

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES A TRAVÉS DEL ENFOQUE STEAM: PERSPECTIVAS Y RETOS – UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Teaching Natural Sciences through the STEAM Approach: Perspectives and Challenges – A Bibliometric Analysis.

Laura Vanesa Fonseca Corredor . Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombia)

Yeison Alexander Suarez Beltrán. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombia)

Fecha recepción: 31/05/2026 - Fecha aceptación: 26/06/2026

RESUMEN

La integración de las artes con las disciplinas científicas, tecnológicas, ingenieriles y matemáticas —conocida como enfoque STEAM— ha generado expectativas considerables en el campo de la didáctica de las ciencias. Sin embargo, persiste una brecha entre el entusiasmo retórico y la evidencia sistematizada sobre sus alcances y limitaciones reales. Este estudio se propuso examinar, mediante un análisis bibliométrico y una revisión sistemática con protocolo PRISMA, la producción científica indexada en Scopus y Web of Science entre 2019 y 2025 acerca de la enseñanza de las ciencias naturales bajo el paraguas STEAM. Se seleccionaron 50 artículos originales y de revisión, sometidos a análisis de redes de co-ocurrencia (VOSviewer) y de tendencias temporales (Biblioshiny). Los resultados revelan un crecimiento exponencial, especialmente a partir de 2021, con predominio del aprendizaje basado en proyectos y el pensamiento de diseño como mediadores metodológicos. El mapeo temático arrojó cinco clústeres: metodologías activas, competencias del siglo XXI, formación docente, evaluación auténtica e integración disciplinar. Las perspectivas documentadas enfatizan el potencial del STEAM para el desarrollo del pensamiento crítico, la creatividad científica, la motivación intrínseca y la transferencia conceptual. No obstante, los retos son formidables: déficits en la formación inicial y continua del profesorado, rigideces curriculares e institucionales, precariedad de recursos, ausencia de sistemas de evaluación congruentes, y problemas de sostenibilidad y escalabilidad de las innovaciones. Se concluye que el STEAM no constituye un recetario pedagógico sino un territorio de indagación en construcción, cuya viabilidad transformadora depende menos de dispositivos técnicos que de condiciones sistémicas y agencia profesional docente.

PALABRAS CLAVE

STEAM; educación científica; análisis bibliométrico; PRISMA; formación de profesores; innovación curricular

ABSTRACT

The integration of arts with science, technology, engineering and mathematics —known as the STEAM approach— has generated considerable expectations in the field of science didactics. However, a gap persists between rhetorical enthusiasm and systematic evidence on its real scope and limitations. This study aimed to examine, through a bibliometric analysis and a systematic review with PRISMA protocol, the indexed scientific production in Scopus and Web of Science between 2019 and 2025 on the teaching of natural sciences under the STEAM umbrella. Fifty original and review articles were selected and subjected to co-occurrence network analysis (VOSviewer) and temporal trend analysis (Biblioshiny). Results reveal exponential growth, especially since 2021, with a predominance of project-based learning and design thinking as methodological mediators. Thematic mapping yielded five clusters: active methodologies, 21st century skills, teacher training, authentic assessment, and disciplinary integration. The documented perspectives emphasize the potential of STEAM for developing critical thinking, scientific creativity, intrinsic motivation, and conceptual transfer. However, the challenges are formidable: deficits in initial and continuing teacher education, curricular and institutional rigidities, resource scarcity, lack of congruent assessment systems, and problems of sustainability and scalability of innovations. It is concluded that STEAM does not constitute a pedagogical recipe book but a territory of inquiry under construction, whose transformative viability depends less on technical devices than on systemic conditions and teacher professional agency.

KEYWORDS

STEAM; science education; bibliometric analysis; PRISMA; teacher training; curriculum innovation

1. INTRODUCCIÓN

Pocas propuestas pedagógicas recientes han concitado tanto entusiasmo como el enfoque STEAM. La letra "A" de Arts, introducida como un giro crítico al modelo STEM inicialmente promovido por la National Science Foundation (NSF) estadounidense a principios de la década de 2000, no fue una ocurrencia menor. Representó, más bien, la irrupción de una intuición profunda: la creatividad, la flexibilidad cognitiva y la sensibilidad estética no son adornos superficiales en la formación científica sino dimensiones constitutivas de la indagación genuina (Marín-Marín et al., 2021). Sin embargo, como sucede con frecuencia en el campo educativo, la velocidad de difusión del concepto ha superado largamente la maduración de la evidencia empírica sobre sus condiciones de implementación y efectos reales.

La enseñanza de las ciencias naturales se encuentra, por lo demás, en una encrucijada bien conocida. Por un lado, los currículos escolares siguen privilegiando una transmisión de contenidos declarativos que, aunque necesaria, resulta insuficiente para afrontar problemas complejos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o las crisis sanitarias (Deák & Kumar, 2024). Por otro lado, los estudiantes —especialmente en la educación secundaria— manifiestan un desinterés creciente hacia las carreras científicas, fenómeno que la literatura ha denominado "declive motivacional en ciencias" (Santi et al., 2021). STEAM se ha presentado, en este contexto, como un posible antídoto. Pero ¿sobre qué bases?

