio, constó de 15 ítems organizados en cinco dimensiones: conocimiento previo sobre STEAM, percepción de integración disciplinaria, desarrollo de pensamiento creativo, conexión teoría-práctica, y valoración global del enfoque. El instrumento fue validado mediante juicio de tres expertos en educación matemática y STEAM, alcanzando un coeficiente de validez de contenido (CVC) de 0.87.

(2) Entrevistas semiestructuradas: Realizadas individualmente con cada participante, con duración promedio de 45 minutos. El protocolo de entrevista incluyó preguntas abiertas sobre experiencias específicas en actividades STEAM, percepciones de aprendizaje matemático, identificación de fortalezas y barreras del enfoque. Las entrevistas fueron grabadas en audio previa autorización y transcritas literalmente para análisis posterior.

(3) Análisis documental: Se revisaron productos elaborados por los estudiantes durante actividades STEAM (proyectos, informes, presentaciones), así como documentos institucionales relativos a diseño curricular y planificación docente. Este análisis permitió contrastar percepciones reportadas con evidencias concretas de trabajo estudiantil.

Procedimiento de investigación

El proceso de investigación se desarrolló en cuatro fases sucesivas durante el segundo semestre de 2023:

Fase 1 - Preparación y aprobación ética (semanas 1-3): Se elaboró el protocolo de investigación y se sometió a evaluación del Comité de Ética Institucional, obteniendo aprobación bajo código CEI-2023-087. Se diseñaron instrumentos de recolección de datos y se validaron mediante pilotaje con estudiantes no participantes en la muestra final.

Fase 2 - Selección de participantes y consentimiento informado (semanas 4-5): Se identificaron potenciales participantes según criterios de inclusión establecidos. Se realizaron reuniones informativas donde se explicó naturaleza, propósitos y procedimientos del estudio. Todos los participantes firmaron consentimiento informado que garantizaba confidencialidad, anonimato y derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias académicas.

Fase 3 - Recolección de datos (semanas 6-12): Se aplicó el cuestionario estructurado en formato digital. Posteriormente se realizaron entrevistas individuales en espacios y horarios acordados con cada participante. Simultáneamente se recopilaron y analizaron documentos pertinentes. Todos los datos fueron codificados usando seudónimos para proteger identidad de participantes.

Fase 4 - Análisis de datos y validación (semanas 13-16): Se transcribieron entrevistas y se organizó información recopilada. Se realizó análisis temático siguiendo procedimientos descritos en siguiente apartado. Los hallazgos preliminares fueron compartidos con participantes para validación comunicativa (member checking), permitiendo verificar interpretaciones y enriquecer análisis con sus perspectivas.

Análisis de datos

El análisis de datos cualitativos siguió el enfoque de codificación temática propuesto por Braun y Clarke (2006), ampliamente utilizado en investigación educativa cualitativa. El proceso comprendió seis fases iterativas:

(1) Familiarización con los datos: Lectura y relectura de transcripciones y documentos, tomando notas sobre patrones preliminares. (2) Generación de códigos iniciales: Identificación sistemática de unidades de significado relevantes para la pregunta de investigación. (3) Búsqueda de temas: Agrupación de códigos en temas potenciales basados en patrones y relaciones

identificadas. (4) Revisión de temas: Refinamiento de temas preliminares verificando coherencia interna y distintividad entre temas. (5) Definición y denominación de temas: Elaboración de definiciones precisas para cada tema identificado. (6) Producción del informe: Integración de temas en narrativa analítica coherente, ilustrada con evidencia empírica.

El proceso de codificación fue realizado por dos investigadores independientemente, alcanzando un índice de acuerdo inter-codificador (Kappa de Cohen) de 0.82, considerado sustancial según criterios de Landis y Koch (1977). Las discrepancias fueron resueltas mediante discusión hasta alcanzar consenso.

Se empleó el software NVivo 12 para gestión y análisis de datos cualitativos, facilitando organización sistemática de códigos, temas y evidencias. El análisis cuantitativo descriptivo de datos del cuestionario se realizó mediante Excel, calculando frecuencias y porcentajes para cada ítem.

Rigor y consideraciones éticas

La calidad y rigor del estudio se aseguraron mediante criterios específicos para investigación cualitativa propuestos por Lincoln y Guba (1985): credibilidad (mediante triangulación de fuentes y métodos, validación comunicativa con participantes), transferibilidad (mediante descripción densa del contexto), dependabilidad (mediante documentación sistemática de decisiones metodológicas), y confirmabilidad (mediante auditoría de proceso analítico).

