

# INTEGRACIÓN DE MATEMÁTICAS STEAM MEDIANTE ROBÓTICA EDUCATIVA

## Enfoque Interdisciplinar con Base Matemática Sólida

MSc. Núñez De Luca José Miguel  
MSc. Flores Tayupanta Ángel Patricio  
Mgr. Brito Chavez Lenin Leonardo  
MSc. Bosque Quilumba Ercilia



# Integración de Matemáticas STEAM Mediante Robótica Educativa:

**Enfoque Interdisciplinar con Base Matemática Sólida**

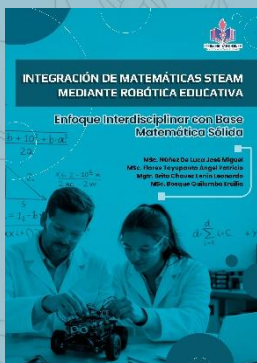
## **Autores:**

*MSc. Núñez De Luca, José Miguel*

*MSc. Flores Tayupanta, Ángel Patricio*

*Mgtr. Brito Chavez, Lenin Leonardo*

*MSc. Bosque Quilumba, Ercilia*



## Datos bibliográficos:

**ISBN:**

978-9942-575-42-5

**Título del libro:**

Integración de Matemáticas STEAM Mediante Robótica Educativa: Enfoque Interdisciplinar con Base Matemática Sólida.

**Autores:**

Núñez De Luca, José Miguel  
Flores Tayupanta, Ángel Patricio  
Brito Chavez, Lenin Leonardo  
Bosque Quilumba, Ercilia

**Editorial:**

Paginas Brillantes Ecuador

**Materia:**

Métodos de instrucción y estudio

**Público objetivo:**

Profesional / académico

**Publicado:**

2026-04-01

**Número de edición:**

1

**Soporte:**

Digital

**Formato:**

Pdf (.pdf)

**Idioma:**

Español

**MSc. Núñez De Luca, José Miguel**

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6951-8342>

Magíster en Innovación en Educación

Docente de la Unidad Educativa Dr. Alfredo Pareja Diezcanseco

Correo institucional: [josemiiguelnunez@gmail.com](mailto:josemiiguelnunez@gmail.com)

Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas, Santo Domingo

**MSc. Flores Tayupanta, Ángel Patricio**

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9544-5601>

Magister en Ciencias de la Educación, Mención Gestión Educativa y Desarrollo Social

Docente de la Unidad Educativa Machachi

Correo institucional: [angelp.flores@educacion.gob.ec](mailto:angelp.flores@educacion.gob.ec)

Ecuador, Pichincha, Mejía

**Mgtr. Brito Chavez, Lenin Leonardo**

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8744-1623>

Magíster en Educación Básica

Docente de la Escuela de educación básica Ciudad de Guaranda

Correo: [leonardo\\_brito789@hotmail.com](mailto:leonardo_brito789@hotmail.com)

Ecuador, Orellana, Francisco de orellana

**MSc. Bosque Quilumba, Ercilia**

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9890-0421>

Magister en Educación Mención en Innovación y Liderazgo Educativo

Docente

Correo: [ercilia\\_bosque2012@hotmail.com](mailto:ercilia_bosque2012@hotmail.com)

Ecuador, Pichincha, Quito

## **Aviso Legal y Derechos de Autor**

© 2026. Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-575-42-5

Obra registrada con Certificado N.º QUI-071337, emitido por la Dirección Nacional de Derecho de Autor y Derechos Conexos, conforme a la normativa vigente en materia de propiedad intelectual.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, su almacenamiento en sistemas de recuperación de información o su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros sin la autorización previa y por escrito del titular de los derechos o de Páginas Brillantes Ecuador.

Se exceptúan únicamente las citas breves con fines académicos, investigativos o de reseña crítica, siempre que se mencione adecuadamente la fuente.


El autor se reserva los derechos exclusivos de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de la obra, conforme a la legislación vigente.

Esta publicación fue sometida a un proceso de evaluación académica mediante revisión por pares ciegos académicos, garantizando el rigor científico, la calidad metodológica y la pertinencia del contenido.


Para solicitudes de autorización, permisos especiales o información adicional, comuníquese con Páginas Brillantes Ecuador.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: Fundamentos Epistemológicos y Didácticos de la Integración STEAM en Matemáticas .....	2
1.1. Bases conceptuales del enfoque STEAM.....	4
1.2. Fundamentos didácticos de las matemáticas en entornos STEAM.....	13
1.3. Bases cognitivas del aprendizaje matemático interdisciplinar	22
1.4. Enfoques pedagógicos contemporáneos para STEAM.....	32
1.5. Rol del docente en la integración STEAM .....	42
CAPÍTULO 2: Fundamentos Matemáticos Aplicados a la Robótica Educativa.....	52
2.1. Pensamiento lógico-matemático en robótica .....	54
2.2. Álgebra aplicada a sistemas robóticos .....	61
2.3. Geometría y espacialidad en robótica .....	72
2.4. Matemáticas del movimiento y cinemática básica.....	84
2.5. Estadística y análisis de datos en robótica .....	94
CAPÍTULO 3: Diseño de Experiencias de Aprendizaje STEAM con Robótica .....	102
3.1. Planificación didáctica interdisciplinar .....	103
3.2. Diseño de proyectos STEAM con robótica .....	111
3.3. Metodologías activas aplicadas .....	121
3.4. Integración tecnológica en el aula.....	128
3.5. Adaptación a contextos educativos diversos .....	137
CAPÍTULO 4: Evaluación del Aprendizaje Matemático en Entornos STEAM con Robótica .....	146




4.1. Evaluación por competencias en STEAM .....	148
4.2. Instrumentos de evaluación .....	158
4.3. Evaluación del pensamiento matemático.....	170
4.4. Análisis de resultados de aprendizaje .....	179
4.5. Uso de tecnología para la evaluación .....	189
CAPÍTULO 5: Innovación, Tendencias y Futuro de la Robótica STEAM en Matemáticas .....	200
5.1. Tendencias emergentes en educación STEAM.....	202
5.2. Innovación pedagógica en matemáticas .....	212
5.3. Impacto de la robótica en el desarrollo de competencias .....	220
5.4. Desafíos en la implementación STEAM .....	228
5.5. Proyección futura de la educación matemática con robótica	237
CONCLUSIÓN .....	247