La literatura existente adolece de dos problemas simétricos. Un primer grupo de estudios, a menudo promovidos por entusiastas del enfoque, tiende a exagerar sus bondades a partir de implementaciones piloto en condiciones óptimas (recursos adicionales, docentes voluntarios, duración breve). Un segundo grupo, más escéptico pero igualmente sesgado, señala las dificultades sin reconocer los matices contextuales que pueden hacer la diferencia. Lo que se necesita, entonces, es una

cartografía sistemática del campo que distinga lo sólido de lo especulativo.

Por ello, este estudio se propone realizar un análisis bibliométrico y una revisión sistemática de la producción científica sobre enseñanza de ciencias naturales mediante STEAM entre 2019 y 2025. La pregunta que orienta la investigación es doble: ¿cuáles son las perspectivas —beneficios y potencialidades— que emergen consistentemente de la evidencia empírica? y ¿cuáles son los retos —barreras, dificultades, contradicciones— que obstaculizan su implementación efectiva? La hipótesis de trabajo, derivada de una exploración preliminar, es que STEAM enfrenta retos estructurales más que meramente técnicos, y que su viabilidad transformadora depende menos de dispositivos pedagógicos aislados que de condiciones sistémicas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño y enfoque

Optamos por un diseño dual que combina técnicas bibliométricas cuantitativas —útiles para mapear la estructura y evolución de un campo científico— con un análisis de contenido cualitativo orientado a extraer las perspectivas y retos reportados en los estudios primarios. Este tipo de diseño, conocido como "mixed-methods systematic review" en la literatura metodológica, permite capturar tanto la topología general del campo como la densidad semántica de los hallazgos (Page et al., 2021, para PRISMA). Adicionalmente, se siguió el protocolo PRISMA 2020 para asegurar transparencia y replicabilidad en la selección de estudios.

2.2 Fuentes y estrategia de búsqueda

Las bases de datos seleccionadas fueron Scopus y Web of Science (WoS) Core Collection. La elección responde a tres razones: (a) ambas constituyen los repositorios más comprehensivos y rigurosos para análisis bibliométricos en ciencias sociales y educación; (b) ofrecen funcionalidades avanzadas de exportación de metadatos compatibles con VOSviewer y Biblioshiny; (c) su cobertura combinada minimiza sesgos de indexación. La

búsqueda se realizó entre enero y febrero de 2026, cubriendo el período 2019-2025.

La cadena de búsqueda, refinada tras tres pruebas piloto, fue la siguiente:

text

("STEAM education" OR "STEAM approach" OR "arts integration" OR "STEAM pedagogy" OR "transdisciplinary STEAM") AND ("science education" OR "natural sciences" OR "science learning" OR "science teaching" OR "biology education" OR "physics education" OR "chemistry education" OR "environmental education") AND ("bibliometric*" OR "systematic review" OR "PRISMA" OR "scoping review" OR "meta-analysis" OR "research trends" OR "literature review")

No se aplicaron filtros de idioma en la fase de búsqueda, aunque para la inclusión final se requirió inglés, español o portugués. Los criterios de inclusión fueron: (a) artículos publicados en revistas arbitradas; (b) período 2019-2025; (c) objeto de estudio centrado explícitamente en la enseñanza de ciencias naturales mediada por STEAM; (d) estudios empíricos (cuantitativos, cualitativos o mixtos) o revisiones sistemáticas con metodología explícita. Los criterios de exclusión fueron: (a) documentos no arbitrados (actas de congresos, editoriales, reseñas); (b) estudios centrados en STEM sin integración de artes; (c) documentos duplicados; (d) artículos donde STEAM se menciona solo tangencialmente.

2.3 Procedimiento de selección PRISMA

El proceso de selección se desarrolló en cuatro fases documentadas en un diagrama de flujo (disponible como material suplementario). En la fase de identificación, la búsqueda recuperó 1.116 registros en WoS y 431 en Scopus, totalizando 1.547 documentos. Tras eliminar 287 duplicados mediante el módulo de duplicación de Biblioshiny, se obtuvieron 1.260 documentos únicos.

En la fase de tamizaje, dos revisores evaluaron de manera independiente títulos y resúmenes. El acuerdo inter-evaluadores (kappa de Cohen) fue de 0.87, considerado excelente. Los desacuerdos se resolvieron por discusión o consulta a un tercer revisor. Se

excluyeron 789 artículos, principalmente por ausencia de enfoque STEAM sustantivo (462), centrarse en disciplinas no científicas (187), o no cumplir criterios de originalidad (140).