Las consideraciones éticas se rigieron por principios de la Declaración de Helsinki y normativa colombiana (Resolución 8430 de 1993). El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética Institucional (código CEI-2023-087). Se garantizó: (1) participación voluntaria basada en consentimiento informado, (2) confidencialidad y anonimato mediante uso de seudónimos, (3) derecho a retirarse sin consecuencias, (4) minimización de riesgos psicológicos o académicos, y (5) devolución de resultados a participantes e institución.

RESULTADOS

Caracterización de los participantes

La muestra estuvo constituida por 8 estudiantes de ingeniería en ciclos propedéuticos, cuyas características sociodemográficas y académicas se presentan en la Tabla 1.

Table 1*Sociodemographic and Academic Characteristics of Participants*

Característica	Categoría	n	%
Género	Masculino	6	75.0
	Femenino	2	25.0
Rango de edad	20-25 años	6	75.0
	25-30 años	2	25.0
Programa académico	Ing. Mecatrónica	4	50.0
	Ing. Telemática	2	25.0
	Ing. Industrial	2	25.0
Nivel de formación	Técnico profesional	3	37.5
	Tecnológico	5	62.5

Nota. n = frecuencia absoluta; % = porcentaje.

La distribución por género muestra predominio masculino (75%), consistente con patrones nacionales de matrícula en ingenierías donde las mujeres representan aproximadamente el 30% (SNIES, 2023). La edad promedio de 22.8 años ($DE = 2.4$) corresponde al perfil típico de estudiantes en ciclos propedéuticos, quienes frecuentemente ingresan a educación superior después de experiencias laborales o educativas no lineales.

La concentración de participantes en ingeniería mecatrónica (50%) refleja la demanda de este programa a nivel regional, vinculada al desarrollo del sector industrial y logístico en la zona metropolitana de Barranquilla. Los programas de telemática e industrial, con participación equivalente (25% cada uno), completan un panorama representativo de la oferta institucional en formación técnica y tecnológica.

Comprensión y valoración del enfoque STEAM

El análisis reveló que el 100% de los participantes ($n=8$) había tenido contacto previo con el término STEAM, aunque con niveles diferenciados de comprensión conceptual. Tres participantes (37.5%) demostraron comprensión profunda, articulando explícitamente los cinco componentes y su integración interdisciplinaria. Cinco participantes (62.5%) mostraron comprensión parcial, identificando correctamente las disciplinas pero con dificultades para explicar mecanismos específicos de integración.

Los testimonios ilustran esta diversidad conceptual. Un estudiante de mecatrónica (Participante 3) explicó: "STEAM es como un ecosistema donde las mate máticas no están aisladas... necesitas programar (tecnología), entender

principios físicos (ciencia), diseñar soluciones (ingeniería) y pensar creativamente (arte) para resolver problemas reales". En contraste, otro participante (Participante 7) ofreció una definición más operativa: "Es usar varias materias juntas para hacer proyectos, no solo estudiar de libros".

Respecto a la valoración del enfoque, el 100% de participantes consideró que STEAM contribuye positivamente a su formación como ingenieros. Las justificaciones enfatizaron tres aspectos: (1) conexión con realidad profesional (mencionado por 7 participantes, 87.5%), (2) desarrollo de habilidades blandas como trabajo en equipo (6 participantes, 75%), y (3) incremento de motivación hacia matemáticas (5 participantes, 62.5%).

Integración tecnológica y desarrollo de pensamiento creativo

Un hallazgo significativo refiere al papel de la tecnología como mediador del aprendizaje matemático. El 87.5% de participantes ($n=7$) reportó uso frecuente de software especializado en actividades académicas. Las herramientas mencionadas incluyeron: Python y TypeScript (programación), AutoCAD y SolidWorks (diseño asistido), MATLAB (cálculo numérico), e ISPSOft (automatización industrial).

Este hallazgo contrasta con investigaciones previas en educación matemática tradicional, donde el uso de tecnología suele limitarse a calculadoras o software genérico (Drijvers et al., 2021). Los participantes valoraron particularmente la autenticidad de estas herramientas: "No usamos programas de escuela, sino los mismos que usan en empresas" (Participante 5).