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Principios de la interdisciplinariedad en educación STEAM...	8
<b>Tabla 2:</b> Procesos cognitivos en el razonamiento matemático .....	25
<b>Tabla 3:</b> Funciones ejecutivas en la resolución de problemas matemáticos.....	27
<b>Tabla 4:</b> Competencias pedagógicas STEAM del docente .....	45
<b>Tabla 5:</b> Secuencias y patrones en robótica educativa.....	58
<b>Tabla 6:</b> Variables y expresiones algebraicas en robótica.....	64
<b>Tabla 7:</b> Aplicación de sistemas de ecuaciones en robótica.....	70
<b>Tabla 8:</b> Comparación entre velocidad y aceleración.....	87
<b>Tabla 9:</b> Aplicaciones de la cinemática en robots móviles .....	93
<b>Tabla 10:</b> Ejemplos de proyectos STEAM aplicados con robótica educativa .....	118
<b>Tabla 11:</b> Plataformas de programación educativa para entornos STEAM con robótica.....	130
<b>Tabla 12:</b> Entornos digitales de aprendizaje para contextos STEAM con robótica .....	135
<b>Tabla 13:</b> Indicadores de desempeño matemático en entornos STEAM con robótica.....	154
<b>Tabla 14:</b> Rúbrica analítica para la evaluación de proyectos STEAM con robótica .....	161
<b>Tabla 15:</b> Lista de cotejo para el seguimiento del proceso en proyectos STEAM con robótica .....	164
<b>Tabla 16:</b> Estructura del portafolio digital para proyectos STEAM con robótica .....	166
<b>Tabla 17:</b> Identificación de dificultades de aprendizaje matemático en entornos STEAM con robótica .....	184
<b>Tabla 18:</b> Herramientas digitales de evaluación para entornos STEAM con robótica.....	191
<b>Tabla 19:</b> Plataformas educativas digitales para el seguimiento del aprendizaje en STEAM .....	196



<b>Tabla 20:</b> Ecosistemas digitales de aprendizaje para entornos STEAM con robótica.....	219
<b>Tabla 21:</b> Limitaciones de infraestructura en la implementación STEAM con robótica y estrategias de mitigación .....	233
<b>Tabla 22:</b> Políticas educativas innovadoras para la integración del STEAM con robótica en América Latina .....	244


## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1:</b> Proceso del aprendizaje basado en proyectos en entornos STEAM .....	20
<b>Figura 2:</b> Estructura del aprendizaje basado en retos en STEAM .....	37
<b>Figura 3:</b> Relación funcional en el control de un robot .....	66
<b>Figura 4:</b> Modelos algebraicos del movimiento en robótica.....	68
<b>Figura 5:</b> Sistema de coordenadas cartesianas en navegación robótica .....	75
<b>Figura 6:</b> Ángulos y trayectorias en robótica .....	79
<b>Figura 7:</b> Geometría en el diseño de robots.....	83
<b>Figura 8:</b> Relación entre tiempo, espacio y movimiento .....	91
<b>Figura 9:</b> Representación gráfica de datos en robótica .....	97
<b>Figura 10:</b> Secuencia de planificación didáctica interdisciplinar STEAM con robótica educativa .....	108
<b>Figura 11:</b> Ciclo de mejora continua del proceso educativo STEAM con robótica .....	183
<b>Figura 12:</b> Arquitectura del IoT educativo en entornos STEAM con robótica .....	208
<b>Figura 13:</b> Ciclo de personalización del aprendizaje en entornos STEAM con robótica.....	215
<b>Figura 14:</b> Dimensiones de la brecha digital en educación STEAM con robótica .....	230
<b>Figura 15:</b> Nuevos modelos educativos para la enseñanza de matemáticas con robótica STEAM.....	239

## Introducción

En el contexto de la sociedad contemporánea, caracterizada por la acelerada transformación digital, la interconexión del conocimiento y la creciente complejidad de los problemas globales, los sistemas educativos enfrentan el reto de formar individuos capaces de interpretar, analizar y actuar de manera crítica frente a escenarios dinámicos e inciertos. Esta realidad ha puesto en evidencia la necesidad de replantear los enfoques tradicionales de enseñanza, particularmente en el ámbito de las matemáticas, disciplina que históricamente ha sido abordada desde modelos centrados en la transmisión de contenidos y la repetición de procedimientos, limitando su potencial como herramienta para la comprensión de la realidad. En este sentido, diversos organismos internacionales coinciden en la urgencia de promover enfoques educativos que favorezcan el desarrollo de competencias complejas, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad (OECD, 2022; UNESCO, 2021).

Frente a este panorama, el enfoque STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) emerge como una respuesta pedagógica que busca superar la fragmentación del conocimiento mediante la integración interdisciplinaria de saberes. Este modelo no solo articula áreas tradicionalmente separadas, sino que propone una reconfiguración del aprendizaje basada en la resolución de problemas reales, la experimentación y la construcción activa del conocimiento. De acuerdo con Perignat y Katz-Buonincontro (2019), cuya vigencia se mantiene en las investigaciones recientes, la integración del componente artístico dentro del enfoque STEM amplía las posibilidades de innovación al incorporar procesos creativos que enriquecen la comprensión conceptual. En consonancia con ello, estudios más recientes destacan que los entornos STEAM favorecen aprendizajes significativos al vincular el conocimiento con contextos





auténticos y promover la transferencia de habilidades a diferentes ámbitos (Zhao et al., 2021).

Dentro de este marco, las matemáticas adquieren un rol estructurante al constituirse como un lenguaje universal que permite modelar fenómenos, analizar datos y establecer relaciones entre variables. Su importancia radica no solo en su carácter formal, sino en su capacidad para articular procesos cognitivos complejos que posibilitan la comprensión de sistemas interdependientes. Según Boaler (2022), la enseñanza de las matemáticas debe orientarse hacia el desarrollo de una comprensión profunda y flexible, que permita a los estudiantes aplicar el conocimiento en contextos diversos. Esta perspectiva se alinea con los planteamientos de la OECD (2022), que enfatizan la necesidad de fortalecer la alfabetización matemática como una competencia clave para la vida en sociedades basadas en el conocimiento.

En este escenario, la robótica educativa se posiciona como un recurso didáctico de alto valor, al facilitar la materialización de conceptos abstractos mediante experiencias prácticas y significativas. La interacción con dispositivos robóticos permite a los estudiantes aplicar principios matemáticos en procesos de diseño, programación y resolución de problemas, lo que contribuye a una comprensión más profunda del conocimiento. Investigaciones recientes evidencian que el uso de la robótica en el aula no solo mejora el rendimiento académico en matemáticas, sino que también potencia habilidades como el pensamiento computacional, la creatividad y el trabajo colaborativo (Benitti, 2020; Eguchi, 2021). En este sentido, la robótica se configura como un puente entre la teoría y la práctica, favoreciendo la construcción de aprendizajes contextualizados y transferibles.