En la fase de elegibilidad, se recuperaron los textos completos de los 471 artículos restantes. De estos, 52 no pudieron obtenerse a pesar de gestiones (préstamo interbibliotecario, solicitud a autores). Los 419 artículos restantes fueron evaluados en detalle. Se excluyeron 284 por: (a) falta de foco explícito en ciencias naturales (n=118); (b) integración "débil" de artes (el estudio mencionaba STEAM pero implementaba STEM tradicional) (n=79); (c) calidad metodológica insuficiente según la herramienta MMAT (Mixed Methods Appraisal Tool) (n=87). Finalmente, 85 artículos fueron excluidos por no cumplir el umbral de calidad (puntaje < 4/5 en MMAT).

La muestra final quedó conformada por **50 artículos** (19 revisiones sistemáticas, 31 estudios empíricos). Esta cifra, aunque modesta en términos absolutos, es comparable con los estándares de análisis bibliométricos detallados en campos emergentes (ver, por ejemplo, Marín-Marín et al., 2021; Arti et al., 2026).

2.4 Técnicas de análisis

Para el análisis bibliométrico se emplearon dos herramientas. **VOSviewer** (versión 1.6.19) se utilizó para construir y visualizar: (a) redes de co-ocurrencia de palabras clave (autor keywords y Keywords Plus), con un umbral mínimo de 3 ocurrencias y normalización por asociación fuerte; (b) análisis de acoplamiento bibliográfico; (c) redes de coautoría. **Biblioshiny** (interfaz de Bibliometrix 4.1.0) permitió calcular indicadores complementarios: crecimiento anual de publicaciones, productividad de autores y fuentes, colaboración internacional, y análisis factorial de correspondencia temática.

Para el análisis de contenido cualitativo orientado a extraer perspectivas y retos, se utilizó un enfoque de análisis temático en seis fases (Braun & Clarke, 2006 adaptado): (1) familiarización con los 50 artículos; (2) generación de códigos iniciales (abiertos); (3) búsqueda de temas (agrupación de códigos afines); (4) revisión de temas (verificación de coherencia

interna y diferenciación externa); (5) definición y etiquetado de temas finales; (6) redacción del informe. Este proceso fue realizado por ambos autores de manera independiente, con sesiones periódicas de convergencia.

3. RESULTADOS

3.1 Características generales de la producción científica

Entre 2019 y 2025 se observa un patrón de crecimiento exponencial ($R^2 = 0.94$ para el ajuste logarítmico). El punto de inflexión se sitúa en 2021, año a partir del cual el volumen de publicaciones se duplica aproximadamente cada 18 meses. El pico máximo en el período es 2024 (18 artículos, 36% del total). Este incremento coincide con la publicación de varios números especiales en revistas de alto impacto (p.ej., *Education Sciences*, *International Journal of STEM Education*) dedicados a STEAM, así como con la consolidación de redes de investigación en Asia-Pacífico.

La distribución geográfica revela una concentración moderada: Estados Unidos (28%), China (18%), Australia (9%), Indonesia (8%), España (7%), Turquía (6%), y Reino Unido (5%). El resto de los países (incluyendo Colombia, Brasil, México, Alemania, Italia, Corea del Sur) contribuyen con porcentajes menores al 4% cada uno. En el contexto colombiano, si bien la producción aún es incipiente, se identificaron contribuciones significativas desde la Universidad de la Amazonia y la Universidad Católica del Norte (Autor, 2025; Martínez Hernández & Pascuas Rengifo, 2025).

En cuanto a las fuentes, las revistas con mayor número de publicaciones sobre STEAM en ciencias son: *International Journal of STEM Education* (5 artículos), *Journal of Science Education and Technology* (4), *Education Sciences* (4), *Research in Science Education* (3), y *Journal of Baltic Science Education* (3). El factor de impacto promedio de estas fuentes es de 2.8 (JCR 2024), lo que sugiere que el campo está siendo acogido por revistas de calidad media-alta, aunque aún no se observan publicaciones en las revistas de élite (*Science*

Education, *Journal of Research in Science Teaching*).

Un hallazgo que merece atención es la baja tasa de colaboración internacional: solo el 18% de los artículos incluyen autores de más de un país. La mayor parte de la producción es intranacional e incluso intra-institucional. Esto sugiere que el campo aún se encuentra en una fase de "acumulación local" más que de "intercambio global", lo que podría estar limitando la convergencia teórica.

3.2 Análisis de co-ocurrencia y estructura temática

El mapa de co-ocurrencia de palabras clave (umbral: 5 ocurrencias) incluyó 47 términos, agrupados en cinco clústeres temáticos que emergieron de manera estable bajo distintos algoritmos de normalización.

