UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

SCIENTIA ET TECHNICUS
IN SERVITIUM POPULI

INNOVAR *para incluir*

Kit **STEAM** inteligente como motor del **desarrollo aritmético y neurocognitivo** en contextos urbanos y rurales

S CIENCIA
T TECNOLOGÍA
E INGENIERÍA
A ARTE
M MATEMÁTICAS

EDITORIAL
SAGA

Innovar para Incluir

Kit STEAM Inteligente como Motor del Desarrollo Aritmético y Neurocognitivo en Contextos Urbanos y Rurales

PhD. Daniel David Sono Toledo
Universidad Técnica del Norte
ddsono@utn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0001-9492-3129

PhD. Adriana Elizabeth Aroca Fárez
Universidad Técnica del Norte
aearoca@utn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0001-6361-3996

PhD. Carla Alexandra Yandún Cartagena
Universidad Técnica del Norte
cayandun@utn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-2264-4072

MSc. Vanessa Catherine Guaman Cuzco
Universidad Católica de Santa Fe
vanesa.guamancuzco@ucsf.edu.ar
https://orcid.org/0009-0000-2825-3518

EDITORIAL
SAGA

Datos bibliográficos

ISBN:	**978-9907-803-65-5**
Título del libro:	Innovar para Incluir Kit STEAM Inteligente como Motor del Desarrollo Aritmético y Neurocognitivo en Contextos Urbanos y Rurales
Autores:	Sono Toledo, Daniel David Aroca Fárez, Adriana Elizabeth Yandún Cartagena, Carla Alexandra Guaman Cuzco, Vanessa Catherine
Revisores:	MSc. María Carmen Quintanchala Taquez MSc. Alonso Ortega Bastidas
Editorial:	SAGA
Materia:	370 - Educación
Público objetivo:	Profesional / académico
Publicado:	2026-08-18
Número de edición:	1
Tamaño:	5Mb
Soporte:	Libro digital descargable
Formato:	Pdf (.pdf)
Idioma:	Español
DOI:	https://doi.org/10.63415/saga.2026.119

Hecho En el Ecuador / Made in Ecuador

Autores

PhD. Daniel David Sono Toledo
Universidad Técnica del Norte
ddsono@utn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0001-9492-3129
Ibarra, Ecuador

Daniel David Sono Toledo es docente investigador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, en Ibarra, Ecuador. Su trayectoria académica articula educación, matemática, informática y ciencias agropecuarias, campos que han orientado una producción científica de carácter interdisciplinario. Es Doctor en Educación por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Magíster en Docencia Matemática por la Universidad Técnica de Ambato y Licenciado en Ciencias de la Educación, mención Informática, por la Universidad Central del Ecuador. Esta formación le ha permitido vincular los procesos educativos con el razonamiento matemático, los recursos tecnológicos y la investigación aplicada. Entre sus trabajos científicos se encuentran estudios relacionados con tratamientos pregerminativos químicos en semillas de Juglans neotropica Diels, la caracterización de las propiedades organolépticas y anatómicas de esta especie y la evaluación de su factor de forma en el predio de Yuyucocha, cantón Ibarra. Su producción también aborda la educación matemática mediante el estudio del Nepohualtzintzin, instrumento ancestral de cálculo aplicado a la enseñanza de operaciones aritméticas básicas. Su perfil evidencia una orientación investigativa que integra saberes educativos, matemáticos, tecnológicos, ambientales y forestales, con particular atención a problemáticas vinculadas con la realidad ecuatoriana y con la recuperación pedagógica de conocimientos ancestrales.

PhD. Adriana Elizabeth Aroca Fárez
Universidad Técnica del Norte
aearoca@utn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0001-6361-3996
Ibarra, Ecuador

Adriana Elizabeth Aroca Fárez es docente investigadora de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte, en Ibarra, Ecuador. Es Doctora en Educación por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Magíster en Gerencia de Proyectos Educativos y Sociales por la Universidad Central del Ecuador y Licenciada en Ciencias de la Educación, mención Profesora Parvularia, por la misma institución. Su formación académica refleja una trayectoria vinculada con la educación, el desarrollo infantil, la gestión de proyectos y el análisis de procesos pedagógicos desde perspectivas interdisciplinarias. Su actividad investigativa reciente presta especial atención a la corporeidad, el movimiento, la neuroeducación y la integración de enfoques STEAM en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Entre sus publicaciones se encuentra la revisión sistemática sobre corpobiografía, corporeidad, enseñanza y aprendizaje en educación básica, publicada en Retos en 2026. En la misma revista participó en un estudio acerca de motricidad, movimiento corporal y STEAM en la enseñanza de la aritmética desde una perspectiva neuroeducativa. Su producción científica también aborda problemáticas sociales y educativas relacionadas con la violencia de género, particularmente las expresiones verbales presentes en la familia y las instituciones educativas. Su trayectoria reúne investigación educativa, formación docente, desarrollo humano y análisis de las interacciones que intervienen en los procesos formativos.

PhD. Carla Alexandra Yandún Cartagena
Universidad Técnica del Norte
cayandun@utn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-2264-4072
Ibarra, Ecuador

Carla Alexandra Yandún Cartagena es docente de la Universidad Técnica del Norte y posee una formación académica multidisciplinaria orientada hacia la educación, el desarrollo infantil, las ciencias naturales y la gestión sustentable de los recursos. Es Doctora en Educación por la Universidad Católica Andrés Bello, Magíster en Educación Inicial con mención en Innovación en el Desarrollo Infantil por la Universidad Estatal de Milagro y Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales por la Universidad Técnica del Norte. Cuenta, además, con un Máster Universitario en Formación y Perfeccionamiento del Profesorado, especialidad Biología, por la Universidad de Salamanca. Su preparación profesional comprende una Licenciatura en Ciencias de la Educación por la Universidad Bolivariana del Ecuador y el título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Técnica del Norte. Esta diversidad formativa favorece una aproximación interdisciplinaria a la investigación educativa. Entre sus publicaciones recientes destacan estudios sobre estrategias gamificadas para favorecer el desarrollo cognitivo en educación infantil, el impacto del juego libre en el desarrollo socioemocional de niños de tres a cinco años y la relación entre corporeidad, enseñanza y aprendizaje en educación básica. Su producción académica vincula innovación pedagógica, infancia, juego, desarrollo cognitivo, formación docente y educación, mediante trabajos sustentados principalmente en revisiones sistemáticas y análisis de literatura científica especializada.

MSc. Vanessa Catherine Guaman Cuzco
Universidad Católica de Santa Fe
vanesa.guamancuzco@ucsf.edu.ar
https://orcid.org/0009-0000-2825-3518
Argentina

Vanessa Catherine Guamán Cuzco es docente e investigadora ecuatoriana con formación académica en las áreas de educación, matemáticas, física y ciencias naturales. Es Licenciada en Ciencias de la Educación, con especialización en Matemáticas y Física, por la Universidad de Cuenca. Además, posee una Maestría en Educación de Bachillerato con mención en Pedagogía de las Ciencias Naturales por la Universidad Estatal de Milagro y un Máster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación por la Universidad Internacional de La Rioja.

Su trayectoria investigativa se orienta al análisis y fortalecimiento de los procesos educativos mediante metodologías innovadoras, estrategias activas y enfoques aplicados a la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Entre sus publicaciones se encuentran estudios relacionados con el Método Singapur para la enseñanza de matemática a jóvenes y adultos con escolaridad inconclusa, la gamificación como estrategia activa y colaborativa para el aprendizaje de Química y el análisis de la gestión, los docentes y los estudiantes en escuelas públicas y privadas del Ecuador.

Su perfil académico integra pedagogía, ciencias naturales, matemáticas y tecnología, evidenciando un interés permanente por contribuir a la innovación educativa y al mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

EDITORIAL
SAGA

El contenido y las ideas expuestas en esta obra se encuentran protegidos por la normativa vigente en materia de propiedad intelectual y constituyen derechos exclusivos de su(s) autor(es)

Todos los derechos reservados © 2026

Sinopsis

Esta obra presenta una investigación interdisciplinaria orientada al diseño, implementación y evaluación de un Kit STEAM inteligente y sustentable, concebido para fortalecer el aprendizaje aritmético y las capacidades neurocognitivas de niños de ocho a nueve años en instituciones educativas urbanas y rurales del Ecuador. Desde una perspectiva que articula educación STEAM, neurociencia cognitiva, constructivismo e innovación tecnológica, el libro examina las desigualdades de acceso a recursos digitales y plantea una alternativa educativa accesible, de bajo costo y alimentada mediante energías renovables. El prototipo integra Arduino Mega, interfaz LCD, matriz de LED, recursos auditivos y programación adaptativa para desarrollar actividades aritméticas interactivas con niveles progresivos de dificultad. La investigación adopta un enfoque cuantitativo aplicado y un diseño cuasiexperimental con grupos experimental y control, evaluados mediante pruebas aritméticas, instrumentos neuropsicológicos y análisis estadísticos. Los capítulos presentan resultados relativos al rendimiento matemático, memoria de trabajo, atención, razonamiento lógico y resolución de problemas, junto con comparaciones entre escuelas urbanas y rurales de Imbabura. La obra aporta evidencia para orientar prácticas docentes, decisiones institucionales y políticas de equidad educativa, vinculando accesibilidad tecnológica, sostenibilidad, aprendizaje activo y desarrollo infantil mediante una propuesta transferible a diversos entornos escolares, con potencial de adaptación, escalabilidad y aplicación pedagógica responsable.

Palabras clave: educación científica, tecnología educacional, enseñanza de las matemáticas, desarrollo cognitivo, zona rural

Synopsis

This book presents an interdisciplinary study focused on the design, implementation, and evaluation of an intelligent and sustainable STEAM Kit conceived to strengthen arithmetic learning and neurocognitive abilities among children aged eight to nine in urban and rural educational institutions in Ecuador. Drawing on a perspective that connects STEAM education, cognitive neuroscience, constructivism, and technological innovation, the book examines inequalities in access to digital resources and proposes an accessible, low-cost educational alternative powered by renewable energy. The prototype integrates Arduino Mega, an LCD interface, an LED matrix, auditory resources, and adaptive programming to provide interactive arithmetic activities with progressive levels of difficulty. The research adopts an applied quantitative approach and a quasi-experimental design involving experimental and control groups assessed through arithmetic tests, neuropsychological instruments, and statistical analyses. The chapters present findings concerning mathematical performance, working memory, attention, logical reasoning, and problem solving, together with comparisons between urban and rural schools in Imbabura. The book provides evidence to guide teaching practices, institutional decisions, and educational equity policies by connecting technological accessibility, sustainability, active learning, and child development through a proposal with potential for adaptation, scalability, and responsible pedagogical application across diverse educational settings.

Keywords: science education, educational technology, mathematics education, cognitive development, rural areas

Índice General

Sinopsis ..... **ix**

Índice General **11**

Índice de Tablas **17**

Índice de Figuras **19**

Introducción **21**

Capítulo 1: Educación del Siglo XXI: Entre la Innovación y la Equidad **25**

1.1 La educación STEAM como paradigma integrador 29

1.1.1 Fundamentos epistemológicos de la metodología STEAM 30

1.1.2 Evolución histórica: de STEM a STEAM 32

1.1.3 Evidencia internacional sobre su eficacia pedagógica 34

1.2 La brecha digital y educativa en América Latina 35

1.2.1 Desigualdades en el acceso a recursos tecnológicos 36

1.2.2 Contexto urbano vs. rural En el Ecuador 38

1.2.3 Impacto pospandemia en la calidad educativa 40

1.3 Tecnología educativa de bajo costo como estrategia inclusiva . 41

1.3.1 Principios del diseño tecnológico accesible 42

1.3.2 Energías renovables en entornos educativos 44

1.4 Síntesis del capítulo 46

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos: Aritmética, Neurociencia y Aprendizaje **51**

2.1 Desarrollo aritmético en la infancia 55

2.1.1 Etapas del pensamiento matemático en niños de 8 a 9 años 56

2.1.2 Dificultades más frecuentes en operaciones básicas..... 58

2.1.3 Estrategias pedagógicas basadas en evidencia..... 60

2.2 Neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje 61

2.2.1 Funciones ejecutivas: memoria, atención y razonamiento lógico 62

2.2.2 Plasticidad cerebral y aprendizaje activo 64

2.2.3 Motricidad fina y coordinación ojo-mano 66

2.3 El constructivismo como base del aprendizaje con tecnología . 67

2.3.1 Aportaciones de Papert y el construccionismo 69

2.3.2 Aprendizaje significativo mediado por herramientas tecnológicas 70

2.4 Evaluación neuropsicológica en contextos educativos 72

2.4.1 Instrumentos estandarizados para la infancia 73

2.4.2 El enfoque pretest-postest en investigación educativa 75

2.5 Síntesis del capítulo..... 77

Capítulo 3: El Kit STEAM Inteligente y Sustentable: Diseño e Ingeniería..... 83

3.1 Conceptualización y principios de diseño..... 87

3.1.1 Criterios de accesibilidad, sostenibilidad y bajo costo 89

3.1.2 Integración de energías renovables (solar y baterías)..... 90

3.2 Componentes electrónicos del kit 92

3.2.1 Placa Arduino Mega: el cerebro del sistema 93

3.2.2 Pantalla LCD e interfaz de usuario 95

3.2.3 Matriz de LEDs para retroalimentación visual 96

3.2.4 Buzzer y módulo MP3: retroalimentación auditiva..... 97

3.3 Arquitectura del software educativo 99

3.3.1 Programación adaptativa y niveles de dificultad 101

3.3.2 Módulos de aritmética interactiva 102
3.4 Proceso de construcción y pruebas del prototipo 103
3.4.1 Fases de desarrollo y validación técnica 105
3.4.2 Ajustes y mejoras tras las pruebas piloto 107
3.5 Síntesis del capítulo 108
Capítulo 4: Diseño Metodológico de la Investigación 113
4.1 Enfoque y tipo de investigación 114
4.1.1 Investigación cuantitativa aplicada 116
4.1.2 Diseño cuasi-experimental con grupos control y experimental 118
4.2 Población y muestra 122
4.2.1 Selección de instituciones educativas urbanas y rurales de Imbabura 124
4.2.2 Criterios de inclusión y exclusión de participantes 126
4.2.3 Consideraciones éticas y consentimiento informado 128
4.3 Instrumentos de evaluación 132
4.3.1 Evaluación neurocognitiva breve 132
4.3.2 Prueba académica de aritmética 133
4.3.3 Cuestionario sociodemográfico y de contexto educativo. 134
4.4 Procedimiento de recolección de datos 136
4.4.1 Fase de pretest 138
4.4.2 Fase de intervención 140
4.4.3 Fase de postest 142
4.5 Análisis estadístico: ANOVA y comparación de grupos 144
4.6 Síntesis del capítulo 145
Capítulo 5: Resultados: Impacto en el Rendimiento Aritmético . 147
5.1 Resultados generales del pretest aritmético 148

5.1.1 Línea base del grupo experimental 151
5.1.2 Línea base del grupo control 152
5.2 Resultados del postest aritmético 154
5.2.1 Desempeño del grupo experimental tras la intervención . 155
5.2.2 Desempeño del grupo control 157
5.3 Análisis comparativo: experimental vs. control 159
5.3.1 Diferencias estadísticamente significativas 160
5.3.2 Tamaño del efecto e implicaciones pedagógicas 161
5.4 Síntesis del capítulo 162
Capítulo 6: Resultados: Impacto en el Desarrollo Neurocognitivo 165
6.1 Resultados generales del pretest neuropsicológico 166
6.2 Efectos del Kit STEAM en la memoria de trabajo 167
6.3 Efectos en la atención sostenida y selectiva 169
6.4 Efectos en el razonamiento lógico y resolución de problemas 171
6.5 Análisis comparativo pre y postest neurocognitivo 173
6.5.1 Resultados en el grupo experimental 174
6.5.2 Resultados en el grupo control 175
6.6 Síntesis del capítulo 176
Capítulo 7: Análisis Comparativo: Contextos Urbanos y Rurales 179
7.1 Características sociodemográficas de ambos contextos 180
7.2 Impacto diferenciado en el rendimiento aritmético 182
7.2.1 Resultados en Unidades Educativas urbanas 183
7.2.2 Resultados en Unidades Educativas rurales 184
7.3 Impacto diferenciado en los procesos neurocognitivos evaluados 185

7.4 Factores territoriales y educativos relacionados con los resultados 186
7.4.1 Acceso previo a tecnología y conectividad 186
7.4.2 Formación docente y apropiación pedagógica del kit 187
7.5 Hacia una educación tecnológica equitativa e inclusiva 188
7.6 Síntesis del capítulo 189
Capítulo 8: Discusión, Conclusiones y Perspectivas Futuras 191
8.1 Discusión de resultados a la luz del marco teórico 192
8.2 Conclusiones generales del estudio 195
8.2.1 Conclusiones sobre el rendimiento aritmético 196
8.2.2 Conclusiones sobre el desarrollo neurocognitivo 197
8.2.3 Conclusiones sobre la equidad urbano-rural 197
8.3 Limitaciones de la investigación 198
8.4 Recomendaciones para docentes e instituciones educativas ... 199
8.5 Perspectivas para la Etapa 2 del proyecto 200
8.6 Contribución al campo de la innovación educativa en Ecuador 201
8.7 Síntesis del capítulo 201
Conclusiones 203
Referencias Bibliográficas 207

Índice de Tablas

Tabla 1 *Ejes conceptuales de la educación del siglo XXI entre innovación y equidad* 49
Tabla 2 *Fundamentos teóricos del desarrollo aritmético y neurocognitivo infantil* 80
Tabla 3 *Elementos de diseño e ingeniería del Kit STEAM Inteligente y Sustentable* 111
Tabla 4 *Esquema del diseño cuasi-experimental con grupos experimental y control* 120
Tabla 5 *Distribución de la muestra según área educativa y grupo de estudio* 125
Tabla 6 *Estadísticos descriptivos del pretest aritmético según grupo de estudio* 149
Tabla 7 *Resultados del pretest aritmético del grupo experimental por dimensiones* 152
Tabla 8 *Resultados del pretest aritmético del grupo control por dimensiones* 153
Tabla 9 *Resultados descriptivos del postest aritmético según grupo de estudio* 155
Tabla 10 *Resultados del grupo experimental antes y después de la intervención según dimensión aritmética* 156
Tabla 11 *Resultados del grupo control en el pretest y postest según dimensión aritmética* 158
Tabla 12 *Comparación del rendimiento aritmético entre los grupos experimental y control* 161
Tabla 13 *Resultados descriptivos del pretest neurocognitivo según grupo de estudio* 167

Tabla 14 *Comparación pretest-postest de memoria de trabajo según grupo* 168
Tabla 15 *Comparación pretest-postest de atención según grupo* 169
Tabla 16 *Resultados en resolución de problemas y razonamiento matemático según grupo de estudio* 172
Tabla 17 *Características sociodemográficas y tecnológicas de los participantes según área educativa* 181
Tabla 18 *Rendimiento aritmético pretest-postest según área educativa y condición experimental* 182
Tabla 19 *Cambios en memoria de trabajo y atención según área educativa y grupo de estudio* 185

Índice de Figuras

Figura 1 *Innovación y equidad en la educación del siglo XXI* 27
Figura 2 *Transición educativa de STEM a STEAM* 33
Figura 3 *Brecha educativa urbano-rural En el Ecuador*.....39
Figura 4 *Energías renovables para el aprendizaje escolar* 45
Figura 5 *Fundamentos del aprendizaje aritmético y neurocognitivo* ...53
Figura 6 *Progresión del pensamiento matemático infantil*.....57
Figura 7 *Procesos ejecutivos vinculados al aprendizaje* 63
Figura 8 *Principios del construccionismo de Papert*.....69
Figura 9 *Evaluación estandarizada del desarrollo infantil* 75
Figura 10 *Diseño conceptual del Kit STEAM Inteligente y Sustentable* 85
Figura 11 *Principios de diseño del Kit STEAM* 88
Figura 12 *Componentes electrónicos del Kit STEAM*.....93
Figura 13 *Arquitectura del software educativo del Kit STEAM* 99
Figura 14 *Proceso iterativo de construcción y pruebas del prototipo* 105
Figura 15 *Puntuaciones medias del pretest aritmético en los grupos experimental y control* 150
Figura 16 *Distribución de las puntuaciones del pretest aritmético según grupo de estudio*.....150
Figura 17 *Evolución del rendimiento aritmético entre el pretest y el postest según grupo de estudio* 160
Figura 18 *Evolución de memoria de trabajo y atención según grupo de estudio* 171

Introducción

La educación contemporánea atraviesa una transformación que está marcada por la convergencia entre conocimiento científico, tecnología, creatividad y nuevas formas de aprender. En este escenario, la educación STEAM ha adquirido relevancia al articular ciencias, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas mediante experiencias que favorecen la participación activa del estudiante. Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) destacan que esta integración posee un vínculo significativo con el desarrollo de la creatividad, mientras Mejias et al. (2021) advierten que su riqueza educativa reside también en la articulación entre disciplinas, prácticas y formas diversas de construir conocimiento.

Esta transformación educativa adquiere particular significado en América Latina, donde las oportunidades de acceso y apropiación tecnológica permanecen distribuidas de manera desigual. Ancheta-Arrabal et al. (2021) muestran que la brecha digital involucra dimensiones sociales, educativas y económicas que exceden la disponibilidad material de dispositivos. En el Ecuador, la experiencia vivida durante la pandemia hizo visibles varias de estas diferencias. Asanov et al. (2021) documentaron importantes alteraciones en el aprendizaje y uso del tiempo de estudiantes ecuatorianos durante el confinamiento, mientras Stinson (2022) examinó sus repercusiones sobre acceso y calidad educativa.

Las diferencias entre territorios urbanos y rurales adquieren especial importancia cuando la innovación tecnológica se plantea como una vía para ampliar oportunidades de aprendizaje. La disponibilidad de conectividad, dispositivos, acompañamiento docente y recursos familiares puede condicionar la experiencia educativa y generar trayectorias muy distintas entre estudiantes. Frente a esta realidad, diseñar tecnología accesible

implica pensar simultáneamente en funcionalidad, costo, sostenibilidad y posibilidades reales de utilización. Fernández-Batanero et al. (2022) señalan que las tecnologías educativas inclusivas pueden favorecer la participación cuando su diseño responde a las necesidades de los usuarios y reduce barreras de acceso.

La pertinencia de una propuesta STEAM orientada al aprendizaje aritmético encuentra respaldo adicional en los avances de la psicología cognitiva y la neurociencia educativa. Aprender matemáticas durante la infancia involucra procesos que van mucho más allá de memorizar procedimientos. Vogel y De Smedt (2021) describen transformaciones progresivas en las redes cerebrales vinculadas con el procesamiento numérico y aritmético durante el desarrollo. A su vez, Zhang et al. (2023) identifican mediante metaanálisis una relación consistente entre memoria de trabajo y desempeño aritmético en escolares, vínculo que permite comprender la interacción entre aprendizaje académico y funcionamiento cognitivo.

Desde esta perspectiva nace **Innovar para Incluir: Kit STEAM Inteligente como Motor del Desarrollo Aritmético y Neurocognitivo en Contextos Urbanos y Rurales**, una obra que vincula innovación educativa, ingeniería accesible, aprendizaje matemático y desarrollo neurocognitivo. Su fundamento pedagógico reconoce al estudiante como participante activo en la construcción del conocimiento. Lachney y Foster (2020), al recuperar el legado construccionista de Seymour Papert, muestran la vigencia de aprender mediante la creación de objetos significativos. Esta orientación dialoga con propuestas tecnológicas donde manipular, experimentar, equivocarse, reajustar y resolver problemas forman parte de una misma experiencia formativa.

El propósito general del libro es analizar el aporte de un Kit STEAM inteligente, sustentable y de bajo costo al desarrollo del rendimiento aritmético y de determinadas capacidades

neurocognitivas en niños de ocho a nueve años pertenecientes a instituciones educativas urbanas y rurales de Imbabura. Este propósito incorpora objetivos específicos dirigidos a comparar el desempeño antes y después de la intervención, examinar diferencias entre grupos experimental y control, valorar cambios en memoria, atención y razonamiento lógico, e identificar factores territoriales y educativos relacionados con los resultados obtenidos.

A partir de estos objetivos, la investigación se articula alrededor de varias preguntas: ¿en qué medida la utilización sistemática del Kit STEAM modifica el rendimiento en operaciones aritméticas básicas?, ¿qué cambios pueden identificarse en memoria de trabajo, atención y razonamiento lógico después de la intervención?, ¿existen diferencias entre estudiantes de instituciones urbanas y rurales?, y ¿qué factores educativos, tecnológicos y sociodemográficos pueden relacionarse con dichas diferencias? Spiegel et al. (2021) aportan sustento a estas interrogantes al demostrar, mediante metaanálisis, relaciones relevantes entre funciones ejecutivas y rendimiento académico durante la educación primaria.

La justificación académica de la obra descansa, por tanto, en la necesidad de estudiar conjuntamente dimensiones que con frecuencia han sido abordadas de manera independiente: aprendizaje matemático, funcionamiento neurocognitivo, tecnología educativa, sostenibilidad y equidad territorial. Nelson et al. (2022), tras sintetizar una amplia producción científica sobre dificultades matemáticas, evidencian la importancia de intervenciones sustentadas en conocimiento acumulado sobre aprendizaje. En el ámbito tecnológico, Ouyang y Xu (2024) encontraron efectos favorables de la robótica educativa en la enseñanza STEM, aunque también identificaron que los resultados dependen de las características pedagógicas de las intervenciones.

La organización del libro responde a esta integración progresiva entre teoría, diseño tecnológico y evidencia empírica. El

capítulo 1 presenta las bases de la educación STEAM, la brecha digital latinoamericana, las particularidades urbano-rurales de Ecuador y la tecnología accesible y sustentable. El capítulo 2 desarrolla los fundamentos relacionados con aritmética, funciones ejecutivas, plasticidad, motricidad y construccionismo. El capítulo 3 describe la concepción e ingeniería del Kit STEAM, sus componentes electrónicos, arquitectura de software, programación adaptativa y proceso de construcción. García-Tudela y Marín-Marín (2023) respaldan la pertinencia educativa de Arduino en experiencias escolares orientadas al aprendizaje tecnológico y STEAM.

Los capítulos siguientes trasladan este marco hacia la investigación aplicada. El capítulo 4 presenta el diseño metodológico, la población, los instrumentos, el procedimiento pretest-intervención-postest y el análisis estadístico. Los capítulos 5 y 6 reúnen los resultados relativos al rendimiento aritmético y al desarrollo neurocognitivo, mientras el capítulo 7 contrasta los hallazgos entre espacios urbanos y rurales e identifica factores asociados con sus diferencias. El capítulo 8 integra la discusión, las conclusiones, las limitaciones, las recomendaciones y las perspectivas de continuidad del proyecto. Kraft (2020) recuerda que interpretar los efectos de una intervención educativa exige atender tanto su magnitud estadística como su significado pedagógico. Desde esa premisa, esta obra busca aportar evidencia para una innovación tecnológica educativa que combine rigor científico, pertinencia territorial, sostenibilidad y equidad.

Capítulo 1:

Educación del Siglo XXI: Entre la Innovación y la Equidad

La educación del siglo XXI transita por una etapa de profundas transformaciones, marcada por la convergencia entre conocimiento científico, tecnología, creatividad y nuevas formas de participación. La escuela ya no puede permanecer ajena a estos movimientos. Enseñar implica construir experiencias capaces de relacionar saberes y realidades diversas. En este escenario, la innovación adquiere sentido cuando amplía oportunidades educativas y reconoce que aprender también significa crear, experimentar, equivocarse, revisar decisiones y volver a intentar con mayor comprensión.

Dentro de esta transformación, la educación STEAM ofrece una perspectiva integradora que vincula ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas mediante experiencias interdisciplinarias. Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) encontraron evidencias favorables sobre el desarrollo de la creatividad mediante intervenciones STEM y STEAM, aunque señalaron diversidad entre sus formulaciones teóricas y prácticas. Esta amplitud recuerda algo importante: integrar disciplinas requiere intención pedagógica, claridad conceptual y actividades donde los conocimientos dialoguen alrededor de problemas relevantes para quienes aprenden.

La evolución desde STEM hacia STEAM amplió la mirada sobre aquello que cuenta como conocimiento valioso dentro de la educación científica. Las artes incorporaron dimensiones relacionadas con sensibilidad, diseño, comunicación y pensamiento creativo, enriqueciendo el encuentro entre razonamiento técnico y producción humana. Mejias et al. (2021) examinan críticamente la diversidad conceptual existente alrededor de STEAM y muestran que sus significados permanecen abiertos. Tal condición demanda rigor al fundamentar propuestas educativas que adopten esta perspectiva interdisciplinaria.

Sin embargo, hablar de innovación educativa exige mirar también las desigualdades que condicionan su alcance. En América

Latina, las oportunidades de acceso y apropiación tecnológica continúan distribuyéndose de manera desigual entre territorios, grupos sociales y trayectorias personales. Ancheta-Arrabal et al. (2021) evidencian que la brecha digital presenta además una dimensión de género vinculada con educación y participación tecnológica. La transformación pedagógica pierde parte de su sentido cuando determinados estudiantes permanecen alejados de sus beneficios por barreras persistentes.

Figura 1

Innovación y equidad en la educación del siglo XXI

En el Ecuador, la experiencia de la pandemia hizo particularmente visibles algunas fracturas educativas. El cierre de instituciones trasladó buena parte de la actividad académica hacia modalidades remotas, pero las condiciones para participar distaban de ser equivalentes. Asanov et al. (2021) documentaron entre estudiantes ecuatorianos alteraciones en el tiempo dedicado al aprendizaje y efectos relacionados con el bienestar emocional. Detrás de cada cifra aparecieron rutinas familiares, limitaciones materiales y experiencias estudiantiles que modificaron profundamente la continuidad educativa.

La etapa posterior a la emergencia sanitaria dejó una tarea compleja: recuperar aprendizajes sin regresar mecánicamente a las prácticas anteriores. Stinson (2022) analiza los efectos de la educación remota En el Ecuador y señala desigualdades relacionadas con acceso y calidad. Esta evidencia permite comprender que disponer de tecnología constituye una parte del problema, pero no la totalidad. También importan la mediación docente, la pertinencia de los recursos, la interacción educativa y las oportunidades reales de participación.

Ante esta realidad, la tecnología educativa de bajo costo adquiere especial relevancia como estrategia orientada a democratizar oportunidades. No se trata de perseguir dispositivos sofisticados, sino de diseñar recursos funcionales, accesibles y pedagógicamente pertinentes. Fernández-Batanero et al. (2022) encontraron que las tecnologías de asistencia pueden favorecer accesibilidad y participación de estudiantes con discapacidad, aunque identificaron barreras vinculadas con formación y disponibilidad. La innovación necesita, por tanto, ser utilizable, sostenible y cercana a quienes aprenden.

Esta perspectiva adquiere mayor fuerza cuando el diseño tecnológico reconoce desde el inicio la diversidad de capacidades, ritmos y formas de interacción. La accesibilidad deja entonces de ser una adaptación posterior y pasa a orientar decisiones sobre materiales, interfaces, costos y experiencias educativas. Lynch et al. (2022) revisan el uso de tecnología educativa con estudiantes con discapacidad en países de ingresos bajos y medios, aportando una mirada pertinente sobre las condiciones que acompañan su implementación en escuelas primarias.

A esta relación entre innovación y equidad se incorpora la sostenibilidad. Las energías renovables pueden convertirse en recursos educativos capaces de vincular aprendizaje científico con responsabilidad ambiental y experimentación. Hoque et al. (2022) examinan métodos educativos orientados a despertar interés

estudiantil hacia las energías renovables, destacando el valor de experiencias formativas activas. Un pequeño sistema solar, por ejemplo, puede transformar conceptos de energía, medición y eficiencia en preguntas tangibles que atraviesan varias disciplinas escolares.

Desde estas coordenadas se configura el propósito del capítulo: establecer las bases educativas, sociales y tecnológicas que permiten comprender la pertinencia de un Kit STEAM Inteligente orientado al desarrollo aritmético y neurocognitivo. Innovar para favorecer equidad exige articular interdisciplinariedad, accesibilidad, sostenibilidad y sensibilidad territorial. La propuesta cobra sentido precisamente en esa convergencia, donde cada componente tecnológico necesita responder a una intención pedagógica y cada experiencia de aprendizaje debe abrir posibilidades reales de participación.

1.1 La educación STEAM como paradigma integrador

La educación STEAM representa un paradigma integrador que articula ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas mediante experiencias de aprendizaje vinculadas con problemas. Su valor reside en romper fronteras disciplinares sin borrar la identidad de cada área. Desde esta perspectiva, aprender implica relacionar saberes, formular preguntas, diseñar respuestas y reconocer que la creatividad participa en la construcción rigurosa del conocimiento escolar.

La incorporación de las artes amplía el horizonte formativo de STEM al favorecer pensamiento divergente, sensibilidad estética y producción creativa. Aguilera y Ortiz-Revilla (2021), tras revisar sistemáticamente la literatura, señalan una relación favorable entre propuestas STEAM y creatividad estudiantil, aunque advierten heterogeneidad metodológica. Esta mirada invita a comprender la integración disciplinar como práctica pedagógica intencionada, no como yuxtaposición de asignaturas.

En la escuela, STEAM adquiere sentido cuando las disciplinas dialogan alrededor de preguntas, proyectos y situaciones que demandan múltiples formas de razonamiento. White y Delaney (2021) identifican una considerable diversidad en las maneras de implementar el aprendizaje interdisciplinario, hecho que revela oportunidades, pero también dispersión conceptual. Por ello, la planificación docente requiere propósitos compartidos, conexiones explícitas y criterios pedagógicos coherentes.

La amplitud del término STEAM exige cautela. Mejias et al. (2021) describen un campo cuya definición permanece abierta y, en ocasiones, marcada por usos ambiguos. Lejos de invalidar el enfoque, esta condición reclama precisión al diseñar experiencias educativas. Integrar disciplinas requiere justificar sus vínculos, reconocer tensiones entre saberes y evitar que la innovación quede reducida a actividades llamativas sin profundidad formativa.

Entendida desde la educación del siglo XXI, la perspectiva STEAM puede vincular innovación y equidad cuando reconoce distintas maneras de aprender, crear y resolver problemas. Su potencia aumenta al conectarse con recursos, experiencias comunitarias y necesidades territoriales. En espacios urbanos y rurales, este paradigma ofrece base para promover pensamiento aritmético, participación y procesos neurocognitivos mediante propuestas accesibles, significativas y colaborativas.

1.1.1 Fundamentos epistemológicos de la metodología STEAM

Los fundamentos epistemológicos de STEAM parten de una comprensión relacional del conocimiento, donde las disciplinas dejan de funcionar como compartimentos aislados y establecen vínculos alrededor de problemas relevantes. Esta perspectiva reconoce que conocer implica observar, interpretar, crear, contrastar y transformar. La integración adquiere valor

cuando cada campo conserva sus modos de indagación mientras participa en una construcción intelectual compartida y reflexiva.

Desde esta mirada, el conocimiento escolar no constituye una colección de contenidos independientes, sino una trama dinámica de prácticas, lenguajes y formas de razonamiento. Mejias et al. (2021) advierten que STEAM mantiene una conceptualización diversa y discutida. Tal pluralidad epistemológica demanda explicitar relaciones entre disciplinas, evitando asociaciones superficiales que debiliten la profundidad conceptual y el sentido educativo de su articulación.

La epistemología STEAM también reconoce la creatividad como dimensión constitutiva del conocimiento, no como adorno añadido a las ciencias. Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) encuentran que la incorporación de las artes puede favorecer procesos creativos dentro de experiencias STEM. Esta relación amplía las posibilidades de formular preguntas, representar ideas y construir soluciones mediante razonamientos que articulan precisión, imaginación, sensibilidad y evidencia empírica.

Otro fundamento reside en la interdisciplinariedad entendida como encuentro deliberado entre perspectivas que conservan diferencias y generan conexiones productivas. White y Delaney (2021) documentan una notable diversidad de enfoques interdisciplinarios aplicados en escuelas, circunstancia que exige claridad pedagógica. La integración cobra consistencia cuando existe una pregunta articuladora, propósitos comunes y oportunidades para transferir conocimientos entre ámbitos durante la experiencia de aprendizaje.

En términos educativos, STEAM plantea una epistemología activa: el estudiante conoce mientras investiga, diseña, prueba, argumenta y revisa sus propias decisiones. El saber deja de presentarse como producto cerrado y adquiere carácter provisional, situado y dialogante. Esta concepción permite vincular

pensamiento aritmético, procesos neurocognitivos y creación tecnológica mediante experiencias donde aprender significa establecer relaciones, justificar elecciones y producir respuestas fundamentadas.

1.1.2 Evolución histórica: de STEM a STEAM

La educación STEM adquirió presencia internacional al reunir ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas bajo una orientación interdisciplinaria vinculada con necesidades científicas, productivas y educativas. Su desarrollo respondió al interés por formar capacidades para resolver problemas complejos mediante investigación, diseño y razonamiento cuantitativo. Con el tiempo, esta propuesta amplió sus horizontes pedagógicos y abrió debates sobre creatividad, cultura y formación humana integral.