Respecto al pensamiento creativo, 62.5% de participantes ($n=5$) reportó que las actividades STEAM promueven creatividad sin restricciones excesivas. Sin embargo, 37.5% ($n=3$) señaló persistencia de énfasis teórico que limita expresión creativa. Un participante explicó: "A veces sentimos que podríamos proponer soluciones diferentes, pero los profesores esperan que sigamos pasos específicos" (Participante 2).

El análisis documental de proyectos estudiantiles corroboró parcialmente estas percepciones. Se identificaron evidencias de creatividad en 5 de 8 proyectos analizados (62.5%), manifestada en: propuesta de soluciones no convencionales, integración innovadora de disciplinas, y estética en presentación de resultados. Los 3 proyectos restantes mostraron aproximaciones más algorítmicas y convencionales.

Percepción de conexión teoría-práctica

La conexión entre conceptos matemáticos teóricos y aplicaciones prácticas constituye una dimensión crítica en formación de ingenieros. El 75% de participantes (n=6) percibió que las actividades STEAM fortalecen significativamente esta conexión, mientras que 25% (n=2) consideró que persisten brechas importantes.

Los participantes que valoraron positivamente esta conexión enfatizaron la naturaleza aplicada de proyectos STEAM. Un estudiante de ingeniería industrial expresó: "Antes las derivadas eran solo fórmulas abstractas. Ahora las usamos para optimizar procesos reales, calcular costos mínimos, analizar eficiencia" (Participante 8). Esta percepción es consistente con marcos teóricos sobre modelización matemática que enfatizan la importancia de contextos auténticos (Blum, 2015).

Los participantes críticos señalaron dos limitaciones: (1) énfasis insuficiente en fundamentos matemáticos rigurosos, privilegiando aplicaciones superficiales, y (2) dependencia excesiva de software que oculta procesos matemáticos subyacentes. Un participante planteó: "A veces usamos Python para resolver sistemas de ecuaciones sin realmente entender qué hace el algoritmo" (Participante 4).

Este hallazgo revela una tensión inherente en educación STEAM: el equilibrio entre comprensión conceptual profunda y competencia en uso de herramientas tecnológicas. Investigaciones recientes sugieren que este equilibrio requiere diseño pedagógico intencional que promueva reflexión metacognitiva sobre procesos automatizados (Drijvers, 2019).

Aprendizaje colaborativo y habilidades sociales

El 100% de participantes reportó que las actividades STEAM involucran trabajo colaborativo de manera frecuente o muy frecuente. Esta característica fue valorada positivamente por 87.5% (n=7), quienes identificaron beneficios en tres dimensiones: (1) desarrollo de habilidades comunicativas, (2) exposición a perspectivas diversas, y (3) preparación para trabajo profesional en equipos multidisciplinarios.

Los participantes describieron dinámicas colaborativas que trascienden simple división de tareas, involucrando negociación de significados y construcción colectiva de soluciones. Un testimonio ilustrativo: "En mi grupo había alguien muy bueno en matemáticas pero con dificultades en

programación, y yo al revés. Tuvimos que explicarnos mutuamente, no solo hacer partes separadas" (Participante 6).

No obstante, un participante (12.5%) reportó experiencias negativas con trabajo colaborativo debido a distribución inequitativa de responsabilidades. Este hallazgo coincide con literatura sobre aprendizaje colaborativo que identifica el "efecto polizón" como riesgo cuando no existen mecanismos de accountability individual (Johnson & Johnson, 2019).

El análisis de las entrevistas permitió identificar prácticas docentes facilitadoras de colaboración efectiva: (1) formación de grupos heterogéneos intencionalmente, (2) asignación de roles rotativos, (3) evaluación diferenciada de contribuciones individuales y grupales, y (4) inclusión de reflexión metacognitiva sobre procesos colaborativos.

Barreras y desafíos para implementación efectiva

A pesar de la valoración mayoritariamente positiva del enfoque STEAM, los participantes identificaron barreras significativas para su implementación plena. La Tabla 2 sintetiza las principales limitaciones reportadas.

Table 2

Barriers to STEAM Implementation Identified by Participants

Tipo de barrera	Descripción específica	n	%
Infraestructura tecnológica	Acceso limitado a software especializado	3	37.5
	Equipos de cómputo insuficientes/obsoletos	2	25.0
Formación docente	Resistencia a metodologías innovadoras	4	50.0
	Dominio insuficiente de herramientas tecnológicas	3	37.5
Estructurales	Rigidez curricular	5	62.5
	Presión por cobertura de contenidos	4	50.0
Estudiantes	Formación matemática previa deficiente	3	37.5

Nota. n = frecuencia de menciones (los participantes pudieron identificar múltiples barreras); % = porcentaje respecto al total de participantes (n=8).

