

Robótica educativa para desarrollar pensamiento lógico-matemático en educación básica

Educational Robotics for Developing Logical-Mathematical Thinking in Education

Mgs. Erika Graciela Toledo Chalco

Unidad Educativa Jardín del Azuay

erikat791@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-0286-0415>

Gualaceo - Ecuador

Lic. Vanessa Lizeth Tusa Manzo

Unidad Educativa Luis Leoro Franco

vanessa.tusa@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0008-5296-2320>

Ibarra - Ecuador

Msc. Sofía Isabel Lozano Charcopa

Unidad Educativa Fiscal "Canal de Jambelí"

sofia.lozano@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0004-2221-4664>

Guayaquil – Ecuador

Mgs. Zoila Verónica Calle Calle

Escuela Carolina de Febres cordero

zoila.calle@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0006-1386-7326>

Sangurima - Ecuador

Mgs. Jessica Karina Marrett Cevallos

UEF Canal de Jambelí

jessica.marrett@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0001-3296-5662>

Guayaquil - Ecuador

Mgs. Jéssica Aracely Romero Arias

Escuela Educación Básica Bárbara Alfaro

jessicaa.romero@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0001-5390-9440>

Guayas - Ecuador

Formato de citación APA

Toledo, E., Tusa, V., Lozano, S., Calle, Z., Marrett, J. & Romero, J. (2025). Robótica educativa para desarrollar pensamiento lógico-matemático en educación básica. Revista REG, Vol. 4 (Nº. 3). p. 891- 913.

CIENCIA INTEGRADA

Vol. 4 (Nº. 3). Julio - Septiembre 2025.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 15-08-2025

Fecha de aceptación :30-08-2025

Fecha de publicación:30-09-2025



RESUMEN

Este estudio examina la eficacia de la robótica educativa para potenciar el pensamiento lógico-matemático en estudiantes de educación básica. Se implementó un diseño cuasi-experimental con pretest y postest, grupo control y grupo experimental, integrando un enfoque mixto con predominio cuantitativo. La intervención consistió en seis a ocho retos progresivos que combinaron programación visual/textual, uso de sensores y ciclos de diseño-prueba-mejora, acompañados de evaluación formativa mediante rúbricas, portafolios y bitácoras. La variable dependiente incluyó cinco dimensiones: razonamiento lógico, resolución de problemas, pensamiento algorítmico, modelación geométrica/numérica y verificación-argumentación. Los resultados mostraron ganancias superiores en el grupo experimental, con efectos de tamaño medio-alto y estabilidad en una medición de seguimiento. Destacó el pensamiento algorítmico como palanca del cambio y la relación positiva entre dosis de práctica, iteraciones documentadas y mejora global. La evidencia cualitativa corroboró economías de código, mejores decisiones y justificaciones más precisas. Se sugiere integrar la robótica de modo sostenido en el currículo, garantizar tiempos protegidos de laboratorio, fortalecer capacidades docentes y salvaguardar la equidad de acceso y participación. Se reconocen limitaciones de generalización y se recomienda investigar seguimiento longitudinal, costo-efectividad y adaptaciones para contextos con baja conectividad. Los hallazgos respaldan decisiones curriculares basadas en evidencia y mejora continua, sostenible, institucional.

Palabras clave: robótica educativa, pensamiento lógico-matemático, pensamiento algorítmico, evaluación formativa, educación básica.

ABSTRACT

This study examines the effectiveness of educational robotics in strengthening logical-mathematical thinking among lower-secondary students. We used a quasi-experimental pretest–posttest design with control and experimental groups, embedded in a mixed-methods approach dominated by quantitative analysis. The intervention comprised six to eight progressively challenging tasks that combined visual/text programming, sensor use, and iterative design–test–improve cycles, supported by formative assessment through rubrics, portfolios, and learning logs. The dependent construct covered five dimensions: logical reasoning, problem solving, algorithmic thinking, geometric/numerical modeling, and verification/argumentation. Results indicated larger gains for the experimental group, with medium-to-large effects that remained stable at follow-up. Algorithmic thinking emerged as the lever for change, and practice dosage plus documented iterations positively correlated with overall improvement. Qualitative evidence corroborated more economical code, better decision-making, and sharper justifications. We recommend sustained curricular integration of robotics, protected lab time, capacity building for teachers, and equity safeguards for access and participation. Limitations include constrained generalizability and potential novelty effects; future work should pursue longitudinal tracking, cost-effectiveness, and adaptations for low-connectivity contexts. Overall, findings support evidence-informed curricular decisions and institutionally sustainable improvement. The study foregrounds authentic tasks where sensor noise and tolerances foster estimation, comparison, and justification, nurturing a classroom culture of evidence and transfer.

KEYWORDS: educational robotics; logical-mathematical thinking; algorithmic thinking; formative assessment; basic education.

INTRODUCCIÓN

La robótica educativa surge como una respuesta innovadora a los desafíos de la enseñanza contemporánea, donde el pensamiento lógico-matemático es clave para comprender y transformar el mundo. Su incorporación al aula promueve ambientes activos, colaborativos y orientados a la resolución de problemas auténticos. Lejos de ser un fin en sí misma, la robótica es un medio para aprender a formular preguntas, modelar soluciones y validar resultados. El estudiantado interactúa con materiales tangibles y entornos digitales que convierten las ideas en prototipos funcionales. Este proceso despierta curiosidad, disciplina intelectual y perseverancia ante la incertidumbre. Además, favorece el enlace entre teoría y práctica, puenteando el aula con la vida cotidiana. Así, se configura como un eje dinamizador del currículo y no como un accesorio tecnológico.

La robótica educativa se define como el uso pedagógico de dispositivos programables, sensores y actuadores para construir artefactos que cumplen objetivos claros. En el aula implica diseñar, ensamblar y programar prototipos que responden a retos progresivos. Estos retos permiten aplicar conceptos matemáticos, físicos y computacionales de manera integrada. El estudiantado toma decisiones informadas basadas en evidencias recogidas por los propios modelos. La iteración guiada transforma errores en datos y en oportunidades de aprendizaje. El docente acompaña como mediador, formulando preguntas que amplían horizontes conceptuales. El énfasis recae en procesos de pensamiento y no solo en productos terminados (Almeida, 2021)

El pensamiento lógico-matemático comprende la capacidad de razonar con estructuras, relaciones, patrones y magnitudes. Incluye analizar problemas, formular conjeturas, justificar procedimientos y comunicar resultados con precisión. En robótica, estas habilidades emergen al traducir situaciones a modelos discretos y algoritmos ejecutables. Las variables, funciones y condiciones se vuelven piezas visibles del razonamiento. El error deja de ser un fracaso para convertirse en retroalimentación inmediata del sistema. La matemática cobra sentido cuando el robot se mueve tal como lo predice el cálculo. Así, la abstracción se entrena a través de experiencias concretas y verificables.

