

Robótica Educativa mediada por entornos digitales y su contribución al desarrollo del pensamiento computacional y las habilidades stem en estudiantes de básica superior: una revisión sistemática de literatura

Educational Robotics Mediated by Digital Environments and Its Contribution to the Development of Computational Thinking and STEM Skills in Upper Basic Education Students: A Systematic Literature Review

Robotica Educativa mediata da ambienti digitali e il suo contributo allo sviluppo del pensiero computazionale e delle competenze STEM negli studenti della scuola secondaria di primo grado: una revisione sistematica della letteratura

Jimmy Roger Morocho Vera¹

jmorochov3@unemi.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4059-6061>

Maestría en Educación con mención en

Pedagogía en entornos digitales, Escuela de Educación, Facultad de Posgrados, Universidad Estatal de Milagro, Milagro-Ecuador

Correspondencia: jmorochov3@unemi.edu.ec

Artículo de Investigación

***Aceptado:** Julio 29, 2026 *** Publicado:** Julio 30, 2026

- I. Maestría en Educación con mención en Pedagogía en entornos digitales, Escuela de Educación, Facultad de Posgrados, Universidad Estatal de Milagro, Milagro-Ecuador

Resumen

La robótica educativa se ha incorporado a los sistemas escolares como un recurso para articular programación, resolución de problemas y aprendizajes STEM. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia publicada entre enero de 2021 y julio de 2026 sobre la robótica educativa mediada por entornos digitales y su relación con el pensamiento computacional y las habilidades STEM en estudiantes de básica superior o niveles equivalentes. Se siguieron las orientaciones PRISMA 2020 y se consultaron Scopus, ERIC, IEEE Xplore, SciELO y Redalyc. Se identificaron 297 registros; tras eliminar 92 duplicados, se cribaron 205 estudios. Se buscaron 50 textos completos, se recuperaron 25 y se incluyeron 14. La calidad metodológica se examinó mediante MMAT 2018. Diez estudios utilizaron robots físicos y cuatro entornos virtuales. Los resultados favorables se concentraron en secuenciación, bucles, condicionales, descomposición, abstracción, depuración, lógica de programación y resolución de problemas. También se reportaron creatividad, colaboración, razonamiento espacial, metacognición e interés STEM, aunque estas variables fueron medidas de forma heterogénea. Las principales limitaciones fueron muestras pequeñas, diseños no aleatorizados, intervenciones breves, autoinforme, fallos técnicos y disponibilidad limitada de equipos. No se identificaron estudios ecuatorianos elegibles. Se concluye que la contribución de la robótica depende menos del dispositivo aislado que de la estrategia pedagógica, la programación activa, la retroalimentación y la evaluación de procesos.

Palabras clave: robótica educativa; pensamiento computacional; habilidades STEM; básica superior; entornos digitales; revisión sistemática.

Abstract

Educational robotics has been incorporated into school systems as a resource for integrating programming, problem-solving, and STEM learning. The objective of this systematic review was to analyze the evidence published between January 2021 and July 2026 on educational robotics mediated by digital environments and its relationship with computational thinking and STEM skills among upper elementary/lower secondary students or equivalent educational levels. The review followed the PRISMA 2020 guidelines and searched the Scopus, ERIC, IEEE Xplore, SciELO, and Redalyc databases. A total of 297 records were identified; after removing 92 duplicates, 205 studies were screened. Fifty full-text articles were sought, 25 were retrieved, and 14 studies met the inclusion criteria. Methodological quality was assessed using the MMAT 2018. Ten studies employed physical robots, while four used virtual environments. Positive outcomes were mainly associated with sequencing, loops, conditionals, decomposition, abstraction, debugging, programming logic, and problem-solving. Improvements were also reported in creativity, collaboration, spatial reasoning, metacognition, and interest in STEM, although these variables were measured heterogeneously across studies. The main limitations included small sample sizes, non-randomized designs, short intervention periods, self-reported measures, technical issues, and limited availability of equipment. No eligible studies conducted in Ecuador were identified. The review concludes that the contribution of educational robotics depends less on the device itself than on the pedagogical strategy, active programming, feedback, and process-oriented assessment.

Keywords: educational robotics; computational thinking; STEM skills; upper elementary/lower secondary education; digital environments; systematic review.

Riassunto

La robotica educativa è stata progressivamente integrata nei sistemi scolastici come risorsa per promuovere la programmazione, la risoluzione dei problemi e l'apprendimento delle discipline STEM. L'obiettivo della presente revisione è stato analizzare le evidenze pubblicate tra gennaio 2021 e luglio 2026 sulla robotica educativa mediata da ambienti digitali e sulla sua relazione con il pensiero computazionale e le competenze STEM negli studenti della scuola secondaria di primo grado o di livelli equivalenti. La revisione è stata condotta seguendo le linee guida PRISMA 2020 e consultando le banche dati Scopus, ERIC, IEEE Xplore, SciELO e Redalyc. Sono stati identificati 297 record; dopo l'eliminazione di 92 duplicati, sono stati sottoposti a screening 205 studi. Sono stati ricercati 50 testi completi, ne sono stati recuperati 25 e 14 sono stati inclusi nella revisione. La qualità metodologica è stata valutata mediante il MMAT 2018. Dieci studi hanno utilizzato robot fisici e quattro ambienti virtuali. I risultati positivi si sono concentrati sullo sviluppo della sequenziazione, dei cicli, delle strutture condizionali, della decomposizione, dell'astrazione, del debugging, della logica di programmazione e della risoluzione dei problemi. Sono stati inoltre riportati miglioramenti nella creatività, nella collaborazione, nel ragionamento spaziale, nella metacognizione e nell'interesse per le discipline STEM, sebbene tali variabili siano state misurate in modo eterogeneo. Le principali limitazioni riguardavano campioni di piccole dimensioni, disegni di ricerca non randomizzati, interventi di breve durata, misure basate sull'autovalutazione, problemi tecnici e una disponibilità limitata delle attrezzature. Non sono stati identificati studi eleggibili condotti in Ecuador. Si conclude che il contributo della robotica educativa dipende meno dal dispositivo in sé che dalla strategia pedagogica, dalla programmazione attiva, dal feedback e dalla valutazione dei processi.