Desde una perspectiva didáctica, la integración de las matemáticas en entornos STEAM con robótica implica una transformación sustancial en las prácticas de enseñanza. El docente asume un rol activo como






mediador del aprendizaje, diseñando experiencias que promuevan la indagación, la experimentación y la reflexión crítica. Este cambio demanda la implementación de metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos y la resolución de problemas complejos, las cuales permiten articular los contenidos matemáticos con situaciones reales. Asimismo, requiere una reconceptualización de la evaluación, orientándola hacia el desarrollo de competencias y el análisis de procesos, más allá de la simple medición de resultados (UNESCO, 2021).

El presente libro se inscribe en esta perspectiva de transformación educativa, proponiendo un enfoque integral para la enseñanza de las matemáticas a través de la integración STEAM y la robótica educativa. A lo largo de sus capítulos, se abordan los fundamentos epistemológicos, cognitivos y didácticos que sustentan esta propuesta, así como estrategias concretas para su implementación en el aula. De igual manera, se analizan las tendencias emergentes en educación y los desafíos asociados a la incorporación de tecnologías en contextos educativos diversos, considerando aspectos como la formación docente, la infraestructura y las políticas públicas.

En un mundo donde la innovación y el conocimiento constituyen ejes fundamentales para el desarrollo social y económico, resulta imprescindible promover prácticas educativas que trasciendan los enfoques tradicionales y respondan a las demandas del siglo XXI. En este sentido, la integración de las matemáticas en entornos STEAM mediante la robótica educativa no solo representa una estrategia didáctica innovadora, sino una oportunidad para formar estudiantes capaces de pensar, crear y transformar su entorno de manera crítica y responsable.



# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS Y DIDÁCTICOS DE LA INTEGRACIÓN STEAM EN MATEMÁTICAS



## **CAPÍTULO 1: Fundamentos Epistemológicos y Didácticos de la Integración STEAM en Matemáticas**

El estudio de la enseñanza de las matemáticas en contextos actuales exige replantear las bases desde las cuales se construye el conocimiento en el ámbito educativo. Los cambios sociales, tecnológicos y científicos han puesto en evidencia que los modelos centrados en la fragmentación disciplinar resultan insuficientes frente a la complejidad de los problemas contemporáneos. En este escenario, el enfoque STEAM emerge como una alternativa que permite articular saberes diversos, favoreciendo una comprensión más amplia e integrada de la realidad. Esta propuesta responde a la necesidad de formar estudiantes capaces de analizar, interpretar y actuar en entornos donde el conocimiento se presenta de manera interconectada.

Dentro de esta perspectiva, las matemáticas ocupan un lugar fundamental al constituirse como un lenguaje que permite organizar, interpretar y dar coherencia a los distintos saberes. Su función trasciende el cálculo, proyectándose como una herramienta que facilita la modelación de fenómenos, el análisis de datos y la toma de decisiones fundamentadas. La UNESCO (2021) sostiene que la educación contemporánea debe promover el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas, capacidades que encuentran en la matemática un soporte estructural.

La incorporación de dimensiones creativas amplía las formas de aproximarse al conocimiento, permitiendo representar ideas mediante diversos lenguajes. La presencia del componente artístico facilita la interpretación de conceptos abstractos, fortaleciendo la motivación y el interés del estudiante. Esta convergencia entre rigor y creatividad favorece experiencias más flexibles, donde el conocimiento se construye a partir de múltiples formas de interacción.

En este sentido, las matemáticas no solo se comprenden desde su estructura lógica, sino también desde su capacidad de representación y aplicación en escenarios variados.

Desde el punto de vista didáctico, esta perspectiva implica una transformación en la organización de la enseñanza. Las prácticas centradas en la repetición de ejercicios dan paso a propuestas que promueven la resolución de situaciones, la modelización y el análisis en contextos reales. Este cambio permite que el aprendizaje se construya a partir de la experiencia, favoreciendo una comprensión más profunda. La OCDE (2022) señala que los sistemas educativos deben preparar a los estudiantes para enfrentar contextos cambiantes, promoviendo habilidades de adaptación y pensamiento crítico.

El aprendizaje matemático en contextos interdisciplinarios también requiere considerar los procesos cognitivos que intervienen en la construcción del conocimiento. Habilidades como la atención, la memoria de trabajo y la abstracción permiten organizar la información, establecer relaciones y generar soluciones frente a situaciones complejas. Estas capacidades se potencian cuando el aprendizaje se desarrolla en entornos que integran distintos saberes, favoreciendo una mayor actividad mental y una comprensión más elaborada.

La enseñanza, finalmente, se configura como una labor de mediación en la que el docente orienta la construcción del conocimiento mediante la organización de experiencias significativas. La gestión del aula, el uso de recursos y la actualización profesional se convierten en elementos clave para sostener procesos formativos pertinentes. Este capítulo aborda los fundamentos epistemológicos, didácticos y cognitivos que sustentan la enseñanza de las matemáticas en contextos STEAM, estableciendo las bases para comprender su potencial en la formación de estudiantes capaces de enfrentar los desafíos actuales con pensamiento crítico, creatividad y capacidad de adaptación.

## 1.1. Bases conceptuales del enfoque STEAM

La consolidación del enfoque STEAM responde a una transformación en la manera de comprender el conocimiento en el ámbito educativo. Ya no resulta suficiente abordar las disciplinas de forma aislada cuando los problemas contemporáneos exigen una lectura integradora y contextualizada. En este escenario, las matemáticas adquieren un papel estructural al funcionar como un lenguaje que permite modelar, interpretar y validar fenómenos provenientes de distintos campos del saber. Esta reconfiguración no solo modifica los contenidos que se enseñan, sino también la lógica con la que se construye el aprendizaje, desplazando la memorización hacia procesos de análisis, interpretación y aplicación en situaciones reales.

La relevancia de este enfoque se evidencia en la necesidad de formar estudiantes capaces de enfrentar contextos complejos mediante la articulación de saberes diversos. En lugar de centrarse en la repetición de procedimientos, la enseñanza matemática se orienta hacia la comprensión profunda de relaciones, patrones y estructuras que pueden transferirse a distintos escenarios. La UNESCO (2021) advierte que los sistemas educativos deben promover aprendizajes que integren pensamiento crítico, creatividad y capacidad de resolución de problemas, elementos que encuentran en STEAM un marco coherente de desarrollo. Desde esta perspectiva, las matemáticas dejan de ser un fin en sí mismas para convertirse en una herramienta que facilita la construcción de conocimiento interdisciplinar.

La incorporación de componentes artísticos dentro del enfoque STEAM amplía las posibilidades de representación y comprensión del conocimiento, permitiendo que los estudiantes no solo analicen información, sino que también la interpreten y comuniquen de manera creativa. Este aspecto resulta clave en la enseñanza de las matemáticas, donde la abstracción puede convertirse en una barrera si no se conecta con experiencias significativas. Al integrar elementos visuales, estéticos y expresivos, se favorece una aproximación más

flexible al conocimiento, en la que la creatividad no se opone al rigor, sino que lo complementa. De este modo, el aprendizaje se construye a partir de múltiples formas de interacción con los contenidos, fortaleciendo la comprensión conceptual.