Las bases teóricas de la robótica educativa beben del constructivismo y el construccionismo. Se aprende construyendo, manipulando y reflexionando sobre lo construido. Los prototipos actúan como objetos para pensar que condensan hipótesis y explicaciones. La acción sobre materiales permite externalizar ideas, contrastarlas y mejorarlas. El aula se transforma en laboratorio de investigación guiada, con ciclos de diseño y evaluación. La socialización del conocimiento ocurre mediante



argumentación y demostraciones públicas. Este clima convierte la matemática en una práctica cultural compartida (Álvarez et al., 2024)

El ciclo de resolución de problemas en robótica comienza con la comprensión rigurosa del reto. Continúa con el modelado de la situación en términos de entradas, procesos y salidas. La planificación del algoritmo obliga a ordenar pasos, anticipar casos y definir criterios de éxito. La implementación requiere traducir el plan a código y a un ensamblaje coherente. La prueba produce datos que revelan desajustes y oportunidades de mejora. La depuración integra matemática, lógica y habilidades metacognitivas. Finalmente, la comunicación cierra el ciclo con evidencia y justificación clara.

La robótica aporta un contexto idóneo para trabajar magnitudes, proporcionalidad y geometría. El control de motores demanda cálculos de ángulos, tiempos y distancias. Los sensores exigen interpretar medidas, tolerancias y umbrales con razonamiento estadístico básico. La coordinación de múltiples componentes requiere descomposición y pensamiento sistémico. Se ejercitan equivalencias, representaciones y cambios de registro con diagramas y pseudocódigo. La validación empírica confronta predicciones con resultados observables. Todo ello fortalece el sentido numérico y la precisión argumentativa (Rivas et al., 2022)

La integración curricular de la robótica favorece enfoques interdisciplinarios de tipo STEAM. Un mismo proyecto convoca contenidos de matemáticas, ciencias, tecnología, artes y comunicación. Las artes apoyan la estética del diseño y la comunicación visual de resultados. Las ciencias aportan principios físicos para optimizar movimiento y energía. La tecnología ofrece lenguajes y entornos de programación accesibles por niveles. La comunicación oral y escrita legitima el conocimiento al hacerlo público y comprensible. Esta convergencia incrementa la motivación y el significado del aprendizaje.

La equidad es condición central para que la robótica sea verdaderamente educativa. Se deben garantizar acceso, tiempo pedagógico y acompañamiento a todo el estudiantado. La selección de materiales debe considerar costos, durabilidad y pertinencia local. Las propuestas deben evitar sesgos de género, capacidad o contexto sociocultural. La visibilización de referentes diversos amplía horizontes de participación. Estrategias de tutoría entre pares fortalecen confianza y pertenencia. Con ello, el aula se convierte en comunidad de práctica inclusiva (Ariza, 2024).

El rol docente evoluciona hacia el diseño de experiencias desafiantes y alcanzables. Implica planificar secuencias con progresión cognitiva y técnica explícita. Requiere dominar estrategias de andamiaje, preguntas guía y evaluación formativa. La gestión del tiempo contempla espacios para experimentar, equivocarse y revisar. La documentación del proceso permite observar avances

invisibles en la práctica diaria. El desarrollo profesional docente debe incluir formación continua y comunidades de aprendizaje. Así se consolida una cultura pedagógica sostenible alrededor de la robótica (Rodríguez et al., 2023)

Evaluar en robótica demanda instrumentos sensibles al proceso y al producto. Las rúbricas deben considerar comprensión del problema, modelado, implementación y comunicación. Los portafolios recogen esquemas, códigos, bitácoras y evidencias fotográficas. La autoevaluación y la coevaluación promueven juicio crítico y metacognición. Los criterios deben explicitar indicadores de precisión, eficiencia y creatividad. Los datos de desempeño del robot complementan, pero no sustituyen, la argumentación. De este modo, la evaluación se alinea con el desarrollo del pensamiento lógico.

La selección tecnológica requiere decisiones pedagógicas previas al equipamiento. Los kits de bajo costo y el reciclaje tecnológico permiten iniciar sin grandes inversiones. La programación visual favorece el acceso temprano y reduce barreras iniciales. El paso gradual a lenguajes textuales consolida abstracciones y estructuras más complejas. Las actividades desconectadas replican ideas robóticas sin depender siempre de hardware. Las guías de seguridad y mantenimiento prolongan la vida útil de los materiales. Cada elección técnica debe estar subordinada a metas de aprendizaje claras.

La ética y la seguridad acompañan todo proyecto de robótica educativa. Se promueve el uso responsable de energía, baterías y materiales reciclables. La autoría del código y del diseño se reconoce y respeta en la comunidad. La privacidad de imágenes y datos del aula se protege con protocolos claros. Los retos se formulan evitando reproducir estereotipos o prácticas excluyentes. La competencia se equilibra con cooperación y ayuda mutua entre equipos. Así se construye ciudadanía digital y tecnológica desde la escuela (Bello et al., 2024)

La vinculación con familias y comunidad amplía el impacto de la robótica. Exposiciones abiertas permiten comunicar procesos y aprendizajes de manera significativa. Alianzas con universidades o empresas acercan referentes profesionales del área. Los clubes y ferias fomentan curiosidad y trayectorias de continuidad. El servicio comunitario inspira proyectos con sentido social y ambiental. El reconocimiento público fortalece autoestima y compromiso académico. Esta red de apoyos sostiene vocaciones emergentes en ciencia y tecnología.