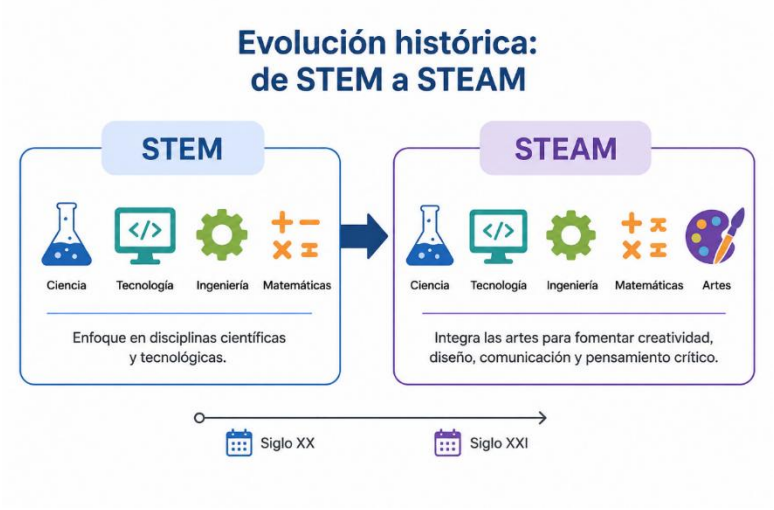
La transición hacia STEAM incorporó las artes como espacio de pensamiento, expresión y creación, modificando la relación entre saber técnico y experiencia estética. Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) señalan que esta ampliación ha sido asociada con mayores oportunidades para estimular la creatividad estudiantil. La letra A adquirió, entonces, un sentido pedagógico capaz de conectar pensamiento divergente, diseño, comunicación y conocimiento científico escolar.

Este tránsito histórico no ocurrió mediante una sustitución lineal de STEM por STEAM. Más bien, produjo interpretaciones diversas acerca del significado y alcance de la integración disciplinar. Mejias et al. (2021) señalan que el término STEAM conserva ambigüedades conceptuales y múltiples usos educativos. Esa diversidad revela un campo todavía en construcción, atravesado por debates sobre interdisciplinariedad, participación, creatividad y democratización del conocimiento.

La expansión de STEAM hacia los sistemas escolares también mostró diferencias entre principios teóricos y prácticas

institucionales. White y Delaney (2021) identificaron múltiples formas de aprendizaje interdisciplinario, acompañadas por variaciones en objetivos, diseños y estrategias pedagógicas. Este panorama histórico evidencia que integrar disciplinas requiere algo más que reunir contenidos: demanda conexiones intelectuales deliberadas, colaboración docente y experiencias educativas organizadas alrededor de propósitos compartidos.

Figura 2
Transición educativa de STEM a STEAM



Actualmente, la evolución de STEM hacia STEAM puede entenderse como una apertura hacia formas más amplias de producir y comunicar conocimiento. Ciencia y matemática dialogan con diseño, tecnología, ingeniería y artes para atender realidades educativas diversas. Esta transformación resulta especialmente pertinente cuando la innovación busca equidad, pues permite desarrollar experiencias sensibles a diferencias territoriales, culturales y cognitivas sin renunciar al rigor académico.

1.1.3 Evidencia internacional sobre su eficacia pedagógica

La evidencia internacional sobre educación STEAM muestra resultados favorables en creatividad, participación y articulación interdisciplinaria, aunque presenta diferencias según diseño, población y criterios de evaluación. Las investigaciones disponibles permiten reconocer tendencias prometedoras sin convertirlas en certezas universales. La eficacia pedagógica depende, en buena medida, de propuestas bien estructuradas, mediación docente pertinente y oportunidades auténticas para investigar, diseñar, colaborar y argumentar.

Aguilera y Ortiz-Revilla (2021), mediante una revisión sistemática, encontraron una asociación favorable entre educación STEAM y desarrollo de la creatividad estudiantil. Sin embargo, los autores registraron diversidad metodológica entre los estudios examinados, elemento que aconseja interpretar los resultados con prudencia. La evidencia respalda especialmente experiencias donde las artes participan activamente en procesos de resolución, representación y producción de conocimiento interdisciplinario.

Desde otra perspectiva, White y Delaney (2021) documentaron una considerable variedad de modelos empleados para llevar el aprendizaje interdisciplinario a las escuelas. Sus hallazgos muestran que la integración puede favorecer experiencias educativas relevantes, pero carece de una fórmula uniforme. La calidad de las propuestas parece vinculada con propósitos pedagógicos explícitos, colaboración entre áreas y conexiones comprensibles para el alumnado participante.

La literatura invita a evitar afirmaciones excesivas sobre los efectos de STEAM. Mejias et al. (2021) advierten que la amplitud conceptual del término puede reunir prácticas muy diferentes bajo una misma denominación. Esta observación importa al valorar resultados internacionales, pues comparar experiencias exige atender sus fundamentos, objetivos, participantes y formas de

integración antes de atribuir mejoras educativas al enfoque empleado.

En conjunto, la investigación internacional permite considerar STEAM una vía pedagógica con potencial para fortalecer creatividad, pensamiento interdisciplinario y participación activa, siempre que exista coherencia entre objetivos, actividades y evaluación. Para proyectos orientados al desarrollo aritmético y neurocognitivo, esta evidencia ofrece un punto de partida razonable: adaptar las propuestas a realidades urbanas y rurales, documentar resultados y mantener evaluación sistemática.

1.2 La brecha digital y educativa en América Latina

La brecha digital y educativa en América Latina expresa desigualdades acumuladas en acceso tecnológico, conectividad, formación y oportunidades de aprendizaje. No constituye una distancia meramente instrumental entre quienes poseen dispositivos y quienes carecen de ellos. También refleja diferencias territoriales, económicas, familiares y escolares que condicionan la participación educativa, especialmente cuando las tecnologías adquieren mayor presencia en las experiencias formativas contemporáneas.

Las desigualdades digitales presentan además una dimensión de género que atraviesa las posibilidades educativas y sociales. Ancheta-Arrabal et al. (2021) identifican brechas vinculadas con acceso, competencias y participación tecnológica de mujeres en América Latina. Estas diferencias requieren políticas educativas capaces de considerar condiciones materiales junto con factores culturales que influyen en la apropiación tecnológica, la autonomía personal y las trayectorias formativas.

La ruralidad permite observar con particular claridad las fracturas del ecosistema educativo digital. Anaya Figueroa et al. (2021), al estudiar escuelas rurales peruanas durante la pandemia,

describen limitaciones asociadas con conectividad, infraestructura y disponibilidad tecnológica. La experiencia mostró que trasladar actividades escolares hacia medios digitales puede profundizar desigualdades previas cuando estudiantes, familias y docentes disponen de recursos marcadamente diferentes entre sí.

Sin embargo, disponer de conexión o equipamiento no garantiza una experiencia educativa equitativa. La brecha también involucra capacidades para buscar información, evaluar fuentes, producir contenidos y utilizar tecnologías con autonomía. Ancheta-Arrabal et al. (2021) destacan que las desigualdades digitales interactúan con condiciones educativas y sociales. Por ello, la alfabetización tecnológica necesita acompañarse de oportunidades formativas pertinentes, accesibles y culturalmente sensibles.

Reducir estas brechas demanda comprender la tecnología como medio pedagógico y no como respuesta autosuficiente. Anaya Figueroa et al. (2021) plantean medidas relacionadas con infraestructura, conectividad y fortalecimiento educativo para territorios rurales. Desde una perspectiva de equidad, iniciativas STEAM accesibles pueden acercar experiencias de experimentación, razonamiento y creación a comunidades diversas, siempre mediante diseños ajustados a sus posibilidades materiales y educativas.

1.2.1 Desigualdades en el acceso a recursos tecnológicos

Las desigualdades en el acceso a recursos tecnológicos configuran una expresión persistente de inequidad educativa en América Latina. Computadoras, dispositivos móviles, conectividad estable y plataformas digitales se distribuyen de manera desigual entre territorios y grupos sociales. Esta disparidad condiciona oportunidades para aprender, investigar y participar, mientras convierte una herramienta potencialmente democratizadora en otro espacio donde las diferencias económicas adquieren consecuencias pedagógicas concretas.

En América Latina, el acceso tecnológico también está atravesado por desigualdades de género que afectan experiencias educativas y posibilidades de participación digital. Ancheta-Arrabal et al. (2021) señalan que la brecha comprende dimensiones relacionadas con disponibilidad, uso y competencias tecnológicas. Por tanto, entregar dispositivos resulta insuficiente cuando persisten barreras económicas, culturales y formativas que restringen una apropiación autónoma, significativa y equitativa del entorno digital.

Las zonas rurales evidencian con particular intensidad estas diferencias materiales. Anaya Figueroa et al. (2021) identificaron en escuelas rurales peruanas factores relacionados con conectividad limitada, disponibilidad de equipos y condiciones territoriales que dificultaron la continuidad educativa durante la pandemia. Allí, una conexión inestable puede marcar la distancia entre participar en una actividad, recibir acompañamiento docente o quedar temporalmente apartado del proceso escolar cotidiano.

La disponibilidad de tecnología tampoco equivale necesariamente a acceso educativo efectivo. Un dispositivo compartido entre varios integrantes del hogar, planes de datos restringidos o conexiones intermitentes reducen las posibilidades de participación sostenida. Ancheta-Arrabal et al. (2021) permiten comprender que las brechas digitales poseen múltiples dimensiones. Importan los recursos materiales, pero también las capacidades necesarias para utilizarlos con autonomía y propósito educativo.

Frente a estas desigualdades, las políticas educativas requieren combinar infraestructura, conectividad, formación y recursos pedagógicos accesibles. Anaya Figueroa et al. (2021) destacan la necesidad de respuestas ajustadas a las particularidades de las escuelas rurales. Desde esta perspectiva, un kit STEAM inteligente puede ampliar oportunidades cuando funciona con recursos disponibles, favorece experiencias prácticas y reduce

dependencias tecnológicas difíciles de sostener en comunidades diversas.

1.2.2 Contexto urbano vs. rural En el Ecuador

Las diferencias educativas entre áreas urbanas y rurales del Ecuador reflejan desigualdades territoriales que atraviesan infraestructura, conectividad, disponibilidad tecnológica y oportunidades de aprendizaje. Aunque estas brechas preceden a la expansión de la educación digital, la pandemia permitió observarlas con mayor nitidez. La ubicación geográfica adquirió peso decisivo cuando estudiar dependía de dispositivos, acceso estable a internet y acompañamiento pedagógico continuo en casa.

Durante el confinamiento, numerosos estudiantes ecuatorianos afrontaron cambios profundos en sus rutinas académicas y personales. Asanov et al. (2021) documentaron dificultades relacionadas con aprendizaje remoto, uso del tiempo y bienestar emocional entre estudiantes de secundaria. Sus hallazgos muestran que la continuidad escolar estuvo condicionada por recursos familiares y tecnológicos, revelando diferencias importantes en las posibilidades reales de sostener experiencias educativas significativas.

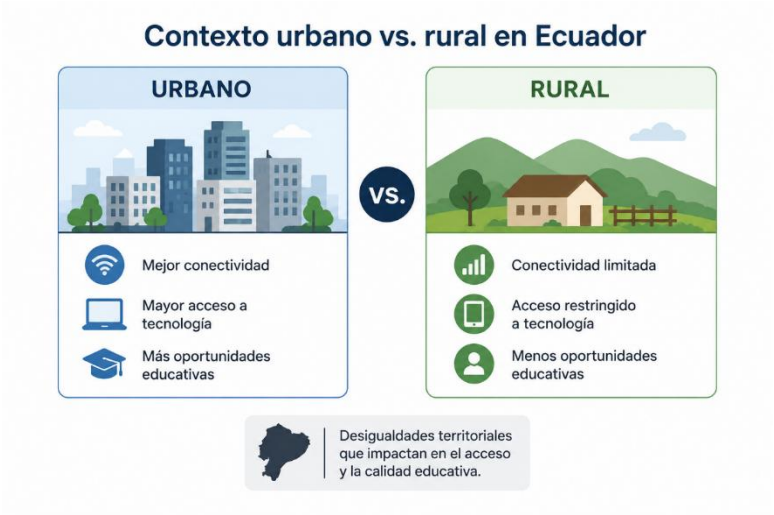
Las áreas rurales enfrentaron mayores limitaciones derivadas de conectividad deficiente, menor disponibilidad de equipos y distancias territoriales, mientras los espacios urbanos tendieron a disponer de mejores condiciones de acceso. Stinson (2022) analiza estas desigualdades durante la educación remota ecuatoriana y destaca efectos sobre acceso y calidad educativa. La tecnología, lejos de neutralizar diferencias previas, pudo reproducirlas cuando faltaron condiciones materiales adecuadas.

Sin embargo, la comparación territorial requiere evitar una lectura rígida que presente lo urbano como homogéneamente favorecido y lo rural como inevitablemente rezagado. Dentro de

cada ámbito existen diferencias económicas, familiares e institucionales. Asanov et al. (2021) evidencian que las experiencias estudiantiles durante el aprendizaje remoto fueron diversas, recordando que las brechas educativas responden a interacciones entre recursos disponibles, condiciones domésticas y oportunidades pedagógicas.

Figura 3

Brecha educativa urbano-rural En el Ecuador



Esta realidad demanda propuestas educativas capaces de adaptarse a condiciones territoriales distintas sin reducir expectativas de aprendizaje. Stinson (2022) permite advertir que acceso y calidad deben abordarse conjuntamente al diseñar respuestas educativas mediadas por tecnología. En el Ecuador, un kit STEAM inteligente puede contribuir a esta tarea mediante experiencias manipulativas, accesibles y flexibles que articulen razonamiento aritmético, creatividad y participación estudiantil con recursos viables.

1.2.3 Impacto pospandemia en la calidad educativa

La etapa pospandemia dejó en la educación ecuatoriana efectos que exceden la interrupción temporal de las clases presenciales. Las diferencias en acceso, continuidad pedagógica y acompañamiento familiar alteraron ritmos de aprendizaje y profundizaron desigualdades previamente existentes. Recuperar la calidad educativa requiere atender aprendizajes pendientes, reconstruir vínculos escolares y reconocer que estudiantes y docentes regresaron a las aulas con experiencias marcadamente distintas entre sí.

Durante el confinamiento, el aprendizaje remoto modificó rutinas académicas, relaciones sociales y bienestar estudiantil. Asanov et al. (2021) encontraron entre estudiantes ecuatorianos una reducción considerable del tiempo destinado al aprendizaje y señales preocupantes relacionadas con salud mental. Estos hallazgos permiten comprender que las consecuencias educativas posteriores no pueden medirse únicamente mediante rendimiento, pues también intervienen motivación, bienestar emocional y participación escolar cotidiana.

La calidad educativa también quedó condicionada por las diferencias existentes en las posibilidades de mantener contacto pedagógico durante el cierre escolar. Stinson (2022) señala que las medidas de aprendizaje remoto produjeron efectos desiguales sobre acceso y calidad En el Ecuador. La experiencia confirmó que trasladar contenidos hacia medios digitales no garantiza continuidad formativa cuando conectividad, dispositivos, acompañamiento docente y capacidades familiares presentan distribuciones profundamente desiguales.

En la etapa posterior, recuperar aprendizajes demanda intervenciones capaces de reconocer distintos puntos de partida. La evidencia presentada por Asanov et al. (2021) muestra que las condiciones domésticas y educativas influyeron en la participación

estudiantil durante el confinamiento. Por ello, evaluar necesidades, fortalecer habilidades fundamentales y ofrecer experiencias activas puede contribuir a reconstruir confianza académica, especialmente entre quienes experimentaron interrupciones prolongadas del aprendizaje.

La pospandemia abre también una oportunidad para revisar decisiones pedagógicas y tecnológicas adoptadas durante la emergencia. Stinson (2022) permite advertir que calidad y acceso deben permanecer estrechamente vinculados en cualquier estrategia de transformación educativa. Bajo esta perspectiva, recursos STEAM accesibles pueden favorecer recuperación, pensamiento aritmético y participación mediante experiencias prácticas que combinen tecnología pertinente, interacción presencial y atención a diversas trayectorias estudiantiles.

1.3 Tecnología educativa de bajo costo como estrategia inclusiva

La tecnología educativa de bajo costo representa una alternativa para ampliar oportunidades de aprendizaje cuando los recursos institucionales son limitados. Su valor pedagógico no depende del precio ni de la sofisticación técnica, sino de su capacidad para responder a necesidades reales. Dispositivos accesibles, materiales reutilizables y herramientas abiertas pueden favorecer experiencias activas, participación estudiantil y autonomía mediante decisiones pedagógicas cuidadosamente planificadas.

Desde una perspectiva inclusiva, la tecnología adquiere sentido cuando reduce barreras para participar, comunicarse y aprender. Fernández-Batanero et al. (2022), mediante una revisión sistemática, identifican aportes de las tecnologías de asistencia en la educación de estudiantes con discapacidad. Sus hallazgos destacan beneficios relacionados con participación y aprendizaje, aunque también revelan necesidades de formación docente y

condiciones institucionales favorables para aprovechar tales recursos educativos.

El costo constituye una dimensión relevante en comunidades donde adquirir, mantener o renovar equipamiento tecnológico resulta difícil. Lynch et al. (2022) examinan experiencias destinadas a estudiantes con discapacidad en países de ingresos bajos y medios, mostrando una base investigativa todavía limitada. Esta realidad invita a priorizar tecnologías sostenibles, adaptables y pertinentes, cuya utilización pueda mantenerse sin generar dependencias económicas difíciles para escuelas y familias.

Una estrategia tecnológica inclusiva requiere mirar más allá del dispositivo. Importan su facilidad de uso, accesibilidad, mantenimiento, disponibilidad local y articulación con objetivos educativos. Fernández-Batanero et al. (2022) destacan barreras vinculadas con preparación profesional y aprovechamiento pedagógico de tecnologías asistivas. Por ello, una herramienta económica adquiere verdadero valor cuando docentes y estudiantes pueden apropiarse de ella, modificar prácticas y participar con mayor autonomía.

En propuestas STEAM, las tecnologías de bajo costo pueden acercar experimentación, programación, razonamiento matemático y creación a poblaciones con recursos diversos. Lynch et al. (2022) permiten advertir la necesidad de producir mayor evidencia sobre soluciones tecnológicas para entornos educativos con restricciones económicas. Un kit inteligente, modular y accesible puede contribuir a democratizar experiencias formativas cuando combina funcionalidad, adaptabilidad y pertinencia pedagógica para todos.

1.3.1 Principios del diseño tecnológico accesible

El diseño tecnológico accesible parte de una premisa sencilla: toda herramienta educativa debe permitir participación

significativa a estudiantes con capacidades, recursos y experiencias diversas. Accesibilidad implica anticipar barreras desde la concepción del recurso, no corregirlas después. Interfaces comprensibles, instrucciones claras, retroalimentación perceptible y alternativas de interacción favorecen autonomía, reducen dependencias y convierten la tecnología en mediadora genuina del aprendizaje escolar cotidiano.

La flexibilidad constituye otro principio fundamental, pues las necesidades educativas rara vez responden a un patrón uniforme. Fernández-Batanero et al. (2022) identifican que las tecnologías de asistencia pueden favorecer participación, autonomía y aprendizaje de estudiantes con discapacidad. Diseñar con flexibilidad implica ofrecer distintas formas de acceder a información, ejecutar acciones y expresar respuestas, respetando ritmos, capacidades sensoriales y maneras particulares de interacción estudiantil.

La accesibilidad tecnológica también requiere considerar disponibilidad, costo, mantenimiento y facilidad de reparación. Lynch et al. (2022), al revisar experiencias en países de ingresos bajos y medios, evidencian limitaciones en la investigación sobre tecnologías educativas destinadas a estudiantes con discapacidad. Esta realidad refuerza la necesidad de soluciones sostenibles, comprensibles y adaptables, capaces de permanecer funcionales aun donde existen restricciones económicas e infraestructurales persistentes.

Otro principio reside en diseñar desde las personas y sus experiencias educativas concretas. Una herramienta técnicamente avanzada pierde pertinencia cuando demanda habilidades, infraestructura o apoyos inexistentes. Fernández-Batanero et al. (2022) señalan que formación docente y condiciones institucionales influyen en el aprovechamiento de tecnologías asistivas. Escuchar a estudiantes y educadores durante el diseño permite reconocer

barreras tempranas y construir respuestas pedagógicas verdaderamente utilizables.

En un kit STEAM inteligente, estos principios pueden materializarse mediante componentes modulares, interfaces intuitivas, materiales resistentes y actividades ajustables a diferentes niveles de desempeño. Lynch et al. (2022) destacan la importancia de atender las condiciones de implementación en entornos con recursos limitados. Diseñar para la diversidad significa equilibrar funcionalidad, costo y pertinencia pedagógica, procurando que cada decisión tecnológica amplíe oportunidades educativas reales.

1.3.2 Energías renovables en entornos educativos

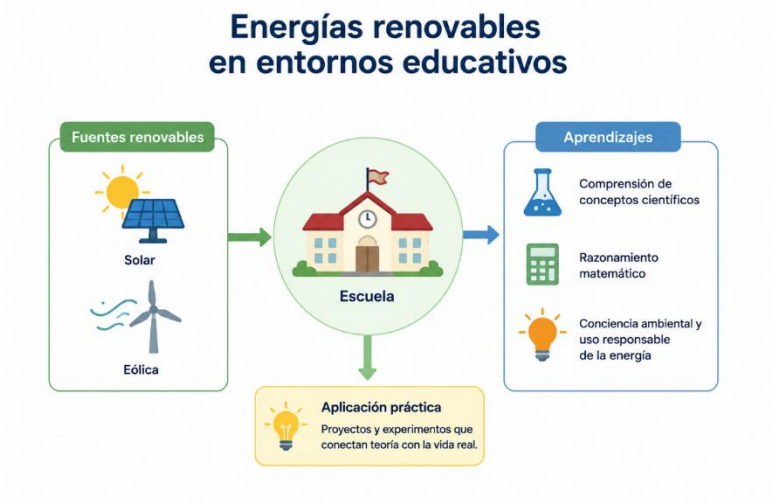
Las energías renovables ofrecen posibilidades pedagógicas que trascienden la enseñanza de conceptos ambientales. En la escuela, permiten relacionar ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas con fenómenos observables, decisiones cotidianas y responsabilidad ambiental. Trabajar con fuentes solares, eólicas u otras alternativas convierte principios abstractos en experiencias manipulables, donde medir, comparar, construir y argumentar favorece una comprensión activa de la sostenibilidad energética contemporánea.

La educación sobre energías renovables cobra mayor sentido cuando combina conocimientos científicos con experiencias prácticas y participación estudiantil. Hoque et al. (2022) destacan diversos métodos educativos capaces de favorecer interés y compromiso del alumnado de secundaria hacia estas fuentes energéticas. Este enfoque permite abordar sostenibilidad desde actividades investigativas, proyectos experimentales y problemas cercanos, fortaleciendo pensamiento crítico y disposición hacia decisiones ambientalmente responsables.

La alfabetización energética constituye otra dimensión formativa relevante, pues permite comprender producción, consumo, eficiencia y consecuencias ambientales asociadas con diferentes fuentes. Rohmatulloh et al. (2023), mediante una revisión sistemática, muestran que los programas escolares de alfabetización energética emplean estrategias variadas para fortalecer conocimientos y actitudes. Aprender energía, entonces, implica relacionar información científica con decisiones responsables dentro y fuera del espacio escolar cotidiano.

Figura 4

Energías renovables para el aprendizaje escolar



Incorporar pequeños paneles solares, circuitos o dispositivos de medición permite observar transformaciones energéticas directamente y convertirlas en oportunidades de razonamiento. Hoque et al. (2022) resaltan el valor de metodologías participativas para despertar interés por las energías renovables. En una propuesta STEAM, estas experiencias favorecen formulación de hipótesis, registro de datos, cálculos, diseño tecnológico y colaboración entre estudiantes durante proyectos escolares compartidos.

Para un kit STEAM inteligente, las energías renovables aportan además autonomía tecnológica y pertinencia ambiental, especialmente donde el suministro eléctrico presenta limitaciones. Rohmatulloh et al. (2023) evidencian que la alfabetización energética escolar puede articular conocimientos, actitudes y prácticas. Integrar generación solar de pequeña escala permitiría alimentar componentes, realizar mediciones y vincular pensamiento aritmético con experiencias tangibles de sostenibilidad, eficiencia y responsabilidad colectiva.

1.4 Síntesis del capítulo

El capítulo permite comprender la educación del siglo XXI como un espacio donde innovación y equidad necesitan avanzar de manera articulada. La transformación educativa adquiere valor cuando las nuevas herramientas amplían oportunidades, favorecen aprendizajes relevantes y responden a realidades territoriales diversas. Bajo esta perspectiva, STEAM constituye una vía para integrar conocimientos y experiencias. La tecnología, por su parte, deja de representar un propósito autónomo y se convierte en mediadora de participación, creatividad y construcción compartida del saber.

La educación STEAM aporta una concepción interdisciplinaria en la que ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas dialogan alrededor de problemas y proyectos. Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) identifican resultados favorables relacionados con creatividad estudiantil, aunque reconocen diferencias metodológicas entre las investigaciones revisadas. Este balance permite valorar el enfoque con prudencia académica. Su riqueza pedagógica reside en favorecer conexiones entre saberes, pensamiento divergente, experimentación y argumentación sin diluir la identidad intelectual de cada disciplina.

La evolución desde STEM hacia STEAM revela, además, un proceso de ampliación conceptual que otorgó mayor presencia al

diseño, la creatividad y las artes dentro de la formación científica. Mejias et al. (2021) advierten que STEAM conserva significados diversos y fronteras conceptuales todavía discutidas. Esta heterogeneidad no invalida su utilidad educativa, pero exige fundamentación. Cada propuesta necesita establecer qué disciplinas articula, qué relaciones construye entre ellas y qué propósitos formativos orientan esa integración.

La evidencia internacional también muestra que no existe una fórmula única para desarrollar experiencias interdisciplinarias en las escuelas. White y Delaney (2021) encontraron una diversidad considerable de modelos, estrategias y formas de implementación en la literatura examinada. Tal variedad refuerza la importancia de diseñar propuestas coherentes con las necesidades educativas de cada comunidad. La integración adquiere profundidad cuando existe una pregunta articuladora, participación estudiantil y transferencia de conocimientos entre áreas durante una experiencia significativa.

Junto con estas posibilidades aparece una realidad que condiciona cualquier proyecto de innovación: la brecha digital latinoamericana. Ancheta-Arrabal et al. (2021) muestran que las desigualdades tecnológicas poseen dimensiones educativas y de género, vinculadas con acceso, competencias y participación. La disponibilidad de dispositivos constituye apenas una parte de esta problemática. También intervienen conectividad, alfabetización digital, autonomía, condiciones económicas y oportunidades de uso, factores que distribuyen de manera desigual los beneficios asociados con la transformación tecnológica.

Las diferencias territoriales adquieren especial relevancia al observar las experiencias educativas ecuatorianas. Durante la pandemia, estudiantes y familias enfrentaron condiciones muy distintas para sostener la continuidad escolar. Asanov et al. (2021) registraron cambios relevantes en el tiempo dedicado al aprendizaje y en el bienestar emocional de estudiantes de

secundaria. La experiencia dejó una enseñanza persistente: las políticas tecnológicas necesitan reconocer las condiciones materiales y personales desde las cuales cada estudiante participa en su formación.

La pospandemia, por ello, demanda una comprensión amplia de la calidad educativa. Recuperar aprendizajes implica atender conocimientos, vínculos, participación y bienestar, además de revisar las decisiones tecnológicas heredadas de la emergencia. Stinson (2022) analiza las repercusiones del aprendizaje remoto sobre acceso y calidad En el Ecuador, mostrando desigualdades que exceden la disponibilidad tecnológica. Una política educativa equitativa requiere combinar infraestructura, mediación docente, recursos pertinentes y estrategias sensibles a diferentes trayectorias escolares.

Frente a estas desigualdades, la tecnología educativa de bajo costo aparece como una alternativa con posibilidades inclusivas cuando su diseño responde a necesidades reales. Fernández-Batanero et al. (2022) identifican aportes de las tecnologías de asistencia para favorecer participación y aprendizaje de estudiantes con discapacidad, junto con barreras vinculadas con formación e implementación. Accesibilidad, por tanto, significa anticipar diferencias desde el diseño y crear herramientas comprensibles, adaptables, sostenibles y pedagógicamente útiles para poblaciones diversas.

Lynch et al. (2022) amplían esta reflexión al analizar tecnologías educativas destinadas a estudiantes con discapacidad en países de ingresos bajos y medios. Su revisión evidencia la necesidad de considerar disponibilidad, infraestructura, capacitación y sostenibilidad al valorar cualquier intervención. Esta perspectiva resulta especialmente pertinente para un kit STEAM inteligente. Modularidad, facilidad de reparación, autonomía operativa y costos razonables pueden convertirse en principios de

diseño capaces de acercar experiencias tecnológicas a escuelas con condiciones materiales diferentes.

La sostenibilidad completa esta visión integradora al incorporar las energías renovables como contenido y recurso pedagógico. Hoque et al. (2022) destacan estrategias educativas que favorecen el interés estudiantil por estas fuentes, mientras Rohmatulloh et al. (2023) muestran el valor de los programas de alfabetización energética escolar. En conjunto, el capítulo fundamenta una propuesta donde STEAM, accesibilidad, equidad territorial y sostenibilidad convergen para respaldar experiencias orientadas al desarrollo aritmético y neurocognitivo.

Tabla 1

Ejes conceptuales de la educación del siglo XXI entre innovación y equidad

Eje temático	Aporte al desarrollo educativo
Educación STEAM como paradigma integrador	Articula ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas mediante experiencias interdisciplinarias orientadas a la creatividad, el razonamiento, la experimentación y la resolución de problemas relevantes.
Fundamentos epistemológicos de STEAM	Concibe el conocimiento como una construcción relacional y dinámica, donde diferentes disciplinas conservan sus particularidades mientras establecen conexiones para investigar, diseñar, argumentar y producir respuestas fundamentadas.
Evolución de STEM a STEAM	Amplía la perspectiva STEM mediante la incorporación de las artes, fortaleciendo creatividad, diseño, comunicación, sensibilidad estética y pensamiento divergente dentro de experiencias científicas y tecnológicas.
Eficacia pedagógica de STEAM	La evidencia internacional identifica posibilidades favorables para fortalecer creatividad, participación e interdisciplinariedad, aunque los resultados dependen del diseño pedagógico, la mediación docente y las características de cada experiencia educativa.
Brecha digital y educativa	Evidencia desigualdades relacionadas con conectividad, dispositivos, competencias digitales, género, territorio y oportunidades educativas, mostrando que el acceso tecnológico requiere acompañarse de condiciones pedagógicas equitativas.
Realidades urbanas y rurales en Ecuador	Las diferencias territoriales afectan conectividad, disponibilidad tecnológica y continuidad educativa. Estas condiciones demandan propuestas flexibles que reconozcan

Eje temático	Aporte al desarrollo educativo
	las particularidades materiales, familiares e institucionales presentes en cada comunidad.
Impacto pospandemia	La recuperación educativa requiere atender aprendizajes pendientes, participación, bienestar emocional y desigualdades profundizadas durante la educación remota, articulando tecnología pertinente con acompañamiento docente y experiencias presenciales significativas.
Tecnología educativa de bajo costo	Favorece la democratización de oportunidades mediante recursos accesibles, funcionales, sostenibles y adaptables, especialmente en instituciones con restricciones económicas o tecnológicas.
Diseño tecnológico accesible	Prioriza flexibilidad, facilidad de uso, mantenimiento, autonomía y adaptación a distintas capacidades y condiciones educativas, procurando reducir barreras desde la concepción de cada recurso.
Energías renovables en educación	Vinculan sostenibilidad con experimentación STEAM mediante actividades relacionadas con generación energética, medición, eficiencia y responsabilidad ambiental, favoreciendo aprendizajes científicos y matemáticos mediante experiencias prácticas.
Proyección hacia el Kit STEAM Inteligente	Integra interdisciplinariedad, accesibilidad, tecnología de bajo costo y sostenibilidad como fundamentos para promover desarrollo aritmético y neurocognitivo mediante experiencias educativas adaptables a poblaciones urbanas y rurales.

Nota. La tabla organiza los principales ejes desarrollados en el capítulo y su relación con la innovación educativa, la equidad, la accesibilidad tecnológica y la fundamentación del Kit STEAM Inteligente.

Capítulo 2:

Fundamentos Teóricos: Aritmética, Neurociencia y Aprendizaje

Comprender el aprendizaje aritmético durante la infancia exige mirar más allá del dominio operativo de sumas, restas, multiplicaciones y divisiones. En cada respuesta intervienen conocimientos numéricos, memoria, atención, razonamiento y experiencias acumuladas dentro y fuera de la escuela. Este capítulo reúne aportes de la educación, la neurociencia cognitiva y el constructivismo para fundamentar una perspectiva integral del desarrollo infantil, donde aprender matemáticas constituye una experiencia intelectual, corporal, tecnológica y progresivamente autónoma.

Durante los primeros años escolares, el pensamiento matemático experimenta transformaciones que modifican la manera de representar cantidades, recuperar hechos aritméticos y seleccionar procedimientos. Vogel y De Smedt (2021) explican que las capacidades numéricas se relacionan con dinámicas cerebrales que cambian a medida que avanzan el desarrollo y la experiencia. Esta plasticidad ayuda a comprender la diversidad de estrategias infantiles y recuerda que una respuesta incorrecta puede revelar procesos de razonamiento todavía en construcción.

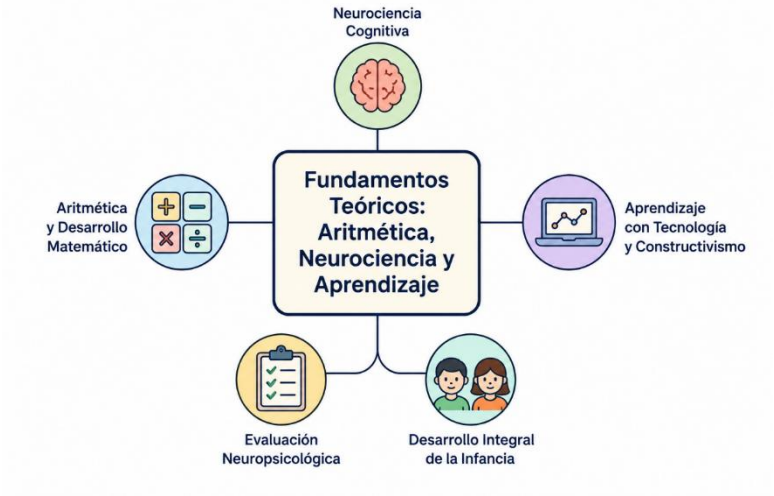
Las dificultades en operaciones básicas requieren una lectura igualmente cuidadosa. Errores persistentes pueden relacionarse con conocimientos numéricos, memoria de trabajo, atención o funciones ejecutivas, sin responder necesariamente a una causa uniforme. Nelson et al. (2022) documentan una amplia diversidad de necesidades entre estudiantes con dificultades matemáticas. A su vez, Agostini et al. (2022) destacan la participación de capacidades cognitivas generales, aportando argumentos para diseñar apoyos pedagógicos diferenciados y fundamentados en evidencia.

La neurociencia cognitiva amplía esta mirada al estudiar procesos que sostienen la actividad académica cotidiana. Mantener instrucciones, inhibir respuestas precipitadas, organizar información y cambiar de estrategia son acciones frecuentes

durante una tarea matemática. Spiegel et al. (2021) encontraron relaciones consistentes entre funciones ejecutivas y resultados académicos en escolares. En una línea complementaria, Zhang et al. (2023) identificaron asociaciones entre memoria de trabajo y desempeño aritmético, especialmente relevantes durante la educación primaria.

Figura 5

Fundamentos del aprendizaje aritmético y neurocognitivo



Aprender también transforma. La plasticidad cerebral permite comprender que la experiencia, la práctica y determinadas intervenciones pueden acompañarse de modificaciones funcionales durante el desarrollo. Weyandt et al. (2020) revisaron evidencia sobre respuestas neuroplásticas infantiles y adolescentes vinculadas con intervenciones. Desde el ámbito educativo, Brault Foisy et al. (2020) destacan la influencia potencial de las prácticas docentes sobre procesos de plasticidad neuronal, otorgando especial relevancia a experiencias activas, significativas y cuidadosamente diseñadas.

La dimensión corporal merece un lugar dentro de esta comprensión del aprendizaje. Manipular piezas, escribir números, ensamblar componentes o coordinar movimientos con información visual moviliza habilidades que acompañan numerosas tareas escolares. Li et al. (2025) encontraron asociaciones entre motricidad fina y capacidades académicas infantiles. Paralelamente, Fernández García et al. (2021) describen transformaciones neuropsicológicas de las funciones ejecutivas entre los seis y doce años, etapa particularmente sensible para consolidar regulación, precisión y autonomía.

La tecnología adquiere sentido pedagógico cuando deja de ocupar el lugar de accesorio y se convierte en medio para pensar, construir y revisar ideas. Las aportaciones de Seymour Papert resultan especialmente pertinentes en este punto. Lachney y Foster (2020) recuperan las bases epistemológicas del construccionismo y su influencia sobre la cultura maker, donde aprender haciendo adquiere profundidad educativa. Construir un objeto, programarlo y corregirlo puede transformar conceptos abstractos en experiencias intelectualmente significativas.

Esta tradición conserva vigencia frente a las posibilidades de los ambientes digitales contemporáneos. Levin et al. (2025) describen la evolución del construccionismo a través de distintas épocas tecnológicas, mostrando su capacidad de adaptación ante nuevas herramientas educativas. Por otra parte, Scheiter (2021) advierte que la tecnología favorece el aprendizaje cuando su utilización responde a principios pedagógicos y cognitivos bien definidos. La innovación, por tanto, encuentra valor en la intención educativa que orienta cada recurso.