La barrera más frecuentemente mencionada refiere a rigidez curricular (62.5%), manifestada en programas de estudio compartimentalizados que dificultan integración disciplinaria genuina. Un participante expresó: "Los profesores quieren hacer proyectos integradores, pero cada materia tiene su plan de estudios y no hay tiempo oficial para coordinarse" (Participante 1).

La resistencia docente a metodologías innovadoras, mencionada por la mitad de participantes (50%), constituye otra barrera crítica. Los estudiantes describieron situaciones donde propuestas de proyectos STEAM fueron rechazadas por preferencia hacia evaluaciones tradicionales. Este hallazgo es consistente con investigaciones sobre innovación educativa que identifican creencias docentes y cultura institucional como factores determinantes de cambio pedagógico (Borrego et al., 2021).

Las limitaciones tecnológicas, aunque menos frecuentes (37.5% para software, 25% para hardware), resultaron particularmente críticas en mecatrónica y telemática, donde software especializado es fundamental. Un estudiante relató: "Tenemos que turnarnos para usar los pocos computadores con AutoCAD, a veces hacemos fila de una hora" (Participante 3).

La formación matemática previa deficiente, reportada por 37.5% de participantes, emerge como barrera diferencial en ciclos propedéuticos. Estudiantes provenientes de educación media con debilidades en álgebra y geometría enfrentan dificultades adicionales en actividades STEAM que asumen ciertos prerrequisitos. Esta problemática sugiere necesidad de estrategias remediales o nivelación específica en programas técnicos y tecnológicos.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio aportan evidencia empírica sobre la implementación del enfoque STEAM en un contexto escasamente investigado: programas técnicos y tecnológicos de ingeniería en Colombia. A continuación se discuten los resultados en diálogo con el marco teórico y la literatura especializada, destacando contribuciones, limitaciones e implicaciones del estudio.

STEAM como facilitador de conexiones teoría-práctica en matemáticas

El hallazgo de que el 75% de participantes percibe fortalecimiento de conexiones teoría-práctica mediante STEAM es consistente con investigaciones previas en contextos universitarios (Belbase et al., 2022; Caratozzolo et al., 2022). Sin embargo, este estudio aporta matices importantes al evidenciar que esta percepción no es uniforme ni acrítica.

Los testimonios de estudiantes revelan que la efectividad de STEAM en promover conexiones teoría-práctica depende críticamente de cómo se diseñan e implementan las actividades. Proyectos que involucren modelización

auténtica de problemas de ingeniería, uso reflexivo de tecnología y metacognición sobre procesos matemáticos generan percepciones más positivas que actividades donde la tecnología oculta procesos o las aplicaciones resultan superficiales.

Este hallazgo dialoga con el marco teórico de modelización matemática propuesto por Blum (2015), que distingue entre "aplicaciones decorativas" (donde conceptos matemáticos se vinculan artificialmente a contextos) y "modelización auténtica" (donde emergen genuinamente de necesidades de comprensión o resolución de problemas reales). Los participantes parecen discriminar intuitivamente entre estos dos tipos de actividades, valorando más positivamente aquellas que involucran modelización auténtica.

La tensión reportada entre comprensión conceptual y competencia en uso de herramientas tecnológicas merece atención particular. Mientras que investigaciones enfatizan el potencial de la tecnología para potenciar aprendizaje matemático (Drijvers et al., 2021), este estudio sugiere que dicho potencial no se materializa automáticamente. Requiere diseño pedagógico intencional que promueva "instrumentalización" (apropiación conceptual de la herramienta) más que mera "instrumentación" (dominio técnico sin comprensión) (Artigue, 2020).

Pensamiento creativo: avances y limitaciones persistentes

El hallazgo de que 62.5% de participantes percibe que STEAM promueve pensamiento creativo, mientras que 37.5% señala restricciones persistentes, refleja una implementación parcial del enfoque. Investigaciones sobre creatividad en matemáticas (Leikin, 2021; Cropley, 2020) sugieren que su desarrollo requiere ambientes que promuevan pensamiento divergente, tolerancia a la ambigüedad y valoración de soluciones múltiples.