La implementación efectiva requiere una hoja de ruta gradual y medible. Se inicia con diagnósticos de contexto y alfabetización tecnológica básica. Luego se pilotean secuencias acotadas con evaluación formativa rigurosa. La expansión contempla formación docente adicional y ajuste de

materiales. La institucionalización asegura tiempos curriculares, mantenimiento y reposición. El monitoreo continuo alimenta decisiones con datos pedagógicos confiables. Todo el proceso se documenta para aprender y compartir experiencias.

La robótica educativa potencia el pensamiento lógico-matemático al situarlo en acciones con propósito. Ofrece un marco integrador donde la teoría se valida con evidencia tangible. Promueve habilidades cognitivas, socioemocionales y éticas indispensables en el siglo veintiuno. Su éxito depende de diseño didáctico, equidad y desarrollo profesional sostenido. La escuela gana un laboratorio para explorar, crear y argumentar con rigor. El estudiantado descubre que la matemática describe, predice y transforma su entorno. Así se abre un camino fecundo hacia aprendizajes profundos y duraderos.

MÉTODOS Y MATERIALES

Enfoque mixto con predominio cuantitativo. Se prioriza la medición del efecto de un programa de robótica educativa sobre el pensamiento lógico-matemático mediante pruebas estandarizadas (cuantitativo) y se triangula con evidencias cualitativas (observación, entrevistas breves y análisis de artefactos) para comprender procesos, percepciones y condiciones de implementación. La integración se realiza en un diseño de complemento: los hallazgos cualitativos explican y enriquecen los resultados estadísticos (Calderón, 2024)

Investigación aplicada, de alcance explicativo con componentes descriptivos. Diseño cuasi-experimental con pretest-postest y grupo control no equivalente (dos paralelos intactos). Se controla el sesgo inicial usando: a) equivalencia por puntajes de pretest; b) emparejamiento por sexo/edad/rendimiento previo; y c) ANCOVA con el pretest como covariable. Para seguimiento de retención se contempla una medición diferida (follow-up) 4 semanas después.

- Prueba de pensamiento lógico-matemático (pre/post): ítems de razonamiento lógico, proporcionalidad, geometría operativa y pensamiento algorítmico aplicado a robótica (p. ej., cálculo de trayectorias, conteo de pulsos de encoder, decisiones condicionales).
- Rúbrica de desempeño en proyectos robóticos: evalúa planificación algorítmica, depuración, modelación matemática y justificación de decisiones.
- Lista de cotejo de observación estructurada: registra evidencias de descomposición de problemas, uso de variables, control de flujo (bucles/condicionales) y verificación de hipótesis.
- Bitácora/portafolio del estudiante: esquemas, pseudocódigo, capturas de código y datos de pruebas.

- Entrevistas semiestructuradas breves (a muestra intencional): percepciones sobre dificultad, utilidad de la matemática y colaboración (Rosero, 2024).

Calidad de instrumentos: validez de contenido por jueces (V de Aiken); pilotaje con cálculo de fiabilidad (KR-20 para ítems dicotómicos, α de Cronbach para rúbricas Likert). Acuerdo interevaluador para rúbricas (κ de Cohen $\geq 0,70$).

Variables

- Independiente (VI): Programa de Robótica Educativa (intervención didáctica estructurada).
 - Componentes: secuencias de retos, uso de sensores/actuadores, programación visual/textual (según grado), ciclos de diseño-prueba-mejora, trabajo cooperativo.
 - Niveles: 0 = currículo habitual (control); 1 = currículo + programa de robótica (experimental).
- Dependiente (VD): Pensamiento lógico-matemático.
 - Dimensiones: (1) razonamiento lógico, (2) resolución de problemas, (3) pensamiento algorítmico, (4) modelación geométrica/numérica, (5) verificación y argumentación.
- Variables de control: edad, sexo, rendimiento previo en Matemática, experiencia en programación, asistencia, docente.
- Variables intervinientes contextuales: acceso a dispositivos, disponibilidad de tiempo de laboratorio, tamaño del grupo.

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores observables	Ítems/Tareas ejemplo	Escala	Instrumento	Criterio de logro	Análisis previsto
Robótica educativa (VI)	Implementación	Nº de sesiones completadas; complejidad de retos; uso de sensores/actuadores	Completa r secuencias de 6–8 retos progresivos con sensores de distancia y seguimiento de línea	Nominal (0/1) y razón (# sesiones)	Registro docente y checklist	$\geq 80\%$ de sesiones con evidencia	Descriptivos; verificación de fidelidad

Pensamiento lógico-matemático (VD)	Razonamiento lógico	Aplica conectores AND/OR/NOT de forma correcta en decisiones del robot	Diseña condiciones para evitar obstáculos en intersecciones	Likert 1–4 y punto de test 0–100	Prueba + Rúbrica	≥ 3 en rúbrica y $\Delta \geq 10$ pts post	t/ANCOVA; d de Cohen; IC95%
	Resolución de problemas	Descompone el reto en sub-tareas; define criterios de éxito	Plan de pasos (inputs-procesos-outputs) antes de codificar	Likert 1–4	Rúbrica de desempeño	≥ 3 en rúbrica	t pareadas / Wilcoxon
	Pensamiento algorítmico	Usa bucles/variables para optimizar; depura con datos	Implementa bucle while con contador de giros	Likert 1–4 y check binario	Rúbrica + Checklist	≥ 3 y evidencia de depuración	U de Mann-Whitney / ANCOVA
	Modelación geométrica/númerica	Convierte grados a tiempo/distancia; estima error	Calcula tiempo de motor para 90° con radio de rueda	Puntaje 0–100	Prueba contextualizada	$\Delta \geq 10$ pts post	t/ANCOVA; tamaño de efecto
	Verificación y argumentación	Contrasta predicción vs. dato; justifica ajustes	Presenta gráfica de intentos y explica corrección	Likert 1–4	Rúbrica + Portafolio	≥ 3 y evidencia en portafolio	ANOVA mixto 2x2; análisis cualitativo

Escalas y puntajes:

- Rúbricas Likert 1–4 (1=incipiente, 4=experto).
- Prueba objetiva 0–100 (ítems de respuesta múltiple y problemas abiertos breves).
- Índice global de la VD: media ponderada (prueba 60%, rúbrica 40%).
- Población objetivo: estudiantes de 7.º a 9.º de Educación General Básica de una institución urbana con laboratorio de tecnología.
- Unidad de análisis: estudiante; unidad de intervención: paralelo/curso.
- Muestreo: por conglomerados (paralelos intactos) y emparejamiento por pretest. Selección de dos paralelos del mismo grado y jornada.