Parole chiave: robotica educativa; pensiero computazionale; competenze STEM; scuola secondaria di primo grado; ambienti digitali; revisione sistematica.

Introducción

En el contexto educativo contemporáneo, la transformación digital ha modificado las formas de acceder al conocimiento, comunicarse y resolver problemas, generando nuevas exigencias para los sistemas educativos (Global Education Monitoring Report Team, 2023; OECD, 2024). Sin embargo, el Global Education Monitoring Report Team (2023) advierte que la incorporación de dispositivos o plataformas no garantiza por sí sola una mejora del aprendizaje. El informe sostiene que las tecnologías deben seleccionarse considerando su pertinencia, equidad, base de evidencia y sostenibilidad, y que deben complementar la interacción pedagógica entre docentes y estudiantes. De manera concordante, la OECD (2024) señala que desenvolverse en la era digital requiere habilidades digitales junto con capacidades metacognitivas y socioemocionales, entre ellas pensamiento crítico, pensamiento creativo, autorregulación, responsabilidad y colaboración. Por ello, los recursos digitales adquieren valor cuando responden a objetivos curriculares y se integran en experiencias orientadas por el docente.

En este marco, el pensamiento computacional comprende procesos para resolver problemas mediante descomposición, reconocimiento de patrones, abstracción, diseño de algoritmos y evaluación de soluciones (Rao & Bhagat, 2024). La guía metodológica ecuatoriana para básica superior propone su desarrollo transversal en actividades vinculadas con el entorno (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023). Rao y Bhagat (2024) sistematizaron las herramientas, estrategias pedagógicas y prácticas de evaluación empleadas para desarrollar esta competencia en distintos contextos educativos. Esta transversalidad permite relacionarla con el enfoque STEM, entendido como la integración de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas en experiencias orientadas a la resolución interdisciplinaria de problemas (Ouyang & Xu, 2024).

La robótica educativa articula estos aprendizajes al involucrar a los estudiantes en diseño, programación, construcción, prueba y ajuste de sistemas tecnológicos. No obstante, los resultados no son uniformes. Zhang et al. (2021), en una revisión sistemática y metaanálisis de 17 estudios K-12, identificaron un efecto global moderado, con resultados más favorables en pensamiento computacional que en actitudes hacia STEM. Ouyang y Xu (2024), al examinar 21 estudios, encontraron un efecto positivo moderado sobre el aprendizaje STEM; sin embargo, el efecto en pensamiento computacional no alcanzó significación estadística. Estos resultados pueden estar condicionados por la estrategia didáctica, la mediación docente, la duración, la colaboración y el recurso robótico.

Los entornos digitales amplían estas posibilidades mediante simuladores y plataformas de programación que permiten diseñar, probar y corregir soluciones durante la interacción con dispositivos físicos. Chichekian et al. (2024) analizaron actividades con Arduino en ambientes virtuales y físicos, aunque en educación universitaria. En secundaria inferior, Anderhag et al. (2024) observaron que programar robots en parejas implicó discusión, experimentación y depuración del código. Anđić et al. (2024), en un estudio cuasiexperimental con estudiantes de noveno grado, encontraron diferencias de desempeño según la modalidad de instrucción. Esto confirma la relevancia de la organización pedagógica.

En Ecuador, el Currículo Priorizado de Educación General Básica Superior incorpora competencias digitales y promueve procesos flexibles, contextualizados e interdisciplinarios (Ministerio de Educación del Ecuador, 2021a). La guía nacional de pensamiento computacional plantea su articulación con Matemática y Ciencias Naturales (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023). Torres e Inga (2025) combinaron una revisión bibliométrica con encuestas de satisfacción dirigidas a estudiantes de octavo grado y docentes sobre programación y robótica desde el enfoque STEM. Aunque reportaron valoraciones favorables, este tipo de evidencia no permite determinar cambios objetivos en pensamiento computacional o habilidades STEM.

En este contexto, aunque la literatura reporta beneficios potenciales de la robótica educativa, los estudios presentan diferencias en las poblaciones analizadas, la duración de las intervenciones, los recursos tecnológicos, las estrategias didácticas y los instrumentos de evaluación utilizados (Zhang et al., 2021; Ouyang & Xu, 2024). En particular, Zhang et al. (2021) examinaron resultados de pensamiento computacional y actitudes hacia STEM, mientras que Ouyang y Xu (2024) analizaron resultados de aprendizaje STEM y pensamiento computacional. Esta heterogeneidad metodológica dificulta establecer bajo qué condiciones pedagógicas y tecnológicas la robótica educativa mediada por entornos digitales contribuye simultáneamente al desarrollo del pensamiento computacional y las habilidades STEM en estudiantes de básica superior.

A partir de esta heterogeneidad, todavía no se encuentra suficientemente sistematizada la evidencia

sobre beneficios, dificultades, recursos digitales, estrategias pedagógicas e instrumentos utilizados en este subnivel. En Ecuador, los antecedentes son limitados y se concentran principalmente en percepciones, por lo que persiste la necesidad de analizar sus alcances, limitaciones e implicaciones educativas (Ouyang & Xu, 2024; Torres & Inga, 2025).

En consecuencia, la revisión se justifica por la necesidad de disponer de evidencia organizada que oriente la selección de recursos, la planificación de actividades y la evaluación de aprendizajes. Su pertinencia para Ecuador radica en que el currículo promueve competencias digitales, pensamiento computacional e interdisciplinariedad, pero aún requiere evidencia contextualizada para su implementación en básica superior (Ministerio de Educación del Ecuador, 2021a, 2023).