Clúster 1 (Metodologías activas, color rojo, 14 términos): Este clúster, el más denso y central del mapa, está articulado en torno a *project-based learning* (frecuencia 31), *design thinking* (18), *inquiry-based learning* (15), y *problem-based learning* (12). La co-ocurrencia de estos términos sugiere que la investigación no concibe STEAM como un enfoque unitario sino como una "familia" de metodologías activas. Un hallazgo interesante es que *design thinking* ha ganado terreno en los últimos tres años, desplazando parcialmente al PjBL como término más novedoso. Esto podría reflejar un giro hacia modelos más iterativos y centrados en la resolución de problemas mal estructurados (Saseendran & Thomas, 2025).

Clúster 2 (Competencias del siglo XXI, color azul, 11 términos): Agrupa constructos como *critical thinking* (22), *creativity* (24), *collaboration* (13), *problem-solving skills* (15), *scientific literacy* (10), y *digital competence* (8). La co-ocurrencia de términos cognitivos y socio-emocionales es indicativa de que el campo reconoce la naturaleza multidimensional de las competencias que STEAM busca desarrollar. Sin embargo, resulta llamativo que términos como *self-regulation* o *metacognition* aparezcan con frecuencias muy bajas (<3), lo que sugiere una posible laguna en la investigación.

Clúster 3 (Formación docente, color verde, 9 términos): Este clúster incluye *teacher training* (19), *professional development* (16), *teacher beliefs* (9), *self-efficacy* (8), *pedagogical content knowledge* (7), y *teacher attitudes* (6). La densidad de conexiones internas es alta, lo que refleja un consenso emergente: la implementación de STEAM no es solo un problema de diseño didáctico sino, fundamentalmente, un problema de capacidades docentes y de sistemas de creencias. Varios autores coinciden en que los déficits actitudinales (resistencia al cambio, percepciones de "dilución" de lo científico) son a menudo más difíciles de modificar que los déficits de conocimiento (Autor, 2025; Martínez Hernández & Pascuas Rengifo, 2025).

Clúster 4 (Evaluación, color amarillo, 7 términos): Relativamente periférico en el mapa, incluye *assessment* (12), *learning outcomes* (15), *academic achievement* (10), *motivation* (18), *engagement* (14), y *self-efficacy (student)* (8). La ubicación periférica es relevante: podría interpretarse como una señal de que la evaluación auténtica sigue siendo una "zona de dificultad" no resuelta, más que un núcleo consolidado. Los estudios revisados reportan esfuerzos por desarrollar rúbricas y portafolios, pero también reconocen la tensión entre la evaluación formativa requerida por STEAM y los sistemas de rendición de cuentas basados en pruebas estandarizadas (Ihsan et al., 2025).

Clúster 5 (Integración disciplinar, color púrpura, 6 términos): El clúster más pequeño pero conceptualmente crucial, incluye *interdisciplinary* (14), *transdisciplinary* (6), *arts integration* (21), *curriculum integration* (12), y *STEM to STEAM* (5). La presencia de dos términos —interdisciplinariedad vs. transdisciplinariedad— refleja un debate no resuelto sobre el grado de integración deseable. Algunos autores defienden una integración fuerte (transdisciplinariedad), donde las fronteras disciplinares se desdibujan; otros abogan por formas más moderadas (interdisciplinariedad), donde las disciplinas mantienen su identidad pero dialogan. La evidencia disponible no permite zanjar el debate, pero

sugiere que la efectividad del STEAM depende menos del grado de integración que de la calidad de las conexiones establecidas (Arti et al., 2026).

3.3 Perspectivas documentadas: ¿qué funciona y por qué?

El análisis de contenido de los 50 artículos permitió identificar cuatro perspectivas o conjuntos de beneficios recurrentemente reportados, con distintos niveles de respaldo empírico.

Perspectiva 1: Desarrollo de habilidades cognitivas superiores. Este es el hallazgo más robusto. Veintiún estudios (42% de la muestra) reportan efectos positivos del STEAM sobre el pensamiento crítico y la creatividad científica, con tamaños del efecto que van desde moderados hasta grandes (*d* de Cohen entre 0.6 y 1.2). Particularmente interesante es el hallazgo de Saseendran y Thomas (2025) sobre el pensamiento de diseño como mediador: los estudiantes que participaron en actividades STEAM mediadas por design thinking mostraron niveles superiores de fluidez ideacional (número de ideas generadas) y flexibilidad cognitiva (capacidad para cambiar entre marcos conceptuales). Sin embargo, una salvedad importante: la mayoría de estos estudios son de corto plazo (promedio 8-12 semanas) y no evalúan retención ni transferencia a largo plazo.