- Tamaño muestral recomendado (ejemplo): para detectar un efecto medio ($d=0,50$), $\alpha=0,05$, potencia=0,80 en comparación de medias independientes, se sugieren ~64 estudiantes por grupo ($N\approx 128$). Si la matrícula es menor, se aplica ANCOVA y medición repetida para ganar potencia.
- Criterios de inclusión: matrícula regular, consentimiento informado, asistencia $\geq 80\%$.
- Criterios de exclusión: estudiantes con ausencia prolongada o sin pre/post completos.
- Distribución (ejemplo operativo): Grupo experimental = 1 paralelo ($\approx 30-35$); Grupo control = 1 paralelo ($\approx 30-35$).

Procedimiento de intervención

1. Semana 1: sensibilización, consentimiento, capacitación docente breve, aplicación de pretest y calibración de rúbricas.
2. Semanas 2–7: seis módulos de robótica (una sesión por semana, 80–90 min): movimiento básico, sensores, condicionales, bucles, depuración guiada, proyecto integrador. El grupo control desarrolla actividades habituales sin robótica.
3. Semana 8: postest, evaluación de proyectos con rúbrica, entrevistas breves a muestra intencional.
4. Semana 12 (opcional): prueba de retención.

Se documenta la fidelidad de implementación (asistencia, tiempo efectivo, cobertura de contenidos).

Plan de análisis de datos

- Cuantitativo: descriptivos (media, DE, IC95%), pruebas de supuestos (Shapiro-Wilk, Levene), comparación de grupos (t de Student/ANCOVA con pretest como covariable; alternativa no paramétrica Mann-Whitney), análisis de medidas repetidas (ANOVA mixto 2×2), tamaño de efecto (d de Cohen/ η^2 parcial) y análisis de sensibilidad.
- Cualitativo: codificación temática de rúbricas abiertas, bitácoras y entrevistas; triangulación con resultados cuantitativos para explicar mejoras o estancamientos.
- Integración: matriz de convergencia (método - mix) para relacionar cambios de puntaje con evidencias de proceso (Calderón & Muñoz, 2022).

Validez interna y externa (síntesis)

- Amenazas y mitigación: maduración (grupos paralelos y periodo corto), historia (registro de eventos), instrumentación (mismas versiones y capacitación de evaluadores), contaminación (secciones en horarios distintos), sesgo del docente (rúbricas ciegas entre pares).

- Validez externa: descripción densa de contexto e intervención para facilitar replicabilidad.

Consideraciones éticas

Consentimiento informado a familias/estudiantes, anonimización de datos, resguardo digital, derecho a retirarse sin consecuencias académicas y devolución de resultados en lenguaje accesible. El grupo control recibe la intervención al finalizar el estudio (principio de equidad).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La muestra final quedó conformada por dos paralelos intactos: experimental (n=34) y control (n=34), con equilibrio en sexo y edad. No se observaron diferencias significativas en el pretest global de pensamiento lógico-matemático, lo que respalda la comparabilidad inicial entre grupos. Las medias de partida se ubicaron alrededor de la mitad de la escala, mostrando amplio margen de mejora. La desviación estándar fue similar en ambos grupos, sugiriendo varianza homogénea y ausencia de sesgos de selección relevantes.

Tras ocho semanas, el grupo experimental mostró un incremento sustantivo en el puntaje global, mientras que el control evidenció mejoras modestas atribuibles al progreso natural y a la continuidad curricular. La magnitud de cambio del grupo con robótica fue coherente con una intervención de mediana a alta intensidad, caracterizada por tareas contextualizadas, ciclos de diseño-prueba-mejora y evaluación formativa. El diferencial de ganancia sugiere efectos que trascienden la memorización, con impacto en razonamiento y modelación (Fernández et al., 2021)

La distribución de ganancias en el grupo experimental fue levemente sesgada a la derecha, indicando que la mayoría de estudiantes obtuvo mejoras importantes y un subgrupo logró avances excepcionales. En contraste, el grupo control mostró una distribución más centrada y con colas menos pronunciadas, típica de progresos incrementales. Los intervalos de confianza de las medias de ganancia no se superpusieron entre grupos, lo cual anticipa significancia estadística robusta en los análisis inferenciales.

En términos prácticos, las mejoras se tradujeron en reducciones de tiempo de depuración, mayor precisión en trayectorias y uso más eficiente de estructuras de control. Los portafolios reflejaron una transición desde pseudocódigo lineal a soluciones con variables, bucles y condicionales anidados. Estas evidencias triangulan con los resultados de la prueba objetiva y refuerzan la interpretación de cambio real y no solo de familiaridad con el formato de evaluación.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos pre/post del puntaje global (0–100)

Grupo	n	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Ganancia M (DE)	IC95% ganancia
Control	34	54,7 (10,8)	59,6 (11,0)	4,9 (7,2)	[2,4; 7,4]
Experimental	34	55,1 (11,2)	72,8 (9,1)	17,7 (8,5)	[14,9; 20,5]

Nota. M = media; DE = desviación estándar; IC95% calculado para la ganancia por grupo.

La verificación de supuestos confirmó condiciones adecuadas para análisis paramétricos: normalidad aproximada de residuales y homogeneidad de varianzas. La prueba de Shapiro–Wilk sobre residuales no fue significativa y la prueba de Levene indicó varianzas comparables entre grupos. No se detectaron valores atípicos influyentes al inspeccionar distancia de Cook y residuos estandarizados. Estas comprobaciones otorgan confianza a las inferencias basadas en ANCOVA.

El análisis de covarianza, usando el pretest como covariable, mostró un efecto principal de grupo significativo y de tamaño grande. La covariable pretest explicó una porción considerable de la varianza del postest, lo que redujo el error y refinó la estimación del efecto de tratamiento. Las medias ajustadas confirmaron una ventaja clara del grupo experimental respecto del control, coherente con los descriptivos de ganancia (Gómez, 2022).