Por tanto, el objetivo del estudio fue analizar la evidencia científica publicada entre enero de 2021 y la fecha final de búsqueda en julio de 2026 sobre la robótica educativa mediada por entornos digitales y su relación con el pensamiento computacional y las habilidades STEM en estudiantes de básica superior o niveles equivalentes, identificando resultados, estrategias, recursos, dificultades y vacíos relevantes para Ecuador.

Como aporte, esta revisión organiza y sintetiza la evidencia científica sobre la contribución de la robótica educativa mediada por entornos digitales al desarrollo del pensamiento computacional y las habilidades STEM en estudiantes de básica superior o niveles educativos equivalentes. La síntesis identifica los resultados reportados, las estrategias pedagógicas, los recursos tecnológicos, las dificultades de implementación y los vacíos presentes en la literatura, con énfasis en sus implicaciones para el contexto ecuatoriano.

Metodología

Diseño del estudio

Se realizó una revisión sistemática de literatura orientada por la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2021). La unidad de análisis estuvo constituida por estudios empíricos sobre robótica educativa mediada por entornos digitales y su relación con el pensamiento computacional o las habilidades STEM en estudiantes de básica superior o niveles educativos equivalentes. Debido a la heterogeneidad de diseños, intervenciones, instrumentos y resultados, se planificó una síntesis narrativa y no un metaanálisis.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Las búsquedas se ejecutaron el 21 y 22 de julio de 2026 en Scopus, ERIC, IEEE Xplore, SciELO y Redalyc. En las fuentes seleccionadas se emplearon combinaciones equivalentes de tres grupos conceptuales, adaptadas a la sintaxis y a los campos de búsqueda disponibles en cada base. El primer grupo reunió términos relacionados con educational robotics, robotic coding, robot programming, virtual robotics, robótica educativa, programación de robots y robótica virtual; el segundo incluyó computational thinking, pensamiento computacional, STEM skills y habilidades STEM; y el tercero incorporó middle school, lower secondary, junior high, secondary education, básica superior y grados 7.º a 9.º. Cuando la plataforma lo permitió, se aplicaron filtros correspondientes al periodo 2021-2026, artículos científicos o trabajos completos de congresos, e idiomas inglés o español.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos científicos revisados por pares y trabajos completos publicados en actas de congresos entre 2021 y 2026, disponibles en inglés o español. Los estudios debían trabajar con estudiantes de básica superior o niveles internacionales equivalentes, incorporar robótica educativa física, virtual o simulada como componente central, utilizar mediación digital verificable y presentar evidencia empírica sobre al menos una dimensión del pensamiento computacional o una habilidad STEM. Se excluyeron poblaciones no equivalentes cuyos resultados no podían separarse; intervenciones sin robótica central o sin mediación digital; estudios centrados únicamente en motivación, satisfacción o usabilidad sin resultados de pensamiento computacional o STEM; documentos teóricos, revisiones, protocolos o informes sin datos primarios suficientes; tipos documentales no admitidos; publicaciones fuera del periodo o idioma establecido; y registros duplicados. La educación inclusiva o especial no constituyó un criterio de exclusión, siempre que el nivel educativo y los resultados fueran separables.