La personalización tecnológica abre otra vía para atender diferencias en ritmos, conocimientos y formas de participación. Van Schoors et al. (2021), mediante una revisión de veinticinco años de investigación, documentan la evolución conceptual y metodológica del aprendizaje digital personalizado. Esta

perspectiva resulta pertinente para propuestas STEAM capaces de ofrecer apoyos graduados, retroalimentación y actividades ajustables. El propósito permanece educativo: ampliar oportunidades para comprender, experimentar, argumentar y construir relaciones matemáticas con creciente independencia.

Evaluar estos procesos requiere instrumentos y diseños capaces de registrar cambios sin reducir la experiencia infantil a una cifra. Las pruebas neuropsicológicas aportan información valiosa cuando dialogan con observaciones y producciones escolares. Asimismo, el enfoque pretest-postest permite comparar desempeños antes y después de una intervención. Ng et al. (2020) muestran la utilidad del diseño cuasiexperimental para estudiar intervenciones tecnológicas educativas, ofreciendo un referente metodológico pertinente para valorar propuestas STEAM desde evidencia sistemática y pedagógicamente interpretable.

2.1 Desarrollo aritmético en la infancia

El desarrollo aritmético durante la infancia constituye un proceso gradual en el que las representaciones de cantidad, los símbolos numéricos y las operaciones adquieren significado mediante experiencias reiteradas. Desde edades tempranas, niñas y niños establecen relaciones entre magnitudes, comparan colecciones y reconocen regularidades. Estas capacidades iniciales preparan aprendizajes posteriores, mientras la escolarización organiza estrategias cada vez más precisas y flexibles.

La adquisición de habilidades aritméticas también refleja transformaciones funcionales del cerebro infantil. Vogel y De Smedt (2021) describen una reorganización progresiva de redes neuronales vinculadas con el procesamiento numérico, cuya participación cambia conforme aumentan la experiencia y la competencia. Esta plasticidad permite comprender que aprender sumas, restas o multiplicaciones involucra memoria, atención,

representación simbólica y recuperación eficiente de conocimientos previos.

Durante los primeros años escolares, el cálculo deja de depender principalmente del conteo visible y comienza a apoyarse en procedimientos mentales más económicos. Un niño puede pasar de contar cada elemento a recuperar resultados conocidos o descomponer cantidades estratégicamente. Menon y Chang (2021) relacionan esta evolución con cambios neurocognitivos que articulan sistemas de memoria, control ejecutivo y procesamiento matemático especializado.

Las diferencias individuales merecen especial atención, pues el desarrollo aritmético no avanza con idéntico ritmo ni mediante las mismas rutas. La experiencia educativa, las oportunidades de práctica y la calidad de las interacciones influyen en la consolidación de conocimientos. Vogel y De Smedt (2021) destacan que las redes cerebrales numéricas se transforman durante el desarrollo, acompañando niveles crecientes de automatización.

Comprender esta trayectoria permite orientar propuestas educativas sensibles a la diversidad infantil y a las particularidades de cada entorno de aprendizaje. La enseñanza aritmética gana profundidad cuando combina manipulación, lenguaje, representación visual, razonamiento y práctica significativa. Desde una perspectiva neuroeducativa, Menon y Chang (2021) señalan que el aprendizaje matemático depende de sistemas cerebrales dinámicos, modulados por experiencia, maduración e instrucción.

2.1.1 Etapas del pensamiento matemático en niños de 8 a 9 años

Entre los ocho y nueve años, el pensamiento matemático atraviesa una etapa de reorganización significativa. Los niños comienzan a relacionar cantidades, símbolos y operaciones con

mayor autonomía, apoyándose todavía en experiencias concretas. El razonamiento gana flexibilidad cuando comparan procedimientos, anticipan resultados y explican sus decisiones. Esta transición favorece una comprensión numérica menos dependiente del conteo y progresivamente más reflexiva cotidiana.

Figura 6
Progresión del pensamiento matemático infantil

En esta edad, las estrategias aritméticas pasan de procedimientos visibles a recursos mentales progresivamente eficientes. Vogel y De Smedt (2021) señalan que el desarrollo numérico se relacionó con cambios dinámicos en redes cerebrales especializadas. El niño empieza a recuperar hechos aritméticos conocidos, descomponer números y elegir procedimientos según la tarea, fortaleciendo gradualmente precisión, velocidad y sentido de cantidad cada vez.

Otro avance aparece cuando los escolares coordinan distintas representaciones de una misma relación matemática. Pueden interpretar una operación mediante objetos, dibujos, expresiones numéricas o explicaciones verbales, estableciendo

conexiones entre ellas. Menon y Chang (2021) vinculan el aprendizaje matemático con la interacción cambiante entre sistemas cerebrales de memoria y control cognitivo, relación que favorece estrategias progresivamente organizadas durante esta etapa escolar.

El pensamiento matemático también adquiere una dimensión metacognitiva relevante. A los ocho y nueve años, muchos niños pueden revisar un procedimiento, detectar inconsistencias y justificar por qué una respuesta resulta razonable. Este progreso no ocurre de manera uniforme. Las oportunidades de diálogo, manipulación y práctica favorecen que cada estudiante contraste ideas, reformule estrategias y construya relaciones aritméticas con mayor independencia.

Desde una perspectiva neurocognitiva, estas etapas deben entenderse en calidad de procesos flexibles antes que secuencias rígidas. Vogel y De Smedt (2021) destacan cambios asociados con experiencia y maduración en las redes del procesamiento numérico. Menon y Chang (2021) enfatizan la reorganización funcional durante el aprendizaje matemático, aspecto relevante para diseñar experiencias STEAM ajustadas a ritmos infantiles y necesidades educativas.

2.1.2 Dificultades más frecuentes en operaciones básicas

Las dificultades en operaciones básicas suelen manifestarse mediante conteos imprecisos, confusión entre signos, errores al recuperar hechos numéricos y escasa comprensión del valor posicional. Estas expresiones no responden necesariamente a una causa única. En la práctica escolar, algunos niños comprenden el procedimiento, pero pierden información durante su ejecución; otros aplican reglas memorizadas sin reconocer plenamente las relaciones numéricas implicadas todavía.

La suma y la resta presentan obstáculos cuando el estudiante mantiene estrategias de conteo poco eficientes o encuentra dificultades para representar mentalmente cantidades. Nelson et al. (2022) identifican evidencia acumulada sobre necesidades persistentes vinculadas al aprendizaje matemático, especialmente en estudiantes con dificultades específicas. Tales hallazgos respaldan intervenciones explícitas, sistemáticas y cuidadosamente graduadas que fortalezcan comprensión conceptual y desempeño procedimental progresivo.

En multiplicación y división, las dificultades pueden apreciarse al establecer relaciones entre grupos, comprender equivalencias o recuperar combinaciones numéricas almacenadas en la memoria. Agostini et al. (2022) documentan asociaciones entre dificultades matemáticas y procesos cognitivos generales, entre ellos memoria de trabajo, atención y funciones ejecutivas. Estas capacidades participan activamente cuando el estudiante debe mantener datos, seleccionar estrategias y verificar resultados.

Otro problema frecuente aparece cuando el conocimiento adquirido no se transfiere hacia situaciones diferentes. Un estudiante puede resolver correctamente ejercicios repetitivos y, sin embargo, vacilar ante un problema verbal que exige decidir qué operación utilizar. Esta distancia entre ejecución y comprensión revela la necesidad de trabajar representaciones múltiples, lenguaje matemático, estimación y razonamiento, evitando reducir el aprendizaje a respuestas mecánicamente memorizadas.

Reconocer estas dificultades requiere observar procesos, estrategias y errores, no únicamente respuestas correctas o incorrectas. Nelson et al. (2022) resaltan la diversidad existente en las necesidades matemáticas, mientras Agostini et al. (2022) muestran la participación de diversos recursos cognitivos. Una enseñanza sensible a estas diferencias puede combinar materiales manipulativos, apoyos visuales, práctica guiada y retroalimentación oportuna para favorecer aprendizajes duraderos.

2.1.3 Estrategias pedagógicas basadas en evidencia

Las estrategias pedagógicas basadas en evidencia articulan investigación, observación docente y necesidades particulares del alumnado para orientar decisiones educativas fundamentadas. En aritmética, resultan valiosas la enseñanza explícita, la práctica guiada, el uso de representaciones visuales y la retroalimentación frecuente. Cada recurso adquiere sentido cuando favorece comprensión, participación y autonomía, permitiendo que los estudiantes construyan procedimientos matemáticos conscientes, transferibles y progresivamente eficientes.

La instrucción sistemática cobra especial relevancia cuando existen dificultades persistentes en el aprendizaje matemático. Nelson et al. (2022), al revisar síntesis de investigaciones, identifican prácticas educativas respaldadas por resultados favorables para estudiantes que requieren apoyos específicos. Secuenciar contenidos, modelar procedimientos y ofrecer oportunidades reiteradas de práctica permite disminuir cargas innecesarias mientras se fortalecen conocimientos numéricos, estrategias de resolución y confianza académica.

El empleo de materiales manipulativos y representaciones gráficas facilita establecer puentes entre cantidades concretas y símbolos abstractos. Su valor pedagógico aumenta cuando el docente acompaña la actividad mediante preguntas, explicaciones y comparaciones entre procedimientos. Esta mediación evita que el recurso se convierta en entretenimiento aislado y favorece que cada experiencia contribuya al razonamiento, la argumentación y la comprensión de relaciones aritméticas relevantes.

Las intervenciones también pueden considerar procesos cognitivos que participan en el desempeño matemático. Agostini et al. (2022) documentan relaciones entre dificultades matemáticas y capacidades generales vinculadas con memoria de trabajo, atención y funciones ejecutivas. Desde esta perspectiva, fragmentar

instrucciones, reducir información simultánea y proporcionar apoyos visuales puede facilitar que los estudiantes concentren recursos mentales en comprender relaciones numéricas y ejecutar procedimientos pertinentes.

Una pedagogía sustentada en evidencia requiere seguimiento continuo y capacidad para ajustar la enseñanza según las respuestas observadas. Nelson et al. (2022) destacan la diversidad de intervenciones estudiadas, mientras Agostini et al. (2022) evidencian perfiles cognitivos heterogéneos entre escolares con dificultades matemáticas. Evaluar avances, analizar errores y diversificar apoyos permite construir experiencias STEAM accesibles, estimulantes y respetuosas con diferentes ritmos de aprendizaje.

2.2 Neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje

La neurociencia cognitiva aporta un marco para comprender los procesos mentales y cerebrales que participan durante el aprendizaje infantil. Atención, memoria, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva intervienen cuando un estudiante interpreta información, selecciona procedimientos o corrige errores. Esta perspectiva aproxima investigación y educación, aunque exige prudencia: los hallazgos neurocientíficos adquieren valor pedagógico cuando dialogan con evidencias educativas y observaciones del aula cotidiana.

Las funciones ejecutivas desempeñan un papel relevante en la regulación del comportamiento orientado hacia metas académicas. Spiegel et al. (2021), mediante evidencia metaanalítica, encontraron relaciones entre estas capacidades y diversos resultados escolares durante la educación primaria. Mantener instrucciones, inhibir respuestas impulsivas y cambiar estrategias facilita afrontar tareas complejas, especialmente cuando aprender demanda coordinar información nueva con conocimientos previamente adquiridos de manera organizada.

La memoria de trabajo adquiere particular importancia durante el aprendizaje aritmético, pues permite conservar temporalmente cantidades mientras se realizan transformaciones mentales. Zhang et al. (2023) encontraron una asociación consistente entre memoria de trabajo y rendimiento aritmético en escolares de primaria. Esta relación ayuda a comprender por qué instrucciones extensas, cálculos encadenados o información simultánea pueden incrementar considerablemente las demandas cognitivas para determinados estudiantes durante clase.

Aplicar estos conocimientos en educación no implica convertir cada hallazgo cerebral en una receta didáctica. Más bien, permite diseñar experiencias que administren adecuadamente la carga cognitiva, distribuyan la práctica y ofrezcan apoyos temporales. Una consigna breve, una representación visual o una pausa para recuperar información pueden modificar la experiencia de aprendizaje, favoreciendo atención sostenida, comprensión matemática y participación autónoma del alumnado.

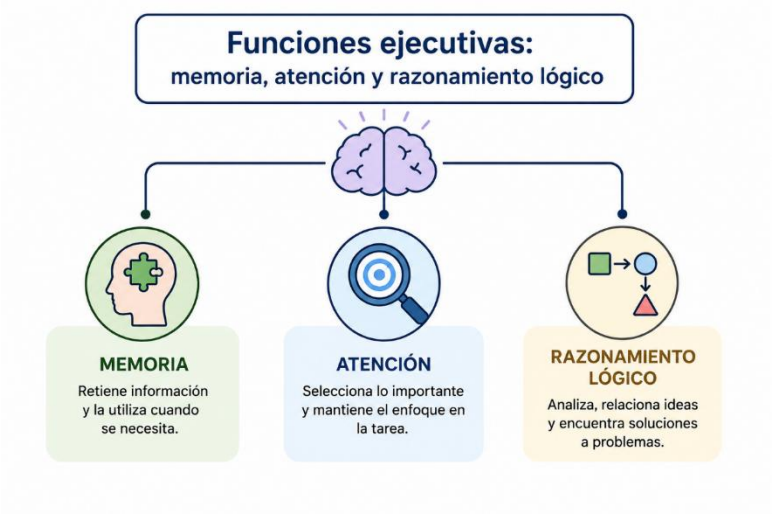
Desde esta mirada, enseñar también implica reconocer diferencias en los recursos cognitivos disponibles durante una tarea. Spiegel et al. (2021) muestran vínculos entre funciones ejecutivas y rendimiento académico, mientras Zhang et al. (2023) documentan relaciones entre memoria de trabajo y aritmética. Estos aportes respaldan propuestas STEAM flexibles, capaces de integrar manipulación, razonamiento, retroalimentación y oportunidades graduadas para aprender con mayor autonomía progresiva.

2.2.1 Funciones ejecutivas: memoria, atención y razonamiento lógico

Las funciones ejecutivas reúnen procesos cognitivos que permiten orientar la conducta hacia metas, mantener información relevante y regular respuestas ante tareas exigentes. En la infancia escolar, memoria, atención y razonamiento lógico actúan de

manera coordinada durante actividades matemáticas. Su desarrollo favorece que el estudiante organice datos, compare alternativas, controle impulsos y sostenga estrategias mientras busca respuestas pertinentes con creciente autonomía.

Figura 7
Procesos ejecutivos vinculados al aprendizaje



La memoria de trabajo permite conservar y transformar información durante periodos breves, capacidad especialmente necesaria al resolver operaciones aritméticas. Zhang et al. (2023) encontraron una relación significativa entre memoria de trabajo y desempeño aritmético en estudiantes de primaria. Recordar cantidades, retener resultados parciales y seguir secuencias operativas demanda recursos mentales que varían entre niños y también según la complejidad planteada.

La atención sostiene la selección de información relevante y ayuda a mantener el esfuerzo cognitivo frente a una actividad académica. Spiegel et al. (2021) identificaron asociaciones entre funciones ejecutivas y resultados escolares en niños de educación primaria. En matemáticas, atender implica distinguir datos

pertinentes, seguir instrucciones, evitar respuestas precipitadas y regresar al procedimiento cuando aparece una distracción durante la tarea.

El razonamiento lógico permite establecer relaciones, reconocer patrones, formular inferencias y evaluar la coherencia de una respuesta. Aunque se vincula estrechamente con conocimientos adquiridos, también requiere coordinación ejecutiva para comparar opciones y modificar estrategias. Cuando un niño explica por qué eligió determinado procedimiento matemático, pone en juego procesos de regulación cognitiva que enriquecen la comprensión y favorecen decisiones fundamentadas posteriores.

Estas capacidades no funcionan como compartimentos independientes. Spiegel et al. (2021) muestran que las funciones ejecutivas mantienen relaciones con el desempeño académico, mientras Zhang et al. (2023) destacan la memoria de trabajo en aritmética. Una enseñanza sensible a estas diferencias puede graduar instrucciones, incorporar apoyos visuales y promover pausas reflexivas que favorezcan atención, razonamiento y autorregulación durante el aprendizaje matemático.

2.2.2 Plasticidad cerebral y aprendizaje activo

La plasticidad cerebral expresa la capacidad del sistema nervioso para modificar conexiones y patrones funcionales mediante experiencia, práctica y aprendizaje. Durante la infancia, esta propiedad adquiere especial relevancia educativa porque las actividades reiteradas pueden fortalecer determinadas redes neuronales. Aprender, desde esta perspectiva, implica cambios progresivos asociados con participación, retroalimentación y oportunidades significativas para relacionar conocimientos previos con experiencias nuevas y diversas.

La evidencia revisada por Weyandt et al. (2020) muestra que distintas intervenciones pueden acompañarse de modificaciones neuroplásticas durante la infancia y adolescencia. Estos hallazgos invitan a comprender el desarrollo cerebral como un proceso sensible a experiencias estructuradas. En educación, la práctica frecuente, graduada y acompañada puede favorecer aprendizajes cuando respeta ritmos individuales y ofrece oportunidades para revisar errores sin penalizaciones innecesarias.

El aprendizaje activo concede al estudiante una participación intelectual y práctica que supera la recepción pasiva de información. Manipular materiales, formular hipótesis, resolver problemas y explicar decisiones moviliza distintos procesos cognitivos. Brault Foisy et al. (2020) plantean que las prácticas docentes pueden influir en mecanismos vinculados con plasticidad neuronal, otorgando al profesorado una responsabilidad relevante al diseñar experiencias educativas significativas y estimulantes.

En aritmética, aprender activamente puede implicar representar cantidades con objetos, comparar estrategias, construir modelos o verificar resultados mediante recursos tecnológicos. Estas acciones favorecen conexiones entre símbolos, procedimientos y significados matemáticos. La repetición mantiene valor, pero gana profundidad cuando incorpora variaciones y reflexión. El cerebro infantil recibe entonces oportunidades reiteradas para reorganizar conocimientos, fortalecer asociaciones y transferir aprendizajes hacia tareas diferentes posteriormente.

La plasticidad no garantiza aprendizajes automáticos ni convierte cualquier actividad novedosa en una experiencia pedagógicamente efectiva. Weyandt et al. (2020) destacan respuestas neuroplásticas asociadas con intervenciones, mientras Brault Foisy et al. (2020) vinculan enseñanza y cambios cerebrales. Para propuestas STEAM, esta perspectiva respalda experiencias participativas, secuenciadas y reflexivas, donde experimentar,

equivocarse, recibir orientación y volver a intentar formen parte del aprendizaje.

2.2.3 Motricidad fina y coordinación ojo-mano

La motricidad fina comprende movimientos precisos de manos y dedos que permiten manipular objetos, escribir, recortar, ensamblar piezas y utilizar herramientas escolares. Su desarrollo mantiene una estrecha relación con la coordinación ojo-mano, pues la información visual orienta movimientos dirigidos hacia metas concretas. Durante la infancia escolar, ambas capacidades favorecen autonomía, precisión y participación efectiva en numerosas experiencias de aprendizaje cotidianas.

La relación entre destrezas motoras finas y rendimiento académico ha recibido creciente atención científica. Li et al. (2025), mediante revisión sistemática y metaanálisis, encontraron asociaciones entre habilidades motoras finas y distintas capacidades académicas infantiles. Esta vinculación adquiere relevancia al considerar tareas matemáticas que requieren escribir números, organizar elementos espaciales, manipular materiales o construir representaciones físicas de relaciones cuantitativas con precisión.

La coordinación ojo-mano demanda integrar percepción visual, planificación motora y regulación continua del movimiento. Al colocar una pieza, trazar una figura o conectar componentes, el niño observa, anticipa y corrige su acción. Tales actividades también movilizan procesos ejecutivos. Fernández García et al. (2021) describen cambios relevantes de las funciones ejecutivas entre los seis y doce años, periodo especialmente dinámico del desarrollo neuropsicológico infantil.

En experiencias STEAM, la manipulación intencionada ofrece oportunidades para vincular movimiento, percepción y razonamiento. Construir estructuras, ordenar componentes o

representar cantidades mediante piezas requiere precisión manual mientras se mantienen objetivos y secuencias de acción. El valor educativo reside en integrar la actividad motriz con preguntas y decisiones intelectuales, evitando que manipular materiales quede desconectado de los propósitos matemáticos establecidos para cada experiencia educativa.

Considerar motricidad fina y coordinación ojo-mano amplía la comprensión del aprendizaje como experiencia corporal y cognitiva interrelacionada. Li et al. (2025) respaldan asociaciones entre destrezas motoras y capacidades académicas, mientras Fernández García et al. (2021) documentan la evolución de procesos ejecutivos durante la niñez. Diseñar actividades graduadas puede favorecer precisión, planificación, autonomía y participación matemática mediante experiencias manuales con propósito educativo.

2.3 El constructivismo como base del aprendizaje con tecnología

El constructivismo entiende el aprendizaje como una actividad en la que cada estudiante construye significados mediante experiencias, conocimientos previos e interacción con otros. Desde esta mirada, la tecnología adquiere valor cuando facilita crear, probar, representar y revisar ideas. Una pantalla, un sensor o una pieza programable dejan de ser recursos decorativos cuando participan en experiencias que demandan pensamiento, decisión y producción.

El construccionismo amplió esta perspectiva al destacar el aprendizaje mediante la creación de objetos compartibles y personalmente significativos. Lachney y Foster (2020), al examinar históricamente los aportes de Seymour Papert, muestran la relevancia epistemológica de aprender haciendo. Esta tradición permite comprender la tecnología educativa como medio para

materializar ideas, experimentar con ellas y reconstruir conocimientos mediante acciones deliberadas y reflexivas.

La participación activa cobra particular importancia cuando los estudiantes programan, construyen modelos o resuelven problemas mediante dispositivos tecnológicos. El error adquiere entonces valor informativo: señala relaciones que deben revisarse y abre posibilidades para ensayar nuevas respuestas. Este proceso favorece autonomía intelectual, pues aprender no consiste en reproducir instrucciones, sino en formular decisiones, contrastar resultados y reorganizar conocimientos desde la experiencia personal.

Las tecnologías contemporáneas amplían las posibilidades del construccionismo mediante entornos digitales, programación, robótica y sistemas inteligentes. Levin et al. (2025) describen su evolución a través de distintas épocas digitales, destacando transformaciones en las formas de aprender mediante creación tecnológica. Estas herramientas pueden favorecer experiencias personalizadas y colaborativas cuando permanecen subordinadas a propósitos pedagógicos claros, evitando convertir la innovación técnica en objetivo educativo independiente.

En una propuesta STEAM, el constructivismo ofrece fundamentos para integrar aritmética, diseño, experimentación y tecnología mediante actividades con propósito. Lachney y Foster (2020) recuperan raíces históricas del aprendizaje mediante creación, mientras Levin et al. (2025) proyectan estos principios hacia ambientes inteligentes. La enseñanza puede organizar experiencias donde construir, programar, argumentar y revisar decisiones conviertan al estudiante en participante activo del conocimiento.

2.3.1 Aportaciones de Papert y el construccionismo

Seymour Papert transformó la relación entre aprendizaje y tecnología al proponer que los estudiantes construyen conocimiento mientras crean objetos significativos. Su planteamiento construccionista amplió principios constructivistas mediante una atención particular al hacer, experimentar y compartir producciones. La computadora adquirió entonces un sentido pedagógico distinto: dejó de funcionar como transmisora de contenidos para convertirse en herramienta destinada a pensar, diseñar y aprender activamente.

Figura 8
Principios del construccionismo de Papert

Una aportación relevante de Papert fue considerar la programación como medio para desarrollar formas de pensamiento mediante experimentación y creación. Lachney y Foster (2020) sitúan estas ideas dentro de las bases epistemológicas que posteriormente nutrieron el movimiento maker. Desde esta perspectiva, programar permite formular relaciones, anticipar comportamientos, detectar errores y modificar decisiones mientras

el estudiante construye productos vinculados con intereses personales.

El error ocupa un lugar pedagógico valioso dentro del construccionismo. Frente a prácticas centradas en evitar respuestas equivocadas, Papert promovió ambientes donde revisar una producción forma parte natural del aprendizaje. Depurar un programa, reconstruir un mecanismo o modificar una estrategia matemática convierte la dificultad en información útil. El estudiante aprende mediante ciclos de acción, observación, reflexión y ajuste progresivo de sus propias ideas.

La vigencia de estas aportaciones se aprecia en tecnologías educativas contemporáneas. Levin et al. (2025) analizan la expansión del construccionismo durante tres épocas digitales y destacan su adaptación ante nuevas posibilidades tecnológicas. Robótica, programación y sistemas inteligentes prolongan principios vinculados con creación y participación activa, siempre que las herramientas favorezcan autonomía, experimentación y elaboración de productos intelectualmente significativos para los estudiantes.

Para una propuesta STEAM, el legado de Papert permite articular tecnología, matemática y construcción mediante experiencias orientadas por proyectos. Lachney y Foster (2020) recuperan las raíces históricas del hacer como práctica epistemológica, mientras Levin et al. (2025) muestran su continuidad en ambientes digitales actuales. Diseñar, programar, probar y corregir pueden convertirse en acciones educativas que fortalecen razonamiento, creatividad y autonomía infantil.

2.3.2 Aprendizaje significativo mediado por herramientas tecnológicas

El aprendizaje significativo mediado por tecnología ocurre cuando los recursos digitales permiten relacionar conocimientos

previos con información nueva mediante actividades intelectualmente relevantes. La herramienta adquiere valor educativo al facilitar representaciones, experimentación, retroalimentación y producción. No basta disponer de dispositivos en el aula; su aprovechamiento depende de decisiones pedagógicas capaces de convertir la interacción tecnológica en comprensión, participación y construcción personal del conocimiento matemático.

Las tecnologías pueden ampliar las formas de presentar contenidos y favorecer experiencias ajustadas a distintas necesidades de aprendizaje. Scheiter (2021) señala que la efectividad de los entornos tecnológicos depende de su articulación con principios educativos y procesos cognitivos. Animaciones, simulaciones o recursos interactivos resultan pertinentes cuando orientan la atención, permiten establecer relaciones y facilitan que el estudiante procese activamente información relevante.

La personalización digital representa otra posibilidad para favorecer aprendizajes con sentido. Van Schoors et al. (2021), al revisar veinticinco años de investigación, identifican una evolución considerable en las aproximaciones al aprendizaje digital personalizado. Adaptar actividades, secuencias y apoyos puede responder a diferencias entre estudiantes, siempre que la tecnología complemente la mediación docente y mantenga objetivos educativos claramente definidos durante cada experiencia formativa.

En aritmética, una herramienta tecnológica puede transformar relaciones abstractas en experiencias observables mediante objetos programables, representaciones dinámicas o retroalimentación inmediata. El estudiante manipula cantidades, anticipa resultados y contrasta sus decisiones con respuestas del sistema. Este intercambio favorece reflexión cuando las tareas exigen argumentar, corregir y transferir conocimientos, evitando

que la interacción quede reducida a pulsar opciones o repetir ejercicios mecánicos sin comprensión.

La mediación tecnológica adquiere profundidad cuando combina intencionalidad pedagógica, participación activa y atención a las diferencias individuales. Scheiter (2021) destaca la necesidad de comprender tecnología, enseñanza y aprendizaje de manera articulada, mientras Van Schoors et al. (2021) evidencian el crecimiento del aprendizaje digital personalizado. En propuestas STEAM, estos principios permiten diseñar experiencias flexibles donde tecnología y razonamiento matemático permanezcan estrechamente vinculados.

2.4 Evaluación neuropsicológica en contextos educativos

La evaluación neuropsicológica educativa permite comprender procesos cognitivos vinculados con aprendizaje, autorregulación y desempeño académico. Su propósito formativo consiste en identificar fortalezas, necesidades y patrones de funcionamiento que orienten decisiones pedagógicas pertinentes. Más que reducir al estudiante a una puntuación, esta valoración integra información sobre memoria, atención, control ejecutivo y razonamiento, considerando también las demandas presentes en tareas escolares cotidianas.

Durante la niñez, las funciones ejecutivas experimentan transformaciones relevantes que deben considerarse al interpretar cualquier valoración. Fernández García et al. (2021) describen cambios progresivos en componentes ejecutivos fríos y cálidos entre seis y doce años. Esta perspectiva evita interpretar diferencias evolutivas como deficiencias permanentes y favorece lecturas prudentes, vinculadas con la edad, las experiencias educativas y características individuales de cada estudiante.

La relación entre funcionamiento ejecutivo y rendimiento escolar aporta otro fundamento para la evaluación educativa. Spiegel et al. (2021), mediante evidencia metaanalítica, encontraron asociaciones entre funciones ejecutivas y resultados académicos en primaria. Valorar memoria de trabajo, inhibición y flexibilidad cognitiva puede aportar información para comprender ciertos errores, especialmente cuando una tarea exige mantener instrucciones, seleccionar estrategias y controlar respuestas impulsivas.

Una evaluación responsable combina instrumentos estandarizados con observación, entrevistas y análisis de producciones escolares. Esta integración permite reconocer variaciones que una prueba aislada podría dejar fuera. El interés pedagógico reside en traducir hallazgos en apoyos concretos: ajustar instrucciones, graduar actividades, ofrecer recursos visuales o modificar tiempos, procurando que cada decisión responda a necesidades verificadas y no a etiquetas rígidas previamente establecidas.

En propuestas STEAM, la evaluación neuropsicológica puede orientar experiencias que articulen razonamiento matemático, manipulación y tecnología según perfiles diversos. Fernández García et al. (2021) aportan evidencia sobre desarrollo ejecutivo infantil, mientras Spiegel et al. (2021) relacionan estas funciones con resultados académicos. Interpretar ambos aportes favorece decisiones educativas fundamentadas, seguimiento progresivo y apoyos sensibles a las particularidades del aprendizaje de cada estudiante.

2.4.1 Instrumentos estandarizados para la infancia

Los instrumentos estandarizados empleados durante la infancia permiten valorar capacidades cognitivas mediante procedimientos uniformes, criterios normativos y condiciones previamente definidas. Su utilidad educativa reside en aportar

indicadores comparables sobre memoria, atención, inhibición, flexibilidad y otras funciones vinculadas al aprendizaje. Sin embargo, los resultados requieren interpretación profesional, considerando edad, trayectoria escolar, características individuales y propósito específico de cada evaluación realizada cuidadosamente.

La selección de una prueba debe responder a la capacidad examinada y considerar las propiedades psicométricas del instrumento. Fernández García et al. (2021) muestran que las funciones ejecutivas experimentan cambios relevantes entre los seis y doce años. Por ello, emplear medidas apropiadas para cada etapa evolutiva resulta necesario para evitar interpretaciones rígidas de desempeños sujetos a transformación durante la infancia.

Las tareas estandarizadas de memoria de trabajo, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva ofrecen información sobre procesos relacionados con el rendimiento escolar. Spiegel et al. (2021) encontraron asociaciones entre funciones ejecutivas y resultados académicos en estudiantes de primaria. Estos vínculos justifican valorar dichas capacidades cuando existen dificultades persistentes, aunque ninguna puntuación aislada permite explicar el desempeño educativo de un niño determinado.

En el ámbito educativo, las pruebas adquieren sentido cuando sus resultados dialogan con observaciones docentes, producciones escolares y antecedentes del estudiante. Una medida estandarizada ofrece una fotografía bajo condiciones determinadas; la vida del aula, en cambio, revela variaciones cotidianas. Contrastar ambas fuentes favorece decisiones prudentes sobre apoyos, adaptaciones y seguimiento, evitando convertir categorías psicométricas en etiquetas permanentes para el alumnado.

La evaluación infantil demanda cautela ética, formación profesional y atención a la diversidad de trayectorias escolares. Fernández García et al. (2021) evidencian transformaciones

evolutivas de las funciones ejecutivas, mientras Spiegel et al. (2021) documentan su relación con resultados académicos. En propuestas STEAM, los instrumentos estandarizados pueden orientar apoyos pedagógicos cuando se interpretan junto con evidencias educativas obtenidas mediante fuentes complementarias.

Figura 9
Evaluación estandarizada del desarrollo infantil

2.4.2 El enfoque pretest-postest en investigación educativa

El enfoque pretest-postest permite examinar cambios producidos durante una intervención educativa mediante mediciones realizadas antes y después de su aplicación. La primera valoración establece una referencia inicial del desempeño, mientras la segunda permite identificar variaciones posteriores. Este diseño resulta útil para estudiar aprendizajes, habilidades cognitivas o rendimiento académico, siempre que las mediciones mantengan criterios equivalentes y procedimientos claramente definidos previamente.

En estudios educativos, comparar ambas mediciones permite estimar la magnitud del cambio observado durante un periodo determinado. Ng et al. (2020) emplearon un diseño cuasiexperimental para analizar una intervención de aprendizaje móvil y valorar diferencias relacionadas con rendimiento académico. Este tipo de aproximación facilita examinar resultados asociados con propuestas tecnológicas cuando la asignación aleatoria de participantes presenta limitaciones prácticas en escenarios escolares reales.

La interpretación del cambio exige considerar factores capaces de afectar las mediciones independientemente de la intervención. Maduración, familiaridad con las pruebas, experiencias paralelas o diferencias iniciales entre grupos pueden modificar los resultados. Por ello, incorporar grupos de comparación, instrumentos equivalentes y procedimientos uniformes fortalece la lectura de los datos, aunque ninguna decisión metodológica elimina completamente las posibles fuentes de variación observada.

El enfoque adquiere especial interés al evaluar propuestas STEAM destinadas a fortalecer capacidades aritméticas y neurocognitivas. Una medición inicial puede registrar desempeño matemático, atención o memoria, mientras la posterior permite contrastar variaciones después de actividades programadas. Ng et al. (2020) evidencian la utilidad de diseños cuasiexperimentales para estudiar intervenciones tecnológicas mediante comparaciones sistemáticas del rendimiento alcanzado por estudiantes participantes en ellas.

Más que comprobar mecánicamente si una intervención funciona, el pretest-postest permite construir evidencia sobre cambios educativos bajo condiciones definidas. Su valor aumenta cuando las puntuaciones se complementan con observaciones y registros del proceso. Una interpretación prudente considera magnitud, variabilidad y pertinencia pedagógica de las diferencias,

permitiendo valorar avances sin atribuir automáticamente cada modificación observada al recurso educativo utilizado durante la intervención.

2.5 Síntesis del capítulo

Los fundamentos desarrollados en este capítulo permiten comprender el aprendizaje aritmético infantil como un proceso dinámico en el que convergen desarrollo cognitivo, experiencia educativa, actividad cerebral y mediación pedagógica. Aprender operaciones básicas implica bastante más que memorizar procedimientos. Vogel y De Smedt (2021) explican que las capacidades numéricas y aritméticas se relacionan con cambios progresivos en redes cerebrales, cuya organización se modifica durante el desarrollo y conforme aumenta la experiencia matemática del estudiante.

Entre los ocho y nueve años, el pensamiento matemático atraviesa transformaciones especialmente relevantes. Los niños comienzan a utilizar estrategias mentales más eficientes, establecen relaciones entre representaciones y adquieren mayor capacidad para explicar procedimientos. Menon y Chang (2021) plantean que el aprendizaje matemático depende de sistemas neurocognitivos cuya participación cambia con la edad y la experiencia. Esta perspectiva permite reconocer diferencias individuales sin interpretar cada variación como una limitación permanente o una trayectoria predeterminada.

Las dificultades en operaciones básicas constituyen un fenómeno heterogéneo que demanda observación cuidadosa. Algunos estudiantes presentan problemas para recuperar hechos numéricos; otros mantienen procedimientos de conteo prolongados o encuentran dificultades al gestionar información simultánea. Nelson et al. (2022) documentan la diversidad existente entre escolares con dificultades matemáticas. Complementariamente, Agostini et al. (2022) relacionan parte de

estas dificultades con memoria de trabajo, atención y funciones ejecutivas, ampliando las posibilidades de intervención educativa.

La evidencia revisada respalda una enseñanza organizada, explícita y flexible, acompañada por oportunidades frecuentes de práctica y retroalimentación. No existe una estrategia universal capaz de responder por igual a todas las necesidades. Nelson et al. (2022) muestran que las intervenciones educativas deben atender características particulares del aprendizaje matemático. Desde otra vertiente, Agostini et al. (2022) permiten comprender por qué graduar instrucciones y utilizar apoyos visuales puede reducir demandas cognitivas innecesarias durante determinadas tareas.

La neurociencia cognitiva aporta elementos para interpretar los procesos mentales implicados en la actividad escolar. Spiegel et al. (2021) encontraron asociaciones entre funciones ejecutivas y rendimiento académico durante la educación primaria. Zhang et al. (2023), por su parte, documentaron una relación significativa entre memoria de trabajo y aritmética. Mantener cantidades, inhibir respuestas impulsivas, cambiar estrategias y organizar información son acciones que acompañan numerosos procedimientos matemáticos y explican parte de las diferencias observadas entre estudiantes.

La plasticidad cerebral refuerza una visión del aprendizaje abierta al cambio y sensible a la experiencia. Weyandt et al. (2020) documentan modificaciones neuroplásticas asociadas con intervenciones realizadas durante la infancia y adolescencia. En el terreno educativo, Brault Foisy et al. (2020) destacan que las prácticas docentes pueden relacionarse con procesos de plasticidad neuronal. Esta evidencia concede especial valor a experiencias participativas donde practicar, equivocarse, revisar y volver a intentar forman parte del aprendizaje.