La OCDE (2022) señala que los entornos educativos actuales deben preparar a los estudiantes para contextos dinámicos, donde la capacidad de adaptación y la integración de conocimientos resultan fundamentales. Bajo esta lógica, el enfoque STEAM no solo redefine la enseñanza de las matemáticas, sino que propone una nueva manera de relacionarse con el conocimiento, basada en la interconexión, la experimentación y la aplicación. La integración con la robótica educativa, en particular, permite trasladar conceptos abstractos a experiencias concretas, favoreciendo una comprensión más profunda y duradera, al tiempo que impulsa el desarrollo de habilidades cognitivas y creativas indispensables en la formación contemporánea.

### **1.1.1. Evolución del enfoque STEM hacia STEAM**

El tránsito del enfoque STEM hacia STEAM no constituye un cambio terminológico superficial, sino una evolución conceptual que responde a la necesidad de ampliar las formas de comprensión del conocimiento. Inicialmente, STEM se consolidó como una estrategia educativa orientada a fortalecer la formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, con el propósito de responder a las demandas de innovación y desarrollo económico. No obstante, con el tiempo se evidenció que este enfoque, aunque sólido en términos técnicos, resultaba limitado para fomentar procesos creativos, pensamiento divergente y capacidad de innovación en contextos complejos. La incorporación del componente artístico surge, entonces, como una respuesta a esta necesidad de equilibrar el rigor analítico con la creatividad.

Diversos estudios han señalado que la inclusión de las artes permite enriquecer la experiencia educativa al integrar dimensiones expresivas, estéticas y culturales que potencian la comprensión de conceptos

abstractos. En el caso de las matemáticas, esta transición resulta especialmente significativa, ya que facilita la representación de ideas mediante múltiples lenguajes, superando la rigidez de los enfoques tradicionales. La creatividad deja de ser un elemento accesorio para convertirse en un componente estructural del aprendizaje, favoreciendo la generación de soluciones innovadoras y la reinterpretación de problemas desde diferentes perspectivas. Esta evolución implica reconocer que el pensamiento matemático no se limita al cálculo, sino que involucra procesos de exploración, diseño y construcción de significado.

Desde una perspectiva educativa, el paso hacia STEAM también responde a la necesidad de formar sujetos capaces de desenvolverse en entornos inciertos y cambiantes. La UNESCO (2021) plantea que la educación contemporánea debe promover la integración de saberes y el desarrollo de competencias que permitan abordar problemas complejos de manera flexible. En este sentido, STEAM amplía el alcance de STEM al incorporar una visión más holística del aprendizaje, donde las disciplinas dialogan y se complementan, generando experiencias formativas más significativas y contextualizadas.

La OCDE (2022) destaca que las economías basadas en el conocimiento requieren individuos capaces de combinar habilidades técnicas con creatividad e innovación. Bajo esta premisa, el enfoque STEAM se posiciona como una evolución necesaria, al promover la articulación entre pensamiento lógico y expresión creativa. Esta integración no diluye el rigor matemático, sino que lo fortalece al situarlo en contextos donde adquiere sentido y funcionalidad. En consecuencia, la transición de STEM a STEAM representa una ampliación del horizonte educativo, orientada a formar individuos capaces de comprender, transformar e innovar en su entorno desde una perspectiva interdisciplinaria.

### 1.1.2. Principios de interdisciplinariedad en educación

La interdisciplinariedad en educación surge como una respuesta a la fragmentación del conocimiento que ha caracterizado históricamente a los sistemas escolares. La organización tradicional por asignaturas ha generado compartimentos estancos que dificultan la comprensión integral de los fenómenos, especialmente cuando estos requieren múltiples perspectivas para ser analizados. Frente a esta limitación, la integración disciplinar propone articular saberes diversos en torno a problemas comunes, favoreciendo una construcción más coherente del conocimiento. En este contexto, las matemáticas adquieren un rol articulador al permitir establecer relaciones, modelar situaciones y generar estructuras de análisis que facilitan la conexión entre distintas áreas.

Desde una perspectiva pedagógica, la interdisciplinariedad no implica la simple suma de contenidos, sino la construcción de vínculos significativos entre conceptos, métodos y enfoques. Esto exige replantear la planificación educativa, orientándola hacia experiencias que integren saberes de manera intencional. La UNESCO (2021) señala que los aprendizajes relevantes emergen cuando los estudiantes logran transferir conocimientos entre contextos, lo cual solo es posible si las disciplinas dialogan entre sí. Bajo esta lógica, la enseñanza deja de centrarse en la acumulación de información para enfocarse en la comprensión profunda y la aplicación en escenarios reales.

En términos metodológicos, la interdisciplinariedad requiere estrategias que promuevan la indagación, el análisis y la resolución de situaciones complejas. La articulación entre matemáticas, ciencia, tecnología y otras áreas permite abordar problemas desde diferentes dimensiones, enriqueciendo la experiencia de aprendizaje. Este enfoque favorece el desarrollo de habilidades como la interpretación de datos, la formulación de hipótesis y la toma de decisiones fundamentadas. Además, contribuye a que los estudiantes comprendan que el conocimiento no se presenta de manera aislada en

la realidad, sino que se manifiesta como un sistema interconectado donde cada disciplina aporta herramientas específicas.

La OCDE (2022) enfatiza que los entornos educativos deben promover la integración de saberes para preparar a los estudiantes frente a desafíos complejos. En este sentido, la interdisciplinariedad no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también fortalece la capacidad de adaptación y pensamiento flexible. Su implementación en el enfoque STEAM permite que las matemáticas se integren de manera natural con otras áreas, consolidando un aprendizaje más significativo y funcional.

**Tabla 1**

*Principios de la interdisciplinariedad en educación STEAM*

Principio	Descripción	Aplicación en matemáticas STEAM
Integración de saberes	Articulación de conocimientos de distintas disciplinas	Modelación matemática de fenómenos reales
Contextualización	Aprendizaje vinculado a situaciones reales	Resolución de problemas aplicados
Transferencia de conocimiento	Uso de aprendizajes en diferentes contextos	Aplicación de conceptos matemáticos en robótica
Colaboración disciplinar	Interacción entre distintas áreas del conocimiento	Trabajo conjunto entre matemática, tecnología e ingeniería
Pensamiento sistémico	Comprensión de relaciones complejas	Análisis de variables en sistemas dinámicos

*Nota.* Elaboración propia basada en enfoques contemporáneos de integración educativa (UNESCO, 2021; OCDE, 2022).