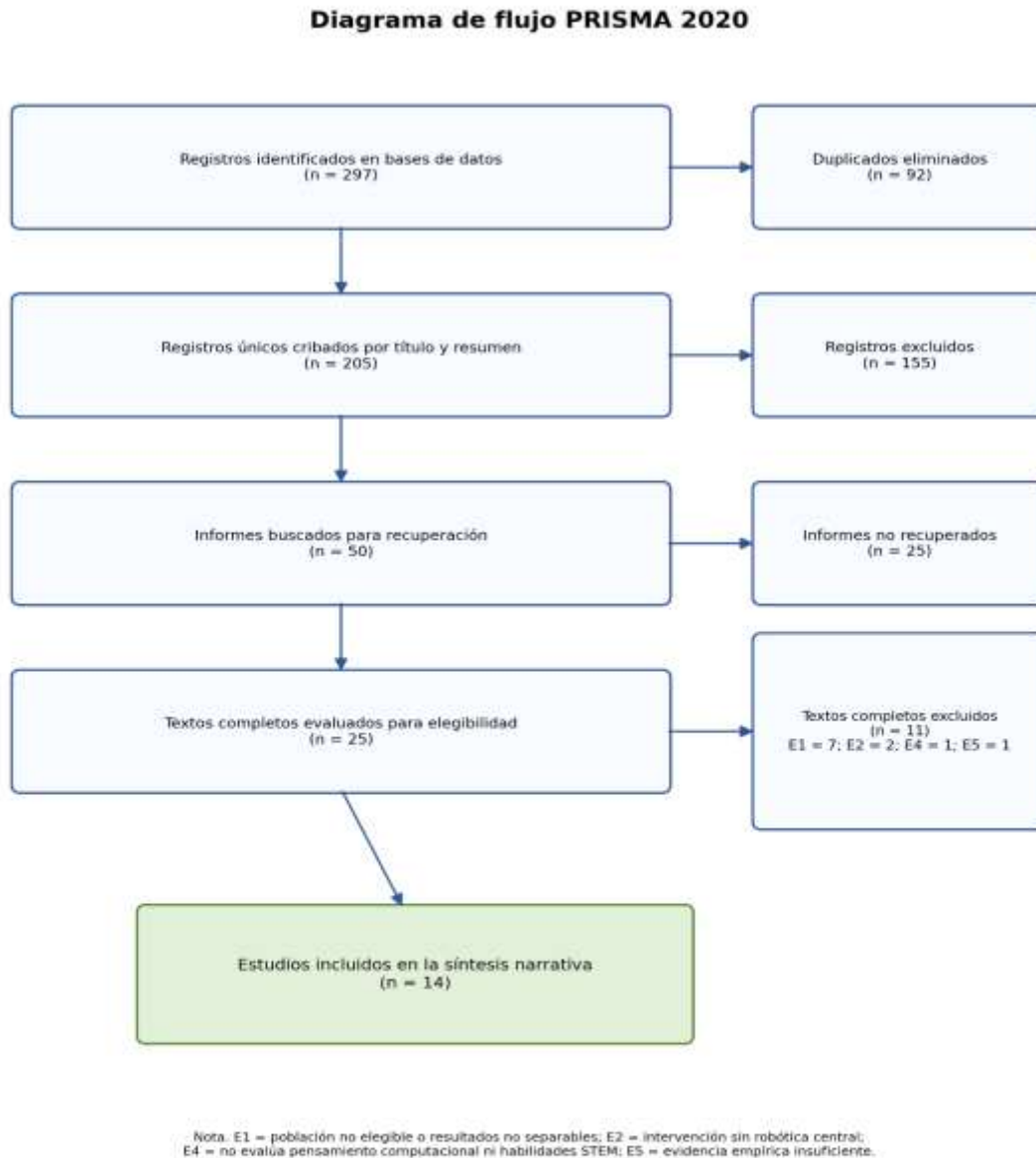
Proceso de selección y recuperación

La selección se desarrolló en cuatro fases: identificación, deduplicación, cribado por título y resumen, y evaluación a texto completo. Se identificaron 297 registros. Después de eliminar 92 duplicados, se cribaron 205 registros y se excluyeron 155 por no cumplir los criterios temáticos o poblacionales. Cincuenta informes avanzaron a recuperación. Se verificaron enlaces editoriales, acceso institucional, repositorios académicos, copias de autor y plataformas de acceso abierto; 25 textos completos fueron recuperados y otros 25 no pudieron obtenerse después de la búsqueda complementaria. Los 25 textos completos recuperados fueron evaluados íntegramente; 14 cumplieron los criterios de elegibilidad y 11 fueron excluidos con una razón científica documentada. El proceso fue realizado por el investigador principal y no contó con un segundo revisor independiente. El flujo de selección se presenta en la Figura 1.

Extracción y organización de los datos

Para los estudios incluidos se extrajeron autoría, año, país, nivel educativo, muestra, edad, diseño metodológico, duración, modalidad, tipo de robot, software o plataforma, estrategia pedagógica, organización del aprendizaje, comparador, instrumentos, dimensiones de pensamiento computacional, habilidades STEM, resultados principales, beneficios, dificultades, limitaciones, vacíos investigativos y pertinencia para Ecuador. La información se registró en una matriz estructurada y se contrastó con el texto completo para mantener la trazabilidad entre cada dato y su fuente.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios.



Nota. Elaboración propia conforme a PRISMA 2020.

Evaluación de calidad metodológica

La calidad metodológica se examinó con la Mixed Methods Appraisal Tool, versión 2018 (Hong et al., 2018). Los estudios fueron clasificados como cualitativos, cuantitativos descriptivos, cuantitativos no aleatorizados o de métodos mixtos. Se aplicaron dos preguntas de cribado y cinco criterios específicos para cada categoría, utilizando las respuestas Sí, No o No claro. De acuerdo con la guía MMAT, no se calculó una puntuación global oficial; se elaboró un perfil de cumplimiento y un juicio narrativo de robustez para interpretar la fuerza de la evidencia.

Síntesis de la evidencia

Los resultados se organizaron mediante estadística descriptiva y síntesis temática. Se compararon años, países, poblaciones, diseños, recursos robóticos, estrategias pedagógicas, instrumentos y patrones de resultados. Los hallazgos se agruparon en cuatro ejes: desarrollo del pensamiento computacional; habilidades STEM y variables asociadas; condiciones pedagógicas y tecnológicas de implementación; y vacíos relevantes para básica superior y Ecuador. La heterogeneidad metodológica impidió combinar cuantitativamente los tamaños de efecto.

Resultados

Características generales

Los estudios incluidos fueron publicados entre 2021 y 2025 y se distribuyeron en nueve contextos nacionales: China (n = 3), España (n = 2), Estados Unidos (n = 2), Turquía (n = 2), Arabia Saudita, India, Brasil, México y Taiwán (n = 1 en cada caso). Las muestras oscilaron entre 14 y 149 participantes y se concentraron en séptimo y octavo grado o niveles equivalentes. Se identificaron seis estudios cuantitativos no aleatorizados, cinco de métodos mixtos, dos descriptivos o estudios de caso y uno cualitativo. Diez investigaciones utilizaron robots físicos y cuatro entornos virtuales o simuladores 3D. Las características generales de los estudios se resumen en la Tabla 1.

Recursos, duración y estrategias pedagógicas

Las intervenciones variaron desde una actividad exploratoria inferior a una hora hasta una trayectoria extracurricular de ocho años. Los entornos virtuales incluyeron RoboMind, Kibotics y Lightbot (Alalawi et al., 2025; Castro-San Martín et al., 2024; García-Pérez et al., 2025; Gong et al., 2025). Entre los recursos físicos se emplearon McQueen, Cozmo, ThinkCarpet con Arduino, robots FIRST, WLKATA Mirobot, LEGO Mindstorms EV3, Abilix Krypton 7 y mBot (Altıok & Üçgül, 2024; Chen & Zhu, 2025; Costa Junior et al., 2024; Huang et al., 2025; Jin et al., 2024; Smith et al., 2022). Predominaron el aprendizaje basado en proyectos, la educación maker, los retos de programación, el aprender haciendo, la colaboración, la mentoría y la retroalimentación formativa.