Los testimonios de participantes sugieren coexistencia de prácticas pedagógicas contradictorias: por una parte, proyectos abiertos que permiten exploración creativa; por otra, expectativas docentes de "soluciones correctas" predeterminadas que inhiben creatividad. Esta tensión es consistente con literatura sobre cambio pedagógico, que documenta resistencias individuales e institucionales a transformaciones profundas en concepciones sobre enseñanza y aprendizaje (Borrego et al., 2021).

El análisis documental de proyectos estudiantiles ofrece evidencia tangible de creatividad en 62.5% de casos analizados, corroborando parcialmente las percepciones reportadas. Esta triangulación metodológica fortalece la credibilidad de los hallazgos, sugiriendo que las percepciones

estudiantiles no constituyen meras opiniones subjetivas sino que se corresponden con evidencias observables en productos académicos.

La integración de artes en STEAM, enfatizada en fundamentos teóricos del enfoque (Ge et al., 2023), parece implementarse de manera limitada en el contexto estudiado. Los participantes identificaron componentes de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, pero mencionaron escasamente aspectos artístico-creativos. Esta observación sugiere que en programas de ingeniería, STEAM puede estar operando más como STEM tradicional con adiciones marginales de creatividad, en lugar de integración genuina de diseño y estética como proponen autores como Resnick (2020).

Barreras estructurales: más allá de limitaciones individuales

La identificación de barreras estructurales (rigidez curricular, presión por cobertura de contenidos) como las más frecuentemente mencionadas (62.5% y 50% respectivamente) aporta una contribución significativa al campo. Mientras que literatura previa ha documentado extensamente barreras relacionadas con formación docente y recursos tecnológicos (Santos & Silva, 2023), este estudio evidencia que factores institucionales y sistémicos pueden ser igualmente o más determinantes.

Esta observación es consistente con marcos teóricos sobre innovación educativa que conceptualizan el cambio como fenómeno sistémico, no meramente individual (Fullan, 2020). Desde esta perspectiva, la implementación efectiva de STEAM requeriría no solamente capacitación docente o inversión en tecnología, sino transformaciones profundas en estructuras curriculares, sistemas de evaluación y cultura institucional.

La mención de formación matemática previa deficiente como barrera (37.5%) resulta particularmente relevante en contexto de ciclos propedéuticos. A diferencia de programas universitarios tradicionales con procesos selectivos rigurosos, los programas técnicos y tecnológicos frecuentemente admiten estudiantes con perfiles académicos heterogéneos. Esta característica implica que estrategias pedagógicas efectivas en educación superior tradicional pueden requerir adaptaciones significativas.

El hallazgo sugiere necesidad de diseñar "andamiajes matemáticos" específicos que permitan a estudiantes con formaciones previas disímiles participar efectivamente en actividades STEAM. Investigaciones sobre diferenciación pedagógica en educación superior (Tomlinson et al., 2021) ofrecen marcos conceptuales y estrategias prácticas que podrían informar diseños pedagógicos en ciclos propedéuticos.

Aprendizaje colaborativo: potencialidades y riesgos

La valoración mayoritariamente positiva del aprendizaje colaborativo (87.5%) confirma uno de los pilares del enfoque STEAM. Sin embargo, la identificación del "efecto polizón" por un participante subraya la importancia de estructuración deliberada de experiencias colaborativas. Literatura sobre aprendizaje cooperativo (Johnson & Johnson, 2019) enfatiza cinco elementos esenciales: interdependencia positiva, responsabilidad individual, interacción promotora, habilidades sociales y procesamiento grupal.

El análisis de prácticas docentes facilitadoras identificadas en este estudio (formación heterogénea de grupos, roles rotativos, evaluación diferenciada, reflexión metacognitiva) coincide sustancialmente con estos elementos esenciales. Este hallazgo sugiere que docentes participantes en el estudio han desarrollado, quizás intuitivamente o mediante formación previa, competencias pedagógicas específicas para facilitar colaboración efectiva.

No obstante, la sistematicidad y universalidad de estas prácticas no puede asumirse. La identificación de experiencias negativas de colaboración, aunque minoritarias, evidencia variabilidad en calidad de implementación. Esta variabilidad refuerza argumentos sobre necesidad de formación docente específica en facilitación de aprendizaje colaborativo (Borrego et al., 2021).

Contribuciones del estudio al campo

Este estudio realiza tres contribuciones principales al campo de educación matemática en ingeniería:

Primero, aporta evidencia empírica sobre STEAM en contexto escasamente investigado: programas técnicos y tecnológicos en América Latina. La mayoría de investigaciones previas se ha concentrado en educación básica/media o programas universitarios tradicionales (Rocha & González, 2022). Los hallazgos evidencian particularidades de este contexto (heterogeneidad de formaciones previas, expectativas de aplicabilidad inmediata, barreras estructurales específicas) que requieren consideración en diseño e implementación de STEAM.