Estos principios dentro del enfoque STEAM no solo transforma la organización curricular, sino que redefine la manera en que los estudiantes se aproximan al conocimiento. Al comprender las matemáticas como un puente entre disciplinas, se fortalece la capacidad de análisis y se amplía la comprensión de la realidad desde múltiples perspectivas. Esta articulación favorece aprendizajes más duraderos, al situar los contenidos en contextos significativos donde adquieren utilidad y sentido. De esta manera, la interdisciplinariedad deja de ser un planteamiento teórico para convertirse en una práctica educativa que impulsa una formación más integral, crítica y adaptativa frente a los desafíos contemporáneos.

### **1.1.3. Rol de las matemáticas como eje estructurante**

Las matemáticas ocupan una posición central dentro del enfoque STEAM al constituirse como un lenguaje que permite organizar, interpretar y dar coherencia a los distintos saberes que convergen en este modelo educativo. Más allá de su carácter formal, las estructuras matemáticas posibilitan la representación de fenómenos complejos mediante relaciones, patrones y modelos que facilitan su comprensión. En este sentido, su función no se limita al cálculo o la abstracción simbólica, sino que se proyecta como un sistema que articula el pensamiento científico y tecnológico. Esta condición estructurante permite que disciplinas como la ingeniería o la programación encuentren un sustento lógico que garantiza precisión y consistencia en los procesos de análisis y resolución.

La relevancia de las matemáticas dentro de STEAM se fortalece cuando se integran en contextos aplicados, donde su utilidad se evidencia en la modelación de situaciones reales. La OCDE (2022) destaca que el desarrollo de competencias en resolución de problemas y toma de decisiones requiere una base matemática sólida que permita interpretar datos y establecer relaciones significativas. Bajo esta perspectiva, el aprendizaje matemático se desplaza hacia una dimensión funcional, en la que los conceptos adquieren sentido a través de su aplicación en entornos interdisciplinarios. Esta integración

favorece la comprensión profunda y evita que los contenidos se perciban como fragmentos aislados sin conexión con la realidad.

Asumir a las matemáticas como eje estructurante implica reconocer su capacidad para vincular distintas formas de conocimiento y potenciar el pensamiento analítico en escenarios complejos. En el contexto de la robótica educativa, esta función se vuelve especialmente evidente, ya que los estudiantes deben aplicar principios matemáticos para diseñar, programar y optimizar sistemas. La UNESCO (2021) subraya que la educación contemporánea debe promover aprendizajes integrados que permitan comprender la complejidad del entorno. En esta línea, las matemáticas no solo estructuran el conocimiento, sino que también posibilitan su transferencia y aplicación, consolidándose como un componente esencial en la formación de sujetos capaces de analizar, innovar y transformar su realidad.

#### **1.1.4. Pensamiento sistémico en entornos educativos**

El pensamiento sistémico se configura como una competencia clave dentro del enfoque STEAM, al permitir comprender la realidad como un entramado de relaciones interdependientes más que como un conjunto de elementos aislados. En el ámbito educativo, esta perspectiva implica que los estudiantes desarrollen la capacidad de identificar conexiones entre variables, reconocer patrones de comportamiento y anticipar posibles efectos dentro de un sistema. Lejos de centrarse en respuestas lineales, este tipo de razonamiento promueve una comprensión más profunda de los fenómenos, favoreciendo la interpretación de situaciones complejas desde múltiples dimensiones. En este contexto, las matemáticas aportan herramientas esenciales para representar y analizar dichas relaciones, facilitando la construcción de modelos que explican el funcionamiento de sistemas dinámicos.

El enfoque del pensamiento sistémico en la enseñanza transforma la manera en que se abordan los contenidos, ya que exige una organización del aprendizaje orientada hacia la interrelación de

conceptos. Esto supone superar enfoques fragmentados y avanzar hacia propuestas que integren distintas áreas del conocimiento en torno a problemas reales. La UNESCO (2021) destaca que la educación contemporánea debe promover una comprensión global de los fenómenos, fomentando la capacidad de analizar interacciones complejas. Desde esta perspectiva, el aprendizaje matemático se enriquece al situarse en contextos donde los estudiantes no solo resuelven ejercicios, sino que interpretan sistemas, identifican relaciones y construyen explicaciones fundamentadas.

El valor del pensamiento sistémico radica también en su potencial para fortalecer la toma de decisiones en escenarios inciertos. La OCDE (2022) señala que las competencias del siglo XXI requieren habilidades que permitan analizar información desde diferentes ángulos y anticipar consecuencias a partir de múltiples variables. En este sentido, las matemáticas contribuyen al desarrollo de este tipo de pensamiento al ofrecer herramientas para cuantificar, modelar y proyectar comportamientos dentro de un sistema. Esta capacidad resulta especialmente relevante en entornos como la robótica educativa, donde las decisiones deben basarse en la comprensión de interacciones entre componentes tecnológicos y variables externas.

Una perspectiva complementaria la aporta Senge (2020), quien plantea que el pensamiento sistémico permite comprender la complejidad organizando la información en estructuras que revelan patrones y relaciones subyacentes. Aplicado al ámbito educativo, este enfoque favorece la construcción de aprendizajes más integrados, donde el estudiante no solo adquiere conocimientos, sino que desarrolla la capacidad de relacionarlos y utilizarlos de manera estratégica. En el marco de STEAM, esta competencia adquiere especial relevancia, ya que posibilita la articulación entre disciplinas y fortalece la comprensión de fenómenos complejos. De este modo, el pensamiento sistémico no solo amplía la forma de entender el conocimiento, sino que también potencia la capacidad de intervenir de manera crítica y fundamentada en la realidad.

### 1.1.5. Integración de ciencia, arte y tecnología en el aula

La articulación entre ciencia, arte y tecnología dentro del aula configura un escenario educativo que trasciende los límites tradicionales de las disciplinas. Esta convergencia no se reduce a la coexistencia de áreas, sino que implica la construcción de experiencias en las que los conocimientos se entrelazan para abordar situaciones complejas. Bajo esta lógica, las matemáticas cumplen una función organizadora al permitir estructurar información, establecer relaciones y generar representaciones que facilitan la comprensión de fenómenos diversos. Este enfoque favorece dinámicas formativas más activas, donde el estudiante participa en procesos de análisis, creación y aplicación, superando esquemas centrados en la transmisión de contenidos.

El uso del componente artístico introduce una dimensión expresiva que amplía las posibilidades de interpretación y construcción del conocimiento. A través de recursos visuales, simbólicos y creativos, se facilita la comprensión de ideas que, en otros contextos, podrían percibirse como abstractas o distantes. Esta apertura hacia diferentes formas de representación fortalece la motivación y promueve una aproximación más flexible al aprendizaje. La UNESCO (2021) plantea que la educación contemporánea debe integrar diversas formas de conocimiento para potenciar la creatividad y el pensamiento crítico, aspectos que se consolidan cuando las artes se vinculan de manera significativa con los procesos formativos.