Resultados sobre pensamiento computacional

Nueve estudios aplicaron pruebas objetivas o evaluaciones de desempeño directamente relacionadas con el pensamiento computacional, uno midió autoeficacia percibida y cuatro aportaron evidencia indirecta, cualitativa o descriptiva. Los hallazgos favorables se concentraron en secuencias, bucles, condicionales, descomposición, abstracción, generalización, evaluación, depuración, lógica de programación y resolución de problemas. RoboMind produjo una mejora amplia en la puntuación total y sus dimensiones (Alalawi et al., 2025); el modelo maker con McQueen incrementó el pensamiento computacional total, aunque el pensamiento algorítmico no mejoró significativamente (Chen & Zhu, 2025); y Kibotics 3D mostró ventajas frente a Scratch en direcciones, bucles y condicionales (Castro-San Martín et al., 2024). La manipulación de un brazo robótico mejoró el pensamiento computacional, la lógica de programación y el razonamiento espacial (Huang et al., 2025). Los resultados no fueron uniformes: Cozmo no superó a Scratch en pensamiento computacional, aunque produjo mayor involucramiento (Smith et al., 2022), y el efecto de Kibotics varió por grado y género (García-Pérez et al., 2025).

Resultados sobre habilidades STEM y variables asociadas

La evidencia sobre habilidades STEM fue menos estandarizada. Los estudios analizaron creatividad, colaboración, comunicación, pensamiento crítico, razonamiento espacial, metacognición, responsabilidad del aprendizaje, conocimientos de robótica y aspiraciones profesionales. La narración mediante dioramas robóticos favoreció agencia, creatividad y proyección hacia STEM (Manikutty, 2021). La evaluación de desempeño utilizada como guía promovió pensamiento computacional, creatividad y colaboración, mientras que la reflexión final favoreció el pensamiento crítico (Zhan et al., 2025). El análisis multimodal con Lightbot reveló una asociación estrecha entre pensamiento computacional, rotación mental y pensamiento espacial (Gong et al., 2025). Las intervenciones con LEGO Mindstorms EV3 y Abilix Krypton 7 informaron mejoras en autoeficacia percibida, metacognición y responsabilidad del aprendizaje (Altıok & Üçgül, 2024; Gurkez & Korucu, 2023). Las experiencias de FIRST y PY-BOT reportaron progresión técnica, liderazgo, trabajo colaborativo e interés STEM, aunque mediante diseños descriptivos y autoinforme (Coox-Yam et al., 2024; Jin et al., 2024). La síntesis comparativa de los resultados, beneficios, dificultades y vacíos se presenta en la Tabla 2.

Dificultades de implementación

Las dificultades más frecuentes fueron conectividad inestable, aplicaciones que se bloqueaban, disponibilidad limitada de kits, tiempo reducido, diferencias en conocimientos previos y necesidad de acompañamiento técnico. La escasez de dispositivos obligó a organizar equipos grandes y dificultó atribuir el aprendizaje individual (Altıok & Üçgül, 2024; Smith et al., 2022). Los simuladores redujeron la dependencia del hardware, pero exigieron conectividad estable y soporte técnico (Castro-San Martín et al., 2024; García-Pérez et al., 2025). También se identificaron pérdidas de participantes, posibles efectos de techo de los instrumentos y dificultades para evaluar a estudiantes con necesidades educativas o dominio limitado del idioma.

Calidad Metodológica

La evaluación MMAT identificó tres estudios con robustez mayor, cuatro con robustez intermedia y siete con perfiles limitados o limitados-intermedios. Las principales debilidades fueron ausencia de aleatorización o grupo control, muestras pequeñas y de un solo centro, intervenciones breves, autoinforme, falta de seguimiento y escasa integración de los componentes mixtos. Estos resultados indican que la dirección general de la evidencia es favorable, pero la magnitud y transferibilidad de los efectos deben interpretarse con cautela. El perfil de calidad metodológica de cada estudio se presenta en la Tabla 3.

TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 1

Estudio	País	Muestra / nivel	Diseño	Recurso robótico	Duración
Alalawi et al. (2025)	Arabia Saudita	138; tercer grado de middle school	Cuantitativo no aleatorizado	RoboMind virtual	7 semanas
Manikutty (2021)	India	46; 11-14 años	Cualitativo	Dioramas con Hummingbird, sensores y motores	3 días
Chen y Zhu (2025)	China	35; octavo grado	Métodos mixtos	McQueen + Mind+	10 periodos de 40 min
García-Pérez et al. (2025)	España	149; grados 7-9	Cuantitativo no aleatorizado	Kibotics 3D	6 sesiones de 2 h
Zhan et al. (2025)	China	72; 12-15 años	Métodos mixtos	Robot físico con funciones de IA	16 semanas
Smith et al. (2022)	Estados Unidos	43; séptimo grado	Cuantitativo no aleatorizado	Cozmo frente a Scratch	8 lecciones
Costa Junior et al. (2024)	Brasil	16; sexto grado	Cuantitativo no aleatorizado	ThinkCarpet + Arduino	5 días / 7 h
Jin et al. (2024)	Estados Unidos	14; trayectoria FIRST, tramo 7-11	Descriptivo / caso longitudinal	Robots FIRST	8 años
Castro-San Martín et al. (2024)	España	85; 12-13 años	Cuantitativo no aleatorizado	Kibotics 3D frente a Scratch	7 sesiones de 50 min
Gong et al. (2025)	China	30; séptimo grado	Métodos mixtos	Lightbot virtual	Sesión breve
Huang et al. (2025)	Taiwán	74; octavo grado	Métodos mixtos	WLKATA Mirobot + App Inventor 2	3 semanas / 150 min
Altıok y Üçgül (2024)	Turquía	32; sexto y octavo	Cuantitativo no aleatorizado	LEGO Mindstorms EV3	5 semanas / 20 h

Gurkez y Korucu (2023)	Turquía	40; séptimo grado	Métodos mixtos	Abilix Krypton 7	4 semanas / 16 h
Coox-Yam et al. (2024)	México	27; 14-15 años	Cuantitativo descriptivo	mBot y plataformas visuales	40 sesiones / 80 h

Características generales de los estudios incluidos.

Nota. La duración se presenta según la información reportada por cada estudio.

Tabla 2

Resultados, beneficios, dificultades y vacíos de los estudios incluidos.