La dimensión motriz complementa esta comprensión integral. Manipular objetos, escribir, construir modelos o conectar

componentes requiere coordinación visual y precisión manual, capacidades vinculadas con numerosas experiencias académicas. Li et al. (2025) identifican asociaciones entre habilidades motoras finas y desempeño académico infantil. Fernández García et al. (2021), además, describen transformaciones de las funciones ejecutivas durante la niñez, mostrando que regulación cognitiva y desarrollo motor participan dentro de una etapa de intensa reorganización.

Desde el constructivismo y, particularmente, desde el construccionismo, la tecnología encuentra sentido cuando permite producir, experimentar y revisar conocimientos. Lachney y Foster (2020) recuperan las aportaciones de Papert vinculadas con aprender mediante la creación de objetos significativos. Levin et al. (2025) muestran la continuidad de estos principios durante diferentes épocas digitales. Robótica, programación y dispositivos interactivos adquieren valor cuando convierten al estudiante en autor de decisiones, procedimientos y productos intelectuales propios.

La mediación tecnológica requiere, sin embargo, una intención pedagógica claramente establecida. Scheiter (2021) sostiene que los beneficios educativos de la tecnología dependen de su articulación con principios cognitivos y didácticos. Van Schoors et al. (2021) muestran, además, la evolución del aprendizaje digital personalizado y sus posibilidades para responder a diferencias individuales. Desde esta perspectiva, un kit STEAM inteligente puede facilitar experiencias graduadas, interactivas y adaptables sin desplazar la orientación profesional del docente.

La evaluación completa el entramado teórico al permitir observar cambios, interpretar necesidades y valorar intervenciones con criterios sistemáticos. Los instrumentos neuropsicológicos aportan información cuando se integran con evidencias escolares, mientras el enfoque pretest-postest facilita comparar desempeños en momentos diferentes. Ng et al. (2020) evidencian la utilidad de

diseños cuasiexperimentales para estudiar intervenciones tecnológicas. En conjunto, estos fundamentos respaldan una educación STEAM orientada hacia participación, razonamiento, diversidad y desarrollo neurocognitivo infantil.

Tabla 2

Fundamentos teóricos del desarrollo aritmético y neurocognitivo infantil

Componente teórico	Aportes al aprendizaje y desarrollo infantil
Desarrollo aritmético en la infancia	Comprende la evolución progresiva de las representaciones numéricas, el cálculo y la resolución de problemas. Entre los ocho y nueve años se fortalecen estrategias mentales, comprensión del valor posicional y relaciones entre operaciones. Las dificultades requieren apoyos graduados, enseñanza explícita, práctica guiada y retroalimentación orientada hacia la comprensión.
Neurociencia cognitiva aplicada al aprendizaje	Explica la participación de procesos cerebrales y cognitivos en el aprendizaje. La memoria de trabajo, atención, control ejecutivo y razonamiento lógico intervienen en la resolución de tareas aritméticas. La plasticidad cerebral respalda experiencias activas y reiteradas, mientras la motricidad fina y la coordinación ojo-mano favorecen actividades manipulativas y escolares.
Constructivismo y aprendizaje con tecnología	Concibe al estudiante como participante activo en la construcción del conocimiento. Desde el construccionismo de Papert, aprender haciendo, programando y creando objetos significativos favorece autonomía y razonamiento. Las herramientas tecnológicas adquieren valor pedagógico cuando facilitan experimentación, representación, retroalimentación y elaboración de soluciones vinculadas con propósitos educativos definidos.
Evaluación neuropsicológica educativa	Permite valorar capacidades vinculadas con memoria, atención, funciones ejecutivas y razonamiento mediante instrumentos estandarizados y evidencias escolares complementarias. La interpretación requiere considerar edad, trayectoria educativa y características individuales. Su propósito pedagógico consiste en orientar apoyos, adaptar experiencias y realizar seguimiento del desarrollo sin convertir las puntuaciones obtenidas en etiquetas permanentes.

Componente teórico	Aportes al aprendizaje y desarrollo infantil
Evaluación de intervenciones educativas	El enfoque pretest-postest permite comparar el desempeño antes y después de una intervención STEAM. Su aplicación facilita valorar cambios en habilidades aritméticas y neurocognitivas mediante procedimientos sistemáticos. La interpretación debe considerar variables externas, características iniciales y pertinencia educativa de las diferencias, complementando las mediciones cuantitativas con observaciones del proceso de aprendizaje.

Nota. La tabla integra los principales fundamentos abordados en el capítulo y establece su relación con el desarrollo aritmético, neurocognitivo, tecnológico y evaluativo durante la infancia.

Capítulo 3:

El Kit STEAM Inteligente y Sustentable: Diseño e Ingeniería

Diseñar un recurso educativo tecnológico implica tomar decisiones que trascienden la selección de dispositivos electrónicos. Cada pieza, conexión, interfaz y secuencia de programación expresa una manera de comprender el aprendizaje. En este capítulo, el Kit STEAM Inteligente y Sustentable se presenta desde esa mirada integradora: una arquitectura donde ingeniería, aritmética, accesibilidad y responsabilidad ambiental convergen para ofrecer experiencias educativas manipulativas, comprensibles y sensibles a las distintas formas de aprender.

El punto de partida reside en una conceptualización guiada por accesibilidad, sostenibilidad, bajo costo y pertinencia pedagógica. La tecnología adquiere verdadero valor educativo cuando puede utilizarse, mantenerse y apropiarse sin convertirse en una barrera adicional. Granić (2022), al revisar los procesos de adopción tecnológica educativa, identifica la utilidad percibida, la facilidad de uso y diversos factores personales e institucionales entre los elementos asociados con su aceptación. Estos planteamientos orientan decisiones fundamentales del kit.

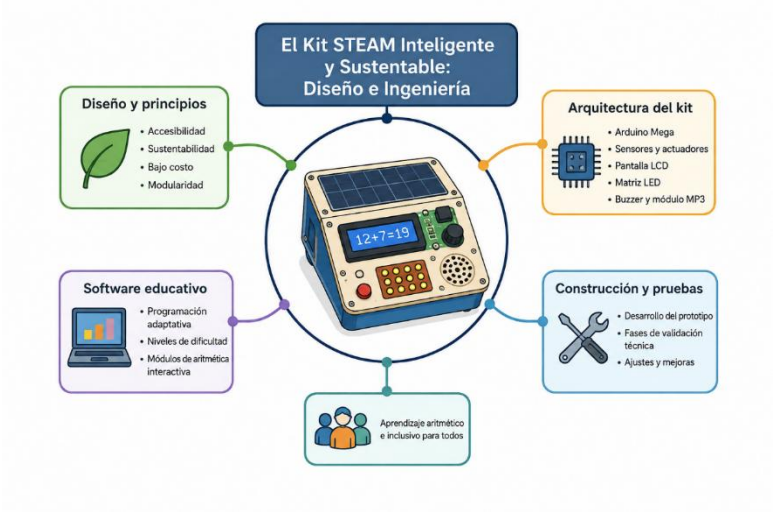
La accesibilidad atraviesa el diseño desde sus primeras decisiones, pues no debe entenderse como una corrección añadida cuando el dispositivo ya está construido. Fernández-Batanero et al. (2022) documentan el potencial de las tecnologías de apoyo para favorecer la participación educativa de estudiantes con discapacidad, aunque señalan factores que condicionan su incorporación efectiva. Desde esta perspectiva, interfaces comprensibles, recursos multisensoriales y alternativas de interacción adquieren una dimensión pedagógica que acompaña la diversidad del alumnado.

Junto con la accesibilidad, la sostenibilidad conduce hacia decisiones relacionadas con consumo energético, durabilidad, reparación y aprovechamiento responsable de materiales. La incorporación de energía solar y baterías responde a esta orientación y, al mismo tiempo, convierte el funcionamiento

energético en materia de aprendizaje. Kandpal y Broman (2014) destacan la naturaleza interdisciplinaria de la educación sobre energías renovables, donde conocimientos científicos, tecnológicos, ambientales y sociales encuentran posibilidades de articulación mediante experiencias formativas vinculadas con aplicaciones reales.

Figura 10

Diseño conceptual del Kit STEAM Inteligente y Sustentable



La arquitectura electrónica materializa estos principios mediante una organización modular en la que Arduino Mega coordina sensores, actuadores y dispositivos de retroalimentación. Pantalla LCD, matriz de LEDs, buzzer y módulo MP3 transforman procesos electrónicos internos en información perceptible para el estudiante. Conde et al. (2021) relacionan la robótica, los dispositivos físicos y el aprendizaje basado en problemas con oportunidades para articular saberes STEAM mediante construcción, experimentación y resolución de situaciones educativas con sentido.

Esta comunicación entre dispositivo y estudiante adquiere especial relevancia cuando la experiencia combina señales visuales, auditivas y manipulativas. No se trata de acumular estímulos, sino de asignarles funciones pedagógicas reconocibles. Una luz puede confirmar una respuesta; un mensaje puede orientar una operación; un sonido puede señalar una transición. En esa relación cuidadosamente programada, la electrónica deja de permanecer oculta y pasa a formar parte de una experiencia donde acción, representación y retroalimentación dialogan continuamente.

El software educativo proporciona la estructura lógica que coordina estas interacciones y permite organizar actividades según niveles de dificultad y evidencias de desempeño. Van Schoors et al. (2021), en su revisión sobre aprendizaje digital personalizado, muestran la diversidad conceptual y metodológica desarrollada durante décadas de investigación en este ámbito. Bajo esta mirada, la programación adaptativa del kit busca responder a ritmos diferentes mediante reglas comprensibles, progresiones graduadas y registros que apoyen decisiones pedagógicas fundamentadas.

La aritmética interactiva ocupa un lugar central dentro de esta arquitectura. Operaciones, cantidades, patrones y relaciones numéricas pueden representarse mediante acciones físicas y respuestas digitales, acercando procedimientos abstractos a experiencias observables. Rodríguez-Jiménez et al. (2023) destacan las oportunidades que ofrecen las tecnologías de información y comunicación para enriquecer la enseñanza matemática en educación primaria. A su vez, Nurhayati et al. (2026) documentan el creciente interés investigativo por sistemas adaptativos aplicados al aprendizaje matemático.

Atender diferencias en el aprendizaje aritmético requiere, además, evitar secuencias rígidas que interpreten el error como un punto de cierre. Nelson et al. (2022) examinan investigaciones dirigidas a estudiantes con dificultades y discapacidades de aprendizaje matemático, aportando evidencia relevante para

comprender la diversidad de intervenciones existentes. En el kit, el error se incorpora como información para ajustar actividades, ofrecer nuevas oportunidades de práctica y acompañar progresiones sin convertir los niveles en etiquetas permanentes.

Todo este planteamiento adquiere consistencia mediante construcción, prueba, registro y modificación del prototipo. Lin et al. (2020) muestran que la evaluación en actividades maker puede apoyarse en evidencias procedentes tanto de procesos como de productos, mientras Novak et al. (2021) documentan posibilidades educativas asociadas con diseño y fabricación mediante impresión tridimensional. El capítulo reúne estas dimensiones para presentar el kit como una propuesta perfectible, cuya ingeniería permanece vinculada con observación, aprendizaje y mejora continua.

3.1 Conceptualización y principios de diseño

La conceptualización del Kit STEAM Inteligente y Sustentable parte de una premisa pedagógica: diseñar recursos capaces de articular pensamiento aritmético, experiencia sensorial, creatividad e ingeniería. Cada componente responde a propósitos formativos verificables y a condiciones diversas de uso. El diseño adquiere sentido cuando tecnología, materiales y actividades dialogan con las capacidades del estudiante, sin imponer rutas rígidas de aprendizaje progresivo.

Desde esta perspectiva, el diseño se orienta por accesibilidad, adaptabilidad y pertinencia pedagógica. La tecnología cobra valor cuando facilita la participación y reduce barreras vinculadas con distintas capacidades. Fernández-Batanero et al. (2022) destacan que las tecnologías de apoyo favorecen oportunidades educativas más equitativas cuando responden a necesidades reales del alumnado y se integran mediante decisiones pedagógicas cuidadosamente planificadas y evaluadas.

Otro principio rector es la modularidad. El kit se concibe como un sistema de piezas, sensores, recursos manipulativos y actividades que pueden reorganizarse según objetivos aritméticos y neurocognitivos. Esta arquitectura permite graduar complejidad, favorecer experimentación y mantener continuidad entre experiencias urbanas y rurales. La intención no reside en acumular dispositivos, sino en construir relaciones funcionales entre aprendizaje, acción y retroalimentación.

Figura 11
Principios de diseño del Kit STEAM

La adopción tecnológica también requiere atender percepciones de utilidad, facilidad de uso y condiciones institucionales. La revisión de Granić (2022) muestra que la aceptación de tecnologías educativas depende de factores personales, pedagógicos y organizativos que interactúan entre sí. Por ello, el kit privilegia interfaces comprensibles, instrucciones flexibles y experiencias significativas, procurando que docentes y estudiantes reconozcan rápidamente su propósito formativo.

La sustentabilidad completa esta concepción mediante decisiones relacionadas con durabilidad, reparación, reutilización y aprovechamiento responsable de materiales. Diseñar implica pensar en la vida útil del kit, en su mantenimiento y en posibilidades de adaptación local. Esta mirada vincula ingeniería con responsabilidad educativa y ambiental, mientras promueve autonomía docente, apropiación comunitaria y experiencias STEAM capaces de conservar pertinencia durante periodos prolongados.

3.1.1 Criterios de accesibilidad, sostenibilidad y bajo costo

Los criterios de accesibilidad orientan el diseño del Kit STEAM hacia una experiencia educativa abierta a distintas capacidades sensoriales, cognitivas y motrices. Esto exige componentes manipulables, señales perceptibles, instrucciones comprensibles y alternativas de interacción. La accesibilidad, entendida desde el diseño inicial, evita adaptaciones tardías y favorece una participación autónoma, respetuosa y pedagógicamente significativa para estudiantes con perfiles diversos de aprendizaje.

La evidencia respalda esta orientación. Fernández-Batanero et al. (2022) señalan que las tecnologías de apoyo pueden ampliar la participación educativa cuando responden a necesidades específicas y cuentan con una integración pedagógica. Bajo esta perspectiva, cada pieza del kit procura reducir barreras de uso, facilitar ajustes razonables y ofrecer múltiples vías para representar, manipular y comprender relaciones aritméticas mediante experiencias concretas.

La sostenibilidad se incorpora mediante materiales duraderos, reparables y reutilizables, elegidos considerando disponibilidad, seguridad y vida útil. El propósito es disminuir reemplazos innecesarios y favorecer mantenimiento local mediante procedimientos sencillos. Esta decisión vincula responsabilidad

ambiental con continuidad educativa: un recurso que puede conservarse, repararse y adaptarse prolonga su utilidad pedagógica, reduce residuos y fortalece prácticas responsables dentro de cada comunidad.

El bajo costo no equivale a disminuir calidad pedagógica o funcionalidad. Implica seleccionar componentes accesibles comercialmente, simplificar estructuras y priorizar funciones educativas relevantes. Granić (2022) advierte que la adopción tecnológica está relacionada con percepciones de utilidad, facilidad de uso y condiciones disponibles. Por ello, una solución económicamente viable necesita resultar comprensible, pertinente y manejable para quienes la emplean también cotidianamente.

Accesibilidad, sostenibilidad y costo conforman, en conjunto, una lógica de diseño centrada en permanencia y apropiación educativa. El kit busca funcionar con recursos disponibles, admitir reparaciones básicas y adaptarse a distintas condiciones escolares sin perder intención pedagógica. Esta combinación favorece decisiones responsables de adquisición y mantenimiento, mientras acerca experiencias STEAM a comunidades con recursos económicos, tecnológicos y materiales muy diferentes.

3.1.2 Integración de energías renovables (solar y baterías)

La integración de energía solar y baterías convierte al Kit STEAM en una plataforma donde sustentabilidad e ingeniería adquieren presencia tangible. Un panel fotovoltaico de pequeña escala permite alimentar componentes electrónicos y almacenar energía para usos posteriores. Esta configuración acerca principios de generación, transformación y consumo eléctrico mediante observación directa, mientras fortalece aprendizajes vinculados con medición, proporcionalidad, autonomía energética y responsabilidad ambiental.

Desde una perspectiva educativa, incorporar fuentes renovables permite relacionar conocimientos científicos con experiencias prácticas de ingeniería. Kandpal y Broman (2014) destacan que la educación en energías renovables requiere enfoques interdisciplinarios capaces de vincular fundamentos tecnológicos, implicaciones ambientales y aplicaciones cotidianas. El kit materializa esa relación mediante actividades donde radiación solar, voltaje, corriente y almacenamiento pueden convertirse en variables observables y comparables.

Las baterías cumplen una función técnica y pedagógica complementaria. Almacenan la electricidad producida y permiten mantener operativos sensores, microcontroladores u otros módulos cuando disminuye la radiación disponible. Su incorporación demanda sistemas apropiados de carga, protección y gestión energética. A la vez, ofrece oportunidades para estudiar capacidad, autonomía, eficiencia y consumo, conceptos que pueden traducirse en ejercicios aritméticos vinculados con situaciones reales.

El diseño energético debe privilegiar seguridad, mantenimiento sencillo y comprensión del funcionamiento. Kandpal y Broman (2014) señalan que la formación sobre energías renovables adquiere mayor alcance cuando integra dimensiones técnicas, educativas y sociales. Bajo esta mirada, visualizar conexiones, registrar mediciones y comparar rendimientos permite que la energía deje de percibirse como fenómeno distante y se transforme en experiencia susceptible de análisis razonado.

Esta arquitectura solar favorece independencia operativa en espacios educativos donde el suministro eléctrico puede presentar limitaciones o interrupciones. Panel, batería y electrónica forman un pequeño ecosistema energético que invita a medir, calcular y tomar decisiones. Más allá de alimentar dispositivos, la propuesta cultiva conciencia sobre procedencia y uso responsable de la electricidad, vinculando pensamiento aritmético, experimentación científica y compromiso ambiental cotidiano.

3.2 Componentes electrónicos del kit

Los componentes electrónicos constituyen la arquitectura funcional del Kit STEAM Inteligente y Sustentable, pues articulan procesamiento, percepción, comunicación y respuesta dentro de cada actividad. Microcontroladores, sensores, actuadores, módulos de alimentación y elementos de conexión forman un sistema integrado, pensado para facilitar montaje y experimentación. Cada dispositivo posee una función reconocible, permitiendo relacionar fenómenos físicos con datos numéricos y acciones programadas.

La selección de dispositivos responde a criterios pedagógicos además de técnicos. Se priorizan piezas resistentes, asequibles, reemplazables y compatibles con experiencias progresivas de programación y construcción. Conde et al. (2021) identifican que la robótica y los dispositivos físicos favorecen propuestas STEAM cuando participan activamente en experiencias basadas en problemas, creación y experimentación, vinculando conocimientos procedentes de diferentes áreas disciplinares escolares.

Los sensores permiten registrar variables del entorno y transformarlas en información susceptible de interpretación aritmética. Luz, temperatura, distancia, movimiento o presión pueden expresarse mediante valores que el estudiante compara, ordena y relaciona. Los actuadores, por su parte, convierten decisiones programadas en respuestas perceptibles, mediante movimiento, sonido o iluminación, creando ciclos de interacción que fortalecen razonamiento, anticipación y verificación empírica.

El microcontrolador ocupa una posición articuladora al recibir datos, procesar instrucciones y coordinar respuestas entre los diferentes módulos. Su programación convierte secuencias lógicas en comportamientos observables. Desde esta perspectiva, Conde et al. (2021) resaltan el valor educativo de la interacción con dispositivos físicos y robóticos para promover aprendizajes

interdisciplinarios, especialmente cuando el estudiante construye, prueba, modifica y evalúa soluciones propias.

Figura 12
Componentes electrónicos del Kit STEAM

La organización modular de los componentes busca favorecer comprensión técnica sin convertir el aprendizaje en una tarea excesivamente especializada. Conexiones visibles, piezas intercambiables y configuraciones escalables permiten avanzar desde montajes elementales hacia proyectos de mayor complejidad. Esta estructura acerca electrónica, aritmética y pensamiento computacional mediante experiencias manipulativas, mientras promueve autonomía, curiosidad técnica y capacidad para comprender relaciones entre entrada, procesamiento y respuesta.

3.2.1 Placa Arduino Mega: el cerebro del sistema

La placa Arduino Mega constituye el núcleo de procesamiento del Kit STEAM, coordinando señales, instrucciones y respuestas generadas durante cada experiencia educativa. Su cantidad de entradas y salidas permite conectar diversos sensores,

actuadores y módulos sin fragmentar la arquitectura electrónica. Esta capacidad facilita proyectos progresivos donde programación, razonamiento aritmético y experimentación física convergen mediante acciones observables, medibles, educativas y modificables.

Su elección responde también a una intención pedagógica: ofrecer una plataforma comprensible, flexible y ampliamente documentada para desarrollar prototipos escolares. Conde et al. (2021) destacan que los dispositivos físicos y la robótica favorecen aprendizajes STEAM cuando participan en experiencias basadas en creación y resolución de problemas. Arduino Mega permite trasladar instrucciones abstractas hacia comportamientos concretos que pueden analizarse sistemáticamente posteriormente.

La disponibilidad de numerosos pines digitales, entradas analógicas y puertos de comunicación amplía las posibilidades de interacción del kit. Cada conexión puede asociarse con una función específica: captar una variable, activar una respuesta o intercambiar información. Esta organización favorece la comprensión de relaciones entre entrada, procesamiento y salida, mientras permite diseñar actividades con diferentes niveles de complejidad técnica y cognitiva.

Programar Arduino Mega también ofrece oportunidades para desarrollar pensamiento secuencial, anticipación y verificación. El estudiante formula instrucciones, observa resultados y modifica decisiones cuando el comportamiento obtenido difiere del esperado. Conde et al. (2021) vinculan la programación de dispositivos físicos con experiencias interdisciplinarias donde construir y probar adquiere valor formativo, fortaleciendo conexiones entre conocimientos científicos, tecnológicos, matemáticos y de ingeniería aplicada.

Dentro del sistema, Arduino Mega cumple una mediación entre la intención pedagógica y la respuesta electrónica. Su

capacidad para gestionar periféricos permite diseñar experiencias manipulativas vinculadas con conteo, operaciones, patrones y relaciones numéricas. La placa deja entonces de ser un componente aislado: se convierte en una herramienta para experimentar, comunicar resultados y transformar razonamientos abstractos en experiencias perceptibles y significativas.

3.2.2 Pantalla LCD e interfaz de usuario

La pantalla LCD actúa de puente comunicativo entre la electrónica del Kit STEAM y la experiencia del estudiante. Mediante mensajes breves, valores numéricos, símbolos e indicaciones, permite visualizar información generada durante cada actividad. Su presencia reduce la abstracción propia del procesamiento interno y ofrece retroalimentación inmediata, favoreciendo una interacción comprensible, ordenada y vinculada directamente con los propósitos pedagógicos planteados previamente.

El diseño de la interfaz procura presentar información legible, pertinente y organizada, evitando cargas visuales que distraigan la atención. Tamaño de caracteres, contraste, secuencia de mensajes y distribución espacial requieren decisiones coherentes con las capacidades perceptivas del alumnado. Conde et al. (2021) destacan el valor de los dispositivos físicos cuando favorecen experiencias STEAM activas, interdisciplinarias y orientadas al aprendizaje significativo.

En las actividades aritméticas, la pantalla puede mostrar cantidades, operaciones, instrucciones, resultados y señales de retroalimentación que acompañan la manipulación de otros componentes. Esta comunicación inmediata permite relacionar acciones físicas con representaciones numéricas, reforzando asociaciones entre procedimiento y resultado. La interfaz adquiere entonces una función mediadora, pues organiza el intercambio entre estudiante, programación y respuesta electrónica durante la experiencia educativa.

La interacción con dispositivos programables cobra mayor sentido pedagógico cuando permite construir, comprobar y revisar decisiones mediante respuestas perceptibles. Conde et al. (2021) relacionan estas dinámicas con propuestas STEAM basadas en retos, robótica y dispositivos físicos. Desde esta perspectiva, la pantalla LCD ofrece una ventana de comunicación que facilita observar procesos, detectar errores y ajustar estrategias durante las actividades propuestas.

Una interfaz educativa eficaz debe mantener equilibrio entre simplicidad operativa y riqueza informativa. Por ello, la pantalla LCD se integra mediante mensajes breves, secuencias previsibles y respuestas relacionadas con cada acción realizada. Esta configuración favorece autonomía y comprensión funcional del sistema, mientras convierte datos electrónicos en información accesible para interpretar, comparar y emplear durante experiencias de aprendizaje aritmético y tecnológico.

3.2.3 Matriz de LEDs para retroalimentación visual

La matriz de LEDs aporta al Kit STEAM un canal visual capaz de convertir datos, respuestas y secuencias programadas en representaciones perceptibles. Su organización mediante puntos luminosos permite mostrar patrones, cantidades, figuras o señales asociadas con actividades aritméticas. Esta respuesta inmediata favorece la relación entre acción y resultado, mientras mantiene la atención sobre estímulos breves que acompañan el proceso educativo de manera coherente.

Desde la perspectiva pedagógica, la retroalimentación visual adquiere valor cuando comunica información vinculada con una acción realizada por el estudiante. Conde et al. (2021) señalan que los dispositivos físicos fortalecen experiencias STEAM cuando favorecen participación activa, experimentación y resolución de problemas. La matriz permite representar aciertos, variaciones

numéricas o secuencias, ofreciendo señales comprensibles que apoyan decisiones durante cada actividad de aprendizaje.

La disposición espacial de los LEDs permite trabajar relaciones matemáticas mediante configuraciones visibles que pueden compararse, reproducirse o transformarse. Filas, columnas y agrupaciones facilitan representar cantidades, patrones, simetrías y progresiones con una dimensión manipulativa cercana. Al programar estas configuraciones, el estudiante conecta lenguaje computacional y razonamiento matemático, observando directamente los efectos producidos por cambios introducidos en instrucciones y parámetros previamente definidos.

La programación de respuestas luminosas favorece ciclos breves de anticipación, ejecución y comprobación. Conde et al. (2021) relacionan las experiencias con robótica y dispositivos físicos con aprendizajes interdisciplinarios basados en construcción y experimentación. En el kit, cada patrón luminoso puede convertirse en evidencia visible de una operación, una decisión lógica o una secuencia programada, facilitando análisis y corrección durante la práctica.

Su incorporación requiere cuidar intensidad, duración, frecuencia y organización de los estímulos para preservar claridad perceptiva y evitar saturación visual. La matriz debe comunicar antes que decorar. Bajo este criterio, las señales luminosas se diseñan con propósitos definidos y relaciones consistentes entre respuesta y significado, fortaleciendo comprensión, autonomía y reconocimiento de patrones durante actividades aritméticas, tecnológicas y neurocognitivas del kit.

3.2.4 Buzzer y módulo MP3: retroalimentación auditiva

El buzzer y el módulo MP3 incorporan una vía auditiva que amplía las posibilidades comunicativas del Kit STEAM. Tonos breves, secuencias sonoras y mensajes grabados pueden acompañar

operaciones, respuestas o transiciones entre actividades. Esta retroalimentación transforma eventos electrónicos en señales reconocibles, facilitando que el estudiante relacione determinadas acciones con consecuencias perceptibles y mantenga una referencia auditiva durante su proceso de aprendizaje.

El buzzer resulta apropiado para producir señales simples asociadas con aciertos, errores, tiempos o cambios de estado. Su programación permite modificar frecuencia y duración según la intención educativa. Conde et al. (2021) destacan que la interacción con dispositivos físicos favorece experiencias STEAM activas cuando los recursos tecnológicos participan en procesos de experimentación, resolución de problemas y construcción de respuestas observables.

El módulo MP3 añade mayor riqueza comunicativa al reproducir instrucciones, números, palabras y mensajes previamente grabados. Esta capacidad permite complementar la información visual mediante indicaciones auditivas comprensibles, especialmente durante actividades que requieren secuencias guiadas. La voz registrada puede acompañar ejercicios aritméticos, confirmar elecciones o presentar consignas, generando una interacción más cercana entre el sistema electrónico y quien participa activamente.

La combinación de respuestas sonoras y programación favorece experiencias donde el estudiante anticipa, ejecuta y comprueba relaciones entre instrucciones y resultados. Conde et al. (2021) vinculan los dispositivos programables con prácticas interdisciplinarias que articulan conocimientos científicos, matemáticos y tecnológicos. En este marco, sonidos y mensajes funcionan como evidencias perceptibles del procesamiento electrónico, apoyando la comprensión de secuencias, condiciones y decisiones lógicas programadas.

El diseño auditivo requiere moderación. Volumen, duración, frecuencia y tipo de mensaje deben responder a propósitos pedagógicos definidos, evitando estímulos excesivos o ambiguos. Una señal breve puede confirmar una respuesta; una grabación puede orientar una actividad. Esta organización permite que buzzer y módulo MP3 complementen otros canales sensoriales, favoreciendo autonomía, atención y comprensión durante experiencias aritméticas y neurocognitivas diversas.

3.3 Arquitectura del software educativo

Figura 13
Arquitectura del software educativo del Kit STEAM

La arquitectura del software educativo organiza las funciones digitales del Kit STEAM mediante módulos que coordinan actividades, niveles, respuestas y registros de desempeño. Esta estructura permite separar procesamiento, interacción y retroalimentación sin perder continuidad pedagógica. Cada módulo cumple una tarea definida, pero mantiene comunicación con los demás, favoreciendo ajustes posteriores y

una experiencia coherente para estudiantes con ritmos y capacidades de aprendizaje diversos.

La personalización constituye un principio relevante dentro de esta arquitectura, pues permite ajustar secuencias educativas según respuestas y progresos registrados. Van Schoors et al. (2021) describen el aprendizaje digital personalizado como un campo caracterizado por distintas formas de adaptación educativa. Desde esta perspectiva, el software puede organizar rutas diferenciadas que respeten variaciones individuales sin fragmentar los objetivos formativos establecidos previamente.

El sistema contempla una lógica de procesamiento capaz de interpretar respuestas, identificar patrones de desempeño y seleccionar actividades acordes con criterios pedagógicos programados. Esta dinámica convierte los datos generados durante la interacción en insumos para orientar nuevas tareas. La arquitectura evita decisiones arbitrarias mediante reglas transparentes, niveles graduados y registros verificables, procurando mantener correspondencia entre dificultad, desempeño y propósito aritmético planteado.

En educación matemática, los sistemas adaptativos permiten articular información del desempeño con decisiones destinadas a personalizar experiencias formativas. Nurhayati et al. (2026) destacan el crecimiento de investigaciones sobre aprendizaje adaptativo aplicado a esta área. En el kit, dicha orientación se traduce en mecanismos que ajustan ejercicios, retroalimentaciones y secuencias atendiendo resultados previos y metas pedagógicas previamente definidas para cada actividad.

Una arquitectura modular facilita mantenimiento, actualización y ampliación del software conforme evolucionan las necesidades educativas del kit. Nuevas actividades pueden incorporarse sin reconstruir completamente la estructura existente, mientras los registros permiten examinar progresos y ajustar

criterios de funcionamiento. Esta flexibilidad vincula programación con diseño pedagógico, favoreciendo una herramienta adaptable, comprensible y preparada para acompañar procesos aritméticos y neurocognitivos diversos.

3.3.1 Programación adaptativa y niveles de dificultad

La programación adaptativa permite que el Kit STEAM ajuste las actividades aritméticas según el desempeño observado durante la interacción. El sistema considera respuestas correctas, errores, tiempos y progresión para seleccionar tareas posteriores. Esta lógica busca mantener una exigencia alcanzable, evitando ejercicios demasiado simples o complejos, mientras favorece continuidad, participación y experiencias acordes con las necesidades educativas de cada estudiante individual.

Los niveles de dificultad se organizan mediante criterios graduados que modifican cantidad de elementos, complejidad operativa, tiempo disponible y apoyos ofrecidos. Van Schoors et al. (2021) señalan que el aprendizaje digital personalizado adopta diversas estrategias para responder a características individuales. Esta perspectiva permite estructurar transiciones progresivas entre actividades, respetando diferencias de ritmo sin abandonar metas educativas compartidas entre estudiantes diversos.

La adaptación requiere reglas comprensibles que determinen el momento apropiado para aumentar, mantener o reducir la dificultad. Para ello, el software analiza patrones recientes de respuesta y evita depender de un resultado aislado. Esta decisión aporta estabilidad al proceso, permite reconocer avances sostenidos y ofrece oportunidades adicionales de práctica cuando determinados contenidos aritméticos requieren mayor tiempo para su apropiación personal.

En matemática, los sistemas adaptativos han ganado atención por su capacidad para relacionar desempeño y

personalización de actividades. Nurhayati et al. (2026) identifican una expansión investigativa en este campo, acompañada por diversos enfoques tecnológicos y pedagógicos. En el kit, esta orientación se concreta mediante secuencias graduadas que responden al progreso registrado y conservan objetivos formativos previamente establecidos para cada estudiante.

La programación adaptativa también debe preservar la agencia del estudiante y la mediación docente. Los niveles no funcionan como etiquetas permanentes, sino como estados modificables según avances, necesidades y evidencias obtenidas durante la práctica. El docente puede interpretar registros, ajustar parámetros y acompañar decisiones, mientras el sistema proporciona retroalimentación oportuna para favorecer confianza, persistencia y desarrollo aritmético progresivo gradualmente continuo.

3.3.2 Módulos de aritmética interactiva

Los módulos de aritmética interactiva articulan representación numérica, manipulación física y respuesta digital para convertir cada ejercicio en una experiencia participativa. Sumas, restas, multiplicaciones y divisiones pueden presentarse mediante secuencias graduadas, apoyos visuales y señales auditivas. El estudiante introduce respuestas, observa consecuencias y reconsidera procedimientos, generando una dinámica donde práctica, razonamiento y retroalimentación mantienen una relación pedagógica constante y significativa.

La integración tecnológica adquiere valor cuando fortalece procesos matemáticos mediante recursos vinculados con objetivos educativos definidos. Rodríguez-Jiménez et al. (2023) reconocen que las tecnologías digitales ofrecen oportunidades relevantes para la enseñanza matemática en educación primaria. Desde esta perspectiva, los módulos combinan ejercicios, representaciones y respuestas inmediatas para favorecer comprensión numérica,

participación activa y práctica guiada durante distintas etapas del aprendizaje escolar.

Cada módulo organiza actividades mediante niveles que varían magnitudes, operaciones, apoyos y tiempos de respuesta. Esta estructura permite avanzar gradualmente desde relaciones numéricas elementales hacia procedimientos de mayor demanda cognitiva. La interacción ofrece oportunidades reiteradas para probar estrategias, identificar errores y reconstruir respuestas, procurando que la práctica aritmética conserve sentido y no quede reducida a repetición mecánica de algoritmos previamente memorizados.

La atención a dificultades matemáticas requiere propuestas sensibles a diferencias individuales y sustentadas en evidencia educativa. Nelson et al. (2022) destacan, mediante una revisión de síntesis investigativas, la relevancia de examinar intervenciones dirigidas a estudiantes con dificultades y discapacidades de aprendizaje matemático. Los módulos responden mediante apoyos graduados, retroalimentación frecuente y oportunidades de práctica ajustadas al desempeño registrado individualmente.

La arquitectura modular facilita trabajar contenidos aritméticos de manera independiente o combinada según objetivos docentes y progresos estudiantiles. Cada actividad registra respuestas que pueden orientar decisiones posteriores, mientras las interfaces visuales, auditivas y manipulativas diversifican las vías de participación. Esta organización busca fortalecer fluidez, comprensión y confianza matemática mediante experiencias breves, estructuradas y suficientemente flexibles para respetar diferentes ritmos de aprendizaje.

3.4 Proceso de construcción y pruebas del prototipo

La construcción del prototipo se desarrolló mediante ciclos sucesivos de ensamblaje, verificación y ajuste, procurando

mantener correspondencia entre intención pedagógica y funcionamiento técnico. Cada componente fue incorporado atendiendo compatibilidad eléctrica, disposición física, facilidad de manipulación y mantenimiento. Las primeras configuraciones permitieron identificar interferencias, conexiones vulnerables y necesidades de reorganización, dando paso a modificaciones orientadas a mejorar estabilidad, seguridad y experiencia educativa.

Las pruebas iniciales examinaron alimentación energética, comunicación entre módulos, lectura de sensores y respuesta de los dispositivos de salida. Cada ensayo quedó registrado mediante observaciones, mediciones y notas sobre fallos recurrentes. Este procedimiento permitió comparar versiones y justificar modificaciones. Lin et al. (2020) destacan que la evaluación en actividades maker puede integrar evidencias derivadas de procesos, productos y desempeños observables del estudiante.

Una segunda fase concentró la atención en la estructura física y la interacción del usuario con botones, pantalla, matriz luminosa y recursos auditivos. Se revisaron dimensiones, ubicación de piezas, legibilidad y facilidad de acceso. Los cambios no obedecieron únicamente a criterios estéticos; cada modificación buscó reducir dificultades operativas y favorecer una manipulación intuitiva durante las actividades aritméticas propuestas al alumnado.