En cuanto al componente tecnológico, su presencia en el aula posibilita la experimentación y la materialización de ideas, permitiendo que los estudiantes interactúen con los contenidos de forma concreta. El uso de herramientas digitales, entornos de programación y dispositivos como robots educativos facilita la transformación de conceptos en experiencias prácticas. La OCDE (2022) destaca que la tecnología educativa debe orientarse hacia el desarrollo de habilidades para analizar, diseñar y resolver situaciones problemáticas. De este modo, se fortalece la conexión entre teoría y práctica, generando aprendizajes más significativos y aplicables.

La convergencia de estos tres campos redefine el aula como un espacio de exploración, creación y comprensión integral del conocimiento. Este tipo de integración favorece el desarrollo de competencias que combinan rigor analítico, pensamiento creativo y habilidades tecnológicas. En el contexto de la robótica educativa, esta relación se hace evidente al involucrar procesos de diseño, construcción y programación que requieren tanto precisión matemática como capacidad innovadora. Así, se configura un entorno formativo que no solo amplía las formas de aprender, sino que también impulsa la capacidad de transformar ideas en soluciones concretas dentro de escenarios reales.

## **1.2. Fundamentos didácticos de las matemáticas en entornos STEAM**

La enseñanza de las matemáticas en contextos STEAM exige replantear los fundamentos didácticos que han orientado históricamente su desarrollo. Los enfoques centrados en la repetición de procedimientos y en la memorización de algoritmos resultan limitados frente a escenarios donde se requiere interpretar, analizar y aplicar el conocimiento en situaciones diversas. En este marco, la didáctica se orienta hacia la construcción de experiencias que permitan al estudiante interactuar activamente con los contenidos, favoreciendo la comprensión de estructuras, relaciones y procesos. Esta perspectiva no reduce el rigor disciplinar, sino que lo sitúa en contextos donde adquiere sentido a través de su uso.

El enfoque STEAM introduce una lógica de enseñanza basada en la resolución de situaciones contextualizadas, en las que los conceptos matemáticos se movilizan para comprender problemáticas reales. Esta orientación transforma la relación con el conocimiento, alejándola de esquemas fragmentados y acercándola a una comprensión más articulada. El aprendizaje se construye mediante la exploración, el análisis y la toma de decisiones, lo que contribuye al desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior. La UNESCO (2021) resalta la

importancia de propuestas educativas que vinculen teoría y práctica, favoreciendo aprendizajes transferibles a distintos contextos.

Otro elemento clave se relaciona con la modelización como eje didáctico. La posibilidad de representar situaciones mediante expresiones matemáticas permite abordar fenómenos complejos desde una perspectiva estructurada. Este proceso incluye la formulación de modelos, la interpretación de resultados y la validación de hipótesis, lo que fortalece la comprensión conceptual. Al trabajar con escenarios cercanos a la realidad, los estudiantes logran reconocer la utilidad del conocimiento matemático, lo que contribuye a una apropiación más significativa y duradera.

El diseño de experiencias de aprendizaje en este contexto requiere estrategias que promuevan la participación activa y el intercambio de ideas. El trabajo colaborativo, la discusión argumentada y la construcción conjunta del conocimiento enriquecen la comprensión y permiten abordar una misma situación desde diferentes enfoques. La OCDE (2022) destaca que las propuestas educativas deben fortalecer habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad y la capacidad de adaptación, aspectos que se desarrollan con mayor eficacia en entornos dinámicos y contextualizados.

La consolidación de estos fundamentos didácticos redefine la enseñanza de las matemáticas como un proceso orientado a la comprensión profunda, la aplicación contextualizada y la transferencia del conocimiento. Este enfoque favorece aprendizajes duraderos, al situar los contenidos en escenarios donde adquieren funcionalidad. En este sentido, el uso de recursos como la robótica educativa permite fortalecer esta perspectiva, al vincular el razonamiento matemático con la acción, facilitando una comprensión más sólida y significativa.

### **1.2.1. Didáctica de la modelización matemática**

La modelización matemática se configura como un enfoque didáctico que permite aproximar al estudiante a la comprensión de fenómenos a través de representaciones estructuradas. Lejos de limitarse a la

aplicación de fórmulas, este proceso implica traducir situaciones del entorno en expresiones matemáticas que faciliten su análisis e interpretación. De esta manera, el aprendizaje adquiere un carácter más significativo, ya que los conceptos se construyen en relación con contextos concretos. Este enfoque favorece una comprensión profunda, al vincular la teoría con la experiencia y permitir que el estudiante reconozca la utilidad del conocimiento matemático en la explicación de la realidad.

Desde una perspectiva pedagógica, la modelización exige que el estudiante participe activamente en la construcción del conocimiento, enfrentándose a situaciones que requieren interpretar información, formular hipótesis y validar resultados. Este proceso no es lineal, sino que implica una constante revisión de los modelos construidos, lo que fortalece el pensamiento crítico y la capacidad de análisis. La OCDE (2022) destaca que el aprendizaje basado en la resolución de problemas complejos contribuye al desarrollo de competencias que permiten enfrentar contextos cambiantes, lo cual se relaciona directamente con el uso de la modelización en entornos educativos.

El valor de este enfoque radica en su capacidad para representar fenómenos dinámicos mediante estructuras que facilitan su comprensión. Al construir modelos, los estudiantes no solo operan con datos, sino que establecen relaciones entre variables, identifican patrones y proyectan posibles comportamientos. Este tipo de actividad favorece la articulación entre distintos saberes, ya que permite abordar situaciones desde múltiples perspectivas. Además, promueve una actitud reflexiva frente al conocimiento, en la que los resultados no se aceptan de manera inmediata, sino que se analizan y contrastan con la realidad.

En el contexto de la robótica educativa, la modelización adquiere una dimensión particularmente relevante, ya que permite vincular conceptos matemáticos con procesos de diseño y programación. Los estudiantes deben representar situaciones, anticipar comportamientos y ajustar sus modelos en función de los resultados

obtenidos, lo que fortalece la comprensión conceptual y la capacidad de toma de decisiones. Este tipo de experiencias contribuye a consolidar un aprendizaje más sólido, en el que las matemáticas se perciben como una herramienta para comprender y actuar sobre el entorno, favoreciendo el desarrollo de habilidades analíticas y creativas.

### **1.2.2. Resolución de problemas complejos en contextos reales**

El abordaje de problemas complejos en contextos reales representa un cambio sustancial en la enseñanza de las matemáticas, al desplazar el foco desde la ejecución de ejercicios rutinarios hacia la comprensión de situaciones abiertas que no poseen una única solución. Este tipo de experiencias obliga al estudiante a interpretar información, seleccionar estrategias y tomar decisiones fundamentadas, lo que transforma la manera en que se relaciona con el conocimiento. La complejidad no radica únicamente en el contenido matemático, sino en la necesidad de considerar múltiples variables, condiciones y posibles resultados, lo que exige un pensamiento más flexible y adaptativo.