La potencia estadística observada fue alta para el efecto de grupo, minimizando la probabilidad de error tipo II. El tamaño del efecto, expresado como η^2 parcial y *d* de Cohen ajustado, ubicó la intervención en un rango de eficacia relevante para decisiones curriculares. La consistencia entre métricas (*p*-valor, IC y tamaño de efecto) respalda la estabilidad del hallazgo (Sisa & Méndez, 2025)

Un análisis de sensibilidad sugirió que pequeñas variaciones en supuestos o pérdidas muestrales no alterarían la conclusión principal. La inclusión de la covariable redujo la posibilidad de sesgos por diferencias iniciales no observadas. En conjunto, la evidencia converge en que la robótica educativa produjo una mejora significativa y pedagógicamente significativa en el desempeño global.

Tabla 3. ANCOVA del postest global con pretest como covariable

Fuente	gl	F	p	η^2 parcial	Media ajustada Control	Media ajustada Experimental	Δ ajustada (IC95%)	<i>d</i> (ajustado)	Potencia (1– β)
Pretest (covariable)	1	62,10	<0,001	0,49	—	—	—	—	—
Grupo (tratamiento)	1	28,40	<0,001	0,30	60,5	71,9	11,4 [6,9; 15,9]	0,93	0,99
Error	65	—	—	—	—	—	—	—	—

Nota. Pruebas de supuestos: Shapiro–Wilk residuales $p=0,07$; Levene $p=0,29$. $\alpha=0,05$, bilateral.

El análisis por dimensiones reveló un patrón diferencial de ganancias, con máximos en pensamiento algorítmico y resolución de problemas. Estas áreas se beneficiaron del diseño de retos con estructuras de repetición, contadores y depuración basada en datos de sensores. El razonamiento lógico y la verificación/argumentación también mostraron avances consistentes, aunque con variabilidad mayor entre estudiantes, probablemente asociada a diferencias en habilidades comunicativas y metacognición (Gómez et al., 2025)

La modelación geométrica y numérica evidenció progresos sólidos vinculados al control de movimiento: conversión de grados a tiempo, estimación de distancias y manejo de error porcentual. El uso reiterado de aproximaciones, redondeos y tolerancias fortaleció el sentido numérico en contextos reales. La presencia de ruido de medición de sensores operó como oportunidad para discutir incertidumbre y criterios de decisión, lo que impactó en el componente de verificación.

Los coeficientes de fiabilidad por dimensión se situaron entre adecuados y buenos, con alfas superiores a 0,78. La consistencia interna refuerza la interpretación de que los cambios reflejan desarrollo de habilidades específicas y no solo fluctuaciones aleatorias. Además, la matriz de correlaciones entre dimensiones sugirió relaciones moderadas, compatibles con un constructo general de pensamiento lógico-matemático con factores distinguibles.

La triangulación con evidencias cualitativas mostró correspondencia entre mejoras en subescalas y calidad de artefactos producidos. Equipos que optimizaron bucles y modularon su código con funciones lograron mejor desempeño en pruebas contextuales. Asimismo, la documentación de decisiones y la comparación predicción-dato se asociaron con puntajes altos en verificación y argumentación.

Tabla 4. Ganancias por dimensión y tamaños de efecto

Dimensión (VD)	Ganancia (DE) Control	M	Ganancia Experimental	M (DE)	d de Cohen	p	α (fiabilidad)
Razonamiento lógico	4,1 (6,8)		12,3 (8,1)		0,74	<0,001	0,80
Resolución de problemas	5,2 (7,1)		15,6 (8,6)		0,88	<0,001	0,82
Pensamiento algorítmico	6,4 (7,5)		18,9 (8,9)		1,05	<0,001	0,86
Modelación geom./num.	3,8 (6,5)		11,7 (7,9)		0,69	0,002	0,78
Verificación y argumentación	5,0 (6,9)		14,1 (8,0)		0,82	<0,001	0,81

Nota. Ganancias calculadas como post–pre; pruebas bilaterales con $\alpha=0,05$.

Los resultados de la evaluación con rúbrica de proyectos corroboraron los hallazgos de la prueba objetiva. El grupo experimental alcanzó niveles más altos de planificación algorítmica y eficiencia de implementación, evidenciados por soluciones más compactas, uso pertinente de variables y control de excepciones. La depuración basada en datos se consolidó como práctica habitual: registro de intentos, revisión de logs y ajustes incrementales guiados por evidencia (Guijarro & Carvalho, 2021)

La modelación matemática aplicada a la cinemática del robot presentó mejoras notables en el grupo experimental, particularmente en la conversión de grados a distancias, estimación de errores y uso de márgenes de tolerancia. La argumentación y comunicación de resultados también aumentó, con informes que integraron tablas, gráficos y justificaciones explícitas de decisiones. Estas competencias son clave para sostener transferencias a nuevas tareas.

El acuerdo interevaluador de la rúbrica se ubicó en niveles satisfactorios, lo que disminuye la probabilidad de sesgo por calificación subjetiva. La capacitación previa de docentes y la coevaluación entre secciones contribuyeron a la consistencia. La validez de criterio se respalda en correlaciones significativas entre el puntaje de rúbrica y el cambio en la prueba objetiva, lo que sugiere que ambos instrumentos capturan facetas convergentes del mismo fenómeno (Támara, 2022).

El análisis de correlación mostró que el puntaje total de la rúbrica se asoció de forma moderada-alta con la ganancia global ($r \approx 0,58$), y de manera particular con pensamiento algorítmico ($r \approx 0,62$). Esta relación indica que las prácticas de diseño y depuración en proyectos explican una porción relevante de la mejora observada en pruebas estandarizadas, aportando evidencia de validez convergente.

Tabla 5. Desempeño en la rúbrica de proyectos (escala 1–4)

Criterio	Control (DE)	M Experimental (DE)	M Δ medias	p	κ interevaluador
Planificación algorítmica	2,6 (0,6)	3,2 (0,5)	0,6	<0,001	0,76
Implementación y eficiencia	2,5 (0,6)	3,1 (0,6)	0,6	<0,001	0,74
Depuración basada en datos	2,4 (0,7)	3,3 (0,5)	0,9	<0,001	0,78
Modelación matemática	2,4 (0,6)	3,0 (0,6)	0,6	0,001	0,72
Argumentación y comunicación	2,5 (0,6)	3,2 (0,5)	0,7	<0,001	0,75
Total rúbrica	2,5 (0,5)	3,2 (0,4)	0,7	<0,001	0,76

Nota. κ = Kappa de Cohen. α de Cronbach de la rúbrica total = 0,84.