Estudio	Resultado en pensamiento computacional	Resultado STEM o asociado	Beneficio principal	Dificultad / limitación	Vacío señalado
Alalawi et al. (2025)	Mejoras en secuencias, bucles, condicionales, funciones y puntuación total.	Actitud hacia programación y tecnología.	Robot virtual escalable para concretar lógica y automatización.	Sin grupo control; intervención en línea.	Replicación controlada y seguimiento de transferencia.
Manikutty (2021)	Programación, secuenciación y depuración inferidas cualitativamente.	Creatividad, 4C, autoeficacia y aspiraciones STEM.	Integración de narración, arte y physical computing.	Taller breve y autoinforme.	Medidas objetivas y seguimiento longitudinal.
Chen y Zhu (2025)	Mejora total; abstracción, descomposición, generalización y evaluación.	Cooperación e interés tecnológico.	Retroalimentación iterativa en proyectos maker.	Sin control; pensamiento algorítmico sin mejora significativa.	Comparar modelos y ampliar duración.
García-Pérez et al. (2025)	Mejora diferenciada por grado y género, principalmente en séptimo.	Equidad de género en tecnología y programación.	Simulación 3D sin dependencia de kits.	Pérdida de participantes y posible efecto de techo.	Más centros, seguimiento y tareas por nivel.
Zhan et al. (2025)	Mejoras con evaluación como guía; diferencias según modalidad de evaluación.	Creatividad, colaboración y pensamiento crítico.	La evaluación formativa orienta el proceso de diseño.	La guía excesiva puede limitar exploración.	Modelos híbridos y seguimiento digital del proceso.
Smith et al. (2022)	Ambos entornos mejoraron; Cozmo no superó a Scratch en PC.	Cozmo aumentó involucramiento y creencias de competencia.	Robótica física favorece compromiso.	Fallos técnicos, pocos dispositivos y muestra pequeña.	Evaluación inclusiva y condiciones técnicas equivalentes.

Estudio	Resultado en pensamiento computacional	Resultado STEM o asociado	Beneficio principal	Dificultad / limitación	Vacío señalado
Costa Junior et al. (2024)	Mejora en algoritmos y depuración mediante retroalimentación tangible.	Resolución de problemas y usabilidad.	Prototipo de bajo costo con potencial inclusivo.	Muestra pequeña y dificultades de interacción física.	Pruebas controladas y más niveles de complejidad.
Jin et al. (2024)	Programación, sensores, iteración y resolución de problemas documentadas.	CAD, electrónica, fabricación, liderazgo e identidad STEM.	Progresión sostenida en proyectos de larga duración.	Auto-selección, alto costo y dependencia de mentores.	Mediciones estandarizadas y análisis de equidad.
Castro-San Martín et al. (2024)	Kibotics superó a Scratch en PC total y varias dimensiones.	Programación, sensores y resolución de tareas.	Simulación 3D escalable.	Grupos no equivalentes y problemas técnicos.	Aislar qué componentes 3D producen el efecto.
Gong et al. (2025)	Perfiles de aprendizaje; asociación entre PC y pensamiento espacial.	Rotación mental, orientación y visualización.	Analítica para personalizar apoyos.	Actividad breve y muestra pequeña.	Intervenciones longitudinales y tareas diversas.
Huang et al. (2025)	Mejoras en PC, lógica, comprensión y análisis.	Razonamiento espacial, motivación y menor carga cognitiva.	Manipulación directa del brazo robótico.	Equipo costoso e intervención corta.	Transferencia y seguimiento longitudinal.
Altıok y Üçgül (2024)	Aumento de autoeficacia en algoritmos, problemas, datos y programación.	Creatividad y cooperación.	Retos colaborativos con robot físico.	Sin control; autoinforme y pocos kits.	Medidas objetivas y mayor disponibilidad de equipos.
Gurkez y Korucu (2023)	Logro en algoritmos, bucles, condicionales, sensores y programación.	Metacognición y responsabilidad del aprendizaje.	Método de proyectos frente a enseñanza tradicional.	Reporte estadístico poco claro y medida indirecta de PC.	Instrumentos específicos y reporte transparente.
Coox-Yam et al. (2024)	Conocimientos de robótica y programación; sin prueba directa de PC.	Trabajo en equipo, comunicación e interés profesional.	Referencia latinoamericana de club escolar.	Encuesta no validada y ausencia de pretest.	Diseño cuasiexperimental y muestra multiinstitucional.

Estudio	Categoría	C1	C2	C3	C4	C5	Juicio narrativo
Alalawi et al. (2025)	Cuantitativo no aleatorizado	No	Sí	Sí	No	Sí	Robustez intermedia
Manikutty (2021)	Cualitativo	Sí	Sí	Sí	Sí	No claro	Robustez intermedia

Chen y Zhu (2025)	Métodos mixtos	No claro	Sí	Sí	No claro	No	Robustez limitada-intermedia
García-Pérez et al. (2025)	Cuantitativo no aleatorizado	No	Sí	No	No	Sí	Robustez limitada-intermedia
Zhan et al. (2025)	Métodos mixtos	Sí	Sí	Sí	No claro	Sí	Robustez mayor
Smith et al. (2022)	Cuantitativo no aleatorizado	No	Sí	No claro	No claro	No	Robustez limitada-intermedia
Costa Junior et al. (2024)	Cuantitativo no aleatorizado	No	Sí	No	No	Sí	Robustez limitada-intermedia
Jin et al. (2024)	Cuantitativo descriptivo	No	No	No claro	Sí	Sí	Robustez limitada
Castro-San Martín et al. (2024)	Cuantitativo no aleatorizado	No	Sí	Sí	No claro	Sí	Robustez intermedia
Gong et al. (2025)	Métodos mixtos	Sí	Sí	Sí	No claro	Sí	Robustez mayor
Huang et al. (2025)	Métodos mixtos	Sí	Sí	Sí	No claro	Sí	Robustez mayor
Altıok y Üçgül (2024)	Cuantitativo no aleatorizado	No	Sí	Sí	No	Sí	Robustez intermedia
Gurkez y Korucu (2023)	Métodos mixtos	No claro	No claro	Sí	No claro	No claro	Robustez limitada-intermedia
Coox-Yam et al. (2024)	Cuantitativo descriptivo	No	No	No	No claro	No	Robustez limitada

Nota. Los criterios se interpretan por categoría MMAT. No se calculó una puntuación global oficial.