Trabajar con situaciones reales introduce un componente de incertidumbre que resulta clave para el desarrollo cognitivo. En estos escenarios, el estudiante no cuenta con procedimientos previamente establecidos, por lo que debe explorar alternativas, contrastar ideas y ajustar sus planteamientos en función de los resultados obtenidos. Este proceso favorece la construcción de aprendizajes más sólidos, ya que implica un nivel de implicación mayor y una comprensión más profunda de los conceptos. La UNESCO (2021) señala que las propuestas educativas deben promover la capacidad de enfrentar situaciones complejas mediante el análisis y la toma de decisiones, elementos esenciales en este tipo de enfoque.

La resolución de este tipo de situaciones también contribuye al desarrollo de habilidades que trascienden el ámbito matemático. La interpretación de datos, la argumentación de resultados y la evaluación de alternativas permiten fortalecer competencias que resultan

fundamentales en diversos contextos. A través de estas prácticas, el estudiante comprende que el conocimiento no se limita a la aplicación de fórmulas, sino que implica un proceso de construcción que requiere análisis, reflexión y criterio. Esta forma de trabajo favorece una relación más activa con el aprendizaje, en la que el error se convierte en una oportunidad para revisar y mejorar los planteamientos.

En el ámbito de la robótica educativa, este tipo de resolución adquiere un carácter especialmente significativo, ya que los estudiantes deben enfrentarse a desafíos que requieren combinar razonamiento matemático con procesos de diseño y programación. La OCDE (2022) destaca que la educación debe preparar a los estudiantes para contextos donde la toma de decisiones se basa en el análisis de múltiples factores. En este sentido, la resolución de problemas complejos no solo fortalece la comprensión matemática, sino que también impulsa el desarrollo de habilidades analíticas, creativas y estratégicas necesarias para desenvolverse en entornos cambiantes.

### **1.2.3. Visualización matemática como herramienta cognitiva**

La visualización matemática constituye un recurso fundamental para facilitar la comprensión de conceptos que, por su naturaleza abstracta, pueden resultar difíciles de asimilar. A través de representaciones gráficas, diagramas y modelos visuales, los estudiantes logran construir significados más claros, al transformar ideas simbólicas en formas perceptibles. Este proceso no solo simplifica la interpretación, sino que también permite establecer conexiones entre distintos elementos, favoreciendo una comprensión más profunda. La capacidad de visualizar relaciones, patrones y estructuras contribuye a que el conocimiento matemático sea más accesible y significativo.

El uso de representaciones visuales favorece el desarrollo de procesos cognitivos complejos, al activar mecanismos de interpretación que van más allá de la memorización. Cuando el estudiante interactúa con gráficos, esquemas o simulaciones, no solo observa información, sino que la reorganiza, la analiza y la interpreta desde diferentes

perspectivas. Esta dinámica fortalece la capacidad de razonamiento, al permitir identificar regularidades y establecer relaciones entre variables. La UNESCO (2021) destaca la importancia de diversificar las formas de representación del conocimiento para favorecer aprendizajes más inclusivos y comprensivos.

La visualización también cumple un papel relevante en la resolución de situaciones problemáticas, ya que facilita la identificación de elementos clave y la estructuración de posibles soluciones. Representar una situación mediante gráficos o esquemas permite reducir la complejidad y organizar la información de manera más clara. Este tipo de estrategias favorece la toma de decisiones, al ofrecer una visión más completa del problema. Además, contribuye a que los estudiantes desarrollen una mayor autonomía en su proceso de aprendizaje, al contar con herramientas que les permiten analizar y comprender por sí mismos.

Además, la visualización adquiere una dimensión práctica al permitir representar trayectorias, movimientos y comportamientos de sistemas. La OCDE (2022) señala que el uso de herramientas visuales y digitales favorece el desarrollo de habilidades analíticas y la comprensión de sistemas complejos. De esta manera, la visualización matemática no solo facilita la comprensión conceptual, sino que también fortalece la capacidad de interpretar y actuar sobre el entorno, consolidándose como una herramienta clave en la construcción del conocimiento.

#### **1.2.4. Aprendizaje basado en proyectos STEAM**

El aprendizaje basado en proyectos constituye una estrategia que sitúa al estudiante frente a desafíos que requieren la aplicación del conocimiento en situaciones concretas. A diferencia de enfoques centrados en la transmisión de contenidos, esta metodología propone la construcción de aprendizajes a partir de la exploración, el diseño y la resolución de problemáticas significativas. Dentro del enfoque STEAM, los proyectos permiten articular saberes provenientes de distintas

áreas, generando experiencias donde las matemáticas se utilizan para analizar, modelar y tomar decisiones. Esta dinámica favorece una comprensión más profunda, al vincular los contenidos con escenarios cercanos a la realidad.

El desarrollo de proyectos implica un proceso que trasciende la ejecución de tareas, ya que requiere planificación, análisis y reflexión constante. Los estudiantes deben definir objetivos, identificar variables, seleccionar estrategias y evaluar resultados, lo que fortalece habilidades cognitivas de orden superior. La UNESCO (2021) resalta la importancia de promover metodologías que permitan aprender a partir de la experiencia, favoreciendo la construcción activa del conocimiento. Este enfoque transforma el rol del estudiante, quien asume una participación más autónoma y comprometida en su proceso formativo.

El trabajo por proyectos también favorece el desarrollo de habilidades sociales y comunicativas, ya que promueve la colaboración, el intercambio de ideas y la construcción conjunta de soluciones. La interacción entre pares permite contrastar perspectivas, enriquecer los planteamientos y fortalecer la argumentación. Este tipo de dinámica contribuye a generar una actitud más reflexiva frente al aprendizaje, donde los errores se convierten en oportunidades para revisar estrategias y mejorar resultados. Así, el proceso adquiere mayor relevancia que la respuesta final, consolidando aprendizajes más significativos.

El uso de proyectos en entornos STEAM facilita la aplicación de conceptos matemáticos en situaciones que requieren diseño, análisis y toma de decisiones. La OCDE (2022) destaca que las experiencias educativas deben promover la resolución de problemas en contextos reales, fortaleciendo la creatividad y la capacidad de innovación. Desde esta perspectiva, el trabajo por proyectos permite vincular el razonamiento matemático con la acción, generando un aprendizaje más dinámico y funcional.

Figura 1

*Proceso del aprendizaje basado en proyectos en entornos STEAM*

*Nota.* Elaboración propia basada en metodologías activas de aprendizaje (UNESCO, 2021; OCDE, 2022).