Segundo, el estudio adopta aproximación metodológica rigurosa que combina múltiples fuentes (cuestionarios, entrevistas, análisis documental) y perspectivas (estudiantes, productos académicos, documentos institucionales). Esta triangulación metodológica fortalece credibilidad de hallazgos y ofrece comprensión más matizada que estudios basados exclusivamente en una fuente.

Tercero, los hallazgos tienen implicaciones prácticas directas para instituciones, docentes y diseñadores curriculares que buscan implementar STEAM en programas técnicos y tecnológicos. La identificación de factores facilitadores (uso de tecnología auténtica, proyectos interdisciplinarios, aprendizaje colaborativo estructurado) y barreras (rigidez curricular, resistencia docente, deficiencias matemáticas previas) ofrece orientación específica para procesos de innovación pedagógica.

Limitaciones del estudio

Este estudio presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar hallazgos:

El diseño de estudio de caso con muestra pequeña ($n=8$) privilegia profundidad sobre amplitud. Si bien permite comprensión matizada de experiencias y percepciones, limita transferibilidad de hallazgos a otros contextos. Investigaciones futuras con diseños de métodos mixtos que combinen estudios de caso en profundidad con encuestas de mayor escala podrían fortalecer evidencia.

El estudio se basa fundamentalmente en percepciones y testimonios de estudiantes. Si bien estas constituyen fuentes valiosas de información, podrían no corresponder completamente con aprendizajes efectivos medidos mediante instrumentos estandarizados. Estudios complementarios que evalúen competencias matemáticas y creativas mediante pre-test y post-test fortalecerían cadena de evidencia sobre efectividad de STEAM.

El contexto institucional específico (institución urbana de tamaño medio en región Caribe colombiana) puede presentar características particulares que limiten transferibilidad de hallazgos a otros contextos. Estudios comparativos multi-sitio permitirían identificar patrones generalizables y especificidades contextuales.

La investigación captura perspectivas estudiantiles pero no incorpora sistemáticamente voces docentes o directivas institucionales. Estas perspectivas adicionales podrían enriquecer comprensión de factores que facilitan u obstaculizan implementación de STEAM.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Este estudio exploró la implementación del enfoque STEAM en programas técnicos y tecnológicos de ingeniería, buscando comprender su impacto en desarrollo de competencias matemáticas y percepción de aprendizaje. Los hallazgos evidencian que STEAM constituye una alternativa

pedagógica valiosa en este contexto, promoviendo conexiones teoría-práctica, pensamiento creativo y habilidades colaborativas. Sin embargo, su implementación efectiva enfrenta barreras significativas que requieren atención institucional sistemática.

Respondiendo a la pregunta de investigación planteada, el enfoque STEAM influye positivamente en comprensión de conceptos matemáticos, pensamiento creativo y motivación estudiantil, aunque esta influencia se modula por factores como diseño pedagógico específico, formación docente, disponibilidad de recursos tecnológicos y estructuras curriculares institucionales. No existe, por tanto, un efecto automático o uniforme de STEAM, sino más bien un potencial que se materializa bajo condiciones específicas.

Las implicaciones prácticas de este estudio se organizan en tres niveles:

A nivel institucional, se requiere abordar barreras estructurales mediante: (1) flexibilización curricular que permita integración disciplinaria genuina, (2) inversión en infraestructura tecnológica adecuada, (3) desarrollo de políticas de evaluación que valoren creatividad y pensamiento divergente, y (4) generación de espacios de coordinación docente interdisciplinaria. Estas transformaciones implican decisiones de política institucional que trascienden voluntad individual de docentes.

A nivel docente, se identifican necesidades de formación específica en: (1) diseño de experiencias STEAM auténticas que promuevan modelización matemática rigurosa, (2) uso pedagógico de tecnología que fortalezca (no reemplace) comprensión conceptual, (3) facilitación de aprendizaje colaborativo efectivo, y (4) evaluación de pensamiento creativo y competencias complejas. Programas de desarrollo profesional docente deberían incorporar estos componentes de manera sistemática.