Nota. Los criterios se interpretan por categoría MMAT. No se calculó una puntuación global oficial.

Discusión

Los resultados indican que la robótica educativa mediada digitalmente puede contribuir al desarrollo del pensamiento computacional en básica superior, pero el efecto depende de la interacción entre el recurso, la estrategia pedagógica, la duración y la forma de evaluación. Los beneficios más consistentes aparecieron cuando los estudiantes programaron, probaron y depuraron soluciones frente a retos auténticos, recibieron retroalimentación y participaron en proyectos iterativos. Por tanto, el robot no debe interpretarse como una intervención autosuficiente, sino como un mediador dentro de un diseño didáctico estructurado.

Los robots físicos ofrecieron retroalimentación tangible, involucramiento y razonamiento espacial,

especialmente en tareas de manipulación, sensores y construcción (Huang et al., 2025; Smith et al., 2022). No obstante, sus costos, fallos técnicos y disponibilidad limitada condicionaron la organización del aula. Los entornos virtuales facilitaron escalabilidad y práctica individual; RoboMind y Kibotics mostraron mejoras en varias dimensiones del pensamiento computacional (Alalawi et al., 2025; Castro-San Martín et al., 2024). Esto sugiere que, en contextos con recursos limitados, los simuladores pueden funcionar como alternativa o etapa previa, siempre que exista conectividad y acompañamiento docente.

El aprendizaje basado en proyectos, la educación maker, la resolución de desafíos y la evaluación formativa fueron más relevantes que una marca específica de robot. Zhan et al. (2025) evidenciaron que utilizar la evaluación como guía favoreció la regulación, creatividad y colaboración, mientras que la reflexión final promovió pensamiento crítico. Chen y Zhu (2025) mostraron que la retroalimentación iterativa mejoró varias dimensiones, pero no garantizó avances en pensamiento algorítmico. Por ello, las secuencias didácticas deben explicitar los objetivos de pensamiento computacional, incluir momentos de planificación y depuración, y evaluar procesos además de productos.

Las habilidades STEM se abordaron de manera fragmentada. La creatividad, colaboración, comunicación, metacognición, razonamiento espacial y aspiraciones profesionales aparecieron con frecuencia, pero pocos estudios utilizaron instrumentos integrales de competencias STEM. Esta variabilidad impide establecer qué dimensiones responden con mayor consistencia a la robótica. Resulta necesario diferenciar resultados cognitivos, tecnológicos, socioemocionales y vocacionales, y evitar considerar motivación o satisfacción como sustitutos del aprendizaje.

Implicaciones para Ecuador

Para básica superior en Ecuador, la evidencia respalda dos rutas complementarias: simuladores 3D para ampliar el acceso y la práctica, y robots físicos de bajo costo para desarrollar diseño, sensores y depuración tangible. La implementación debería articularse con proyectos de Ciencias Naturales, Matemática y Tecnología, incorporar criterios curriculares explícitos y prever formación docente, conectividad, mantenimiento y disponibilidad de equipos. El vacío nacional justifica estudios cuasiexperimentales en instituciones ecuatorianas, con instrumentos validados, grupos de comparación, análisis por grado y género, y seguimiento de transferencia.

Limitaciones

La revisión presenta cuatro limitaciones principales. Primero, 25 de los 50 informes buscados no pudieron recuperarse, por lo que la síntesis puede estar afectada por sesgo de disponibilidad. Segundo, la selección, extracción y evaluación fueron realizadas por el investigador principal, sin una segunda revisión independiente. Tercero, la heterogeneidad de diseños, intervenciones e instrumentos impidió realizar un metaanálisis. Cuarto, varios estudios incluidos presentaron muestras pequeñas, autoinforme o evidencia indirecta sobre pensamiento computacional y habilidades STEM. En consecuencia, los hallazgos deben interpretarse como una síntesis de tendencias y no como una estimación causal única.

Conclusiones

La revisión identificó evidencia favorable, aunque metodológicamente heterogénea, sobre la contribución de la robótica educativa al pensamiento computacional y a determinadas habilidades STEM en estudiantes de básica superior o niveles equivalentes. Los resultados más sólidos se asociaron con programación activa, retos auténticos, aprendizaje por proyectos, retroalimentación y manipulación o simulación de sistemas robóticos. Persisten limitaciones en la medición de competencias STEM, la calidad de los diseños y la sostenibilidad tecnológica. La ausencia de estudios ecuatorianos elegibles constituye el principal vacío y sustenta la necesidad de investigaciones contextualizadas, comparativas y longitudinales.

Referencias

Alalawi, W. A., Mohamad Said, M. N. H., & Abdul Hanid, M. F. (2025). Effects of robotics programming on enhancing computational thinking among middle school students in Saudi Arabia. *Journal of Cases on Information Technology*, 27(1), 1–23. <https://doi.org/10.4018/JCIT.371403>

Altıok, S., & Üçgül, M. (2024). Effects of robotic coding on computational thinking skills of secondary school students. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 50(2), 1–24. <https://doi.org/10.21432/CJLT28607>

Anderhag, P., Salomonsson, N., Bürgers, A., Estay Espinola, C., Fahrman, B., Seifeddine Ehdwall, D., & Sundler, M. (2024). What strategies do students use when they are programming a robot to follow a curved line? *International Journal of Technology and Design Education*, 34, 691–710. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09841-x>