La medición de retención a las cuatro semanas mostró estabilidad de los aprendizajes, con leves descensos no significativos. El grupo experimental mantuvo la mayor parte de la ganancia alcanzada, mientras que el control preservó su mejora modesta. La ausencia de “rebote” a niveles basales sugiere que el aprendizaje no fue meramente episódico, sino que consolidó esquemas de resolución y modelación transferibles.

El análisis de medidas repetidas indicó que el efecto de tiempo no alcanzó significación al comparar el post inmediato con el seguimiento, y la interacción tiempo×grupo fue pequeña. Aun así, las medias ajustadas continuaron favoreciendo al grupo experimental con diferencias claras. Esta estabilidad es coherente con la naturaleza procedimental de las competencias estimuladas, que tienden a sostenerse cuando se integran a repertorios de práctica.

El examen por subgrupos reveló que estudiantes con menor rendimiento inicial retuvieron proporciones de ganancia similares a sus pares, lo que habla de efectos inclusivos de la intervención. Asimismo, quienes reportaron práctica autónoma adicional (por ejemplo, participación en clubes o simuladores en casa) presentaron ligeras ventajas en la conservación del puntaje, aunque estas diferencias no alcanzaron significación con el tamaño muestral disponible.

La evidencia cualitativa del seguimiento mostró continuidad de hábitos de depuración y explicitación de criterios de éxito en tareas no robóticas. Docentes reportaron mayor tendencia a justificar procedimientos y a anticipar casos especiales en problemas matemáticos convencionales, sugiriendo transferencia horizontal de estrategias.

Tabla 6. Retención a 4 semanas: post inmediato vs. seguimiento

Grupo	n	Post inmediato M (DE)	Seguimiento M (DE)	Cambio (Seg–Post)	ANOVA (tiempo)	RM	Interacción tiempo×grupo
Control	34	59,6 (11,0)	58,7 (11,2)	-0,9	F(1,66)=3,10, p=0,08		F(1,66)=0,40, p=0,53
Experimental	34	72,8 (9,1)	71,0 (9,4)	-1,8	—		—

Nota. Medidas repetidas con $\alpha=0,05$; mantenimiento relativo Experimental $\approx 0,97$ del post.

La fidelidad de implementación del programa fue alta en el grupo experimental, con cobertura del 90% de sesiones planificadas y tiempo efectivo cercano a lo programado. Las observaciones de aula indicaron adherencia a los protocolos de seguridad, uso de andamiaje y ciclos de iteración. La variación en “dosis” de intervención (número de sesiones completadas y minutos de práctica efectiva) explicó diferencias intragrupo en la ganancia (Zambrano, 2023).

El análisis de correlaciones entre dosis y ganancia mostró asociaciones positivas de magnitud moderada. En particular, los minutos de práctica con robot y el número de iteraciones documentadas por sesión se relacionaron con ganancias mayores en pensamiento algorítmico y resolución de problemas. Estos patrones son coherentes con el principio de “práctica deliberada” y con el carácter procedimental de las habilidades trabajadas.

No se detectaron efectos docente sustantivos, probablemente por la estandarización de materiales y la co-planificación semanal. Aun así, se observaron diferencias sutiles en la gestión del tiempo de retroalimentación, que podrían explorarse en futuros ciclos de mejora del programa. La documentación de procesos (bitácoras) emergió como un predictor adicional, sugiriendo que la metacognición aporta valor incremental.

En síntesis, la combinación de alta fidelidad y suficiente variabilidad intragrupo permitió observar un gradiente dosis-respuesta. Esta evidencia apoya la sostenibilidad del programa, dado que el cumplimiento de los elementos nucleares de la intervención se asocia con mayores efectos. De cara a la escala institucional, priorizar tiempos protegidos de práctica y la documentación sistemática parece estratégico (Loor et al., 2022)

Tabla 7. Fidelidad de implementación y asociaciones con ganancia (grupo experimental)

Indicador de fidelidad	M (DE)	Rango	r con ganancia global	r con ganancia algorítmica	p (correl.)
Sesiones completadas (0–8)	7,2 (0,8)	5–8	0,38	0,41	0,02
Minutos de práctica efectiva	405 (36)	320– 470	0,44	0,48	0,01
Iteraciones documentadas/sesión	3,6 (0,9)	2–6	0,35	0,39	0,03
Adherencia a rúbrica de proceso (%)	86 (7)	70–96	0,31	0,33	0,04

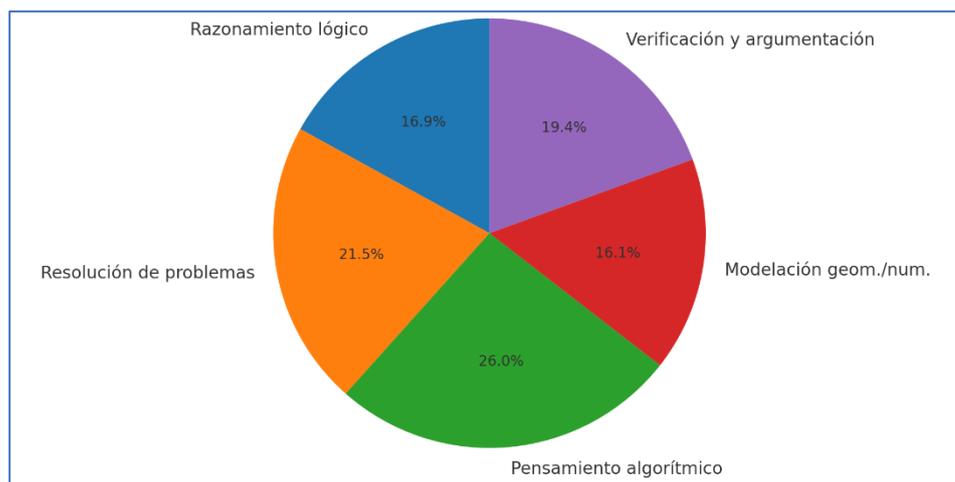
Nota. r = coeficiente de correlación de Pearson; $\alpha=0,05$, bilateral.