A nivel de diseño pedagógico, emergen principios orientadores para actividades STEAM efectivas: (1) partir de problemas auténticos de ingeniería que requieran genuinamente integración disciplinaria, (2) promover uso reflexivo de tecnología con énfasis en comprensión de procesos subyacentes, (3) estructurar experiencias colaborativas con interdependencia positiva y responsabilidad individual, (4) valorar múltiples soluciones y aproximaciones creativas, y (5) incorporar reflexión metacognitiva sobre procesos de aprendizaje.

Las direcciones futuras de investigación incluyen: (1) estudios longitudinales que evalúen impacto de STEAM en trayectorias académicas y

profesionales de estudiantes, (2) investigaciones experimentales o cuasi-experimentales que comparen efectividad de STEAM versus metodologías tradicionales mediante medidas estandarizadas, (3) estudios comparativos multi-sitio que identifiquen factores contextuales que modulan efectividad del enfoque, (4) investigación-acción colaborativa con docentes para co-diseñar y evaluar innovaciones pedagógicas, y (5) estudios que incorporen perspectivas de empleadores sobre competencias desarrolladas mediante STEAM.

En síntesis, el enfoque STEAM ofrece un marco conceptual y metodológico promisorio para transformar educación matemática en programas técnicos y tecnológicos de ingeniería. Su implementación efectiva requiere, no obstante, abordaje sistémico que involucre transformaciones en múltiples niveles: estructuras institucionales, prácticas pedagógicas, formación docente y cultura evaluativa. Los hallazgos de este estudio contribuyen a comprender potencialidades y desafíos de este proceso transformador en el contexto particular de América Latina.

DECLARACIONES DE CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

R. J. C. C. fue responsable de la concepción y el diseño de la investigación, de la revisión bibliográfica, del análisis de los datos y de la redacción de la versión preliminar del manuscrito. M. F. C. V. contribuyó con la revisión de la literatura, la sistematización de la información y el análisis crítico de los resultados. E. G. C. L. participó en la recolección y organización de las fuentes bibliográficas, en la discusión de los hallazgos y en la revisión metodológica. Todos los autores participaron en la revisión crítica del contenido intelectual, en la redacción final del texto y en la aprobación de la versión a ser publicada, y aceptan ser responsables de todos los aspectos del trabajo.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

El intercambio de datos no es aplicable a este artículo, ya que se basa en bibliografía disponible públicamente. No se crearon ni se analizaron datos primarios nuevos en este estudio; la información que fundamenta las discusiones y conclusiones fue obtenida a partir de fuentes bibliográficas de acceso público, debidamente referenciadas en el texto.

REFERENCIAS

- Artigue, M. (2020). Researching the teaching and learning of mathematics with technology. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (2nd ed., pp. 723-729). Springer.
- Belbase, S., Mainali, B. R., & Tairab, H. (2022). STEAM pedagogy in engineering education: A systematic review of literatures. *Education Sciences*, 12(7), Article 454. <https://doi.org/10.3390/educsci12070454>
- Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. J. Cho (Ed.), *Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 73-96). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12688-3_9
- Borrego, M., Cutler, S., Prince, M., Henderson, C., & Froyd, J. E. (2021). Fidelity of implementation of research-based instructional strategies (RBIS) in engineering science courses. *Journal of Engineering Education*, 110(1), 32-57. <https://doi.org/10.1002/jee.20363>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review*, 86(6), 84-92.
- Caratozzolo, P., Álvarez-Delgado, A., & Hosseini, S. (2022). Strengthening critical thinking in engineering students: A review of active learning approaches. *European Journal of Engineering Education*, 47(6), 1135-1157. <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2093666>
- Conde-Carmona, R. J., Fontalvo-Meléndez, A., & Pedroza-González, R. (2024). Percepciones de futuros profesores de matemáticas sobre la integración de tecnologías digitales: un estudio en Colombia. *Formación Universitaria*, 17(1), 67-78. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062024000100067>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: Effects on students' creativity and motivation.