Andić, B., Maričić, M., Mumcu, F., Prodromou, T., Leoste, J., Saimon, M., & Lavicza, Z. (2024). Direct and indirect instruction in educational robotics: A comparative study of task performance per cognitive level and student perception. *Smart Learning Environments*, 11, Article 12. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00298-6>

Castro-San Martín, L., Hijón-Neira, R., Pizarro, C., & Cañas, J. M. (2024). Fostering computational thinking with simulated 3D robots in secondary education. *Computer Applications in Engineering Education*, 32(4), e22740. <https://doi.org/10.1002/cae.22740>

Chen, Z., & Zhu, J. (2025). Research on the design and practice of maker educational activities for the cultivation of computational thinking. En *GCCCE 2025 English Conference Proceedings* (pp. 103–106). <https://nlt.gcsce.net/ojs/index.php/GCCCE/article/view/569>

Chichekian, T., Trudeau, J., Jawhar, T., & Corliss, D. (2024). Experimenting with computational thinking for knowledge transfer in engineering robotics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(2), 859–875. <https://doi.org/10.1111/jcal.12921>

Coox-Yam, N. A., Díaz-Rosado, M., Castro-Villagrán, A., & Miranda-Ortiz, L. A. (2024). El impacto de la robótica educativa en las habilidades cognitivas de los adolescentes del Club "PY-BOT" en Champotón. *Conciencia Tecnológica*, 67-B, 32–41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94481870004>

Costa Junior, A. de O., Guedes, E. B., Lima e Silva, J. P. F., & Anglada Rivera, J. (2024). Developing computational thinking in middle school with an educational robotics resource. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 110, Article 49. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02082-7>

García-Pérez, L., Roldán-Álvarez, D., & Cañas, J. M. (2025). Does gender influence the learning process of computational thinking in secondary education? *Computer Applications in Engineering Education*, 33(3), e70050. <https://doi.org/10.1002/cae.70050>

Global Education Monitoring Report Team. (2023). *Global education monitoring report 2023: Technology in education: A tool on whose terms?* UNESCO. <https://doi.org/10.54676/UZQV8501>

Gong, X., Xu, W., Qiao, A., & Li, Z. (2025). Unravelling the computational thinking and spatial thinking development: An exploration of a virtual robot programming environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(2), e70007. <https://doi.org/10.1111/jcal.70007>

Gurkez, S., & Korucu, A. T. (2023). Robotic coding education of middle school students cognitive skills awareness and its effect on responsibility for learning: Abilix Krypton 7 example. *International Technology and Education Journal*, 7(1), 28–44. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1410787>

Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., O'Cathain, A., Rousseau, M.-C., Vedel, I., & Pluye, P. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for Information*, 34(4), 285–291. <https://doi.org/10.3233/EFI-180221>

Huang, Y.-T., Li, C.-L., Chang, C.-C., & Tarng, W. (2025). Enhancing computational thinking and programming logic skills with App Inventor 2 and robotics: Effects on learning outcomes, motivation, and cognitive load. *Sensors*, 25(22), Article 7059. <https://doi.org/10.3390/s25227059>

Jin, J., Olkowski, P., Lu, J. C., Liu, V., Bakri, I. M., Rao, A., Jin, Y.-F., & Xu, I. (2024). Eight-year journey with the FIRST program: How robots build kids. En *2024 ASEE Annual Conference & Exposition*. American Society for Engineering Education. <https://doi.org/10.18260/1-2--47228>

Manikutty, G. (2021). My robot can tell stories: Introducing robotics and physical computing to children using dynamic dioramas. En *2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE49875.2021.9637460>

Ministerio de Educación del Ecuador. (2021a). *Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales: Educación General Básica*,

subnivel

superior.

https://siteal.iep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/superior_curriculo-priorizado-con-enfasis-en-cc-cm-cd-cs.pdf

Ministerio de Educación del Ecuador. (2021b). *Guía de apoyo para los docentes en la implementación de metodología STEM-STEAM*. <https://recursos.educacion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/curriculares/Guia-de-proyectos-STEM-STEAM.pdf>

Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). *Guía metodológica de pensamiento computacional para docentes: Subnivel superior*. https://recursos.educacion.gob.ec/wp-content/uploads/curriculo/3_Superior_pensamiento_computacional.pdf

OECD. (2024). *OECD digital economy outlook 2024* (Vol. 2, *Strengthening connectivity, innovation and trust*). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/3adf705b-en>

Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11, Article 7. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Rao, T. S. S., & Bhagat, K. K. (2024). Computational thinking for the digital age: A systematic review of tools, pedagogical strategies, and assessment practices. *Educational Technology Research and Development*, 72, 1893–1924. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10364-y>

Smith, S., Novak, E., Schenker, J., & Kuo, C.-L. (2022). Effects of computer-based (Scratch) and robotic (Cozmo) coding instruction on seventh grade students' computational thinking, competency beliefs, and engagement. En J.-H. Kim, M. Singh, J. Khan, U. S. Tiwary, M. Sur, & D. Singh (Eds.), *Intelligent human computer interaction: 13th International Conference, IHCI 2021, revised selected papers* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 13184, pp. 325–336). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98404-5_31

Torres, I., & Inga, E. (2025). Fostering STEM skills through programming and robotics for motivation and cognitive development in secondary education. *Information*, 16(2), Article 96. <https://doi.org/10.3390/info16020096>

Zhan, Z., Zou, X., Zhang, G., Wu, Q., & Yao, J. (2025). Exploring the effect of performance assessment in robotics education: A tool for guidance or reflection? *Educational Technology & Society*, 28(4), 208–224. [https://doi.org/10.30191/ETS.202510_28\(4\).SP02](https://doi.org/10.30191/ETS.202510_28(4).SP02)

Zhang, Y., Luo, R., Zhu, Y., & Yin, Y. (2021). Educational robots improve K–12 students' computational thinking and STEM attitudes: Systematic review. *Journal of Educational Computing Research*, 59(7), 1450–1481. <https://doi.org/10.1177/0735633121994070>