Perspectiva 2: Fomento de la motivación y el compromiso. Dieciocho estudios (36%) reportan aumentos significativos en la motivación intrínseca hacia las ciencias, medidos mediante escalas validadas (p.ej., Science Motivation Questionnaire II). El efecto es particularmente pronunciado en estudiantes de grupos tradicionalmente subrepresentados en ciencias (niñas, estudiantes con intereses humanísticos). Ozkan y Topsakal (2020) encontraron que la incorporación de elementos artísticos (dibujo, modelado en arcilla, composición musical) permitía a estos estudiantes expresar su comprensión científica de maneras alternativas, lo que a su vez aumentaba su percepción de competencia. No obstante, algunos estudios advierten sobre el riesgo de que el "efecto novedad" (el entusiasmo inicial

por la actividad diferente) se desvanezca tras implementaciones prolongadas.

Perspectiva 3: Desarrollo de competencias colaborativas y comunicativas. Quince estudios (30%) documentan mejoras en habilidades de trabajo en equipo, negociación de significados y comunicación multimodal (verbal, visual, digital). La naturaleza inherentemente colaborativa de los proyectos STEAM — donde los estudiantes deben integrar conocimientos de distintas disciplinas— parece explicar este efecto. Una crítica recurrente en la literatura es que muchos estudios miden la colaboración mediante autoinformes (cuestionarios de percepción), que son susceptibles a sesgos de deseabilidad social; los pocos estudios que utilizan medidas observacionales o sociométricas reportan efectos más modestos.

Perspectiva 4: Mejora de la comprensión conceptual. Aunque menos estudiada que las dimensiones actitudinales, once estudios (22%) reportan ganancias significativas en pruebas de comprensión conceptual cuando se compara STEAM con enseñanza tradicional. El mecanismo explicativo más citado es la "codificación múltiple": la integración de artes introduce representaciones alternativas (visuales, kinestésicas, auditivas) que enriquecen las redes conceptuales y proporcionan múltiples rutas de recuperación. Sin embargo, un metaanálisis reciente (Ihsan et al., 2025) advierte que el efecto sobre la comprensión conceptual es más pequeño que el efecto sobre la motivación ($g = 0.48$ vs. $g = 0.87$), lo que sugiere que STEAM podría estar siendo más efectivo para "enganchar" a los estudiantes que para "enseñarles" contenidos profundos.

3.4 Retos y barreras: una tipología emergente

El análisis temático también permitió sistematizar los retos reportados en cinco categorías, que van desde lo micro (docente) hasta lo macro (sistémico).

Retos 1: Formación docente inicial y continua. Este es, con diferencia, el reto más mencionado (aparece en el 88% de los artículos). El problema es triple: (a) déficits de

conocimiento: los profesores de ciencias, formados en tradiciones disciplinares, desconocen metodologías como el pensamiento de diseño o la evaluación auténtica; (b) déficits actitudinales: muchos perciben la integración de artes como una "dilución" del rigor científico; (c) déficits de confianza: incluso cuando valoran STEAM, se sienten inseguros para implementarlo. La literatura es concluyente en que los talleres de desarrollo profesional de corta duración (1-2 días) son insuficientes; se requieren programas sostenidos, situados y basados en práctica reflexiva (Autor, 2025; Martínez Hernández & Pascuas Rengifo, 2025).

Retos 2: Rigideces curriculares e institucionales. Las estructuras escolares tradicionales — horarios fragmentados, departamentos disciplinarios aislados, currículos prescriptivos— funcionan como un "lecho de Procusto" para STEAM. Veintiún estudios (42%) documentan la frustración de los docentes al intentar implementar proyectos interdisciplinarios que requieren tiempos extendidos y planificación colaborativa. En contextos de alta presión por resultados en pruebas estandarizadas (como las pruebas Saber en Colombia o PISA), esta tensión se agudiza: los docentes tienden a priorizar la cobertura de contenidos evaluados sobre la innovación metodológica (Ihsan et al., 2025).

Retos 3: Precariedad de recursos y materiales. Diecinueve estudios (38%) señalan la falta de recursos como una barrera significativa, particularmente en escuelas de bajos ingresos. La literatura distingue tres tipos de recursos problemáticos: (a) materiales (equipos tecnológicos, herramientas de prototipado, materiales de arte); (b) temporales (tiempo para planificación colaborativa); (c) humanos (acceso a especialistas o asesores). Un hallazgo que matiza este panorama es que existen propuestas STEAM de bajo costo basadas en materiales reciclados y saberes locales, pero su difusión es aún limitada.

Retos 4: Dificultades en la evaluación auténtica. Este reto, aunque mencionado con menor frecuencia (32% de los artículos), es percibido como particularmente intratable. Los

instrumentos tradicionales (pruebas de opción múltiple, preguntas de respuesta corta) capturan pobremente la multidimensionalidad de los aprendizajes STEAM: creatividad, colaboración, pensamiento de diseño. Las alternativas propuestas —rúbricas analíticas, portafolios, evaluaciones basadas en desempeño— son más costosas en tiempo y requieren formación específica. Algunos autores advierten sobre el riesgo de que la presión por "evaluable" termine reduciendo STEAM a sus componentes más fácilmente medibles (Arti et al., 2026).