El prototipado también permitió valorar piezas fabricadas o adaptadas para proteger componentes y ordenar conexiones. Novak et al. (2021) muestran que la impresión tridimensional ha adquirido relevancia educativa al vincular diseño, fabricación y aprendizaje mediante experiencias prácticas. Esta perspectiva respaldó la revisión iterativa de soportes, cubiertas y elementos estructurales, atendiendo resistencia, ajuste, reparabilidad y posibilidades de reproducción con recursos disponibles localmente.

Las pruebas integrales reunieron hardware, software, alimentación y actividades educativas en sesiones destinadas a verificar estabilidad y coherencia funcional. Los hallazgos fueron traducidos en ajustes documentados, conservando versiones anteriores para comparar resultados. Este ciclo de construir, probar, registrar y modificar permitió depurar el prototipo mediante evidencia concreta, dejando una arquitectura susceptible de futuras mejoras sin perder sus propósitos pedagógicos originales establecidos.

Figura 14

Proceso iterativo de construcción y pruebas del prototipo

3.4.1 Fases de desarrollo y validación técnica

El desarrollo técnico del prototipo se organizó mediante fases consecutivas de diseño, ensamblaje, verificación y ajuste. La primera etapa definió requerimientos funcionales, distribución de componentes y relaciones entre hardware, software y alimentación energética. Posteriormente, cada decisión fue registrada en fichas de trabajo, permitiendo comparar configuraciones, reconocer fallos tempranos y conservar evidencia suficiente para justificar las modificaciones incorporadas durante cada iteración.

La fase de ensamblaje permitió comprobar compatibilidad eléctrica, estabilidad de conexiones y respuesta individual de sensores, actuadores y módulos de comunicación. Las pruebas se realizaron por subsistemas antes de integrar el conjunto completo. Este procedimiento facilitó localizar errores con mayor precisión, corregir cableados, ajustar parámetros de programación y verificar que cada elemento respondiera conforme a los requerimientos técnicos establecidos previamente.

La validación técnica requirió criterios observables y registros sistemáticos sobre funcionamiento, repetibilidad y resistencia del prototipo. Lin et al. (2020) destacan que la evaluación en actividades maker puede apoyarse en múltiples evidencias vinculadas con procesos y productos. Bajo esta orientación, cada prueba documentó resultados, incidencias y modificaciones, favoreciendo decisiones fundamentadas durante la evolución progresiva del sistema y sus componentes electrónicos.

Una fase posterior examinó soportes, cubiertas, distribución interna y accesibilidad para mantenimiento, considerando que la estructura física debía proteger la electrónica sin dificultar reparaciones. Novak et al. (2021) muestran que la fabricación tridimensional favorece procesos educativos vinculados con diseño y producción de objetos. Esta referencia respaldó ajustes iterativos en piezas destinadas a mejorar resistencia, montaje, seguridad y organización del prototipo.

La validación integral reunió alimentación, programación, interfaces y componentes físicos en pruebas repetidas bajo condiciones previstas de utilización educativa. Se verificaron estabilidad, tiempos de respuesta, consumo energético y continuidad operativa, registrando cualquier incidencia para orientar nuevas correcciones. El proceso mantuvo una lógica iterativa: construir, comprobar, documentar y modificar hasta alcanzar un funcionamiento consistente con los requerimientos pedagógicos y técnicos definidos.

3.4.2 Ajustes y mejoras tras las pruebas piloto

Las pruebas piloto permitieron identificar aspectos del prototipo que requerían ajustes técnicos y pedagógicos antes de consolidar su configuración. Las observaciones registradas mostraron diferencias entre el funcionamiento previsto y la experiencia real de uso. A partir de estas evidencias, se revisaron conexiones, tiempos de respuesta, distribución de componentes y secuencias de interacción, priorizando modificaciones verificables mediante nuevos ensayos controlados posteriores.

El proceso de mejora se apoyó en registros sistemáticos de errores, respuestas inesperadas y dificultades observadas durante cada sesión. Lin et al. (2020) destacan que la evaluación de actividades maker puede considerar evidencias procedentes tanto del proceso como del producto desarrollado. Esta perspectiva orientó la comparación entre versiones del prototipo y permitió fundamentar cada modificación mediante información recabada directamente durante las pruebas.

Entre los ajustes técnicos se atendieron estabilidad eléctrica, sensibilidad de sensores, claridad de señales visuales y auditivas, además de resistencia de conexiones sometidas a manipulación frecuente. Cada cambio fue probado nuevamente antes de incorporarse a la versión siguiente. Este procedimiento evitó modificaciones basadas en impresiones aisladas y permitió conservar una trazabilidad precisa de las decisiones, los resultados y las correcciones técnicas realizadas posteriormente..

Las piezas estructurales también fueron revisadas después de las pruebas, especialmente aquellas relacionadas con protección, montaje y acceso para mantenimiento. Novak et al. (2021) documentan el valor educativo de la impresión tridimensional en procesos donde diseño, fabricación y revisión mantienen estrecha relación. Bajo esta orientación, determinados soportes fueron

rediseñados para mejorar ajuste, resistencia y facilidad de sustitución durante reparaciones posteriores.

Las mejoras derivadas del pilotaje consolidaron una versión más estable, comprensible y funcional del kit, aunque conservaron abierta la posibilidad de nuevas revisiones. La documentación de cada cambio permitió reconocer decisiones acertadas y aspectos pendientes de optimización. De este modo, el prototipo avanzó mediante evidencia acumulada, combinando observación pedagógica, verificación técnica y ajustes progresivos orientados a su utilización educativa sostenida.

3.5 Síntesis del capítulo

El desarrollo presentado en este capítulo permite comprender el Kit STEAM Inteligente y Sustentable como una propuesta donde ingeniería y pedagogía mantienen una relación deliberada. Sus componentes no fueron concebidos como piezas independientes, sino como partes de una arquitectura educativa orientada al aprendizaje aritmético y neurocognitivo. Accesibilidad, sostenibilidad, costo, modularidad y adaptabilidad guiaron las decisiones adoptadas, procurando que cada recurso tecnológico respondiera a propósitos formativos reconocibles y pudiera evolucionar mediante evaluación continua.

Esta concepción adquiere especial importancia al considerar que la incorporación educativa de tecnología depende de factores que exceden la disponibilidad del dispositivo. Granić (2022) identifica variables relacionadas con utilidad percibida, facilidad de uso, condiciones institucionales y características de los usuarios dentro de los procesos de adopción tecnológica. Por ello, el kit fue pensado para ofrecer una interacción comprensible, una organización funcional clara y posibilidades de apropiación educativa que reduzcan distancias entre recurso técnico y experiencia pedagógica cotidiana.

La accesibilidad ocupó un lugar transversal dentro de las decisiones de diseño. Interfaces legibles, retroalimentaciones complementarias y componentes manipulables procuran ampliar las posibilidades de participación ante diferentes necesidades sensoriales, cognitivas y motrices. Fernández-Batanero et al. (2022) señalan que las tecnologías de apoyo pueden favorecer la participación del alumnado con discapacidad cuando su incorporación responde a necesidades educativas concretas. Esta perspectiva refuerza una concepción donde diversidad y diseño permanecen vinculados desde las etapas iniciales.

La sostenibilidad, por su parte, fue abordada desde la selección de materiales, la reparabilidad y el aprovechamiento energético. Paneles solares y baterías permiten disminuir dependencia de fuentes eléctricas permanentes y convierten la energía en un elemento observable dentro de las actividades. Kandpal y Broman (2014) resaltan el carácter interdisciplinario de la educación en energías renovables. En el kit, esta dimensión conecta responsabilidad ambiental, experimentación, medición y comprensión de principios científicos mediante experiencias cercanas.

En la arquitectura electrónica, Arduino Mega articula las operaciones requeridas para recibir información, procesarla y generar respuestas mediante distintos periféricos. La pantalla LCD comunica instrucciones y resultados; la matriz de LEDs ofrece señales visuales; el buzzer y el módulo MP3 aportan retroalimentación auditiva. Conde et al. (2021) destacan que la interacción con dispositivos físicos y robóticos puede favorecer aprendizajes STEAM cuando construcción, experimentación y resolución de problemas participan activamente en la experiencia educativa.

La integración de varios canales de retroalimentación permite que el funcionamiento electrónico adquiera significado perceptible. Una respuesta puede verse, escucharse y relacionarse

con una acción concreta, creando asociaciones que acompañan el razonamiento aritmético. Esta configuración multisensorial exige equilibrio. Los estímulos deben comunicar información pertinente sin generar saturación. De ahí que duración, intensidad, secuencia y propósito de cada señal formen parte del diseño pedagógico, junto con programación, selección de componentes y organización física.

El software completa esta estructura mediante módulos capaces de administrar ejercicios, respuestas, registros y niveles de dificultad. Van Schoors et al. (2021) muestran que el aprendizaje digital personalizado reúne diversas estrategias destinadas a ajustar experiencias educativas a características individuales. En correspondencia con esa perspectiva, la programación adaptativa del kit utiliza evidencias de desempeño para graduar actividades, procurando mantener exigencias alcanzables y oportunidades de práctica acordes con la progresión registrada por cada estudiante.

Dentro de esta arquitectura, los módulos de aritmética interactiva vinculan operaciones numéricas con manipulación, representación y retroalimentación inmediata. Rodríguez-Jiménez et al. (2023) reconocen el potencial de las tecnologías digitales para enriquecer la enseñanza matemática en educación primaria. Complementariamente, Nurhayati et al. (2026) documentan el crecimiento de los sistemas adaptativos aplicados a educación matemática, una línea que respalda la incorporación de secuencias graduadas, registros de desempeño y ajustes orientados por evidencias.

La adaptación cobra mayor sentido cuando reconoce que las trayectorias de aprendizaje matemático presentan variaciones que requieren apoyos diferenciados. Nelson et al. (2022) reúnen evidencia procedente de investigaciones sobre estudiantes con dificultades y discapacidades de aprendizaje matemático, mostrando la relevancia de intervenciones sustentadas en conocimiento acumulado. En el kit, esta consideración se expresa mediante apoyos graduados, repetición significativa,

retroalimentación frecuente y oportunidades para revisar procedimientos sin convertir el error en una experiencia punitiva.

El proceso de construcción y validación confirmó, además, que un prototipo educativo necesita permanecer abierto a revisión. Lin et al. (2020) destacan el valor de evaluar procesos y productos en actividades maker, mientras Novak et al. (2021) muestran aportes formativos asociados con diseño y fabricación tridimensional. Las pruebas piloto, los registros técnicos y las modificaciones sucesivas permitieron depurar el kit, consolidando una propuesta donde aprender, construir, comprobar y mejorar forman parte de una misma lógica educativa.

Tabla 3

Elementos de diseño e ingeniería del Kit STEAM Inteligente y Sustentable

Componente temático	Descripción y aporte al Kit STEAM
Accesibilidad, sostenibilidad y bajo costo	Se priorizan interfaces comprensibles, recursos multisensoriales, componentes asequibles y materiales duraderos, reparables o reutilizables. Estos criterios buscan reducir barreras de participación, facilitar mantenimiento y prolongar la vida útil del kit, procurando una implementación económicamente viable en instituciones con diferentes niveles de disponibilidad tecnológica y material.
Energía solar y baterías	La integración de paneles solares y baterías recargables proporciona autonomía energética y convierte la gestión de electricidad en una oportunidad educativa. El sistema permite abordar generación, almacenamiento, consumo y eficiencia energética mediante experiencias prácticas, vinculando principios STEAM con responsabilidad ambiental y uso consciente de los recursos.
Componentes electrónicos	Arduino Mega coordina el funcionamiento electrónico mediante sensores, actuadores y periféricos. La pantalla LCD comunica instrucciones y resultados; la matriz de LEDs proporciona retroalimentación visual; el buzzer y el módulo MP3 ofrecen señales auditivas. La integración modular facilita mantenimiento, programación y ampliación progresiva de las actividades educativas.

Componente temático	Descripción y aporte al Kit STEAM
Arquitectura del software educativo	El software organiza entrada, procesamiento, retroalimentación, adaptación y registro de información. Su estructura modular permite gestionar ejercicios aritméticos, interpretar respuestas y modificar parámetros de funcionamiento, manteniendo correspondencia entre objetivos pedagógicos, desempeño estudiantil e interacción con los componentes físicos del kit.
Construcción y validación técnica	El prototipo atraviesa fases de planificación, ensamblaje, pruebas, evaluación y modificación. Se verifican conexiones, alimentación energética, programación, interfaces, resistencia y estabilidad operativa. La documentación sistemática permite comparar versiones, identificar incidencias y justificar técnicamente los cambios realizados durante el desarrollo.
Pruebas piloto y mejora iterativa	Las pruebas piloto permiten contrastar el funcionamiento previsto con la experiencia de utilización. Las observaciones obtenidas orientan correcciones técnicas y pedagógicas relacionadas con sensibilidad, tiempos de respuesta, organización física, accesibilidad y retroalimentación. El ciclo de construir, probar, evaluar y modificar mantiene abierta la evolución del prototipo.

Nota. Elaboración propia a partir de la estructura conceptual, tecnológica, pedagógica y metodológica desarrollada en el capítulo.

Capítulo 4:

Diseño Metodológico de la Investigación

4.1 Enfoque y tipo de investigación

La investigación se desarrolló desde un enfoque cuantitativo de carácter aplicado, mediante un diseño cuasi-experimental orientado a determinar los efectos de una intervención educativa basada en el uso de un Kit STEAM Inteligente sobre el rendimiento aritmético y determinados procesos neurocognitivos en estudiantes de ocho a nueve años pertenecientes a instituciones educativas urbanas y rurales de la ciudad de Ibarra. La elección metodológica responde a la necesidad de obtener evidencia empírica susceptible de medición, comparación y análisis estadístico, a partir de datos recopilados antes y después de la intervención.

El enfoque cuantitativo permite establecer relaciones entre variables previamente delimitadas y traducidas en indicadores observables. En esta investigación, la variable independiente corresponde a la intervención educativa mediante el Kit STEAM Inteligente, mientras que las principales variables dependientes comprenden el rendimiento aritmético, la memoria de trabajo y la atención. El rendimiento aritmético fue examinado mediante una prueba académica que contempló operaciones, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático; la memoria de trabajo y la atención fueron valoradas mediante una evaluación neurocognitiva breve. Esta delimitación favorece la correspondencia entre los objetivos de investigación, los instrumentos empleados y el tratamiento estadístico posterior.

Creswell y Creswell (2018) sitúan la investigación cuantitativa dentro de una estructura metodológica caracterizada por la formulación de variables, la utilización de procedimientos sistemáticos de medición y el análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación y contrastar planteamientos derivados del marco teórico. Su propuesta metodológica mantiene amplia utilización en investigación educativa debido a la

organización que ofrece para vincular problema, preguntas, variables, procedimientos de medición y estrategias analíticas. La obra resulta pertinente para fundamentar las decisiones metodológicas generales de este estudio, aun cuando su publicación exceda el intervalo temporal establecido para buena parte de las referencias del libro.

La naturaleza aplicada de la investigación deriva de su orientación hacia la evaluación de una propuesta educativa concreta. El interés investigativo no se restringió a describir el rendimiento de los estudiantes, sino que buscó determinar empíricamente si la incorporación del Kit STEAM Inteligente produjo variaciones en las variables estudiadas. La intervención constituye, por tanto, el componente articulador entre el desarrollo tecnológico presentado en capítulos anteriores y la evaluación educativa planteada en esta fase del estudio.

La investigación adopta, además, una perspectiva comparativa. Se examinaron las variaciones registradas entre las mediciones iniciales y posteriores a la intervención, las diferencias entre estudiantes que participaron en la experiencia con el Kit STEAM y aquellos que continuaron con las actividades educativas establecidas para el grupo de comparación, y las posibles diferencias asociadas con la ubicación urbana o rural de las instituciones participantes. Esta organización permitió distinguir el cambio temporal observado en los estudiantes de las diferencias relacionadas con la condición experimental y con las características territoriales de las instituciones educativas.

La pertinencia de este planteamiento encuentra respaldo en investigaciones educativas que han empleado diseños cuantitativos cuasi-experimentales para evaluar intervenciones tecnológicas. Ng et al. (2020), por ejemplo, desarrollaron una intervención educativa durante ocho semanas y compararon mediciones previas y posteriores entre un grupo experimental que recibió actividades guiadas mediante dispositivos móviles y un

grupo control. Participaron 419 estudiantes, distribuidos entre 264 participantes del grupo experimental y 155 del grupo control, y los resultados posteriores mostraron un desempeño significativamente superior entre quienes recibieron la intervención guiada.

La evidencia reciente confirma la continuidad de esta estrategia en investigación educativa. Un estudio publicado en 2024 sobre aprendizaje combinado y rendimiento matemático empleó un diseño cuasi-experimental con pretest, postest y grupo control no equivalente, utilizando aulas intactas ante la imposibilidad práctica de asignar aleatoriamente a los estudiantes; el análisis recurrió posteriormente a ANCOVA para controlar diferencias iniciales entre los grupos. Esta estructura posee especial pertinencia para investigaciones realizadas en instituciones escolares donde los grupos de estudiantes se encuentran constituidos previamente.

En consecuencia, la combinación de un enfoque cuantitativo, una finalidad aplicada y un diseño cuasi-experimental con mediciones pretest-postest proporciona la estructura metodológica requerida para evaluar los efectos asociados con la utilización del Kit STEAM Inteligente y comparar los resultados obtenidos entre las condiciones consideradas en el estudio.

4.1.1 Investigación cuantitativa aplicada

El estudio correspondió a una investigación cuantitativa aplicada, debido a que buscó obtener evidencia numérica acerca de los cambios asociados con una intervención educativa diseñada para responder a una necesidad concreta del proceso de enseñanza y aprendizaje de la aritmética. La investigación aplicada vincula la producción de conocimiento con la evaluación de alternativas susceptibles de utilización en escenarios educativos reales, por lo que resulta pertinente para valorar una herramienta tecnológica creada con propósitos pedagógicos definidos.

La dimensión cuantitativa se expresa en la transformación de las variables estudiadas en datos susceptibles de medición. El rendimiento aritmético fue representado mediante puntuaciones obtenidas en una prueba académica, mientras que la memoria de trabajo y la atención fueron valoradas mediante puntuaciones procedentes de las subpruebas neurocognitivas seleccionadas. Los datos obtenidos permitieron calcular medidas descriptivas, establecer diferencias entre mediciones y efectuar contrastes estadísticos entre los grupos participantes.

La medición se efectuó en momentos previamente establecidos. Antes de iniciar la intervención se desarrolló una evaluación inicial o pretest, destinada a establecer la línea base de cada grupo. Después del período de intervención se realizó un postest mediante procedimientos equivalentes. La disponibilidad de ambas mediciones permitió estimar la magnitud del cambio registrado en cada variable y examinar si dicho cambio presentó diferencias entre los estudiantes que utilizaron el Kit STEAM y aquellos pertenecientes al grupo control.

Esta lógica responde a los principios de la investigación cuantitativa descritos por Creswell y Creswell (2018), quienes vinculan este enfoque con la medición de variables, la recolección estructurada de información y el análisis estadístico dirigido a contrastar relaciones o diferencias previamente planteadas. En el presente estudio, dicha estructura permite trasladar los objetivos generales y específicos hacia indicadores empíricos capaces de producir evidencia comparable.

El carácter aplicado se encuentra directamente relacionado con la naturaleza del Kit STEAM Inteligente. La investigación no se limita a establecer asociaciones entre variables educativas existentes, pues incorpora deliberadamente una intervención diseñada para favorecer experiencias de aprendizaje activo mediante actividades vinculadas con aritmética y tecnología. El interés central consiste en valorar empíricamente sus resultados

educativos y determinar si las variaciones registradas justifican su consideración como recurso pedagógico para estudiantes de ocho a nueve años.

La orientación aplicada también permite examinar la intervención en instituciones educativas con características territoriales diferentes. La participación de instituciones urbanas y rurales permitió comparar el comportamiento de las variables estudiadas y valorar si los resultados asociados con la intervención mantienen patrones semejantes o presentan diferencias entre ambas categorías territoriales. Esta comparación adquiere relevancia para una propuesta tecnológica concebida bajo principios de accesibilidad y utilización educativa en poblaciones escolares diversas.

Los resultados fueron interpretados atendiendo tanto a la significación estadística como a la magnitud de las diferencias observadas. Esta distinción resulta necesaria debido a que una diferencia estadísticamente significativa no representa necesariamente una modificación educativa de importancia considerable. Por esta razón, el análisis acompañó los valores de significación con estadísticos descriptivos, intervalos de confianza y medidas del tamaño del efecto.

La investigación cuantitativa aplicada proporciona, en consecuencia, una vía metodológica apropiada para determinar si las variaciones registradas después de la intervención presentan evidencia suficiente para asociarlas con la utilización educativa del Kit STEAM Inteligente, manteniendo criterios sistemáticos de medición, comparación y análisis.

4.1.2 Diseño cuasi-experimental con grupos control y experimental

La investigación adoptó un diseño cuasi-experimental con grupos experimental y control y mediciones pretest-postest. Esta

elección responde a las condiciones propias de la investigación educativa desarrollada en instituciones escolares, donde los estudiantes se encuentran organizados previamente en cursos o paralelos y la asignación individual aleatoria puede resultar incompatible con la organización académica establecida.

En un diseño cuasi-experimental, la intervención se introduce de manera planificada y sus resultados se examinan mediante la comparación de grupos y mediciones, aunque no exista una asignación aleatoria individual equivalente a la de un experimento clásico. La ausencia de aleatorización exige prestar particular atención a las posibles diferencias iniciales entre los grupos y documentar sus características antes de comenzar la intervención.

El grupo experimental estuvo conformado por estudiantes que participaron en las actividades educativas desarrolladas mediante el Kit STEAM Inteligente durante el período establecido. El grupo control continuó con las actividades pedagógicas previstas para la enseñanza de los contenidos matemáticos correspondientes, sin recibir durante dicho período la intervención experimental. Las condiciones educativas de ambos grupos se mantuvieron tan comparables como resultó posible en aspectos relacionados con edad, grado escolar, período de aplicación, contenidos evaluados y momentos de medición.

La estructura básica del diseño puede representarse mediante el siguiente esquema:

Tabla 4

Esquema del diseño cuasi-experimental con grupos experimental y control

Grupo	Pretest	Intervención	Postest
Experimental	O_1	X: Kit STEAM Inteligente	O_2
Control	O_1	Enseñanza habitual	O_2

Nota. O_1 = medición previa a la intervención; X = intervención educativa mediante el Kit STEAM Inteligente; O_2 = medición posterior a la intervención.

En esta representación, O_1 corresponde a las mediciones efectuadas antes de la intervención, X representa la aplicación educativa del Kit STEAM Inteligente y O_2 corresponde a las mediciones realizadas después del período de intervención. La comparación entre O_1 y O_2 permitió establecer el cambio experimentado dentro de cada grupo, mientras que la comparación entre las trayectorias del grupo experimental y del grupo control permitió estimar el efecto asociado con la intervención.

La utilización de mediciones anteriores y posteriores aporta una ventaja metodológica relevante. El postest aislado informaría acerca de las diferencias existentes después de la intervención, pero no permitiría determinar adecuadamente si esas diferencias estaban presentes desde el inicio. El pretest proporciona una referencia basal que permite identificar posibles desigualdades previas y considerarlas durante el análisis estadístico.

Ng et al. (2020) ofrecen un antecedente de aplicación de esta lógica en una intervención educativa mediada por tecnología. Su investigación empleó grupos experimental y control, desarrolló una intervención guiada durante ocho semanas y comparó los datos obtenidos antes y después del tratamiento. Los estudiantes del grupo experimental recibieron actividades guiadas mediante dispositivos móviles, mientras que el grupo control participó en clases sin dichas actividades; posteriormente, el grupo intervenido

presentó niveles significativamente superiores de desempeño lingüístico.

La vigencia del diseño también puede observarse en investigaciones educativas recientes vinculadas con matemáticas. Un estudio de 2024 utilizó expresamente un diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupo control no equivalente para investigar el efecto del aprendizaje combinado sobre el rendimiento matemático, trabajando con clases previamente constituidas y recurriendo al análisis de covarianza para considerar diferencias iniciales entre grupos. Otro estudio educativo de 2024 empleó un diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupo control para evaluar un programa de formación STEM, con participación de 147 docentes y 3.544 estudiantes.

Para la investigación, la comparación tuvo además una dimensión territorial. La participación de instituciones urbanas y rurales permitió examinar los resultados considerando simultáneamente la condición de intervención —experimental o control— y la procedencia institucional —urbana o rural—. Esta organización permitió analizar si los cambios observados después de la intervención mantienen un comportamiento semejante entre ambas categorías de instituciones.

La interpretación de los resultados evitó atribuir automáticamente cualquier diferencia posterior al Kit STEAM. Debido al carácter cuasi-experimental del diseño, fue necesario examinar la equivalencia inicial de los grupos, las posibles pérdidas de participantes entre pretest y postest, el cumplimiento de la intervención y otras variables capaces de influir en las mediciones. El cuestionario sociodemográfico y de características educativas previsto en el apartado 4.3.3 contribuyó a describir algunas de las diferencias iniciales.

La estrategia analítica correspondió con dicha estructura. Las puntuaciones obtenidas antes y después de la intervención

permitieron estudiar efectos del tiempo, diferencias entre grupos y posibles interacciones entre tiempo, intervención y procedencia urbana-rural. El análisis inferencial se efectuó mediante un análisis de varianza con medidas repetidas, seleccionado de acuerdo con la estructura de la muestra, la distribución de los datos y el cumplimiento de los supuestos estadísticos.

De esta manera, el diseño cuasi-experimental permite desarrollar la intervención dentro de la organización habitual de las instituciones educativas y, al mismo tiempo, conservar mecanismos de comparación necesarios para valorar empíricamente los cambios asociados con el Kit STEAM Inteligente.

4.2 Población y muestra

La población de referencia estuvo constituida por estudiantes de ocho a nueve años matriculados en instituciones educativas urbanas y rurales de la provincia de Imbabura. La delimitación de esta franja etaria responde a los propósitos pedagógicos y neurocognitivos de la investigación, centrados en el aprendizaje aritmético durante una etapa escolar en la que las operaciones básicas, el cálculo y la resolución de problemas adquieren una presencia progresivamente sistemática dentro del proceso educativo.

La población accesible estuvo conformada por estudiantes que cumplieron los criterios establecidos para la investigación y se encontraban matriculados en las instituciones educativas seleccionadas para la intervención. La definición de la población accesible consideró la disponibilidad institucional, la existencia de estudiantes pertenecientes al rango etario establecido, la autorización de las autoridades educativas y las condiciones requeridas para desarrollar las actividades programadas con el Kit STEAM Inteligente.

De acuerdo con las estadísticas educativas oficiales correspondientes al período lectivo 2023–2024, la provincia de Imbabura registró 308 instituciones educativas, 6.509 docentes y 119.320 estudiantes dentro del Sistema Nacional de Educación. Estas cifras muestran la amplitud del sistema educativo provincial y proporcionan un referente para delimitar la población institucional dentro de la cual se realizó la investigación.

Debido a la naturaleza cuasi-experimental del estudio y a las condiciones operativas propias de la investigación escolar, se empleó un muestreo no probabilístico, intencional y por criterios, mediante el cual se seleccionaron instituciones que reunieron las características requeridas para desarrollar la intervención y permitieron establecer grupos comparables. La selección no pretende representar estadísticamente a la totalidad de instituciones de Imbabura mediante una muestra aleatoria, sino evaluar la intervención bajo condiciones educativas previamente delimitadas.

La muestra estuvo conformada por 160 estudiantes de ocho a nueve años, distribuidos entre instituciones urbanas y rurales y entre grupos experimental y control. La distribución procuró mantener equilibrio entre las condiciones de comparación, con 80 estudiantes pertenecientes al grupo experimental y 80 al grupo control.

La unidad primaria de selección correspondió a la institución educativa, mientras que la unidad de análisis estuvo constituida por cada estudiante participante, debido a que las mediciones de rendimiento aritmético, memoria de trabajo y atención produjeron puntuaciones individuales. No obstante, durante el análisis estadístico se consideró que los estudiantes se encuentran agrupados dentro de aulas e instituciones y que dicha estructura puede generar dependencia entre las observaciones.

La muestra definitiva estuvo conformada por 160 estudiantes que cumplieron los criterios de elegibilidad y completaron las mediciones requeridas. Antes de iniciar la fase de intervención se realizó el cálculo correspondiente de potencia estadística para valorar la suficiencia del número planificado de participantes.

4.2.1 Selección de instituciones educativas urbanas y rurales de Imbabura

La selección institucional se realizó procurando mantener una representación equilibrada de los dos ámbitos territoriales considerados en la investigación. Se trabajó con cuatro instituciones educativas de la provincia de Imbabura, de las cuales dos correspondieron al área urbana y dos al área rural.

La incorporación de instituciones pertenecientes a ambas áreas responde al propósito de analizar el desempeño del Kit STEAM Inteligente en realidades educativas territorialmente diferenciadas. Esta comparación permitió determinar si los cambios registrados en rendimiento aritmético, memoria de trabajo y atención presentan patrones semejantes entre los estudiantes participantes o si existen diferencias asociadas con las características educativas y tecnológicas de las instituciones.

La selección de las cuatro instituciones fue intencional y basada en criterios de elegibilidad previamente definidos. Entre ellos se consideró que la institución dispusiera de estudiantes de ocho a nueve años en número suficiente; que las autoridades institucionales autoricen el desarrollo de la investigación; que exista disponibilidad de espacios y horarios para las sesiones de intervención y evaluación; que sea posible desarrollar el período completo de aplicación; y que la institución pueda ser clasificada de manera inequívoca dentro de la categoría urbana o rural empleada en el estudio.

También se procuró seleccionar establecimientos con características académicas comparables en aspectos relevantes para la investigación. Cuando las condiciones institucionales lo permitieron, se priorizó la participación de aulas o paralelos previamente constituidos, evitando alterar innecesariamente la organización escolar para conformar grupos artificiales.

La muestra se distribuyó de la siguiente manera:

Tabla 5

Distribución de la muestra según área educativa y grupo de estudio

Área educativa	Instituciones	Grupo experimental	Grupo control	Total
Urbana	2	40	40	80
Rural	2	40	40	80
Total	**4**	**80**	**80**	**160**

Nota. Distribución de la muestra participante en la investigación.

Esta distribución permitió establecer cuatro condiciones analíticas principales: urbano-experimental, urbano-control, rural-experimental y rural-control, con 40 participantes en cada una. La organización facilitó la comparación del cambio entre las mediciones inicial y posterior y permitió examinar la posible interacción entre intervención y procedencia territorial.

La asignación de la condición experimental o control se realizó preferentemente sobre aulas o paralelos previamente constituidos, en correspondencia con la naturaleza cuasi-experimental de la investigación. Cuando una misma institución dispuso de paralelos comparables y las condiciones administrativas lo permitieron, se estableció un paralelo experimental y otro de control dentro de la misma institución. Esta alternativa disminuyó determinadas diferencias institucionales que podrían presentarse cuando todos los estudiantes experimentales proceden de un establecimiento y todos los estudiantes de control pertenecen a otro.

La identificación de las instituciones participantes se efectuó después de obtener las autorizaciones correspondientes. En la presentación de los resultados se utilizó una codificación institucional para proteger la confidencialidad, por ejemplo, UE-U1, UE-U2, UE-R1 y UE-R2, evitando asociar los resultados individuales con los nombres de los estudiantes.

La información recogida mediante el cuestionario sociodemográfico y de características educativas permitió complementar esta clasificación territorial mediante variables relacionadas con acceso tecnológico, conectividad y experiencia previa con determinados recursos educativos. La información tuvo una función descriptiva y contribuyó a interpretar diferencias iniciales entre los grupos.

4.2.2 Criterios de inclusión y exclusión de participantes

La definición de criterios de inclusión y exclusión tuvo como propósito establecer condiciones homogéneas para la incorporación de participantes y reducir fuentes de variación que puedan interferir con la interpretación de los resultados. Los criterios fueron aplicados antes de la evaluación inicial y se mantuvieron durante el período de intervención.

Criterios de inclusión

Participaron los estudiantes que cumplieron las siguientes condiciones:

1. Tener ocho o nueve años al momento de la evaluación inicial.
2. Encontrarse matriculados regularmente en una de las instituciones educativas seleccionadas.
3. Pertenecer al grado o nivel educativo definido para la investigación.
4. Formar parte de una de las aulas o paralelos seleccionados para el estudio.

5. Contar con consentimiento informado escrito del representante legal.
6. Manifestar su asentimiento para participar, mediante un procedimiento adaptado a su edad y capacidad de comprensión.
7. Completar las evaluaciones correspondientes al pretest.
8. Presentar condiciones que permitan comprender las instrucciones y participar en las actividades previstas dentro del protocolo.
9. Mantener una asistencia suficiente durante el período de intervención para que la exposición al programa pueda considerarse adecuada de acuerdo con el criterio establecido previamente por los investigadores.

La participación no dependió del rendimiento matemático inicial. Los estudiantes con puntuaciones altas, medias o bajas pudieron formar parte del estudio mientras cumplieran los criterios establecidos, debido a que uno de los propósitos consistió precisamente en examinar los cambios producidos desde diferentes niveles de desempeño inicial.

Criterios de exclusión

Fueron excluidos del análisis correspondiente los participantes que presentaron alguna de las siguientes condiciones:

1. No encontrarse dentro del intervalo de edad establecido.
2. No disponer del consentimiento informado del representante legal.
3. Manifestar su decisión de no participar o retirar su asentimiento durante la investigación.
4. No completar la evaluación inicial requerida para establecer la línea base.
5. Presentar una ausencia prolongada que impida alcanzar el nivel mínimo de participación establecido para la intervención.

6. No completar el postest por retiro de la institución, ausencia prolongada u otra circunstancia que impida disponer de las mediciones requeridas para el análisis longitudinal.
7. Haber participado previamente de manera intensiva en la intervención experimental específica o haber utilizado el mismo Kit STEAM cuando dicha experiencia pueda comprometer la comparabilidad de la medición inicial.

La existencia de necesidades educativas específicas o de una condición clínica no debería establecerse automáticamente como criterio de exclusión. Una exclusión de esta naturaleza requeriría justificación metodológica y ética vinculada directamente con la seguridad del participante, la imposibilidad de administrar válidamente los instrumentos o los objetivos previamente definidos. La investigación evitó convertir una característica individual en motivo de exclusión cuando fue posible realizar ajustes razonables compatibles con el protocolo.

Las causas de pérdida de participantes entre el pretest y el postest fueron registradas. Este procedimiento permitió informar la muestra inicial, el número de estudiantes que completaron la intervención y la muestra analizada, evitando presentar como equivalentes cifras correspondientes a momentos diferentes del estudio.

4.2.3 Consideraciones éticas y consentimiento informado

La investigación involucra la participación de niñas y niños de ocho a nueve años, razón por la cual se establecieron medidas reforzadas de protección durante las fases de selección, evaluación, intervención, almacenamiento de información y difusión de resultados. La participación estuvo condicionada a la autorización institucional correspondiente y a la aprobación ética exigible de acuerdo con la naturaleza del proyecto y la institución responsable de la investigación.

Los principios de respeto por las personas, protección del bienestar, proporcionalidad de los procedimientos y confidencialidad orientaron las actuaciones del equipo investigador. Ninguna actividad académica regular, calificación escolar, relación con los docentes o acceso a beneficios institucionales estuvo condicionada a la decisión de participar.

Consentimiento del representante legal y asentimiento del niño

Debido a la edad de los participantes, se distinguieron expresamente dos procedimientos.

El primero correspondió al consentimiento informado del representante legal. Antes de incorporar al estudiante, su representante recibió información clara acerca de los objetivos de la investigación, procedimientos, duración, instrumentos, intervención educativa, posibles molestias, tratamiento de los datos, mecanismos de confidencialidad, carácter voluntario de la participación y posibilidad de retirarla.

El segundo correspondió al asentimiento del niño. Cada participante recibió una explicación adaptada a su edad, mediante lenguaje comprensible, acerca de las actividades que realizaría y de su derecho a manifestar que no desea participar o que desea dejar de hacerlo. La autorización del representante legal no reemplazó la consideración de la voluntad expresada por el niño.

Esta distinción es importante debido a que la legislación ecuatoriana establece medidas específicas para el tratamiento de datos personales pertenecientes a niñas, niños y adolescentes. La Ley Orgánica de Protección de Datos Personales determina que el tratamiento de datos de menores requiere salvaguardas reforzadas y contempla la intervención del representante legal para el ejercicio de sus derechos en estas edades.

Confidencialidad y protección de datos

Los datos obtenidos fueron tratados exclusivamente para las finalidades declaradas en el proyecto. La Constitución ecuatoriana reconoce el derecho a la protección de los datos personales, mientras que la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales regula su recopilación, utilización, conservación y seguridad.

A cada participante se le asignó un código alfanumérico, mediante el cual se vincularon los resultados del pretest, postest, evaluación neurocognitiva, prueba aritmética y cuestionario sociodemográfico. La base utilizada para el análisis estadístico no contuvo nombres de los estudiantes.

Cuando resultó indispensable conservar temporalmente una correspondencia entre identidad y código para vincular las evaluaciones pretest-postest, dicha información se mantuvo separada de la base analítica y con acceso restringido al personal autorizado. Los archivos digitales fueron almacenados mediante mecanismos de seguridad apropiados y los documentos físicos, cuando existieron, permanecieron bajo custodia controlada.