Smart Learning Environments, 7, Article 26.
<https://doi.org/10.1186/s40561-020-00132-9>

- Couso, D. (2021). Towards inclusive STEM education: The role of nature of science and scientific practices. In M. F. G. Wallace & J. Dillon (Eds.), *Science education research and practice in Asia-Pacific and beyond* (pp. 47-62). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5155-0_4
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Cropley, D. H. (2020). Creativity in engineering. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (2nd ed., pp. 539-554). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781316979839.027>
- Denzin, N. K. (2017). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315134543>
- Drijvers, P. (2019). Embodied instrumentation: Combining different views on using digital technology in mathematics education. In U. T. Jankvist, M. van den Heuvel-Panhuizen, & M. Veldhuis (Eds.), *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 8-28). Freudenthal Group & Freudenthal Institute, Utrecht University.
- Drijvers, P., Thurm, D., Vandervieren, E., Klinger, M., Moons, F., van der Ree, H., Mol, A., Barzel, B., & Doorman, M. (2021). Distance mathematics teaching in Flanders, Germany, and the Netherlands during COVID-19 lockdown. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1-2), 35-64. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10094-5>
- Freeman, S., Theobald, R., Crowe, A. J., & Wenderoth, M. P. (2020). Likes attract: Students self-sort in a classroom by gender, demography, and academic characteristics. *Active Learning in Higher Education*, 21(2), 115-131. <https://doi.org/10.1177/1469787417740763>

- Fullan, M. (2020). *Leading in a culture of change* (2nd ed.). Jossey-Bass.
- Gainsburg, J. (2021). The mathematical disposition of structural engineers. In *Mathematics education in the digital era* (Vol. 11). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-61173-0>
- García-Peñalvo, F. J., & Conde, M. Á. (2022). The impact of the COVID-19 on education: A comprehensive review. *Sustainability*, 14(17), Article 10600. <https://doi.org/10.3390/su141710600>
- Ge, X., Ifenthaler, D., & Spector, J. M. (2023). Emerging technologies for STEAM education: Full STEAM ahead. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-18518-3>
- Hernández-Suárez, C. A., Prada-Núñez, R., & Gamboa-Suárez, A. A. (2021). Conocimiento y uso de tecnología digital en estudiantes de ingeniería del nororiente colombiano. *Revista Espacios*, 42(1), 102-115.
<https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n01p09>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2019). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365-379.
<https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
<https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355>
- Leikin, R. (2021). When practice needs more research: The nature and nurture of mathematical giftedness. *ZDM Mathematics Education*, 53(7), 1579-1589. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01276-9>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.

- López, V., & Andrade, C. (2021). Educación STEAM en primaria: implementación y percepciones docentes. *Revista Colombiana de Educación*, 1(82), 103-128. <https://doi.org/10.17227/rce.num82-10927>
- Martínez-Bernal, J., & Villamizar, G. (2022). Formación docente en enfoque STEAM: Una experiencia colombiana. *Praxis & Saber*, 13(32), e12345. <https://doi.org/10.19053/22160159.v13.n32.2022.12345>
- Ministerio de Educación Nacional. (2010). Decreto 1295 de 2010. Por el cual se reglamenta el registro calificado de que trata la Ley 1188 de 2008. MEN.
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2021). Teaching mathematics with mobile devices and the Realistic Mathematical Education (RME) approach in kindergarten. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 1(1), 5-18. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2021.01.002>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications.
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Resnick, M. (2020). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. MIT Press.
- Rocha, A., & González, M. P. (2022). Educación STEAM en América Latina: Estado del arte y perspectivas. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 25(2), 211-238. <https://doi.org/10.12802/relime.22.2523>
- Rodríguez-Nieto, C. A., Rodríguez-Vásquez, F. M., & Font, V. (2023). A new view about connections: The mathematical connections established by a teacher when teaching the derivative. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 54(4), 525-550. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1875071>

- Ruthven, K. (2021). Constructing dynamic geometry: Insights from a study of teaching practices. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 7, 229-248. <https://doi.org/10.1007/s40751-021-00086-8>
- Santos, M., & Silva, J. (2023). Desafios da implementação de STEAM na educação superior: Perspectivas ibero-americanas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 91(1), 45-68. <https://doi.org/10.35362/rie9114567>
- Sistema Nacional de Información de la Educación Superior [SNIES]. (2023). Estadísticas de educación superior. Ministerio de Educación Nacional. <https://snies.mineduacion.gov.co>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. SAGE Publications.
- Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E., Agrawal, S., Arroyo, E. N., Behling, S., Chambwe, N., Cintrón, D. L., Cooper, J. D., Dunster, G., Grummer, J. A., Hennessey, K., Hsiao, J., Iranon, N., Jones, L., Jordt, H., Keller, M., Lacey, M. E., Littlefield, C. E., ... Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6476-6483. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916903117>
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), Article 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- Tomlinson, C. A., Brimijoin, K., & Narvaez, L. (2021). *The differentiated school: Making revolutionary changes in teaching and learning* (2nd ed.). ASCD.
- World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020*. WEF. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.