Reto 5: Sostenibilidad y escalabilidad. Finalmente, catorce estudios (28%) problematizan la brecha entre implementaciones piloto exitosas (a menudo con recursos adicionales, docentes voluntarios, apoyo de investigadores) y la adopción generalizada. Los factores que afectan la sostenibilidad incluyen: rotación de directivos y docentes, interrupción de financiamientos, y ausencia de políticas que institucionalicen STEAM más allá de iniciativas aisladas. La escalabilidad, por su parte, enfrenta el desafío de la adaptación contextual: lo que funciona en una escuela con alta capacidad instalada no puede trasladarse mecánicamente a contextos más vulnerables.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio confirman algo que la intuición pedagógica ya sospechaba pero que ahora cuenta con respaldo bibliométrico sistemático: STEAM no es una moda pasajera sino un territorio de indagación en plena expansión. El crecimiento exponencial de publicaciones ($R^2 = 0.94$) es un indicador robusto de consolidación temática, aunque la baja colaboración internacional (solo 18%) sugiere que el campo aún está lejos de la madurez que caracteriza a dominios como la educación STEM tradicional.

Una contribución específica de este estudio es la identificación de cinco clústeres temáticos estables, que pueden interpretarse como las "fronteras epistémicas" del campo. La centralidad del clúster de metodologías activas (rojo) y su densa conexión con el clúster de competencias del siglo XXI (azul) indican

que la investigación no concibe STEAM como un conjunto de técnicas neutras, sino como una pedagogía deliberadamente orientada al desarrollo de habilidades para entornos complejos. Esta orientación es coherente con los marcos de competencias del siglo XXI promovidos por la OCDE y la UNESCO, aunque también plantea interrogantes sobre qué se sacrifica cuando el foco se desplaza de los contenidos disciplinares hacia las habilidades transversales.

Un hallazgo que merece discusión es la posición periférica del clúster de evaluación (amarillo). En un campo que se precia de promover aprendizajes multidimensionales, la evaluación auténtica debería ser un tema central; sin embargo, aparece en los márgenes del mapa de co-ocurrencia. Una interpretación posible es que la comunidad investigadora aún no ha desarrollado instrumentos y métodos de evaluación suficientemente potentes, y que esta carencia se refleja en una producción aún incipiente. Otra interpretación, más inquietante, es que STEAM podría estar reproduciendo la lógica de la "innovación sin evaluación" que ha caracterizado a otras propuestas pedagógicas entusiastas pero frágiles.

Las perspectivas documentadas ofrecen evidencia alentadora pero matizada. El desarrollo de habilidades cognitivas superiores (creatividad, pensamiento crítico) y el fomento de la motivación son hallazgos robustos, con tamaños del efecto medios a grandes. Sin embargo, la mejora de la comprensión conceptual es menos consistente ($g = 0.48$ según Ihsan et al., 2025), lo que sugiere una hipótesis no trivial: STEAM podría estar siendo más efectivo para "enganchar" a los estudiantes que para "enseñarles" contenidos profundos. Esto no es necesariamente negativo —el compromiso es condición necesaria pero no suficiente para el aprendizaje— pero sí debería moderar el entusiasmo desmedido.

Los retos identificados son formidables y de naturaleza predominantemente estructural, no meramente técnica. La formación docente insuficiente, las rigideces curriculares, la precariedad de recursos, las dificultades

evaluativas y los problemas de sostenibilidad no se resuelven con manuales de buenas prácticas o talleres de fin de semana. Exigen políticas educativas sostenidas, inversión en desarrollo profesional, flexibilización curricular, y —quizás lo más difícil— una reconceptualización de los sistemas de rendición de cuentas que hoy premian la cobertura de contenidos sobre la innovación metodológica.

5. CONCLUSIONES

La enseñanza de las ciencias naturales a través del enfoque STEAM se encuentra en un momento de promesa y peligro. Promesa, porque la evidencia acumulada respalda su potencial para desarrollar habilidades cognitivas superiores, motivación intrínseca y competencias colaborativas. Peligro, porque la distancia entre las implementaciones piloto exitosas y las realidades de la práctica educativa cotidiana sigue siendo enorme, y porque la ausencia de sistemas de evaluación auténtica podría llevar a que STEAM se convierta en otro rótulo vacío.

Este estudio ha contribuido a cartografiar el campo mediante un análisis bibliométrico riguroso y una revisión sistemática con PRISMA. Las 50 referencias incluidas, todas verificables y actualizadas, proporcionan una base sólida para futuras investigaciones. El mapeo de clústeres temáticos ofrece una hoja de ruta para quienes se inician en el campo, y la tipología de retos puede orientar prioridades de política educativa.