La normativa ecuatoriana reconoce, además, el derecho del titular a recibir información acerca de la finalidad del tratamiento, base jurídica, período de conservación, responsable de los datos y mecanismos para ejercer sus derechos. En el caso de productos o servicios dirigidos a niñas, niños y adolescentes, dicha información debe proporcionarse a su representante legal conforme a las disposiciones aplicables.

Riesgos y bienestar de los participantes

Los procedimientos planteados corresponden principalmente a actividades educativas y evaluativas. Las posibles molestias previsibles se relacionan con cansancio, pérdida temporal de concentración o incomodidad ante determinadas tareas. Para

reducirlas se establecieron tiempos apropiados de aplicación, pausas cuando fueron necesarias y condiciones físicas adecuadas para los estudiantes.

La evaluación neurocognitiva breve no tuvo una finalidad diagnóstica. Sus resultados fueron utilizados para responder las preguntas de investigación y no fueron empleados para etiquetar a los estudiantes, establecer diagnósticos clínicos ni generar decisiones académicas individuales para las cuales los instrumentos aplicados no hayan sido concebidos.

La participación fue voluntaria. Tanto el representante legal como el niño pudieron retirar su participación de acuerdo con los procedimientos establecidos en el protocolo, sin que ello generara penalización académica o institucional.

Uso y comunicación de resultados

Los resultados fueron presentados de manera agregada. Las publicaciones, informes, presentaciones académicas y productos derivados de la investigación evitaron incorporar información que permita identificar directamente a los participantes.

Las diferencias encontradas entre instituciones urbanas y rurales tampoco fueron utilizadas para establecer clasificaciones valorativas entre establecimientos o poblaciones. Su interpretación se realizó en relación con las variables medidas y con los límites derivados del diseño cuasi-experimental.

La Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, publicada en el Registro Oficial No. 459 de 26 de mayo de 2021, constituye una referencia normativa central para el tratamiento de la información obtenida durante la investigación. Su Reglamento General desarrolla las disposiciones aplicables a responsables y encargados del tratamiento de datos personales en territorio ecuatoriano.

En consecuencia, el componente ético acompañó todas las etapas del estudio, desde la selección de participantes hasta la comunicación de resultados, con especial atención a la participación voluntaria, la protección de los derechos de niñas y niños, la confidencialidad y el tratamiento responsable de la información.

4.3 Instrumentos de evaluación

La investigación empleó tres instrumentos complementarios para evaluar los efectos de la intervención con el Kit STEAM Inteligente y caracterizar las condiciones educativas de los participantes. Los instrumentos permitieron obtener información sobre el funcionamiento neurocognitivo, el rendimiento aritmético y determinadas características contextuales relevantes para la comparación entre instituciones educativas urbanas y rurales.

Los instrumentos de evaluación cognitiva y académica fueron administrados durante las fases de pretest y postest a los grupos experimental y control bajo condiciones equivalentes de aplicación. El cuestionario sociodemográfico se aplicó una sola vez, preferentemente durante la fase inicial del estudio.

4.3.1 Evaluación neurocognitiva breve

La evaluación neurocognitiva se realizó mediante subpruebas seleccionadas de la Evaluación Neuropsicológica Infantil, segunda edición (ENI-2). No se administró la batería completa, debido a que el propósito de la investigación no consistió en realizar un diagnóstico neuropsicológico integral de los participantes, sino en obtener indicadores específicos de procesos cognitivos relacionados con el aprendizaje aritmético y potencialmente sensibles a la intervención educativa.

La evaluación se concentró en dos procesos: memoria de trabajo y atención. La selección definitiva de las subpruebas se

realizó conforme a las indicaciones establecidas en el manual oficial de la ENI-2, considerando su correspondencia con la edad de los participantes, comprendida entre ocho y nueve años, y su pertinencia para un diseño pretest-postest.

La memoria de trabajo fue valorada mediante las tareas seleccionadas de la ENI-2 que permitieron examinar la capacidad del estudiante para mantener y manipular información durante períodos breves. Este proceso resulta particularmente relevante para el aprendizaje aritmético, puesto que la realización de operaciones y la resolución de problemas requieren conservar temporalmente números, instrucciones y resultados parciales mientras se desarrolla una estrategia de solución.

La atención fue evaluada mediante las subpruebas correspondientes de la ENI-2 seleccionadas para valorar el desempeño atencional. Se utilizaron las puntuaciones e indicadores establecidos por el instrumento y se mantuvieron procedimientos equivalentes de administración y calificación en el pretest y el postest.

La aplicación, calificación e interpretación de las subpruebas seleccionadas se realizó de acuerdo con las instrucciones del manual de la ENI-2 y con participación de personal profesional cualificado para el uso del instrumento. Esta estrategia permitió disponer de una evaluación neurocognitiva breve, disminuyendo el tiempo de administración y la posible fatiga de los participantes sin incorporar dominios neuropsicológicos ajenos a los objetivos específicos del estudio.

4.3.2 Prueba académica de aritmética

El rendimiento aritmético fue evaluado mediante una prueba académica dirigida a estudiantes de ocho a nueve años, elaborada de acuerdo con los aprendizajes matemáticos correspondientes al nivel educativo de los participantes y las

competencias relacionadas con las actividades desarrolladas mediante el Kit STEAM Inteligente.

La prueba estuvo estructurada en tres dimensiones: operaciones aritméticas básicas, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático.

La dimensión de operaciones aritméticas permitió valorar el dominio de procedimientos correspondientes al nivel educativo de los estudiantes. La dimensión de cálculo examinó la precisión en la ejecución de procedimientos numéricos. Finalmente, la dimensión de resolución de problemas y razonamiento matemático presentó situaciones en las que el estudiante debía identificar información relevante, establecer relaciones entre los datos, seleccionar una estrategia apropiada y obtener una solución.

La prueba fue aplicada durante el pretest y el postest tanto al grupo experimental como al grupo control. La calificación permitió obtener una puntuación global de rendimiento aritmético y puntuaciones específicas para cada una de las dimensiones evaluadas.

Antes de su aplicación definitiva, la prueba fue sometida a un proceso de validación de contenido mediante juicio de expertos. Posteriormente se realizó una prueba piloto con estudiantes de características semejantes a la población objetivo que no formaron parte de la muestra definitiva. Este procedimiento permitió valorar la claridad de las instrucciones e ítems, su adecuación a la edad y nivel educativo, el tiempo de aplicación y su correspondencia con las dimensiones estudiadas.

4.3.3 Cuestionario sociodemográfico y de contexto educativo

Se aplicó un cuestionario sociodemográfico y de contexto educativo con la finalidad de caracterizar a los participantes e identificar determinadas condiciones que pudieran contribuir a

interpretar las diferencias observadas entre instituciones educativas urbanas y rurales.

El instrumento recogió únicamente información pertinente para los objetivos de la investigación, evitando solicitar datos personales que no resultaran necesarios para el análisis. Las variables se organizaron en cuatro dimensiones: características generales del estudiante, contexto educativo, acceso tecnológico y experiencia previa con recursos tecnológicos.

Entre las variables generales se consideraron aspectos como edad, grado escolar y contexto de la institución educativa —urbano o rural—. La información fue registrada mediante códigos de identificación para evitar incorporar nombres de los estudiantes a la base destinada al análisis estadístico.

En relación con el acceso tecnológico, el cuestionario permitió identificar aspectos como disponibilidad de computadora, tableta o teléfono inteligente para actividades educativas; disponibilidad y estabilidad de conexión a internet; frecuencia de utilización de recursos tecnológicos con fines escolares y posibilidades de acceso a estos recursos.

También se incorporaron preguntas breves relacionadas con la experiencia tecnológica previa, particularmente el contacto anterior con herramientas educativas digitales, actividades STEAM, programación, robótica o dispositivos electrónicos semejantes a los utilizados durante la intervención. Esta información permitió identificar si determinados estudiantes partían de condiciones de familiaridad tecnológica diferentes.

El cuestionario fue administrado una sola vez, antes del inicio de la intervención, y sus resultados tuvieron principalmente una función descriptiva y contextual. No fue considerado una

medida de resultado de la intervención ni fue repetido durante el postest.

La información obtenida permitió caracterizar la muestra y contribuyó a interpretar las posibles diferencias entre los contextos urbano y rural. Asimismo, determinadas variables se incorporaron posteriormente como variables de control o covariables cuando existió una justificación teórica y estadística para ello.

Antes de su aplicación definitiva, el cuestionario fue revisado mediante juicio de expertos, quienes valoraron la claridad, pertinencia y adecuación de las preguntas a la edad y características de los participantes. Debido a que los participantes tenían entre ocho y nueve años, se procuró utilizar preguntas breves, lenguaje comprensible y opciones de respuesta sencillas. Cuando determinadas preguntas requirieron información que el niño no podía proporcionar de manera fiable, esta se obtuvo de su representante legal o de los registros institucionales, previa autorización correspondiente.

4.4 Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos se desarrolló mediante un procedimiento secuencial organizado en tres fases: pretest, intervención y postest, en correspondencia con el diseño cuasi-experimental planteado para la investigación. Esta organización permitió establecer una línea base de las variables estudiadas, ejecutar la intervención educativa mediante el Kit STEAM Inteligente y efectuar una segunda medición destinada a identificar los cambios registrados en los grupos experimental y control.

El procedimiento se aplicó a los estudiantes de ocho a nueve años pertenecientes a las instituciones educativas urbanas y rurales seleccionadas en Imbabura. Antes del inicio de las actividades se gestionaron las autorizaciones institucionales requeridas, el consentimiento informado de los representantes

legales y el asentimiento de los participantes. La incorporación de cada estudiante quedó condicionada al cumplimiento de los criterios establecidos en el apartado 4.2.2.

La recolección utilizó los instrumentos definidos en el apartado 4.3. La evaluación neurocognitiva breve, conformada por las subpruebas seleccionadas de la ENI-2, permitió obtener indicadores de memoria de trabajo y atención; la prueba académica de aritmética proporcionó información sobre operaciones, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático; mientras que el cuestionario sociodemográfico y de características educativas permitió caracterizar a los participantes y registrar variables relacionadas con acceso tecnológico, conectividad y experiencia previa con recursos tecnológicos.

La evaluación neurocognitiva y la prueba académica fueron administradas antes y después de la intervención, manteniendo procedimientos equivalentes en ambos momentos. El cuestionario sociodemográfico y de características educativas fue aplicado una vez durante la fase inicial, debido a que su función consistió en caracterizar a los participantes y aportar información complementaria para la interpretación de los resultados.

Cada estudiante fue identificado mediante un código alfanumérico que permitió vincular los datos obtenidos durante las distintas fases sin incorporar nombres en la base destinada al análisis estadístico. El mismo código fue utilizado en el pretest y el postest, procedimiento que facilitó el seguimiento individual de las puntuaciones y el análisis de los cambios registrados durante el estudio.

La secuencia metodológica responde al diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupos experimental y control descrito en el apartado 4.1.2. Este tipo de organización permite examinar las diferencias existentes antes de la intervención, estimar las variaciones registradas posteriormente y comparar las

trayectorias de ambos grupos. Creswell y Creswell (2018) destacan la importancia de mantener procedimientos sistemáticos de medición y correspondencia entre las variables, los instrumentos y las estrategias de análisis dentro de los diseños cuantitativos. Por su parte, Ng et al. (2020) aplicaron una estructura cuasi-experimental con mediciones anteriores y posteriores para evaluar los efectos de una intervención educativa mediada por tecnología.

4.4.1 Fase de pretest

La fase de pretest tuvo como propósito establecer la línea base del rendimiento aritmético, la memoria de trabajo y la atención antes de iniciar las actividades correspondientes a la intervención. Esta medición permitió conocer el nivel inicial de los participantes y determinar la existencia de posibles diferencias previas entre los grupos experimental y control y entre los estudiantes pertenecientes a instituciones urbanas y rurales.

Antes de la aplicación de los instrumentos se verificó el cumplimiento de los criterios de participación, la existencia del consentimiento informado del representante legal y el asentimiento del estudiante. Posteriormente se asignó a cada participante un código alfanumérico para organizar los registros generados durante el estudio.

Durante esta fase se aplicó el cuestionario sociodemográfico y de características educativas, previsto en el apartado 4.3.3. Su administración se efectuó una vez y permitió obtener información relacionada con las características generales del participante, acceso a dispositivos tecnológicos, conectividad y experiencia previa con recursos tecnológicos, programación, robótica o actividades STEAM. Cuando alguna información no pudo ser proporcionada de manera fiable por estudiantes de ocho a nueve años, se obtuvo mediante sus representantes legales o registros institucionales, conforme a las autorizaciones correspondientes.

La prueba académica de aritmética fue administrada antes de la intervención para determinar el rendimiento inicial de los estudiantes en las dimensiones establecidas: operaciones aritméticas, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático. La aplicación se desarrolló bajo condiciones equivalentes para los participantes, utilizando instrucciones previamente estandarizadas, tiempos establecidos y criterios uniformes de calificación.

La evaluación neurocognitiva breve se realizó mediante las subpruebas seleccionadas de la ENI-2 destinadas a valorar memoria de trabajo y atención. La administración siguió estrictamente las indicaciones del manual del instrumento y estuvo a cargo de personal cualificado. Se procuró efectuar la evaluación en un espacio con condiciones apropiadas de iluminación, ventilación, privacidad y reducción de distractores, con el propósito de disminuir interferencias externas sobre el desempeño.

La secuencia específica de administración de las pruebas se mantuvo estable entre los participantes siempre que las instrucciones de los instrumentos lo permitieron. También se registraron situaciones que pudieran afectar excepcionalmente una evaluación, tales como interrupciones, abandono de una tarea o imposibilidad de completar una prueba.

Una vez concluida la fase de pretest, las puntuaciones fueron registradas en una base de datos estructurada mediante los códigos asignados a los participantes. Antes del inicio de la intervención se realizó una revisión de integridad de los registros para detectar datos faltantes, errores de digitación o inconsistencias entre los instrumentos aplicados.

Los resultados del pretest no fueron utilizados para modificar la pertenencia de los estudiantes al grupo experimental o control en función de su rendimiento. Su función principal consistió en establecer la medición basal requerida para las

comparaciones posteriores y permitir la valoración estadística de posibles diferencias iniciales.

4.4.2 Fase de intervención

Una vez concluida la evaluación inicial se desarrolló la fase de intervención educativa mediante el Kit STEAM Inteligente. Esta etapa constituyó el componente de tratamiento del diseño cuasi-experimental y estuvo dirigida a los estudiantes pertenecientes al grupo experimental.

La intervención se organizó mediante una planificación previamente establecida que definió la duración, frecuencia de las sesiones, objetivos de aprendizaje, actividades, contenidos aritméticos, recursos empleados y procedimientos de acompañamiento docente. La planificación se mantuvo equivalente entre las instituciones participantes en el grupo experimental, con las adaptaciones estrictamente necesarias derivadas de la organización escolar.

Las actividades estuvieron orientadas al aprendizaje de contenidos aritméticos mediante experiencias prácticas vinculadas con los componentes del Kit STEAM Inteligente. Los estudiantes participaron en tareas relacionadas con operaciones, cálculo y resolución de problemas, empleando recursos tecnológicos como medios para representar, ejecutar o verificar determinadas actividades matemáticas.

La metodología de trabajo favoreció la participación activa de los estudiantes mediante tareas estructuradas en pequeños equipos. Cuando las actividades requirieron la manipulación física del Kit, se conformaron equipos de cuatro a cinco estudiantes, cantidad que permitió distribuir responsabilidades y facilitar la participación de los integrantes. La conformación de estos equipos no modificó la unidad de análisis de la investigación, que continuó

siendo cada estudiante en las evaluaciones académicas y neurocognitivas.

Cada sesión siguió una estructura previamente definida para reducir variaciones innecesarias en la aplicación de la intervención. Se procuró mantener constantes aspectos como duración aproximada de las sesiones, secuencia general de actividades, recursos disponibles, instrucciones principales y contenidos matemáticos abordados.

Durante el mismo período, los estudiantes pertenecientes al grupo control continuaron con las actividades pedagógicas habituales correspondientes a los contenidos matemáticos establecidos, sin participar en la intervención mediante el Kit STEAM Inteligente. La existencia del grupo control permitió disponer de un referente para valorar si las variaciones registradas entre pretest y postest presentaron diferencias respecto de aquellas observadas entre estudiantes que no recibieron la intervención.

Se llevó un registro de asistencia y participación en las sesiones del grupo experimental. Este procedimiento permitió conocer el nivel efectivo de exposición de cada participante y determinar el cumplimiento del criterio mínimo de asistencia que fue establecido antes de iniciar la intervención. También se documentaron interrupciones institucionales, suspensiones de clases o acontecimientos que pudieran alterar de manera relevante la planificación.

Se procuró evitar diferencias sustanciales en la duración de la intervención entre las instituciones urbanas y rurales, debido a que una exposición considerablemente mayor de un grupo al Kit habría dificultado atribuir las diferencias posteriores a la procedencia territorial.

El equipo investigador procuró mantener una fidelidad de implementación adecuada. Para ello se utilizó una ficha breve de

registro por sesión en la que constaron la fecha, duración, actividad desarrollada, contenido matemático trabajado, número de participantes presentes, cumplimiento de la planificación y observaciones relacionadas con incidencias relevantes.

Durante esta fase no se utilizaron las puntuaciones del pretest para proporcionar entrenamiento específico destinado a mejorar el desempeño en los instrumentos de evaluación. Las actividades se dirigieron hacia los aprendizajes y procesos previstos en el programa educativo, evitando enseñar respuestas particulares de las pruebas que fueron administradas posteriormente.

4.4.3 Fase de postest

Concluido el período de intervención se desarrolló la fase de postest, destinada a obtener una segunda medición del rendimiento aritmético, la memoria de trabajo y la atención de los participantes.

La evaluación fue aplicada tanto al grupo experimental como al grupo control. Este procedimiento permitió comparar las puntuaciones posteriores con las obtenidas durante el pretest y determinar la magnitud de las variaciones registradas en cada condición.

Se administró nuevamente la prueba académica de aritmética mediante condiciones equivalentes a las utilizadas durante la evaluación inicial. Se conservaron los procedimientos de aplicación, criterios de puntuación y condiciones generales establecidos previamente. Las puntuaciones permitieron examinar las variaciones en rendimiento aritmético global y en las dimensiones de operaciones, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático.

También se aplicaron nuevamente las subpruebas seleccionadas de la ENI-2 correspondientes a memoria de trabajo y atención. La administración siguió las instrucciones establecidas en

el manual del instrumento y conservó condiciones comparables con las empleadas durante el pretest. Se prestó atención al intervalo transcurrido entre ambas evaluaciones y a los posibles efectos derivados de la exposición previa a las tareas, aspecto que fue considerado durante la selección definitiva de las subpruebas y la interpretación de los resultados.

El cuestionario sociodemográfico y de características educativas no fue administrado nuevamente, debido a que la información recogida mediante este instrumento tuvo una función descriptiva y de caracterización inicial.

Las puntuaciones obtenidas durante el postest fueron incorporadas a la misma base de datos mediante el código alfanumérico asignado a cada estudiante. Posteriormente se efectuó la correspondencia entre las mediciones pretest y postest, verificando que los registros pertenecieran al mismo participante y que no existieran duplicaciones o errores de identificación.

Se documentaron las pérdidas de participantes producidas entre ambas mediciones y, cuando la información estuvo disponible, sus respectivas causas. La base de datos permitió distinguir entre estudiantes inicialmente incorporados, participantes que recibieron la intervención prevista y estudiantes que completaron las dos evaluaciones. Esta diferenciación favoreció una presentación transparente del flujo de participantes.

Una vez depurada la información, las puntuaciones quedaron preparadas para el análisis estadístico descrito en el apartado 4.5. La comparación consideró los cambios registrados entre pretest y postest, las diferencias entre los grupos experimental y control y la procedencia urbana o rural de las instituciones participantes. De esta manera, la secuencia pretest–intervención–postest permitió vincular directamente el procedimiento de recolección de datos con las preguntas, objetivos e hipótesis establecidos para la investigación.

4.5 Análisis estadístico: ANOVA y comparación de grupos

El análisis estadístico estuvo orientado a determinar las diferencias producidas entre las mediciones de pretest y postest, considerando la pertenencia de los estudiantes a los grupos experimental y control y su procedencia de instituciones educativas urbanas o rurales. Inicialmente se realizó un análisis descriptivo mediante medidas de tendencia central y dispersión, principalmente media, desviación estándar, valores mínimos y máximos, para las puntuaciones de rendimiento aritmético, memoria de trabajo y atención.

Antes de efectuar las pruebas inferenciales se examinaron los supuestos estadísticos correspondientes al modelo seleccionado, entre ellos la distribución de los datos, homogeneidad de varianzas y comportamiento de los valores atípicos. También se verificó la existencia de diferencias iniciales entre los grupos mediante las puntuaciones obtenidas en el pretest. Cuando los datos no cumplieron adecuadamente los supuestos requeridos, se valoraron procedimientos estadísticos alternativos acordes con las características de las variables.

Para examinar los efectos de la intervención se utilizó un análisis de varianza con medidas repetidas, considerando el tiempo de evaluación —pretest y postest— como factor intra-sujetos y la condición experimental —experimental y control— como factor entre sujetos. La procedencia institucional —urbana y rural— se incorporó como un factor adicional, permitiendo examinar los efectos principales y las interacciones entre tiempo, intervención y procedencia territorial. El interés principal se centró en determinar si la evolución de las puntuaciones entre pretest y postest presentó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

El nivel de significación estadística se estableció en $\alpha = .05$. Sin embargo, la interpretación no se fundamentó exclusivamente

en los valores de p. Se reportaron tamaños del efecto e intervalos de confianza, acompañados por los estadísticos descriptivos correspondientes, con el propósito de valorar la magnitud y precisión de las diferencias encontradas. Kraft (2020) advierte que los tamaños del efecto de las intervenciones educativas deben interpretarse atendiendo a las características de la intervención, población, resultados evaluados y condiciones de aplicación, evitando una clasificación mecánica mediante puntos de corte generales.

Los análisis permitieron establecer si la intervención mediante el Kit STEAM Inteligente se relacionó con cambios en el rendimiento aritmético, memoria de trabajo y atención, además de determinar si dichos cambios presentaron diferencias entre estudiantes de instituciones urbanas y rurales. Debido al agrupamiento de estudiantes dentro de aulas e instituciones, dicha dependencia fue considerada como una limitación del análisis.

4.6 Síntesis del capítulo

El capítulo presentó la estructura metodológica propuesta para evaluar los efectos educativos del Kit STEAM Inteligente en estudiantes de ocho a nueve años pertenecientes a instituciones educativas urbanas y rurales de Imbabura. La investigación se estableció desde un enfoque cuantitativo aplicado, mediante un diseño cuasi-experimental con grupos experimental y control y mediciones realizadas antes y después de la intervención.

La muestra definitiva estuvo conformada por 160 estudiantes, distribuidos de manera equilibrada entre cuatro instituciones educativas, dos urbanas y dos rurales. La organización contempló 80 participantes en la condición experimental y 80 en la condición control, manteniendo criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos y medidas específicas para proteger los derechos de los participantes menores de edad.

La medición de las variables se realizó mediante tres instrumentos complementarios. Una evaluación neurocognitiva breve, basada en subpruebas seleccionadas de la ENI-2, permitió valorar memoria de trabajo y atención; una prueba académica de aritmética permitió evaluar operaciones, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático; y un cuestionario sociodemográfico y de características educativas aportó información para caracterizar a los participantes y determinadas condiciones relacionadas con su experiencia tecnológica.

El procedimiento de recolección de datos se organizó mediante las fases de pretest, intervención y postest. Durante el pretest se establecieron las mediciones iniciales; posteriormente, el grupo experimental participó en actividades educativas mediante el Kit STEAM Inteligente, mientras el grupo control continuó con la enseñanza habitual; después del período de intervención se efectuaron nuevamente las mediciones académicas y neurocognitivas bajo procedimientos equivalentes.

Capítulo 5:

Resultados: Impacto en el Rendimiento Aritmético

El presente capítulo expone los resultados obtenidos mediante la prueba académica de aritmética aplicada a los estudiantes participantes en la investigación. El análisis se organizó de acuerdo con las dos mediciones establecidas en el diseño metodológico: pretest y postest. La primera permitió establecer la línea base del rendimiento aritmético antes de la intervención, mientras que la segunda permitió examinar las variaciones registradas después del período de aplicación del Kit STEAM Inteligente.

La muestra analizada estuvo constituida por 160 estudiantes de ocho a nueve años, distribuidos en dos condiciones de estudio. El grupo experimental estuvo conformado por 80 participantes y el grupo control por otros 80. Para facilitar la interpretación de los resultados, las puntuaciones de la prueba académica fueron expresadas en una escala de 0 a 100 puntos.

El análisis consideró la puntuación global de rendimiento aritmético y las dimensiones definidas previamente en el instrumento: operaciones aritméticas, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático. En primera instancia se examinaron los estadísticos descriptivos de las puntuaciones iniciales y, posteriormente, las diferencias entre los grupos.

Los resultados del pretest adquirieron especial relevancia debido al carácter cuasi-experimental de la investigación. La ausencia de asignación aleatoria individual hizo necesario comprobar si los grupos presentaban niveles de rendimiento aritmético comparables antes de iniciar la intervención educativa.

5.1 Resultados generales del pretest aritmético

El pretest aritmético fue aplicado a los 160 estudiantes antes del inicio de las actividades correspondientes a la intervención. Los resultados permitieron establecer la situación inicial de los grupos experimental y control y proporcionaron la

referencia requerida para interpretar posteriormente las variaciones registradas en el postest.

En la evaluación realizada, el grupo experimental obtuvo una puntuación media global de 53,10 puntos (DE = 8,98), mientras que el grupo control presentó una media de 50,10 puntos (DE = 11,24). La diferencia descriptiva inicial fue, por tanto, de 3,00 puntos a favor del grupo experimental.

Tabla 6
Estadísticos descriptivos del pretest aritmético según grupo de estudio

Grupo	n	Media	DE	Diferencia de medias
Experimental	80	53,10	8,98	3,00
Control	80	50,10	11,24	—
Total	160	—	—	—

Nota. DE = desviación estándar.

La Figura 15 permite observar gráficamente las puntuaciones medias de ambos grupos. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95 %. Aunque se aprecia una diferencia descriptiva entre las medias iniciales, esta representación no permite determinar por sí misma la existencia de una diferencia estadísticamente significativa.

La distribución de las puntuaciones también fue examinada antes de efectuar las comparaciones inferenciales. La Figura 16 presenta la mediana, el rango intercuartílico, la dispersión y los posibles valores atípicos correspondientes a cada grupo. Esta representación permitió valorar visualmente la variabilidad de las puntuaciones iniciales y complementó la información proporcionada por las medias y desviaciones estándar.

Figura 15

Puntuaciones medias del pretest aritmético en los grupos experimental y control

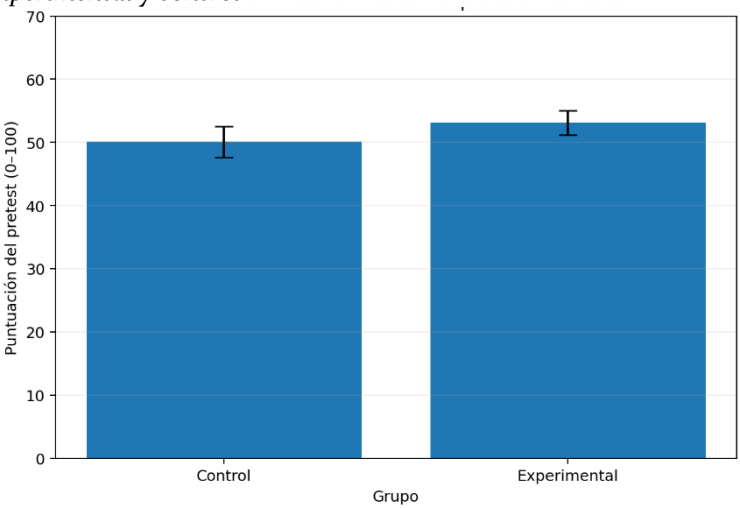
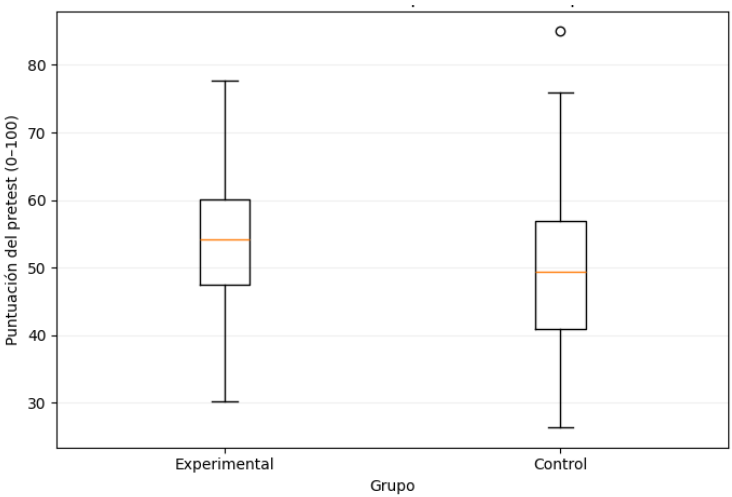


Figura 16

Distribución de las puntuaciones del pretest aritmético según grupo de estudio



En términos generales, las puntuaciones iniciales mostraron niveles relativamente próximos entre las dos condiciones de estudio, aunque el grupo experimental presentó una media ligeramente superior. Esta diferencia fue considerada posteriormente al estimar el efecto de la intervención, debido a que el interés principal no radicó en comparar las puntuaciones posteriores de manera aislada, sino en establecer la magnitud del cambio registrado desde la línea base.

5.1.1 Línea base del grupo experimental

El grupo experimental estuvo constituido por 80 estudiantes que posteriormente participaron en las actividades educativas desarrolladas mediante el Kit STEAM Inteligente. Antes de comenzar la intervención, los participantes realizaron la prueba académica de aritmética bajo las condiciones establecidas en el procedimiento metodológico.

La puntuación global media obtenida por este grupo fue de 53,10 puntos, con una desviación estándar de 8,98 puntos. La dispersión observada indicó la presencia de diferencias individuales en el dominio aritmético inicial, situación esperable en una muestra escolar integrada por estudiantes con experiencias educativas y niveles de desempeño diversos.

El análisis por dimensiones permitió obtener una caracterización más específica de la línea base. Se consideraron puntuaciones medias equivalentes a 58,4 puntos en operaciones aritméticas, 54,1 en cálculo y 46,8 en resolución de problemas con razonamiento matemático. La menor puntuación correspondió, por tanto, a las tareas que exigían interpretar información y establecer una estrategia de resolución.

Tabla 7
Resultados del pretest aritmético del grupo experimental por dimensiones

Dimensión	n	Media	DE
Operaciones aritméticas	80	58,40	10,20
Cálculo	80	54,10	9,70
Resolución de problemas y razonamiento matemático	80	46,80	11,50
Puntuación global	80	53,10	8,98

Nota. Los valores corresponden al pretest aritmético

Las diferencias entre dimensiones indicaron que, antes de la intervención, los estudiantes presentaron un desempeño relativamente mayor en operaciones aritméticas que en resolución de problemas. Este resultado descriptivo estableció una referencia importante para el análisis posterior, debido a que permitiría determinar si la intervención produjo variaciones homogéneas en todas las dimensiones o efectos de mayor magnitud en determinadas competencias.

En consecuencia, la línea base del grupo experimental permitió establecer el punto de partida previo a la utilización del Kit STEAM Inteligente. Estas puntuaciones no fueron interpretadas como evidencia de eficacia de la intervención, puesto que fueron obtenidas antes de su aplicación. Su función consistió en proporcionar una referencia cuantitativa para la comparación con el postest.

5.1.2 Línea base del grupo control

El grupo control estuvo conformado por 80 estudiantes que continuaron posteriormente con las actividades pedagógicas habituales establecidas para el período de investigación. Al igual que el grupo experimental, sus participantes completaron la prueba académica de aritmética antes del inicio de la fase de intervención.

La puntuación global media del grupo control fue de 50,10 puntos, con una desviación estándar de 11,24 puntos. La variabilidad fue ligeramente superior a la registrada en el grupo experimental, evidenciando una mayor dispersión de las puntuaciones alrededor de la media.

Al examinar las dimensiones de la prueba, se establecieron medias de 56,1 puntos en operaciones aritméticas, 50,7 en cálculo y 43,5 en resolución de problemas con razonamiento matemático. Al igual que en el grupo experimental, la dimensión con menor rendimiento correspondió a resolución de problemas.

Tabla 8

Resultados del pretest aritmético del grupo control por dimensiones

Dimensión	**n**	**Media**	**DE**
Operaciones aritméticas	80	56,10	12,00
Cálculo	80	50,70	11,40
Resolución de problemas y razonamiento matemático	80	43,50	13,10
Puntuación global	80	50,10	11,24

Nota. Los valores corresponden al pretest aritmético

El patrón observado fue semejante al registrado en el grupo experimental: las operaciones aritméticas presentaron las puntuaciones iniciales más elevadas, mientras que las actividades que demandaban interpretación y resolución de problemas mostraron un desempeño menor. Esta distribución permitió identificar una tendencia descriptiva común antes de la intervención.

La comparación descriptiva entre las líneas base mostró una diferencia de 3,00 puntos en la puntuación global, favorable al grupo experimental. Sin embargo, la interpretación de la equivalencia inicial requirió la prueba estadística correspondiente y reportar el valor de p, el intervalo de confianza y el tamaño del

efecto. La existencia o ausencia de significación estadística no debería declararse mediante la inspección de las medias.

En consecuencia, los resultados del pretest proporcionarían la referencia necesaria para evaluar posteriormente la evolución de ambos grupos. El análisis del impacto de la intervención deberá centrarse principalmente en las diferencias de cambio entre pretest y postest, evitando interpretar una puntuación posterior elevada como efecto del Kit cuando parte de esa diferencia pudiera encontrarse presente antes de comenzar la intervención.

5.2 Resultados del postest aritmético

La aplicación del postest permitió valorar el rendimiento aritmético alcanzado por los 160 participantes después del período de intervención. La medición se efectuó bajo criterios equivalentes a los empleados durante el pretest y consideró las tres dimensiones establecidas en la prueba académica: operaciones aritméticas, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático. Las puntuaciones fueron expresadas en una escala de 0 a 100 puntos.

Los resultados descriptivos evidenciaron diferencias entre las dos condiciones de estudio. El grupo experimental alcanzó una puntuación media global de 72,40 puntos (DE = 9,31), mientras que el grupo control obtuvo una media de 56,30 puntos (DE = 10,87). La diferencia entre ambas medias fue de 16,10 puntos, favorable a los estudiantes que participaron en las actividades desarrolladas mediante el Kit STEAM Inteligente.

Al relacionar las puntuaciones posteriores con la línea base presentada en el apartado 5.1, el grupo experimental pasó de 53,10 a 72,40 puntos, equivalente a un incremento medio de 19,30 puntos. Por su parte, el grupo control pasó de 50,10 a 56,30 puntos, con un

incremento medio de 6,20 puntos. La diferencia descriptiva entre las ganancias medias de ambos grupos alcanzó 13,10 puntos.

Tabla 9
Resultados descriptivos del postest aritmético según grupo de estudio

Grupo	n	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio medio
Experimental	80	53,10 (8,98)	72,40 (9,31)	+19,30
Control	80	50,10 (11,24)	56,30 (10,87)	+6,20
Total	**160**	—	—	—

Nota. M = media; DE = desviación estándar. El cambio medio representa la diferencia descriptiva entre las puntuaciones del postest y pretest.

La evolución observada mostró incrementos en ambos grupos, aunque con magnitudes diferentes. El aumento registrado en el grupo control indicó que el aprendizaje aritmético continuó desarrollándose durante el período escolar aun sin participación en la intervención, mientras que la ganancia considerablemente mayor del grupo experimental constituyó un primer indicador descriptivo favorable al programa educativo. La atribución estadística de las diferencias al efecto de la intervención requiere, no obstante, el análisis comparativo de las mediciones y de la interacción entre tiempo y condición experimental.

5.2.1 Desempeño del grupo experimental tras la intervención

Los 80 estudiantes pertenecientes al grupo experimental completaron el postest después del período de aplicación del Kit STEAM Inteligente. La puntuación global media alcanzó 72,40 puntos (DE = 9,31), frente a los 53,10 puntos registrados durante la evaluación inicial. La diferencia descriptiva correspondió a 19,30

puntos, reflejando una variación favorable del rendimiento aritmético después de la intervención.

El análisis por dimensiones mostró un incremento en las tres áreas evaluadas. En operaciones aritméticas, la media pasó de 58,40 puntos en el pretest a 75,60 puntos en el postest. En cálculo, la puntuación aumentó de 54,10 a 73,20 puntos. La variación de mayor magnitud se registró en resolución de problemas con razonamiento matemático, donde la media pasó de 46,80 a 68,40 puntos.

Tabla 10
Resultados del grupo experimental antes y después de la intervención según dimensión aritmética

Dimensión	**Pretest M (DE)**	**Postest M (DE)**	**Cambio medio**
Operaciones aritméticas	58,40 (10,20)	75,60 (9,40)	+17,20
Cálculo	54,10 (9,70)	73,20 (9,60)	+19,10
Resolución de problemas y razonamiento matemático	46,80 (11,50)	68,40 (10,80)	+21,60

Nota. M = media; DE = desviación estándar. Los cambios representan la diferencia entre las puntuaciones medias obtenidas en el postest y el pretest.