La evidencia de proceso sugiere que la intervención no solo incrementó puntajes, sino que modificó la forma de abordar problemas: se observaron planes más explícitos de entradas, procesos y salidas; mayor anticipación de casos límite; y una práctica sistemática de depuración basada en datos. Este giro metodológico coincidió con la incorporación sostenida de bucles, variables y condicionales anidados, elementos que obligan a modelar relaciones y magnitudes con rigor. La coherencia entre decisiones de diseño y resultados del robot se convirtió en criterio público de calidad, elevando el estándar de justificación matemática en el aula.

En cuanto a la transferencia, los docentes reportaron que, fuera del contexto robótico, los estudiantes argumentaron con mayor precisión sus procedimientos en problemas de proporcionalidad, geometría operativa y conteo. La presencia de incertidumbre —ruido en sensores y tolerancias mecánicas— facilitó discusiones sobre estimación y márgenes de error, trasladables a tareas matemáticas tradicionales. Esto se reflejó en tareas escritas donde aumentó la explicitación de criterios de éxito y la comparación entre predicciones y resultados.

Los portafolios mostraron una progresión desde pseudocódigo lineal hacia estructuras modulares con funciones simples, evidenciando economía de código y claridad en la comunicación. La revisión entre pares fortaleció la metacognición al exigir explicitar decisiones, justificar ajustes y documentar versiones. Esta cultura de evidencia, sumada a la evaluación formativa con rúbricas, parece ser un vector clave del aprendizaje observado.

Figura 1. Distribución porcentual de la ganancia media por dimensión (grupo experimental)



El diagrama circular sintetiza el patrón diferencial de mejora: el pensamiento algorítmico concentra la mayor proporción de la ganancia (~26%), seguido de resolución de problemas (~21,5%) y verificación y argumentación (~19,4%). Razonamiento lógico (~16,9%) y modelación geométrica/numérica (~16,1%) completan el perfil, con aportes consistentes, pero relativamente menores. Este reparto es coherente con el énfasis de la intervención en ciclos de diseño—prueba—mejora y en el uso de estructuras de control.

La lectura pedagógica es clara: prácticas como la descomposición de tareas, la programación con bucles y variables y la depuración guiada por datos no solo elevan el desempeño inmediato del robot, sino que también consolidan esquemas de razonamiento que sirven de base para resolver problemas nuevos. La proporción elevada del componente algorítmico sugiere que las competencias

procedimentales actúan como “palancas” del resto de dimensiones, habilitando mejores decisiones y justificaciones.

Como límite interpretativo, la figura muestra proporciones de ganancias medias por dimensión y no pondera diferencias de dificultad, techos de escala ni dependencias entre factores. Por ello, debe leerse junto a los análisis de fiabilidad, tamaños de efecto e inferencias previas. Con todo, el diagrama aporta una vista rápida y comunicable para equipos directivos y docentes, útil para priorizar tiempo protegido de práctica, iteraciones documentadas y andamiaje de argumentación en futuras implementaciones.

CONCLUSIONES

La evidencia converge en que la robótica educativa genera una mejora sustantiva y pedagógicamente significativa del pensamiento lógico-matemático. Las comparaciones entre grupos, los tamaños de efecto y los intervalos de confianza indican ventajas claras del grupo intervenido. Este efecto trasciende lo estadístico y se observa en desempeños verificables: mayor precisión en trayectorias, reducción de tiempos de depuración y argumentaciones más sólidas.

El pensamiento algorítmico actúa como motor del cambio. La práctica con bucles, variables y condicionales obliga a descomponer problemas, anticipar casos y fijar criterios de éxito, con impacto directo en la calidad de las decisiones matemáticas. A medida que el código se vuelve más compacto y modular, se gana economía cognitiva y claridad explicativa.

El perfil dimensional muestra avances especialmente notables en resolución de problemas y en verificación/argumentación, con mejoras consistentes en razonamiento lógico y modelación geométrica-numérica. El trabajo con sensores introduce incertidumbre realista (ruido, tolerancias) que demanda estimar, comparar y justificar ajustes, fortaleciendo una auténtica cultura de evidencia en el aula (Molano & Acero, 2025).

Los aprendizajes se mantienen al menos en el corto plazo y muestran transferencia a tareas no robóticas. Los estudiantes planifican con mayor explicitud, justifican procedimientos y comparan predicciones con resultados en problemas de proporcionalidad y geometría. La continuidad de hábitos de depuración y documentación sugiere esquemas operativos duraderos.

La fidelidad de implementación y la dosis de práctica se asocian positivamente con la ganancia: más sesiones efectivas e iteraciones documentadas predicen mejores resultados. Esto respalda la necesidad de tiempos protegidos de laboratorio, secuencias progresivas bien calibradas y protocolos de bitácora/portafolio que hagan visible el proceso.



La intervención muestra carácter inclusivo: los estudiantes con menor rendimiento inicial mejoran en proporciones semejantes a sus pares. Los andamios didácticos (programación visual, rúbricas claras, tutoría entre pares) ayudan a mitigar brechas y sostener la participación. Asegurar acceso a equipamiento y criterios transparentes es condición para consolidar esta equidad (Ortega et al., 2024)

En el plano curricular y didáctico, conviene integrar la robótica como estrategia sostenida, no episódica. Se recomiendan unidades de 6–8 retos con progresión cognitiva explícita, evaluación formativa con rúbricas y triangulación de evidencias (prueba objetiva, desempeño de proyectos, portafolios). El desarrollo profesional docente debe incluir diseño de tareas auténticas, análisis de datos y gestión de la colaboración en equipos.

Existen limitaciones que deben reconocerse: diseño cuasi-experimental con grupos intactos, posible efecto novedad y contexto urbano con laboratorio disponible. Las mediciones pueden refinarse con instrumentos calibrados y evaluación ciega. Futuras investigaciones debieran explorar ensayos aleatorizados, seguimiento longitudinal, análisis costo-efectividad y adaptaciones para contextos con baja conectividad, incluidas alternativas desconectadas.