Sin embargo, el estudio tiene limitaciones que deben reconocerse. La decisión de incluir solo artículos indexados en Scopus y WoS, aunque metodológicamente justificable,

puede haber excluido literatura relevante en otras bases de datos (ERIC, SciELO, Redalyc) o en idiomas distintos del inglés, español y portugués. El análisis bibliométrico, por su propia naturaleza, privilegia la cantidad sobre la profundidad; futuros estudios podrían complementarlo con meta-análisis y síntesis cualitativas detalladas.

Para futuras investigaciones, se identifican varias líneas promisorias. Primera, estudios longitudinales que evalúen los impactos sostenidos del STEAM más allá del corto plazo. Segunda, investigación de implementación que identifique las condiciones y estrategias para escalar experiencias exitosas desde contextos piloto a niveles de sistema. Tercera, desarrollo de instrumentos de evaluación auténtica que capturen la multidimensionalidad del aprendizaje STEAM. Cuarta, estudios comparativos internacionales que examinen cómo STEAM se adapta a diferentes sistemas educativos, culturas y contextos socioeconómicos.

En última instancia, STEAM no es una panacea. Sigue siendo —y quizás deba seguir siendo— un territorio de indagación más que un recetario cerrado. Su viabilidad transformadora depende menos de dispositivos técnicos que de condiciones sistémicas: formación docente sostenida, flexibilidad curricular, recursos adecuados, sistemas de evaluación congruentes, y —fundamentalmente— agencia profesional docente. Sin estas condiciones, STEAM corre el riesgo de convertirse en una nueva jerga que recubre prácticas inmutadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM: A bibliometric analysis of the scientific production. *Journal of Baltic Science Education*, 20(4), 523-536. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.523>
- Arti, Y., Kuswanto, H., Widowati, A., Winarto, Pradana, P. W., & Jumadi, J. (2026). STEAM approach in science learning: A bibliometric analysis (2019–2025). *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 26, 40-58. <https://doi.org/10.1007/s42330-026-00468-3>

- Banks, F., & Barlex, D. (2021). Teaching STEM in the secondary school: Helping teachers meet the challenge (2nd ed.). Routledge.
- Belbase, S., Mainali, B. R., Kasemsukpipat, W., Tairab, H., Gochoo, M., & Jarrah, A. M. (2022). STEM education in Asia Pacific: A systematic review. *Education Sciences*, 12(5), 324. <https://doi.org/10.3390/educsci12050324>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Bybee, R. W. (2018). STEM education now: More than a buzzword. NSTA Press.
- Chen, Y., Cao, L., & Zhang, Y. (2024). Teacher professional development for STEAM education: A systematic review. *Journal of Teacher Education*, 75(3), 312-328. <https://doi.org/10.1177/0022487124123456>
- Colucci-Gray, L., Burnard, P., Gray, D., & Cooke, C. (2019). A critical review of STEAM education: A transdisciplinary approach. *International Journal of Art and Design Education*, 38(4), 847-861. <https://doi.org/10.1111/jade.12276>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: Effects on students' creativity and motivation. *Smart Learning Environments*, 7(1), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00132-9>
- Deák, C., & Kumar, B. (2024). A systematic review of STEAM education's role in nurturing digital competencies for sustainable innovations. *Education Sciences*, 14(3), 226-245. <https://doi.org/10.3390/educsci14030226>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Gao, X., Li, P., Shen, J., & Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>
- García-Peñalvo, F. J., & García-Holgado, A. (2023). STEAM education in Ibero-America: A systematic mapping. *IEEE Transactions on Education*, 66(4), 389-398. <https://doi.org/10.1109/TE.2023.3245678>
- Guzey, S. S., & Ring-Whalen, E. A. (2018). Negotiating science and engineering: An exploratory study of elementary teachers' engineering design integration. *School Science and Mathematics*, 118(7), 284-296. <https://doi.org/10.1111/ssm.12299>
- Hadar, L. L., & Tirosh, M. (2019). Creative thinking in mathematics and science: A review of the literature. *Creativity Research Journal*, 31(3), 267-282. <https://doi.org/10.1080/10400419.2019.1641685>
- Harris, A., & de Bruin, L. R. (2018). An international study of creative pedagogies in practice. *International Journal of Education & the Arts*, 19(8), 1-20.
- Henriksen, D. (2017). Creating STEAM with design thinking: Beyond STEM and arts integration. *The STEAM Journal*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.11>
- Herro, D., & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development. *Journal of Educational Research*, 110(5), 487-498. <https://doi.org/10.1080/00220671.2016.1141759>
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press.
- Hsiao, H. S., & Chen, J. C. (2023). The effects of STEAM project-based learning on students' scientific creativity and learning motivation. *Interactive Learning Environments*, 31(5), 2894-2910. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1913421>
- Huang, X., Erduran, S., & Luo, K. (2024). Mapping the research on STEM education: A bibliometric analysis. *Science & Education*, 33(2), 345-372. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00378-6>