La mayor ganancia descriptiva correspondió a resolución de problemas y razonamiento matemático, con un incremento de 21,60 puntos. El resultado adquirió particular relevancia debido a que dicha dimensión había presentado el menor rendimiento durante la línea base. Los estudiantes mostraron un desempeño posterior superior en tareas que requerían identificar datos relevantes, establecer relaciones numéricas y seleccionar procedimientos para resolver situaciones problemáticas.

El cálculo presentó una ganancia de 19,10 puntos, mientras que las operaciones aritméticas registraron un incremento de 17,20 puntos. La presencia de mejoras en las tres dimensiones indicó que el aumento de la puntuación global no estuvo concentrado en un componente particular de la prueba, aunque la magnitud de las variaciones fue diferente entre las habilidades evaluadas.

Desde una perspectiva descriptiva, los resultados posteriores a la intervención mostraron un desplazamiento favorable del rendimiento académico del grupo experimental. Sin embargo, las diferencias pretest-postest dentro del grupo no constituyen por sí mismas evidencia suficiente para establecer el efecto atribuible al Kit STEAM Inteligente. La estimación de dicho efecto requiere comparar la evolución del grupo experimental con la registrada paralelamente en el grupo control.

5.2.2 Desempeño del grupo control

Los 80 estudiantes pertenecientes al grupo control también realizaron el postest al concluir el período establecido para la intervención. Durante dicho intervalo continuaron con las actividades pedagógicas habituales correspondientes a la enseñanza de los contenidos matemáticos, sin participar en las sesiones desarrolladas mediante el Kit STEAM Inteligente.

La puntuación global media del grupo control alcanzó 56,30 puntos (DE = 10,87), frente a los 50,10 puntos registrados durante el pretest. La diferencia correspondió a un incremento medio de 6,20 puntos, evidenciando una evolución favorable del rendimiento aritmético durante el período comprendido entre ambas evaluaciones.

El análisis de las dimensiones mostró incrementos de menor magnitud que los registrados en el grupo experimental. La puntuación media de operaciones aritméticas pasó de 56,10 a 62,10 puntos; en cálculo, la media aumentó de 50,70 a 56,80 puntos;

mientras que resolución de problemas con razonamiento matemático pasó de 43,50 a 49,40 puntos.

Tabla 11
Resultados del grupo control en el pretest y postest según dimensión aritmética

Dimensión	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio medio
Operaciones aritméticas	56,10 (12,00)	62,10 (11,30)	+6,00
Cálculo	50,70 (11,40)	56,80 (10,90)	+6,10
Resolución de problemas y razonamiento matemático	43,50 (13,10)	49,40 (12,40)	+5,90
Puntuación global	50,10 (11,24)	56,30 (10,87)	+6,20

Nota. M = media; DE = desviación estándar. Los cambios representan la diferencia entre las puntuaciones medias obtenidas en ambas mediciones.

Las variaciones registradas fueron relativamente homogéneas entre las dimensiones. Operaciones aritméticas aumentó 6,00 puntos; cálculo presentó una diferencia de 6,10 puntos; y resolución de problemas con razonamiento matemático mostró una ganancia de 5,90 puntos. El patrón indicó una evolución académica moderada durante el período evaluado.

La mejora registrada en el grupo control resulta relevante para la interpretación de la investigación. Los estudiantes continuaron recibiendo enseñanza matemática durante el período comprendido entre ambas mediciones, por lo que resultaba esperable cierto progreso asociado con la escolarización, la práctica académica y el avance de los contenidos curriculares. Por tal motivo, el incremento observado en el grupo experimental no debe interpretarse de manera aislada.

La comparación descriptiva mostró una diferencia marcada en las trayectorias de ambos grupos. Mientras el grupo control incrementó su puntuación global en 6,20 puntos, el grupo experimental registró una ganancia de 19,30 puntos. La diferencia de 13,10 puntos entre las ganancias medias proporciona el fundamento para desarrollar, en el apartado siguiente, el análisis inferencial destinado a establecer si la evolución diferencial alcanzó significación estadística y cuál fue la magnitud del efecto asociado con la intervención.

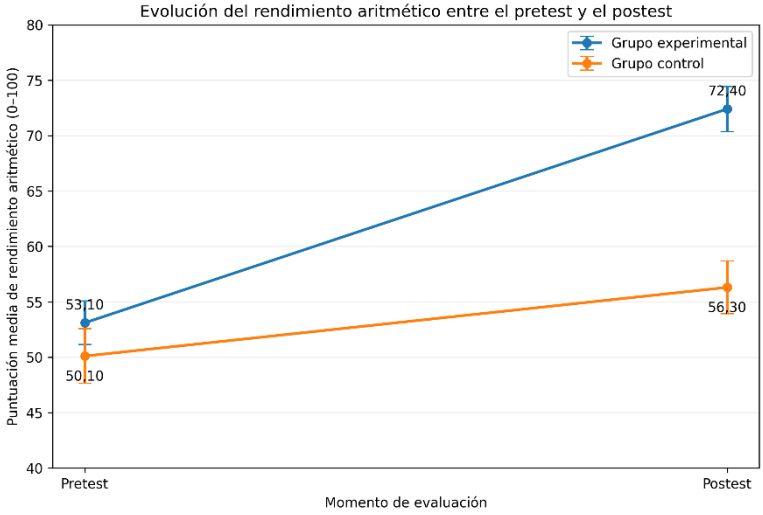
5.3 Análisis comparativo: experimental vs. control

El análisis comparativo permitió determinar si la evolución del rendimiento aritmético presentó diferencias entre el grupo experimental y el grupo control. Mientras que el grupo experimental pasó de una media de 53,10 puntos (DE = 8,98) en el pretest a 72,40 puntos (DE = 9,31) en el postest, el grupo control pasó de 50,10 puntos (DE = 11,24) a 56,30 puntos (DE = 10,87) durante el mismo período. Las ganancias medias fueron de 19,30 y 6,20 puntos, respectivamente.

La diferencia entre las ganancias medias alcanzó 13,10 puntos a favor del grupo experimental. El patrón observado indicó que ambos grupos incrementaron su rendimiento aritmético, aunque la progresión fue considerablemente mayor entre los estudiantes que participaron en la intervención mediante el Kit STEAM Inteligente.

Figura 17

Evolución del rendimiento aritmético entre el pretest y el postest según grupo de estudio



Nota. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95 %. Las puntuaciones corresponden a la prueba académica de aritmética expresada en una escala de 0 a 100 puntos.

La Figura 17 muestra trayectorias diferenciadas entre los grupos. La proximidad de las puntuaciones iniciales contrasta con la separación observada en el postest, donde el grupo experimental alcanzó una media superior. El comportamiento gráfico resulta consistente con una mayor ganancia académica durante el período de intervención.

5.3.1 Diferencias estadísticamente significativas

El análisis inferencial mediante ANOVA de medidas repetidas permitió examinar el efecto del tiempo de evaluación, la pertenencia al grupo y, principalmente, la interacción tiempo × grupo. La interacción constituye el resultado de mayor interés para valorar la intervención, debido a que permite determinar si el

cambio producido entre pretest y postest fue diferente entre ambas condiciones de estudio.

El análisis mostró una interacción estadísticamente significativa entre tiempo y grupo ($p < .001$), indicando que la evolución de las puntuaciones no presentó el mismo patrón en ambos grupos. La ganancia de 19,30 puntos registrada en el grupo experimental fue superior a la ganancia de 6,20 puntos observada en el grupo control.

Tabla 12
Comparación del rendimiento aritmético entre los grupos experimental y control

Grupo	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio medio
Experimental	53,10 (8,98)	72,40 (9,31)	+19,30
Control	50,10 (11,24)	56,30 (10,87)	+6,20
Diferencia de cambio	—	—	13,10

Nota. M = media; DE = desviación estándar. La interacción tiempo × grupo presentó significación estadística, $p < .001$.

Los resultados permitieron rechazar la hipótesis de igualdad en la evolución temporal de ambos grupos. La diferencia observada indicó que la mejora registrada entre las dos mediciones fue mayor entre los estudiantes que participaron en las actividades desarrolladas mediante el Kit STEAM Inteligente.

5.3.2 Tamaño del efecto e implicaciones pedagógicas

La significación estadística permite determinar la existencia de diferencias entre las trayectorias de los grupos, pero no informa por sí misma acerca de la relevancia educativa de dichas diferencias. Por tal motivo, el análisis deberá complementarse con una medida de tamaño del efecto y su correspondiente intervalo de confianza, permitiendo valorar la magnitud de la variación asociada con la intervención.

Kraft (2020) advierte que la interpretación de los tamaños del efecto en investigación educativa no debe depender mecánicamente de categorías universales como pequeño, mediano o grande. La relevancia de un efecto requiere considerar las características de la intervención, duración, población participante, variable evaluada, costos de implementación y condiciones bajo las cuales se produjo el cambio.

La diferencia de 13,10 puntos entre las ganancias medias adquiere interés debido a que el grupo control también presentó progreso durante el período analizado. El grupo experimental no fue comparado con una condición estática, sino con estudiantes que continuaron participando en la enseñanza matemática habitual. Por consiguiente, el interés reside en la ganancia adicional observada entre quienes trabajaron con el Kit STEAM Inteligente.

Los resultados mantienen correspondencia con la literatura sobre robótica educativa y educación STEM en primaria. Sapounidis et al. (2023), mediante revisión y metaanálisis, encontraron efectos favorables asociados con intervenciones de robótica educativa y STEM sobre diferentes resultados vinculados con conocimientos, habilidades y actitudes. La comparación debe efectuarse con prudencia debido a las diferencias existentes entre intervenciones, participantes, duración y medidas de resultado.

En términos educativos, los hallazgos respaldarían la utilización del Kit STEAM Inteligente como recurso complementario para el aprendizaje aritmético cuando la magnitud del efecto calculada con los datos empíricos confirme el patrón observado.

5.4 Síntesis del capítulo

Los resultados mostraron una evolución favorable del rendimiento aritmético durante el período comprendido entre el pretest y el postest. Ambos grupos incrementaron sus

puntuaciones, aunque las ganancias presentaron magnitudes diferentes. El grupo experimental pasó de 53,10 a 72,40 puntos, mientras que el grupo control pasó de 50,10 a 56,30 puntos.

El análisis por dimensiones mostró mejoras en operaciones aritméticas, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático. La mayor variación descriptiva del grupo experimental se registró en resolución de problemas, dimensión que había presentado el rendimiento inicial más bajo.

La comparación entre grupos mostró una diferencia de 13,10 puntos entre las ganancias medias, favorable al grupo experimental. El análisis inferencial indicó una interacción estadísticamente significativa entre tiempo y grupo, evidenciando trayectorias diferentes durante el período evaluado.

La interpretación del efecto deberá considerar conjuntamente los resultados inferenciales y la magnitud de las diferencias. Siguiendo el planteamiento de Kraft (2020), la relevancia educativa deberá valorarse en función de las características de la intervención y de los resultados alcanzados, en lugar de depender exclusivamente del valor de p.

Capítulo 6:

Resultados: Impacto en el Desarrollo Neurocognitivo

El capítulo presenta los resultados obtenidos mediante la evaluación neurocognitiva aplicada antes y después de la intervención educativa con el Kit STEAM Inteligente. El análisis se concentró en memoria de trabajo y atención, procesos seleccionados por su relación con el aprendizaje matemático y por su pertinencia para las actividades desarrolladas durante la intervención.

Las puntuaciones fueron examinadas mediante estadísticos descriptivos y comparaciones pretest-postest entre los grupos experimental y control. El análisis permitió determinar la evolución de cada grupo y establecer si los cambios registrados durante el período de intervención presentaron magnitudes diferentes.

La interpretación de los resultados consideró la relación documentada entre funciones ejecutivas y rendimiento académico. Spiegel et al. (2021), mediante un metaanálisis de estudios con escolares de educación primaria, encontraron asociaciones significativas entre las funciones ejecutivas y los resultados académicos; la memoria de trabajo mantuvo una asociación moderada con las matemáticas a lo largo de la educación primaria.

6.1 Resultados generales del pretest neuropsicológico

La evaluación inicial permitió establecer la línea base neurocognitiva antes de la intervención. Los resultados mostraron puntuaciones próximas entre los grupos experimental y control tanto en memoria de trabajo como en atención, condición relevante para interpretar posteriormente las variaciones registradas en el postest.

El grupo experimental presentó una media de 50,80 puntos (DE = 9,20) en memoria de trabajo, mientras que el grupo control alcanzó 50,10 puntos (DE = 9,60). En atención, las medias iniciales fueron de 51,60 puntos (DE = 8,70) para el grupo experimental y 50,90 puntos (DE = 9,10) para el grupo control.

Tabla 13
Resultados descriptivos del pretest neurocognitivo según grupo de estudio

Variable	Experimental M (DE)	Control M (DE)	Diferencia
Memoria de trabajo	50,80 (9,20)	50,10 (9,60)	0,70
Atención	51,60 (8,70)	50,90 (9,10)	0,70

Nota. M = media; DE = desviación estándar. n = 80 por grupo.

Las diferencias descriptivas iniciales fueron reducidas. En memoria de trabajo y atención se registró una distancia de 0,70 puntos entre las medias de ambos grupos. El patrón permitió establecer líneas base relativamente próximas antes de comenzar las actividades correspondientes a la intervención.

La proximidad inicial adquiere relevancia dentro del diseño cuasi-experimental, aunque no constituye por sí misma evidencia de equivalencia estadística. La comparación posterior requirió considerar las puntuaciones iniciales y la magnitud del cambio experimentado por cada participante, evitando atribuir al tratamiento diferencias que pudieran encontrarse presentes antes de su aplicación.

En términos generales, el pretest estableció una referencia cuantitativa para examinar la evolución neurocognitiva durante el período estudiado. Las diferencias posteriores fueron interpretadas atendiendo a las trayectorias pretest-postest y no mediante una comparación aislada de las puntuaciones obtenidas al término de la intervención.

6.2 Efectos del Kit STEAM en la memoria de trabajo

Los resultados correspondientes a memoria de trabajo mostraron una evolución diferenciada entre las dos condiciones de estudio. El grupo experimental pasó de una media de 50,80 puntos (DE = 9,20) en el pretest a 64,90 puntos (DE = 8,60) en el postest,

equivalente a una ganancia media de 14,10 puntos. El grupo control pasó de 50,10 (DE = 9,60) a 53,70 puntos (DE = 9,30), con una ganancia de 3,60 puntos.

Tabla 14
Comparación pretest-postest de memoria de trabajo según grupo

Grupo	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio
Experimental	50,80 (9,20)	64,90 (8,60)	+14,10
Control	50,10 (9,60)	53,70 (9,30)	+3,60
Diferencia entre ganancias	—	—	10,50

Nota. M = media; DE = desviación estándar.

La diferencia de 10,50 puntos entre las ganancias medias mostró una evolución favorable al grupo experimental. El incremento registrado entre los participantes que utilizaron el Kit STEAM fue aproximadamente cuatro veces mayor que el observado entre quienes continuaron con las actividades educativas habituales.

La relación entre memoria de trabajo y aprendizaje aritmético cuenta con respaldo empírico. Zhang, Tolmie y Gordon (2023) analizaron 46 estudios, 55 muestras independientes y 11.224 estudiantes de educación primaria, encontrando una asociación global significativa de magnitud media entre memoria de trabajo y rendimiento aritmético. También identificaron variaciones relacionadas con el componente de memoria evaluado, la edad y el tipo de operación matemática.

Los resultados también guardan correspondencia con el metaanálisis de Spiegel et al. (2021), basado en una extensa muestra de estudiantes de educación primaria. Los autores encontraron que la memoria de trabajo mantuvo asociaciones significativas con matemáticas, lectura y lenguaje durante la escolaridad primaria,

aun después de considerar la contribución compartida de diferentes componentes de las funciones ejecutivas.

La evolución registrada permite plantear que las actividades del Kit pudieron favorecer procesos relacionados con el mantenimiento y manipulación temporal de información requeridos durante las tareas matemáticas. No obstante, la interpretación causal deberá permanecer delimitada por el carácter cuasi-experimental del diseño y por las variables efectivamente evaluadas.

6.3 Efectos en la atención sostenida y selectiva

La atención presentó un patrón semejante al observado en memoria de trabajo. El grupo experimental incrementó su puntuación media de 51,60 puntos (DE = 8,70) a 63,20 puntos (DE = 8,20), equivalente a una ganancia de 11,60 puntos. El grupo control pasó de 50,90 puntos (DE = 9,10) a 54,00 puntos (DE = 8,90), registrando un incremento de 3,10 puntos.

Tabla 15
Comparación pretest-postest de atención según grupo

Grupo	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio
Experimental	51,60 (8,70)	63,20 (8,20)	+11,60
Control	50,90 (9,10)	54,00 (8,90)	+3,10
Diferencia entre ganancias	—	—	8,50

Nota. M = media; DE = desviación estándar.

La diferencia entre las ganancias medias alcanzó 8,50 puntos, favorable al grupo experimental. El resultado indicó que los participantes expuestos a la intervención presentaron una evolución atencional mayor durante el período evaluado.

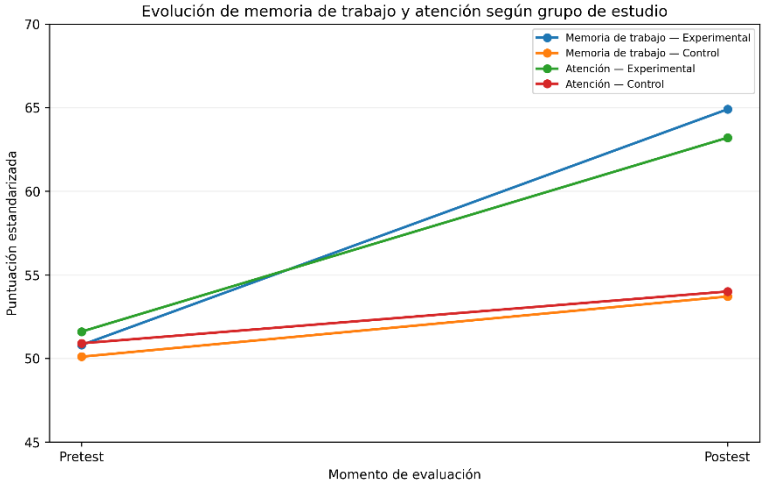
La relación entre atención, funciones ejecutivas y desempeño matemático también encuentra respaldo en investigaciones previas. La revisión sistemática de Agostini, Zoccolotti y Casagrande (2022), basada en 46 estudios con escolares, identificó dificultades en funciones ejecutivas, atención y velocidad de procesamiento entre niños con dificultades matemáticas, reforzando la relevancia de considerar procesos cognitivos generales al estudiar el aprendizaje matemático.

Las actividades desarrolladas mediante el Kit STEAM demandaron seguimiento de instrucciones, manipulación de componentes, identificación de información relevante, ejecución secuencial de acciones y comprobación de resultados. Tales exigencias permiten interpretar de manera razonable la evolución observada en atención, aunque los resultados no permiten establecer que cada componente particular de las actividades haya producido independientemente el cambio registrado.

La evolución conjunta de memoria de trabajo y atención se representa en la Figura 18. La separación progresiva de las trayectorias permite apreciar que ambos grupos partieron de puntuaciones próximas, mientras que las diferencias aumentaron después del período de intervención.

Figura 18

Evolución de memoria de trabajo y atención según grupo de estudio



Nota. Las puntuaciones representan los resultados estandarizados de las medidas neurocognitivas correspondientes. Las líneas muestran la evolución media entre pretest y postest.

6.4 Efectos en el razonamiento lógico y resolución de problemas

El razonamiento y la resolución de problemas fueron examinados mediante la dimensión correspondiente de la prueba académica de aritmética, evitando considerarlos como una tercera variable procedente de la evaluación neurocognitiva. Tal diferenciación mantiene la correspondencia entre los instrumentos descritos en el capítulo metodológico y las conclusiones derivadas de cada medición.

Los resultados mostraron que el grupo experimental pasó de 46,80 puntos (DE = 11,50) en el pretest a 68,40 puntos (DE = 10,80) en el postest, equivalente a un incremento de 21,60 puntos. El grupo control pasó de 43,50 puntos (DE = 13,10) a 49,40 puntos (DE = 12,40), con una ganancia de 5,90 puntos.

Tabla 16

Resultados en resolución de problemas y razonamiento matemático según grupo de estudio

Grupo	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio
Experimental	46,80 (11,50)	68,40 (10,80)	+21,60
Control	43,50 (13,10)	49,40 (12,40)	+5,90
Diferencia entre ganancias	—	—	15,70

Nota. M = media; DE = desviación estándar. Las puntuaciones proceden de la dimensión de resolución de problemas y razonamiento matemático de la prueba académica.

La diferencia de 15,70 puntos entre las ganancias medias representó la mayor variación observada entre las dimensiones analizadas. El resultado mostró que los estudiantes del grupo experimental avanzaron particularmente en tareas que demandaban interpretación de información, selección de estrategias, establecimiento de relaciones numéricas y obtención de soluciones.

Guerin, Wade y Mano (2021) revisaron 13 estudios sobre entrenamiento del razonamiento en niños y adolescentes y encontraron evidencia favorable para efectos de transferencia cercana hacia razonamiento fluido. La evidencia sobre transferencia hacia rendimiento académico fue menos concluyente, aunque el balance de los estudios examinados resultó favorable. Por ello, la relación entre intervención, razonamiento y desempeño académico debe interpretarse con mayor cautela que los efectos obtenidos directamente en tareas entrenadas.

Agostini et al. (2022) también documentaron la participación de habilidades cognitivas generales en el aprendizaje matemático. Su revisión encontró diferencias en funciones ejecutivas, atención y velocidad de procesamiento entre

estudiantes con y sin dificultades matemáticas, proporcionando fundamento para analizar conjuntamente rendimiento matemático y funcionamiento cognitivo sin tratarlos como constructos equivalentes.

6.5 Análisis comparativo pre y postest neurocognitivo

La comparación conjunta de las mediciones permitió identificar un patrón consistente. Los grupos presentaron puntuaciones relativamente próximas antes de la intervención; después del período educativo, las diferencias aumentaron en memoria de trabajo y atención, con mayores ganancias entre los estudiantes pertenecientes al grupo experimental.

El análisis mediante ANOVA de medidas repetidas permitió valorar los efectos correspondientes al momento de evaluación, condición experimental y la interacción tiempo × grupo. El interés principal recayó en la interacción, debido a que una diferencia significativa indicaría que la evolución entre pretest y postest presentó trayectorias distintas entre los grupos.

Para memoria de trabajo y atención, la interacción tiempo × grupo alcanzó significación estadística ($p < .001$). Los resultados indicaron que el incremento registrado en el grupo experimental fue significativamente mayor que el observado en el grupo control. Los valores exactos de F, grados de libertad, intervalos de confianza y tamaños del efecto deberán proceder directamente de la base estadística empleada para el análisis.

La interpretación conjunta mostró una mayor variación en memoria de trabajo que en atención, aunque ambas medidas presentaron un patrón favorable al grupo experimental. La existencia de cambios paralelos en rendimiento aritmético y procesos neurocognitivos también permitió plantear análisis posteriores de asociación entre las ganancias registradas en ambas áreas.

6.5.1 Resultados en el grupo experimental

El grupo experimental presentó mejoras en las dos variables neurocognitivas evaluadas. La memoria de trabajo aumentó 14,10 puntos, mientras que la atención registró una ganancia de 11,60 puntos. Ambas variaciones fueron superiores a las observadas en el grupo control.

El incremento en memoria de trabajo resultó particularmente relevante al considerar la naturaleza de las actividades matemáticas realizadas durante la intervención. Resolver operaciones y problemas requiere mantener información activa, recuperar datos parciales, organizar procedimientos y actualizar resultados durante períodos breves. Zhang et al. (2023) encontraron precisamente una relación significativa de magnitud media entre memoria de trabajo y aritmética en estudiantes de seis a doce años.

La evolución de la atención presentó una dirección semejante. Las actividades que requirieron seguimiento de instrucciones, identificación de estímulos relevantes y mantenimiento de la actividad durante períodos determinados pudieron proporcionar oportunidades frecuentes para ejercer recursos atencionales.

Los resultados académicos presentados en el capítulo 5 mostraron paralelamente una ganancia global de 19,30 puntos en rendimiento aritmético. La coexistencia de mejoras académicas y neurocognitivas resulta compatible con la literatura que relaciona funciones ejecutivas y desempeño escolar, aunque no demuestra por sí misma que la mejora cognitiva haya causado la mejora matemática. Spiegel et al. (2021) encontraron relaciones significativas entre funciones ejecutivas y resultados académicos a lo largo de la educación primaria.

En conjunto, la trayectoria del grupo experimental mostró variaciones favorables en las medidas neurocognitivas seleccionadas y en el rendimiento aritmético. La magnitud de las diferencias frente al grupo control permitió atribuir relevancia analítica a la intervención, dentro de los límites propios del diseño cuasi-experimental.

6.5.2 Resultados en el grupo control

El grupo control presentó incrementos menores en las variables neurocognitivas. La memoria de trabajo pasó de 50,10 a 53,70 puntos, mientras que la atención aumentó de 50,90 a 54,00 puntos. Las ganancias correspondieron a 3,60 y 3,10 puntos, respectivamente.

Las variaciones observadas indicaron que los procesos evaluados no permanecieron completamente estables durante el período estudiado. El desarrollo evolutivo, la escolarización regular, la práctica académica y la exposición cotidiana a actividades cognitivamente demandantes constituyen factores que pueden contribuir a cambios entre dos mediciones realizadas en diferentes momentos.

La existencia de progreso en el grupo control fortalece la necesidad de evaluar el efecto mediante la comparación entre trayectorias. Una mejora observada exclusivamente dentro del grupo experimental habría resultado insuficiente para distinguir entre el efecto de la intervención y los cambios vinculados con el transcurso del período escolar.

La diferencia entre ambos grupos fue particularmente visible en el postest. En memoria de trabajo se registró una distancia de 11,20 puntos entre las medias posteriores, mientras que en atención la diferencia alcanzó 9,20 puntos, ambas favorables al grupo experimental.

Por consiguiente, el grupo control proporcionó una referencia necesaria para estimar la ganancia adicional asociada con la participación en la intervención. Su evolución permitió distinguir el progreso registrado durante la escolarización habitual del incremento observado entre los estudiantes que trabajaron con el Kit STEAM Inteligente.

6.6 Síntesis del capítulo

Los resultados mostraron una evolución favorable de los procesos neurocognitivos evaluados después del período de intervención. Memoria de trabajo y atención presentaron incrementos en ambos grupos, aunque las ganancias fueron considerablemente mayores entre los estudiantes pertenecientes al grupo experimental.

La memoria de trabajo presentó una ganancia de 14,10 puntos en el grupo experimental frente a 3,60 puntos en el grupo control, generando una diferencia entre ganancias de 10,50 puntos. La evidencia disponible respalda la relevancia de dicha variable para el aprendizaje matemático durante la educación primaria. Zhang et al. (2023) encontraron una asociación global significativa de magnitud media entre memoria de trabajo y aritmética.

La atención mostró una evolución semejante, con incrementos de 11,60 puntos en el grupo experimental y 3,10 puntos en el control. La diferencia de ganancias alcanzó 8,50 puntos. Los resultados guardan correspondencia con investigaciones que vinculan procesos ejecutivos y atencionales con el desempeño académico y matemático durante la escolaridad primaria.

La resolución de problemas y el razonamiento matemático también mostraron una variación favorable al grupo experimental, aunque dicha medida correspondió al instrumento académico y no a la evaluación neurocognitiva. La distinción resulta necesaria para

evitar atribuir a la ENI-2 una variable que no fue medida mediante las subpruebas seleccionadas.

En conjunto, los hallazgos mostraron que la mayor ganancia académica descrita en el capítulo 5 estuvo acompañada por una evolución favorable en memoria de trabajo y atención. La relación entre ambas áreas deberá interpretarse mediante análisis estadísticos específicos y dentro de los límites del diseño empleado, evitando establecer relaciones causales entre procesos cognitivos y rendimiento matemático que no hayan sido contrastadas directamente.

Capítulo 7:

Análisis Comparativo: Contextos Urbanos y Rurales

El análisis desarrollado en el presente capítulo examinó las diferencias observadas entre estudiantes pertenecientes a instituciones educativas urbanas y rurales de Imbabura. La comparación consideró el rendimiento aritmético, los procesos neurocognitivos evaluados y determinadas características educativas y tecnológicas registradas mediante el cuestionario sociodemográfico.

La organización de los participantes permitió analizar cuatro condiciones: urbano-experimental, urbano-control, rural-experimental y rural-control. Cada condición estuvo conformada por 40 estudiantes, manteniendo la distribución muestral establecida en el capítulo metodológico.

La diferenciación territorial no fue interpretada como una relación determinista entre lugar de residencia y capacidad académica o cognitiva. Por el contrario, permitió examinar posibles variaciones vinculadas con oportunidades educativas, disponibilidad tecnológica, conectividad y experiencia previa con herramientas digitales.

La literatura ecuatoriana aporta antecedentes relevantes para interpretar dichas diferencias. Asanov et al. (2021), en una investigación con más de 1.500 estudiantes ecuatorianos de 14 a 18 años durante el cierre escolar, documentaron diferencias importantes en acceso y participación en aprendizaje remoto. Stinson (2022) también examinó las implicaciones de las medidas educativas digitales en Ecuador y su relación con brechas socioeconómicas preexistentes.

7.1 Características sociodemográficas de ambos contextos

La distribución de la muestra mantuvo equilibrio entre las dos categorías territoriales consideradas. De los 160 participantes, 80 estudiantes pertenecieron a instituciones urbanas y 80 a

instituciones rurales. Dentro de cada categoría, 40 estudiantes integraron el grupo experimental y 40 el grupo control.

La edad media presentó valores próximos entre ambas poblaciones. Los participantes de instituciones urbanas registraron una edad media de 8,54 años (DE = 0,50), mientras que los pertenecientes a instituciones rurales alcanzaron 8,51 años (DE = 0,50). La distribución por sexo mantuvo proporciones semejantes.

Las principales diferencias aparecieron en las variables relacionadas con disponibilidad y utilización previa de recursos tecnológicos. Entre los estudiantes urbanos, el 82,5 % declaró disponer habitualmente de algún dispositivo digital en el hogar para actividades educativas, frente al 61,3 % registrado entre los participantes rurales. En disponibilidad regular de conexión a internet, los porcentajes alcanzaron 87,5 % y 63,8 %, respectivamente.

Tabla 17

Características sociodemográficas y tecnológicas de los participantes según área educativa

Característica	**Urbana (n = 80)**	**Rural (n = 80)**
Edad, M (DE)	8,54 (0,50)	8,51 (0,50)
Niñas, %	51,3	48,8
Niños, %	48,7	51,2
Dispositivo digital disponible en el hogar, %	82,5	61,3
Conexión regular a internet, %	87,5	63,8
Uso frecuente de tecnología con fines educativos, %	71,3	46,3
Experiencia previa con actividades STEAM/robótica, %	27,5	10,0

Nota. M = media; DE = desviación estándar.

Las diferencias tecnológicas proporcionaron información relevante para interpretar los resultados posteriores, pero no permitieron atribuir automáticamente las variaciones académicas a

la disponibilidad de dispositivos. Las condiciones educativas estuvieron relacionadas con múltiples variables que no podían reducirse a una división territorial binaria.

La literatura ecuatoriana permite comprender la importancia de examinar dichas condiciones. Stinson (2022) señaló que las medidas digitales adoptadas durante la educación remota interactuaron con brechas socioeconómicas previamente existentes en Ecuador. Los datos de Asanov et al. (2021), aunque procedentes de estudiantes de mayor edad y de un período extraordinario de cierre escolar, también mostraron heterogeneidad en el acceso al aprendizaje remoto.

7.2 Impacto diferenciado en el rendimiento aritmético

La comparación territorial permitió determinar si las ganancias académicas asociadas con la intervención presentaron magnitudes semejantes entre instituciones urbanas y rurales. Para dicho análisis se consideraron las puntuaciones globales de la prueba de aritmética obtenidas en pretest y postest.

Tabla 18

Rendimiento aritmético pretest-postest según área educativa y condición experimental

Área	Grupo	n	Pretest M (DE)	Postest M (DE)	Cambio
Urbana	Experimental	40	54,20 (8,70)	74,60 (8,80)	+20,40
Urbana	Control	40	51,30 (10,80)	58,10 (10,40)	+6,80
Rural	Experimental	40	52,00 (9,20)	70,20 (9,40)	+18,20
Rural	Control	40	48,90 (11,60)	54,50 (11,20)	+5,60

Nota. M = media; DE = desviación estándar. El cambio representa la diferencia entre postest y pretest.

Los grupos experimentales de ambas categorías presentaron mejoras superiores a las registradas por sus respectivos grupos control. La magnitud de la ganancia fue ligeramente mayor en las instituciones urbanas; sin embargo, los estudiantes rurales que participaron en la intervención también mostraron un incremento considerable.

La diferencia de ganancias entre experimental y control alcanzó 13,60 puntos en instituciones urbanas y 12,60 puntos en instituciones rurales. La proximidad entre ambas diferencias indicó que la intervención produjo un patrón favorable en las dos categorías territoriales.

La comparación adquiere particular importancia porque una brecha inicial de recursos tecnológicos no necesariamente se tradujo en ausencia de beneficios educativos para los estudiantes rurales. Bajo condiciones planificadas de acceso al Kit, acompañamiento pedagógico y disponibilidad de recursos durante las sesiones, la intervención presentó mejoras académicas en ambas poblaciones.

7.2.1 Resultados en Unidades Educativas urbanas

Los estudiantes urbanos pertenecientes al grupo experimental incrementaron su rendimiento aritmético de 54,20 a 74,60 puntos, equivalente a una ganancia de 20,40 puntos. El grupo control urbano pasó de 51,30 a 58,10 puntos, registrando una mejora de 6,80 puntos.

La diferencia entre las ganancias alcanzó 13,60 puntos a favor del grupo experimental urbano. El resultado mostró una evolución considerablemente mayor entre los participantes que trabajaron con el Kit STEAM Inteligente.

El desempeño posterior pudo estar relacionado con la intervención y con determinadas condiciones previas favorables para la utilización de tecnología. Los datos sociodemográficos

mostraron mayor frecuencia de acceso a dispositivos, internet y experiencias educativas digitales entre los participantes urbanos.

Dicha interpretación requiere cautela. La mayor familiaridad tecnológica no equivale necesariamente a mayor competencia matemática, y la comparación no permite atribuir la ganancia a una característica tecnológica particular. El efecto principal continuó asociado con la diferencia de evolución entre estudiantes expuestos y no expuestos a la intervención.

7.2.2 Resultados en Unidades Educativas rurales

El grupo experimental rural incrementó su puntuación media de 52,00 a 70,20 puntos, alcanzando una ganancia de 18,20 puntos. El grupo control rural pasó de 48,90 a 54,50 puntos, equivalente a una variación de 5,60 puntos.

La diferencia entre las ganancias fue de 12,60 puntos, favorable al grupo experimental. Aunque la puntuación posterior permaneció por debajo de la registrada entre los participantes urbanos, la magnitud de mejora fue próxima a la observada en el grupo experimental urbano.

El resultado resulta relevante para la propuesta educativa debido a que muestra una mejora considerable aun cuando los estudiantes rurales declararon menor disponibilidad previa de recursos digitales. La intervención desarrollada bajo condiciones escolares planificadas pudo reducir parcialmente la influencia de diferencias de acceso existentes fuera de la institución.

La comparación con Anaya Figueroa et al. (2021) debe realizarse con prudencia, debido a que su investigación corresponde a escuelas rurales peruanas. Los autores identificaron factores tecnológicos, educativos y territoriales asociados con brechas digitales en poblaciones rurales, proporcionando un referente latinoamericano útil para interpretar la ruralidad andina sin trasladar directamente sus conclusiones al caso ecuatoriano.

7.3 Impacto diferenciado en los procesos neurocognitivos evaluados

La comparación territorial de los resultados neurocognitivos se concentró en memoria de trabajo y atención, manteniendo correspondencia con las variables definidas en el capítulo metodológico. Los grupos experimentales urbano y rural presentaron ganancias superiores a las registradas por los respectivos grupos control.

Tabla 19
Cambios en memoria de trabajo y atención según área educativa y grupo de estudio

Área	Grupo	Δ Memoria de trabajo	Δ Atención
Urbana	Experimental	+14,70	+12,10
Urbana	Control	+3,80	+3,20
Rural	Experimental	+13,50	+11,10
Rural	Control	+3,40	+3,00

Nota. Δ = diferencia entre la puntuación postest y pretest.

En memoria de trabajo, la diferencia entre las ganancias experimental-control alcanzó 10,90 puntos en el área urbana y 10,10 puntos en la rural. Para atención, las diferencias fueron de 8,90 y 8,10 puntos, respectivamente.

El patrón mostró que las mejoras neurocognitivas asociadas con la intervención se presentaron en las dos categorías territoriales. Las diferencias entre urbano y rural fueron menores que las observadas entre estudiantes experimentales y controles, indicando que la condición de intervención presentó mayor capacidad diferenciadora que la procedencia territorial.

7.4 Factores territoriales y educativos relacionados con los resultados

Las diferencias observadas entre instituciones urbanas y rurales no pueden interpretarse atendiendo exclusivamente a su ubicación geográfica. El cuestionario aplicado permitió identificar variaciones relacionadas con disponibilidad de dispositivos, conectividad y experiencia tecnológica previa, factores potencialmente vinculados con la familiaridad inicial de los estudiantes frente a actividades mediadas por tecnología.