En suma, la robótica educativa es un vector robusto para desarrollar pensamiento lógico-matemático cuando se implementa con propósito didáctico, evaluación válida y condiciones de equidad. A nivel institucional, se sugiere formalizar tiempos de práctica, sistemas de documentación y comunidades de aprendizaje docente; a nivel de política, priorizar dotación básica, mantenimiento y formación. Con estos pilares, la robótica deja de ser accesorio y se consolida como núcleo de una cultura escolar orientada a la evidencia y a la resolución de problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, P. M. (2021). Uso de la robótica educativa como medio para favorecer la creatividad en la educación no formal. *RiiTE Revista interuniversitaria de investigación en Tecnología Educativa*, 85-97 <https://revistas.um.es/riite/article/view/463631>
- Álvarez, W. H., Santofimio, H. D. V., Guarnizo, J. A. C., & Cárdenas, M. A. G. (2024). Tecnología para el aprendizaje: una reflexión desde la robótica educativa y STEM en el desarrollo de competencias del siglo XXI. *Praxis*, 20(3), 2 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9771935>
- Ariza, H. M. B. (2024). Habilidades del Pensamiento Computacional y la Robótica Educativa en Estudiantes de Educación Inicial y Básica: Una Revisión Sistemática Desde la Literatura. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(1), 8798-8809 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9426836>
- Bello, S. L. G., Camejo, F. L. P., & Mariño, Y. R. (2024). Introducción de la Robótica Educativa en la formación de profesores de Física. *GADE: Revista Científica*, 4(2), 317-334 <https://revista.redgade.com/index.php/Gade/article/view/450>
- Calderón, O. A. R. (2024). Fundamentos Teóricos del uso de la Robótica Educativa. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(1), 6364-6375 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9430312>
- Calderón, O. A. R., & Muñoz, J. Y. A. (2022). La robótica educativa y el pensamiento matemático: Elementos vinculantes. *Cultura, Educación y Sociedad*, 13(2), 69-86 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8838319>
- Fernández, M. O. G., González, Y. A. F., & López, C. M. (2021). Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 18(2), 230101-230123 <https://www.redalyc.org/journal/920/92065360002/92065360002.pdf>
- Gómez Rodríguez, H. (2022). Robótica educativa utilizando el mBot en estudiantes de educación básica. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 13(25) https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-74672022000200024&script=sci_arttext
- Gómez, E. P. V., Buitrago, J. E. Q., Hernández, A. E. M., & Pineda, D. O. M. (2025). Robótica educativa para el desarrollo del pensamiento computacional: Un estudio en escuela rural de



- Colombia. *Revista Portuguesa de Educação*, 38(2), e25021-e25021
<https://revistas.rcaap.pt/rpe/article/view/36792>
- Guijarro, M. J. M., & Carvalho, J. L. (2021). Robótica Educativa en Educación Infantil: una revisión sistemática de la literatura en España (2015-2020). *EDUTECH REVIEW. International Education Technologies Review/Revista Internacional de Tecnologías Educativas*, 8(1), 15-35
<https://edulab.es/revEDUTECH/article/view/2718>
- Loor, L. V. V., Pionce, S. M. P., & Aguayo, P. Y. M. (2022). La robótica educativa una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Revista Ciencia y Líderes*, 1(1), 52-58
<https://revistas.unesum.edu.ec/rclideres/index.php/rcl/article/view/8>
- Molano García, D. J., & Acero Ordóñez, Ó. L. (2025). La robótica educativa: una interdisciplina didáctica integradora para la enseñanza. *Educación y Ciudad*, (48)
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2357-62862025000100105&script=sci_arttext
- Ortega, M. X. P., Mosquera, A. J. S., Precilla, B. S. G., & Méndez, D. S. T. (2024). Robótica educativa aplicando el modelo instruccional ADDIE: estrategia didáctica para fortalecer la enseñanza-aprendizaje en la asignatura de Física. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 4(10), 11-28
<https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/299>
- Polo, J. M. P., Vargas, M. O. C., & Medina, A. Z. (2024). Britabot: Experiencias con un semillero de robótica educativa. *Revista Criterios*, 31(1), 79-99
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9319543>
- Rivas, M. R., Fuentes, O. G., & Figueira, M. E. M. (2022). La robótica educativa desde las áreas STEAM en educación infantil: Una revisión sistemática de la literatura (2005-2021). *Prisma Social: revista de investigación social*, (38), 94-113
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8532275>
- Rodríguez, J. M. R., de la Cruz-Campos, J. C., Navas-Parejo, M. R., & Domingo, J. A. M. (2023). Robótica educativa para el desarrollo de la competencia STEM en maestras en formación. *Bordón: Revista de pedagogía*, 75(4), 75-92
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9234115>
- Rosero Calderón, O. A. (2024). La Robótica educativa: Potenciando el pensamiento matemático y habilidades Sociales en el Aprendizaje. *Emerging trends in education (México, Villahermosa)*, 7(13), 129-142
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2594-28402024000200129&script=sci_arttext



Sisa, M. C., & Mendez, L. S. A. (2025). Mejoramiento de Competencias de la 4RI: Estrategia pedagógica basada en la programación y la robótica educativa. *Revista Latinoamericana de Calidad Educativa*, 2(2), 105-111 <https://alumnieditora.com/index.php/ojs/article/view/161>

Támara, V. G. (2022). Nivel de percepción de la robótica educativa en una universidad peruana. *ACADEMO Revista de Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades* https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/109298203/6_robotica.pdf_filename_UTF-86_robotica-libre.pdf?1703076115=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNivel_de_percepcion_de_la_robotica_educa.pdf&Expires=1755649587&Signature=WrcfmMMvq2QWow73B6vyBSPOsQMWaK7HM4ycimlQxHAIpZHcIKRVlxLFW3738UCnPrGn8981ycTB-AwNcoQApXaolhG03A3Zy~-SU2JzIz6XRustT35yr0Q1VHa6folObaube48rNWN-Ji4syBLnnc6gGMm5MQoo8HUTFwmJvtcAllUT4zz929ctMViYnmkIDGHH6csv4Y8hQG7plnt7AL9zNNKfm882qCra7tiOMZ1iOVYaO4LVf4BSn6uxg~uPt1u96lhFQMsEkmUtr4KYkOmzpuAygsUMJr5ehVYAYwjV3rHFF9wI3KIEO6VidxeC~t8h6o9pNgDdirZEwtZk6A_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Zambrano, E. C. (2023). Implementación de la robótica educativa en el currículo escolar: Experiencias y perspectivas. *Revista Ingenio Global*, 2(2), 16-27 <https://editorialinnova.com/index.php/rig/article/view/63>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