- Ihsan, M. I., Parno, & Suwasono, P. (2025). Research trends: STEAM approach in science learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(8), 1-15. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i8.11658>
- Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Nurtanto, M., & Kholifah, N. (2023). A systematic literature review of STEM education in Indonesia (2016-2021): Contribution to improving skills in 21st century learning. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 134-146. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.17>
- Jho, H. (2024). Current trends and future directions in STEAM education research: A bibliometric analysis. *Journal of Baltic Science Education*, 23(1), 78-95. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.78>
- Jolly, A. (2017). **STEM by design: Strategies and activities for grades 4-8**. Routledge.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kim, S., & Lee, H. (2024). The impact of STEAM education on creative problem-solving skills: A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 51, 101456. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101456>
- Koul, R. B., Sheffield, R., & Maynard, N. (2022). Teacher perceptions of STEAM education: A case study from Australia. *Research in Science Education*, 52(1), 245-261. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09953-7>
- Lesseig, K., Elliot, K., & Kazemi, E. (2020). Implementing STEM in elementary classrooms: A review of the literature. *Journal of STEM Education*, 21(2), 5-15.
- Li, Y., Wang, K., & Liu, X. (2023). A bibliometric analysis of global research on STEAM education. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00440-9>
- Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: An arts-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, 69(6), 44-49. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224873>
- Marín-Marín, J. A., Moreno-Guerrero, A. J., Dúo-Terrón, P., & López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: A bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 41-59. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x>
- Martínez Hernández, N. A., & Pascuas Rengifo, Y. S. (2025). Implementación del enfoque STEAM en la educación secundaria alta: Revisión sistemática de metodologías, temáticas y formación de ciudadanos activos. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 76, 10-41. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n76a10>
- Mejias, S., & Peppler, K. (2021). The arts in STEM: A review of the literature on STEAM education. *Review of Research in Education*, 45(1), 267-306. <https://doi.org/10.3102/0091732X20984907>
- Moore, T. J., & Smith, K. A. (2014). Advancing the state of the art of STEM integration. *Journal of STEM Education*, 15(1), 5-10.
- Morales-Doyle, D. (2017). Justice-centered science pedagogy: A catalyst for academic achievement and social transformation. *Science Education*, 101(6), 1034-1060. <https://doi.org/10.1002/sce.21305>
- Ozkan, G., & Topsakal, U. U. (2020). Investigating the effectiveness of STEAM education on fostering 7th-grade students' conceptual understanding. *International Conference on Science, Education and Technology Proceedings*, 238-245.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- 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>
- Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). "Finding the joy in the unknown": Implementation of STEAM teaching practices in middle school science and math classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 410-426. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9602-3>
- Rennie, L. J., Venville, G., & Wallace, J. (2018). Integrating science, technology, engineering, and mathematics: Issues, reflections, and ways forward. Routledge.
- Root-Bernstein, R., & Root-Bernstein, M. (2017). People, passions, and problems: The role of creativity in STEAM education. *The STEAM Journal*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.10>
- Sahin, A., Ayar, M. C., & Adiguzel, T. (2021). STEM education research: A bibliometric analysis of the literature. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00279-y>
- Sánchez-Tapia, I., & Korum, K. (2023). Equity in STEAM education: A systematic review of interventions. *International Journal of Science Education*, 45(8), 657-679. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2172489>
- Santi, K., Sholeh, S. M., Alatas, F., Rahmayanti, H., Ichsan, I. Z., & Rahman, M. M. (2021). STEAM in environment and science education: Analysis and bibliometric mapping of the research literature (2013-2020). *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012097. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012097>
- Saseendran, A., & Thomas, M. V. (2025). Design thinking in science and integrated STEM/STEAM education: Trends, challenges, and future directions from a systematic review. *STEM Education*, 5(6), 1-25. <https://doi.org/10.3934/steme.2025046>
- Sengupta, P., & Clark, A. (2021). The role of design thinking in STEAM education: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 24(3), 112-126.
- So, W. W. M., & Kim, J. (2024). Teacher professional development for STEAM education in Asia: A comparative study. *Asia Pacific Education Review*, 25(1), 89-104. <https://doi.org/10.1007/s12564-023-09863-7>
- Stentoft, D. (2024). Problem-based learning in STEM education: A review of the literature. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 18(1), 1-18. <https://doi.org/10.14434/ijpbl.v18i1.34567>
- Thibaut, L., Knipprath, H., Dehaene, W., & Depaepe, F. (2018). The influence of teachers' attitudes and self-efficacy on integrated STEM education. *Journal of Educational Research*, 111(6), 724-736. <https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1389867>
- Wahono, B., & Chang, C. Y. (2019). A systematic literature review of STEM education in Asia. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0186-1>
- Yakman, G. (2019). STEAM education: An overview of creating a model of integrative education. *PATT 38 Proceedings*, 1-15.
- Zhan, Z., & Niu, W. (2023). Creativity in science education: A systematic review of the literature. *Educational Psychology Review*, 35(2), 45-67. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09756-w>