La revisión latinoamericana de Ancheta-Arrabal, Pulido-Montes y Carvajal-Mardones (2021), basada en 28 artículos, documentó la persistencia de brechas digitales relacionadas con educación y género en América Latina y señaló la necesidad de analizar el fenómeno desde perspectivas pedagógicas, además de las relacionadas con disponibilidad tecnológica.

Anaya Figueroa et al. (2021) identificaron en el ámbito rural peruano factores que acentuaron las brechas digitales durante la pandemia. Aunque las características nacionales e institucionales difieren de las ecuatorianas, sus hallazgos permiten reconocer que disponibilidad tecnológica, conectividad y condiciones educativas interactúan de maneras complejas en poblaciones rurales andinas.

Por tal motivo, las variables territoriales fueron utilizadas como elementos de comparación y no como explicaciones causales independientes. Las diferencias encontradas requirieron interpretación conjunta con las características educativas y tecnológicas registradas en la muestra.

7.4.1 Acceso previo a tecnología y conectividad

Los resultados del cuestionario mostraron una mayor disponibilidad tecnológica entre los estudiantes urbanos. El 82,5 % declaró disponer de algún dispositivo para actividades educativas, frente al 61,3 % de los participantes rurales. La diferencia fue más

marcada al considerar la frecuencia de utilización de tecnología con fines educativos: 71,3 % en el área urbana y 46,3 % en la rural.

La disponibilidad regular de internet presentó una diferencia de 23,7 puntos porcentuales, con 87,5 % entre los participantes urbanos y 63,8 % entre los rurales. Dichos valores indicaron condiciones iniciales diferentes de familiaridad y acceso, aunque la intervención proporcionó oportunidades de utilización del Kit dentro de las instituciones participantes.

7.4.2 Formación docente y apropiación pedagógica del kit

La utilización educativa del Kit STEAM Inteligente requirió más que disponibilidad material del dispositivo. La intervención dependió de una planificación pedagógica capaz de vincular las actividades tecnológicas con los contenidos aritméticos previstos para los participantes.

Granić (2022), mediante una revisión sistemática de 47 investigaciones, identificó diferentes factores relacionados con la adopción de tecnología educativa, entre ellos autoeficacia, condiciones facilitadoras, accesibilidad del sistema, ansiedad tecnológica y complejidad percibida. La revisión también mostró un predominio considerable de investigaciones desarrolladas en educación superior, aspecto que exige prudencia al trasladar sus resultados hacia educación primaria.

La apropiación pedagógica del Kit requirió que el docente comprendiera la finalidad matemática de las actividades y pudiera orientar la participación estudiantil. La tecnología funcionó como medio para desarrollar experiencias de aprendizaje, mientras que la planificación docente permitió establecer la relación entre manipulación, representación numérica, cálculo y resolución de problemas.

Las diferencias institucionales relacionadas con formación, acompañamiento y fidelidad de implementación deben registrarse

durante la intervención. Una aplicación considerablemente diferente entre establecimientos podría influir en los resultados y dificultar la atribución de las variaciones exclusivamente a la categoría urbano-rural.

Por consiguiente, futuras aplicaciones del Kit deberían acompañarse de una estrategia breve de formación docente, materiales de orientación y criterios comunes de implementación. La estandarización pedagógica permitiría reducir variaciones innecesarias entre instituciones sin eliminar la capacidad del profesorado para adaptar las actividades a las necesidades de sus estudiantes.

7.5 Hacia una educación tecnológica equitativa e inclusiva

Los resultados comparativos mostraron que la presencia de diferencias iniciales en acceso tecnológico no impidió que los estudiantes de instituciones rurales obtuvieran ganancias relevantes durante la intervención. La diferencia entre las ganancias aritméticas de los grupos experimentales urbano y rural fue de 2,20 puntos, mientras que ambos superaron ampliamente a sus respectivos grupos control.

La equidad tecnológica educativa requiere considerar disponibilidad, accesibilidad, diseño pedagógico, formación docente y oportunidades efectivas de participación. Proporcionar un dispositivo no garantiza por sí mismo una experiencia educativa equivalente cuando persisten diferencias en acompañamiento, infraestructura o familiaridad tecnológica.

Desde una perspectiva de inclusión, el diseño de las actividades debe permitir diferentes formas de participación, representación de la información y expresión del aprendizaje. Los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje aportan una referencia pertinente para planificar recursos educativos capaces de

atender diversidad en capacidades y formas de interacción. AlRawi y AlKahtani (2022), mediante una revisión sistemática centrada en estudiantes con discapacidad intelectual, examinaron la utilización de dichos principios en educación; sus resultados resultan útiles como referencia especializada, aunque su población no equivale a la muestra general considerada en la presente investigación.

La comparación urbano-rural también mostró que la equidad no requiere necesariamente obtener puntuaciones idénticas entre poblaciones. Una perspectiva más apropiada consiste en valorar si las oportunidades educativas permiten que diferentes grupos obtengan beneficios relevantes y si las condiciones de implementación reducen barreras evitables.

Los resultados respaldan, por tanto, una implementación del Kit acompañada por criterios de accesibilidad económica, funcionamiento con requerimientos tecnológicos moderados, formación docente, materiales reutilizables y actividades pedagógicas adaptables. Dichos componentes adquieren especial relevancia cuando la propuesta pretende extenderse hacia instituciones con diferentes niveles de disponibilidad tecnológica.

7.6 Síntesis del capítulo

El análisis comparativo permitió identificar diferencias iniciales entre los participantes urbanos y rurales, principalmente en variables relacionadas con acceso a dispositivos, conectividad, utilización educativa de tecnología y experiencia previa con actividades STEAM. Las diferencias no fueron interpretadas como indicadores de capacidad académica o cognitiva, sino como características relevantes para comprender las condiciones de participación.

El rendimiento aritmético mostró mejoras en los grupos experimentales de ambas categorías territoriales. La ganancia alcanzó 20,40 puntos en el grupo experimental urbano y 18,20

puntos en el experimental rural, mientras que los respectivos grupos control presentaron incrementos de 6,80 y 5,60 puntos.

Los procesos neurocognitivos evaluados presentaron un patrón semejante. La memoria de trabajo y la atención mejoraron en ambos grupos experimentales, con diferencias urbano-rurales relativamente reducidas frente a las diferencias registradas entre las condiciones experimental y control.

Las características tecnológicas iniciales mostraron una ventaja descriptiva para los estudiantes urbanos. Sin embargo, la magnitud de las ganancias observadas entre los participantes rurales indicó que una intervención planificada, desarrollada dentro de la institución educativa y acompañada pedagógicamente puede proporcionar oportunidades relevantes de aprendizaje aun entre estudiantes con menor exposición tecnológica previa.

En conjunto, los resultados permitieron establecer que la intervención mediante el Kit STEAM Inteligente presentó un patrón favorable tanto en instituciones urbanas como rurales. Las diferencias territoriales permanecieron presentes en determinadas variables, pero no eliminaron los beneficios asociados con la intervención, reforzando la pertinencia de acompañar las iniciativas de tecnología educativa con criterios de accesibilidad, formación docente y equidad.

Capítulo 8:

Discusión, Conclusiones y Perspectivas Futuras

8.1 Discusión de resultados a la luz del marco teórico

Los resultados obtenidos evidenciaron que la intervención mediante el Kit STEAM Inteligente estuvo asociada con una evolución favorable del rendimiento aritmético de los estudiantes de ocho a nueve años. El grupo experimental presentó un incremento superior al registrado por el grupo control entre las mediciones pretest y postest, con mejoras en operaciones aritméticas, cálculo y resolución de problemas con razonamiento matemático. Dicho comportamiento resulta compatible con los planteamientos de la educación STEM y STEAM, donde la integración de diferentes disciplinas mediante experiencias educativas estructuradas favorece formas activas de aprendizaje y ofrece oportunidades para desarrollar habilidades que trascienden la reproducción mecánica de contenidos (Aguilera & Ortiz-Revilla, 2021). La revisión sistemática realizada por dichos autores examinó intervenciones educativas STEM y STEAM y encontró resultados favorables relacionados particularmente con el desarrollo de la creatividad, aunque también señaló heterogeneidad entre las intervenciones analizadas.

La mejora alcanzada en resolución de problemas con razonamiento matemático adquiere especial relevancia debido a que dicha dimensión presentó el rendimiento inicial más bajo y, posteriormente, una de las mayores ganancias entre los estudiantes del grupo experimental. El resultado permite plantear que la participación en actividades que demandaron manipulación de recursos, seguimiento de secuencias, aplicación de operaciones y búsqueda de soluciones pudo favorecer una utilización más activa del conocimiento matemático. La interpretación, sin embargo, debe mantenerse vinculada con las variables efectivamente evaluadas y con las características del diseño cuasi-experimental, evitando atribuir a la intervención transformaciones cognitivas que no fueron medidas directamente.

Los hallazgos relacionados con la memoria de trabajo guardan correspondencia particularmente estrecha con la evidencia presentada por Zhang et al. (2023). Su metaanálisis reunió 46 estudios, 55 muestras independientes y 11.224 estudiantes de educación primaria entre seis y doce años, encontrando una asociación global significativa y de magnitud moderada entre memoria de trabajo y rendimiento aritmético, r = .312, IC 95 % [.276, .348]. Los autores también identificaron variaciones en dicha relación según el componente de memoria de trabajo, la edad y el tipo de operación aritmética (Zhang et al., 2023). En la presente investigación, la mejora paralela del rendimiento aritmético y de la memoria de trabajo resulta congruente con dicha asociación, aunque no permite establecer que el cambio producido en memoria de trabajo haya sido la causa directa del incremento académico.

La relación encontrada entre los resultados neurocognitivos y académicos también mantiene correspondencia con Spiegel et al. (2021), quienes analizaron mediante metaanálisis las relaciones entre memoria de trabajo, control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y diferentes resultados académicos en estudiantes de educación primaria. Los autores encontraron asociaciones significativas entre las funciones ejecutivas y el desempeño académico, particularmente en matemáticas, lectura y lenguaje, aportando evidencia acerca de la participación de dichos procesos durante el aprendizaje escolar (Spiegel et al., 2021). Desde dicha perspectiva, las mejoras observadas en memoria de trabajo y atención pueden interpretarse conjuntamente con el progreso aritmético, pero manteniendo la distinción entre asociación neurocognitiva y causalidad.

Los resultados relativos a la atención mostraron igualmente una evolución superior en el grupo experimental frente al grupo control. Las actividades realizadas mediante el Kit STEAM Inteligente demandaron mantenimiento de la concentración, seguimiento de instrucciones, identificación de información

relevante, manipulación de componentes y verificación de respuestas. La mejora atencional puede interpretarse dentro de una dinámica educativa caracterizada por demandas cognitivas continuas, aunque la evidencia obtenida no permite determinar qué componente particular de la intervención produjo la variación observada. Tal cautela resulta necesaria debido a que una intervención STEAM integra simultáneamente elementos pedagógicos, tecnológicos, matemáticos y colaborativos.

La comparación entre instituciones urbanas y rurales aportó otra dimensión relevante a la interpretación de los hallazgos. Los estudiantes rurales presentaron menores niveles iniciales de disponibilidad tecnológica y conectividad, aunque el grupo experimental rural alcanzó mejoras importantes en rendimiento aritmético, memoria de trabajo y atención. Los resultados permiten considerar que la disponibilidad organizada de recursos dentro de la institución educativa puede contribuir a reducir determinadas diferencias relacionadas con oportunidades previas de acceso tecnológico, siempre que dicha disponibilidad se encuentre acompañada por una intervención pedagógica estructurada.

La evidencia ecuatoriana ofrece elementos importantes para interpretar dicho resultado. Asanov et al. (2021), mediante una investigación desarrollada con más de 1.500 estudiantes ecuatorianos de 14 a 18 años durante el cierre de instituciones educativas, encontraron que el 59 % disponía simultáneamente de conexión a internet en el hogar y computadora o tableta, mientras que los estudiantes pertenecientes a grupos socioeconómicamente menos favorecidos dedicaban menor tiempo al trabajo escolar remoto. Debido a las diferencias de edad y período educativo, dichos hallazgos no pueden trasladarse directamente a niños de ocho a nueve años; no obstante, evidencian la existencia de desigualdades de acceso tecnológico dentro del sistema educativo ecuatoriano (Asanov et al., 2021).

En una dirección relacionada, Stinson (2022) analizó las medidas de aprendizaje remoto implementadas en Ecuador y señaló que las respuestas educativas digitales interactuaron con brechas socioeconómicas previamente existentes, afectando de manera desigual las posibilidades de acceso y calidad educativa. El estudio tuvo carácter exploratorio y se sustentó en entrevistas semiestructuradas con dos informantes, entre ellos un docente-director de una escuela pública intercultural bilingüe rural, por lo que sus conclusiones deben interpretarse atendiendo a dicho alcance metodológico (Stinson, 2022). Los resultados obtenidos en Imbabura amplían la discusión hacia una intervención presencial en educación primaria, donde el acceso al recurso tecnológico fue proporcionado durante las actividades escolares y no dependió exclusivamente de la disponibilidad tecnológica en los hogares.

En conjunto, los hallazgos guardan correspondencia con tres planteamientos centrales desarrollados en el marco teórico: la pertinencia de propuestas STEM y STEAM basadas en experiencias educativas integradas; la relación entre memoria de trabajo, funciones ejecutivas y aprendizaje matemático; y la necesidad de considerar las desigualdades de acceso tecnológico al implementar innovaciones educativas. Sin embargo, la interpretación debe permanecer delimitada por el diseño cuasi-experimental empleado, el número de instituciones participantes y las variables medidas. La evidencia obtenida permite sostener que el Kit STEAM Inteligente estuvo asociado con una evolución académica y neurocognitiva favorable frente al grupo control, mientras que la presencia de ganancias tanto en instituciones urbanas como rurales respalda la pertinencia de continuar evaluando la propuesta mediante muestras más amplias y períodos de seguimiento prolongados.

8.2 Conclusiones generales del estudio

La investigación permitió determinar que la utilización planificada del Kit STEAM Inteligente estuvo asociada con mejoras

superiores en el grupo experimental frente al grupo control. Las diferencias se registraron tanto en rendimiento aritmético como en memoria de trabajo y atención.

La intervención mostró utilidad pedagógica para estudiantes de ocho a nueve años mediante actividades que combinaron tecnología, manipulación, cálculo y resolución de problemas. Los resultados respaldan el uso del Kit como recurso complementario dentro de procesos de enseñanza de la aritmética.

La comparación entre instituciones urbanas y rurales evidenció beneficios en ambas áreas. Las diferencias territoriales no impidieron que los participantes rurales alcanzaran ganancias académicas y neurocognitivas relevantes.

Los hallazgos deben interpretarse dentro de los límites del diseño cuasi-experimental, de la muestra seleccionada y de las condiciones específicas de aplicación. La evidencia obtenida permite valorar favorablemente la continuidad de la propuesta mediante estudios posteriores con mayor alcance.

8.2.1 Conclusiones sobre el rendimiento aritmético

El grupo experimental presentó una mejora considerable en la puntuación global de rendimiento aritmético respecto del grupo control. Las ganancias fueron observadas en operaciones, cálculo y resolución de problemas.

La mayor variación se registró en resolución de problemas con razonamiento matemático. El resultado indica que las actividades desarrolladas mediante el Kit favorecieron desempeños relacionados con interpretación de información, selección de estrategias y aplicación de procedimientos numéricos.

La mejora registrada en el grupo control confirmó que el aprendizaje matemático continuó durante el período escolar. Sin embargo, la magnitud superior de la ganancia experimental

permitió diferenciar el progreso habitual del incremento asociado con la intervención educativa.

Los resultados respaldan la incorporación del Kit como recurso de apoyo para la enseñanza aritmética, especialmente cuando las actividades tecnológicas se articulan con objetivos curriculares previamente definidos.

8.2.2 Conclusiones sobre el desarrollo neurocognitivo

La intervención estuvo acompañada por mejoras en memoria de trabajo y atención. Ambas variables presentaron incrementos superiores en el grupo experimental frente al grupo control.

La memoria de trabajo mostró la mayor ganancia entre los procesos neurocognitivos evaluados. El resultado resulta coherente con las demandas cognitivas presentes en tareas aritméticas que requieren mantener información, organizar procedimientos y actualizar resultados parciales.

La atención también registró una evolución favorable. Las actividades desarrolladas mediante el Kit exigieron seguimiento de instrucciones, concentración, selección de información relevante y mantenimiento de la actividad durante períodos determinados.

Las conclusiones deben limitarse a los procesos efectivamente medidos. La investigación no permite afirmar una mejora general del funcionamiento neurocognitivo infantil, sino cambios específicos en memoria de trabajo y atención.

8.2.3 Conclusiones sobre la equidad urbano-rural

Los estudiantes pertenecientes a instituciones urbanas y rurales obtuvieron mejoras después de la intervención. Las ganancias fueron ligeramente mayores en el área urbana, aunque la diferencia territorial fue menor que la registrada entre los grupos experimental y control.

Los participantes rurales presentaron menor disponibilidad previa de dispositivos, conectividad y experiencias tecnológicas. A pesar de dichas diferencias, el grupo experimental rural alcanzó mejoras académicas y cognitivas relevantes.

La provisión de recursos dentro de la institución y el acompañamiento pedagógico permitieron reducir parte de las diferencias iniciales relacionadas con acceso tecnológico. La equidad educativa requiere, por tanto, combinar disponibilidad material con planificación, formación docente y oportunidades efectivas de participación.

Los resultados respaldan la aplicación del Kit en instituciones con condiciones territoriales diversas, siempre que la implementación contemple accesibilidad, mantenimiento y acompañamiento pedagógico.

8.3 Limitaciones de la investigación

La principal limitación estuvo relacionada con el carácter cuasi-experimental del diseño. La utilización de grupos previamente conformados restringió la posibilidad de realizar una asignación aleatoria individual, por lo que no pueden descartarse completamente diferencias previas entre los participantes.

El número de instituciones participantes también limitó la generalización de los resultados. Cuatro establecimientos permiten realizar comparaciones relevantes, pero no representan toda la diversidad educativa de Imbabura ni del Ecuador.

La aplicación repetida de instrumentos neurocognitivos pudo generar cierto efecto de familiarización entre pretest y postest. Aunque se mantuvieron condiciones equivalentes de evaluación, la exposición previa a determinadas tareas puede influir parcialmente en el desempeño posterior.

También pudieron intervenir diferencias relacionadas con práctica docente, ritmo de aplicación, asistencia estudiantil y organización institucional. Dichas variables fueron controladas mediante procedimientos comunes, aunque no pudieron eliminarse completamente.

La duración de la intervención constituye otra limitación. Evaluaciones desarrolladas durante períodos más amplios permitirían determinar si las mejoras observadas se mantienen después de varios meses.

8.4 Recomendaciones para docentes e instituciones educativas

Se recomienda utilizar el Kit STEAM Inteligente como recurso complementario y no como reemplazo de la mediación docente. Su utilización debe vincularse con objetivos matemáticos específicos, planificación previa y actividades que permitan relacionar manipulación tecnológica con razonamiento numérico.

Las sesiones pueden organizarse mediante equipos pequeños de cuatro a cinco estudiantes, favoreciendo participación, distribución de responsabilidades y resolución compartida de tareas. La rotación de funciones puede facilitar una participación más equilibrada.

Las instituciones deberían acompañar la implementación con jornadas breves de formación docente. El profesorado necesita conocer tanto el funcionamiento técnico del Kit como la lógica pedagógica de las actividades propuestas.

Resulta recomendable registrar asistencia, participación, dificultades técnicas y cumplimiento de las sesiones. Dichos registros permitieron evaluar la calidad de implementación y realizar ajustes posteriores.

En instituciones con menor disponibilidad tecnológica conviene priorizar recursos de bajo costo, fácil mantenimiento y funcionamiento con requerimientos mínimos de conectividad.

8.5 Perspectivas para la Etapa 2 del proyecto

Una segunda etapa podría ampliar el número de instituciones participantes y trabajar con muestras procedentes de diferentes cantones de Imbabura. Tal ampliación permitiría valorar la estabilidad de los resultados en poblaciones escolares más diversas.

También resultaría pertinente prolongar la duración de la intervención y aplicar evaluaciones de seguimiento después de tres o seis meses. Dicho procedimiento permitiría determinar si las ganancias académicas y cognitivas permanecen en el tiempo.

Otra línea de desarrollo podría incorporar nuevas actividades relacionadas con geometría, medición, pensamiento algebraico inicial o resolución de problemas interdisciplinarios. La arquitectura modular del Kit facilita una expansión progresiva de contenidos.

La Etapa 2 también podría examinar variables vinculadas con motivación, colaboración, autonomía y aceptación tecnológica. Tales dimensiones permitirían ampliar la comprensión del valor educativo de la propuesta.

Una expansión posterior debería contemplar formación docente sistemática y mecanismos de acompañamiento institucional, permitiendo estudiar la escalabilidad de la intervención bajo diferentes condiciones educativas.

8.6 Contribución al campo de la innovación educativa en Ecuador

La investigación aporta una propuesta tecnológica orientada al aprendizaje matemático infantil mediante componentes accesibles y actividades pedagógicas estructuradas. Su principal contribución reside en vincular innovación tecnológica, aritmética y procesos neurocognitivos dentro de una misma intervención educativa.

El estudio también aporta evidencia comparativa entre instituciones urbanas y rurales de Imbabura. La incorporación de ambas áreas permite valorar la intervención desde una perspectiva de equidad territorial.

Otro aporte corresponde al uso de tecnología de bajo costo con potencial de adaptación institucional. La propuesta reduce la dependencia de infraestructuras complejas y favorece posibilidades de aplicación en establecimientos con recursos diferentes.

La investigación articula desarrollo tecnológico y evaluación educativa mediante mediciones pretest-postest, grupo control y análisis de tamaño del efecto. Dicha estructura fortalece la valoración empírica de la intervención.

El proyecto ofrece una base para futuras investigaciones ecuatorianas relacionadas con educación STEAM, pensamiento matemático, funciones cognitivas y acceso equitativo a recursos educativos tecnológicos.

8.7 Síntesis del capítulo

La discusión permitió relacionar los hallazgos con los fundamentos teóricos desarrollados en los capítulos iniciales. Las mejoras observadas en rendimiento aritmético, memoria de trabajo y atención mantuvieron correspondencia con investigaciones

previas sobre aprendizaje matemático, funciones ejecutivas y educación STEAM.

Las conclusiones mostraron un efecto favorable de la intervención frente a la enseñanza habitual. Los estudiantes del grupo experimental alcanzaron mayores ganancias académicas y neurocognitivas.

La comparación urbano-rural indicó que ambos grupos territoriales se beneficiaron de la intervención. Las diferencias iniciales de acceso tecnológico no impidieron mejoras relevantes entre los participantes rurales.

Las limitaciones identificadas delimitan el alcance de las conclusiones y orientan futuras investigaciones con mayor número de instituciones, períodos de intervención más amplios y evaluaciones de seguimiento.

La continuidad del proyecto puede fortalecer una línea de innovación educativa orientada a combinar tecnología accesible, aprendizaje matemático, evaluación rigurosa y equidad territorial dentro del sistema educativo ecuatoriano.

Conclusiones

La transformación digital y la educación para el desarrollo sostenible mantienen una relación estrecha que supera la incorporación instrumental de tecnologías en las instituciones educativas. El análisis desarrollado permite reconocer que los ecosistemas digitales adquieren sentido formativo cuando articulan innovación, equidad, participación y responsabilidad socioambiental. Esta convergencia amplía las posibilidades del aprendizaje y redefine sus propósitos. La educación contemporánea requiere orientar la transformación tecnológica hacia capacidades humanas que favorezcan decisiones responsables, participación colectiva y compromiso sostenido con el bienestar común.

Los ecosistemas educativos contemporáneos demandan una integración tecnológica guiada por principios pedagógicos, sociales y ambientales. La disponibilidad de herramientas digitales no garantiza por sí misma procesos educativos sostenibles. Resulta necesario acompañarla mediante políticas inclusivas, alfabetización crítica, formación docente y mecanismos de gobernanza capaces de reducir desigualdades. Desde esta perspectiva, la transformación digital adquiere valor cuando fortalece oportunidades educativas equitativas y facilita relaciones de aprendizaje abiertas, colaborativas y responsables, vinculadas con las necesidades de las comunidades y con objetivos compartidos de sostenibilidad.

La ciudadanía global digital constituye una dimensión formativa indispensable para participar responsablemente en sociedades interconectadas. Las competencias digitales deben integrar capacidades técnicas con pensamiento crítico, alfabetización mediática, ética, respeto de los derechos humanos y sensibilidad intercultural. Esta combinación permite interpretar información, reconocer prácticas de desinformación y participar

responsablemente en espacios digitales. Formar ciudadanos globales implica fortalecer una conciencia planetaria capaz de relacionar decisiones individuales con consecuencias colectivas, favoreciendo formas de participación democrática orientadas hacia la convivencia, la justicia social y la sostenibilidad ambiental.

Las metodologías pedagógicas innovadoras fortalecen los aprendizajes orientados a la acción socioambiental cuando vinculan conocimiento, experiencia y participación. El aprendizaje basado en proyectos, la gamificación, las experiencias inmersivas y los laboratorios virtuales ofrecen oportunidades para abordar problemas complejos mediante procesos colaborativos. Su valor reside en favorecer una participación activa. Estas estrategias permiten conectar contenidos académicos con situaciones sociales y ambientales, desarrollar capacidades para resolver problemas y promover aprendizajes significativos que trasciendan la reproducción de información para avanzar hacia la intervención educativa responsable.

La evaluación también necesita transformarse para acompañar experiencias educativas comprometidas con la sostenibilidad. Los procesos auténticos de valoración permiten reconocer aprendizajes vinculados con pensamiento crítico, colaboración, creatividad, responsabilidad y capacidad de actuación frente a problemas socioambientales. La analítica educativa puede aportar información relevante para comprender trayectorias y necesidades formativas. Sin embargo, su utilización requiere criterios transparentes. Evaluar desde una perspectiva sostenible implica considerar tanto los resultados académicos como los procesos mediante los cuales los estudiantes construyen conocimientos, desarrollan competencias y participan activamente.

La inteligencia artificial y las tecnologías avanzadas amplían las posibilidades de personalización, creación de recursos, análisis de datos y diseño de experiencias educativas. También introducen interrogantes éticos relacionados con sesgos,

transparencia, privacidad, justicia y acceso equitativo. Su integración educativa demanda decisiones pedagógicas fundamentadas. La formación docente adquiere especial relevancia porque permite evaluar críticamente las herramientas disponibles, reconocer sus limitaciones y orientar su utilización hacia propósitos educativos compatibles con la autonomía humana, la inclusión social y los principios del desarrollo sostenible.

La ciencia de datos, la visualización, la simulación y las experiencias inmersivas ofrecen nuevas formas de representar fenómenos socioambientales complejos. Estas tecnologías pueden facilitar la comprensión de relaciones sistémicas, escenarios futuros y consecuencias derivadas de distintas decisiones colectivas. Su potencial educativo aumenta cuando favorecen interpretación, reflexión y participación. La representación digital de problemas ambientales debe acompañarse de procesos pedagógicos que permitan relacionar evidencia, valores y acción, evitando reducir cuestiones sociales complejas a datos aislados o experiencias tecnológicas desvinculadas de responsabilidades ciudadanas.

La educación digital orientada a la acción climática amplía las posibilidades de construir capacidades para comprender riesgos ambientales y participar en respuestas colectivas. El aprendizaje-servicio, la innovación social y el emprendimiento sostenible permiten conectar formación académica con necesidades territoriales y comunitarias. Esta articulación fortalece la dimensión transformadora de la educación. Las tecnologías pueden facilitar cooperación, intercambio de conocimientos y desarrollo de iniciativas compartidas, siempre que su utilización favorezca relaciones inclusivas y permita que estudiantes y comunidades intervengan activamente en la construcción de alternativas sostenibles.

Las redes globales de aprendizaje fortalecen la cooperación educativa al facilitar encuentros entre personas, instituciones y comunidades ubicadas en diferentes territorios. Su relevancia

reside en promover intercambio intercultural, producción colaborativa de conocimiento y construcción de respuestas ante problemas compartidos. La ciudadanía planetaria encuentra en estos espacios una oportunidad para vincular pertenencia local y responsabilidad global. Educar para futuros sostenibles requiere desarrollar capacidades de anticipación, diálogo y cooperación que permitan evaluar alternativas y participar conscientemente en decisiones relacionadas con transformaciones sociales, ambientales y tecnológicas.

En conjunto, los objetivos y preguntas que orientaron esta obra permiten afirmar que transformación digital, sostenibilidad, ciudadanía global e innovación pedagógica forman dimensiones interdependientes de un proyecto educativo comprometido con el presente y con las generaciones futuras. La tecnología adquiere sentido cuando permanece vinculada con propósitos humanos y educativos. El horizonte planteado demanda instituciones capaces de aprender, docentes preparados para orientar cambios y estudiantes con capacidad crítica, creadora y participativa, fortaleciendo una educación que contribuya responsablemente a sociedades equitativas, democráticas y ambientalmente sostenibles.

Referencias Bibliográficas

Agostini, F., Zoccolotti, P., & Casagrande, M. (2022). Domain-general cognitive skills in children with mathematical difficulties and dyscalculia: A systematic review of the literature. *Brain Sciences, 12*(2), 239. https://doi.org/10.3390/brainsci12020239

Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic literature review. *Education Sciences, 11*(7), 331. https://doi.org/10.3390/educsci11070331

AlRawi, J. M., & AlKahtani, M. A. (2022). Universal design for learning for educating students with intellectual disabilities: A systematic review. *International Journal of Developmental Disabilities, 68*(6), 800–808. https://doi.org/10.1080/20473869.2021.1900505

Anaya Figueroa, T., Montalvo Castro, J., Calderón, A. I., & Arispe Alburqueque, C. (2021). Escuelas rurales en el Perú: Factores que acentúan las brechas digitales en tiempos de pandemia (COVID-19) y recomendaciones para reducirlas. *Educación, 30*(58), 11–33. https://doi.org/10.18800/educacion.202101.001

Ancheta-Arrabal, A., Pulido-Montes, C., & Carvajal-Mardones, V. (2021). Gender digital divide and education in Latin America: A literature review. *Education Sciences, 11*(12), 804. https://doi.org/10.3390/educsci11120804

Asanov, I., Flores, F., McKenzie, D., Mensmann, M., & Schulte, M. (2021). Remote-learning, time-use, and mental health of Ecuadorian high-school students during the COVID-19 quarantine. *World Development, 138*, 105225. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105225

Brault Foisy, L.-M., Matejko, A. A., Ansari, D., & Masson, S. (2020). Teachers as orchestrators of neuronal plasticity: Effects of teaching practices on the brain. *Mind, Brain, and Education, 14*(4), 415–428. https://doi.org/10.1111/mbe.12257

Conde, M. Á., Rodríguez-Sedano, F. J., Fernández-Llamas, C., Gonçalves, J., Lima, J., & García-Peñalvo, F. J. (2021). Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: A systematic mapping literature review. *Computer Applications in Engineering Education, 29*(1), 46–65. https://doi.org/10.1002/cae.22354

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Fernández-Batanero, J. M., Montenegro-Rueda, M., Fernández-Cerero, J., & García-Martínez, I. (2022). Assistive technology for the inclusion of students with disabilities: A systematic review. *Educational Technology Research and Development, 70*(5), 1911–1930. https://doi.org/10.1007/s11423-022-10127-7

Fernández García, L., Merchán, A., Phillips-Silver, J., & Daza González, M. T. (2021). Neuropsychological development of cool and hot executive functions between 6 and 12 years of age: A systematic review. *Frontiers in Psychology, 12*, 687337. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.687337

García-Tudela, P. A., & Marín-Marín, J.-A. (2023). Use of Arduino in primary education: A systematic review. *Education Sciences, 13*(2), 134. https://doi.org/10.3390/educsci13020134

Granić, A. (2022). Educational technology adoption: A systematic review. *Education and Information Technologies, 27*(7), 9725–9744. https://doi.org/10.1007/s10639-022-10951-7

Guerin, J. M., Wade, S. L., & Mano, Q. R. (2021). Does reasoning training improve fluid reasoning and academic achievement for children and adolescents? A systematic review. *Trends in Neuroscience and Education, 23*, 100153. https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100153

Hoque, F., Yasin, R. M., & Sopian, K. (2022). Revisiting education for sustainable development: Methods to inspire secondary school students toward renewable energy. *Sustainability, 14*(14), 8296. https://doi.org/10.3390/su14148296

Kandpal, T. C., & Broman, L. (2014). Renewable energy education: A global status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34*, 300–324. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.039

Kraft, M. A. (2020). Interpreting effect sizes of education interventions. *Educational Researcher, 49*(4), 241–253. https://doi.org/10.3102/0013189X20912798

Lachney, M., & Foster, E. K. (2020). Historicizing making and doing: Seymour Papert, Sherry Turkle, and epistemological foundations of the maker movement. *History and Technology, 36*(1), 54–82. https://doi.org/10.1080/07341512.2020.1759302

Levin, I., Semenov, A. L., & Gorsky, M. (2025). Smart learning in the 21st century: Advancing constructionism across three digital

epochs. *Education Sciences, 15*(1), 45. https://doi.org/10.3390/educsci15010045

Li, Y., Wu, X., Ye, D., Zuo, J., & Liu, L. (2025). Research progress on the relationship between fine motor skills and academic ability in children: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living, 6*, 1386967. https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1386967

Lin, Q., Yin, Y., Tang, X., Hadad, R., & Zhai, X. (2020). Assessing learning in technology-rich maker activities: A systematic review of empirical research. *Computers & Education, 157*, 103944. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103944

Mejias, S., Thompson, N., Sedas, R. M., Rosin, M., Soep, E., Peppler, K., Roche, J., Wong, J., Hurley, M., Bell, P., & Bevan, B. (2021). The trouble with STEAM and why we use it anyway. *Science Education, 105*(2), 209–231. https://doi.org/10.1002/sce.21605

Menon, V., & Chang, H. (2021). Emerging neurodevelopmental perspectives on mathematical learning. *Developmental Review, 60*, 100964. https://doi.org/10.1016/j.dr.2021.100964

Nelson, G., Crawford, A., Hunt, J., Park, S., Leckie, E., Duarte, A., Brafford, T., Ramos-Duke, M., & Zarate, K. (2022). A systematic review of research syntheses on students with mathematics learning disabilities and difficulties. *Learning Disabilities Research & Practice, 37*(1), 18–36. https://doi.org/10.1111/ldrp.12272

Ng, S. F., Kamarul Azlan, M. A., Ahmad Kamal, A. N., & Manion, A. (2020). A quasi-experiment on using guided mobile learning interventions in ESL classrooms: Time use and academic performance. *Education and Information Technologies, 25*, 4699–4719. https://doi.org/10.1007/s10639-020-10191-7

Novak, E., Brannon, M., Librea-Carden, M. R., & Haas, A. L. (2021). A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. *Journal of Computer Assisted Learning, 37*(5), 1455–1478. https://doi.org/10.1111/jcal.12585

Outhwaite, L. A., Aunio, P., Leung, J. K. Y., & Van Herwegen, J. (2024). Measuring mathematical skills in early childhood: A systematic review of the psychometric properties of early maths assessments and screeners. *Educational Psychology Review*, 36, Article 110. https://doi.org/10.1007/s10648-024-09950-6

Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International*

Journal of STEM Education, 11, 7. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.

Rodríguez-Jiménez, C., de la Cruz-Campos, J.-C., Campos-Soto, M.-N., & Ramos-Navas-Parejo, M. (2023). Teaching and learning mathematics in primary education: The role of ICT—A systematic review of the literature. *Mathematics, 11*(2), 272. https://doi.org/10.3390/math11020272

Sapounidis, T., Tselegkaridis, S., & Stamovlasis, D. (2023). Educational robotics and STEM in primary education: A review and a meta-analysis. *Journal of Research on Technology in Education, 56*(4), 462–476. https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2160394

Scheiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung [Technology-enhanced learning and teaching: An overview]. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 24*(5), 1039–1060. https://doi.org/10.1007/s11618-021-01047-y

Spiegel, J. A., Goodrich, J. M., Morris, B. M., Osborne, C. M., & Lonigan, C. J. (2021). Relations between executive functions and academic outcomes in elementary school children: A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 147*(4), 329–351. https://doi.org/10.1037/bul0000322

Stinson, H. (2022). Impacts of remote learning measures on educational access and quality in Ecuador. *Current Issues in Comparative Education, 24*(2). https://doi.org/10.52214/cice.v24i2.9513

Vogel, S. E., & De Smedt, B. (2021). Developmental brain dynamics of numerical and arithmetic abilities. *npj Science of Learning, 6*, 22. https://doi.org/10.1038/s41539-021-00099-3

White, D., & Delaney, S. (2021). Full STEAM ahead, but who has the map? A PRISMA systematic review on the incorporation of interdisciplinary learning into schools. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education, 9*(2), 9–32. https://doi.org/10.31129/LUMAT.9.2.1387

Zhang, Y., Tolmie, A., & Gordon, R. (2023). The relationship between working memory and arithmetic in primary school children: A meta-analysis. *Brain Sciences, 13*(1), 22. https://doi.org/10.3390/brainsci13010022

Integrando ciencia, tecnología, ingenieríá, arte y matemáticas para un desarrollo humano integral y sostenible.
ISBN: 978-9907-803-65-5
9 789907 803655
EDITORIAL
SAGA