La secuencia representada en la figura evidencia que el aprendizaje basado en proyectos no sigue una lógica lineal, sino que se desarrolla mediante ciclos de mejora continua. Cada fase se relaciona con la anterior y la posterior, permitiendo que los estudiantes revisen sus decisiones, ajusten sus propuestas y profundicen su comprensión. Este carácter cíclico favorece la reflexión constante y la consolidación de aprendizajes, ya que el conocimiento se construye a partir de la experiencia y la revisión crítica. De esta manera, el proceso no solo orienta la resolución de una situación específica, sino que fortalece habilidades transferibles a distintos contextos.

### 1.2.5. Construcción del pensamiento matemático aplicado

La construcción del pensamiento matemático aplicado implica superar la visión tradicional que reduce esta área a la ejecución de procedimientos, orientándola hacia la comprensión de situaciones donde el conocimiento se utiliza para interpretar y actuar sobre la realidad. Este enfoque propone que el estudiante no solo adquiera

conceptos, sino que desarrolle la capacidad de emplearlos de manera flexible en distintos escenarios. La matemática, en este sentido, se convierte en una herramienta para analizar información, establecer relaciones y fundamentar decisiones, lo que fortalece su utilidad más allá del ámbito académico.

El desarrollo de este tipo de pensamiento demanda experiencias que vinculen los contenidos con situaciones concretas. Cuando los estudiantes trabajan con contextos cercanos, logran identificar la pertinencia de los conceptos y comprender su funcionalidad. Esta dinámica favorece una apropiación más profunda del conocimiento, al permitir reconocer cómo las ideas matemáticas se manifiestan en distintos ámbitos. La UNESCO (2021) señala que los aprendizajes adquieren mayor significado cuando se relacionan con experiencias reales, lo que refuerza la importancia de situar los contenidos en escenarios relevantes.

De manera complementaria, la capacidad de transferir conocimientos a nuevas situaciones resulta fundamental para el desarrollo de este tipo de pensamiento. No se trata únicamente de resolver un problema específico, sino de reconocer patrones, adaptar estrategias y generar respuestas en contextos diversos. Este proceso se fortalece mediante la práctica en entornos variados, donde el estudiante analiza información, toma decisiones y evalúa resultados. La OCDE (2022) destaca que la educación debe promover la aplicación del conocimiento en contextos cambiantes, lo que contribuye al desarrollo de competencias necesarias en la actualidad.

Asumir este enfoque transforma la relación del estudiante con las matemáticas, al permitirle comprender su utilidad y aplicabilidad en distintos ámbitos. El aprendizaje deja de centrarse en la repetición para orientarse hacia la comprensión, el análisis y la reflexión. Así, el conocimiento se construye a partir de la experiencia y la interacción con diversas situaciones, favoreciendo el desarrollo de habilidades analíticas y la capacidad de abordar escenarios complejos con mayor criterio y autonomía.

### 1.3. Bases cognitivas del aprendizaje matemático interdisciplinar

El aprendizaje matemático en contextos interdisciplinarios se sustenta en procesos cognitivos que permiten al estudiante comprender, relacionar y aplicar conocimientos en escenarios diversos. A diferencia de enfoques centrados en la adquisición aislada de contenidos, esta perspectiva considera que el conocimiento se construye a partir de la interacción entre distintas áreas, lo que exige una mayor actividad mental. En este marco, la comprensión no se limita a la asimilación de conceptos, sino que implica la capacidad de establecer conexiones, interpretar información y generar explicaciones fundamentadas.



Desde el punto de vista cognitivo, el razonamiento matemático involucra habilidades como la atención, la memoria de trabajo y la capacidad de abstracción. Estos procesos permiten organizar la

información, identificar patrones y construir relaciones entre distintos elementos. Cuando el aprendizaje se desarrolla en entornos que combinan múltiples disciplinas, estas habilidades se ven potenciadas, ya que el estudiante debe integrar información proveniente de diferentes fuentes. Este tipo de actividad favorece una comprensión más profunda, al exigir un mayor nivel de análisis y reflexión.

La UNESCO (2021) señala que los entornos educativos deben promover aprendizajes que permitan conectar conocimientos y aplicarlos en distintos contextos. Bajo esta perspectiva, el aprendizaje interdisciplinar contribuye a fortalecer la capacidad de transferencia, al facilitar que los estudiantes utilicen lo aprendido en nuevas situaciones. Este proceso no solo mejora la comprensión, sino que también favorece la flexibilidad cognitiva, una habilidad esencial para enfrentar escenarios cambiantes.

A su vez, la interacción entre disciplinas estimula el desarrollo de funciones ejecutivas, como la planificación, el control inhibitorio y la toma de decisiones. Estas funciones resultan fundamentales cuando el estudiante debe resolver situaciones que requieren analizar múltiples variables y seleccionar estrategias adecuadas. La OCDE (2022) destaca que el desarrollo de estas habilidades es clave para la formación de individuos capaces de adaptarse a contextos complejos y tomar decisiones informadas.

Comprender estas bases cognitivas permite diseñar experiencias de aprendizaje que favorezcan una construcción más sólida del conocimiento matemático. Al considerar cómo piensan, procesan y relacionan la información los estudiantes, se pueden proponer estrategias que potencien su desarrollo intelectual. De este modo, el aprendizaje deja de centrarse en la acumulación de contenidos y se orienta hacia la comprensión, la aplicación y la transferencia, fortaleciendo la capacidad de abordar situaciones desde una perspectiva más amplia y articulada.

### 1.3.1. Procesos cognitivos implicados en el razonamiento matemático

El razonamiento matemático se apoya en una serie de procesos cognitivos que permiten al estudiante comprender, analizar y resolver situaciones de manera estructurada. No se trata únicamente de aplicar procedimientos, sino de interpretar información, establecer relaciones y construir argumentos fundamentados. Este tipo de razonamiento implica una actividad mental compleja, donde intervienen distintas capacidades que operan de manera articulada. A través de estos procesos, el estudiante logra transformar datos en conocimiento, lo que favorece una comprensión más profunda y significativa.

Entre los procesos más relevantes se encuentra la atención, que permite focalizar los recursos cognitivos en los elementos esenciales de una situación. Sin esta capacidad, resulta difícil identificar información relevante o discriminar entre distintos estímulos. Junto a ella, la memoria de trabajo desempeña un papel fundamental al posibilitar la retención temporal de datos mientras se realizan operaciones mentales. Estas funciones permiten organizar la información y avanzar en la resolución de situaciones que requieren múltiples pasos. La UNESCO (2021) destaca que el desarrollo de estas habilidades es esencial para fortalecer la comprensión en contextos educativos complejos.

Otra dimensión importante corresponde a la capacidad de abstracción, que permite representar situaciones concretas mediante estructuras simbólicas. Esta habilidad resulta clave en matemáticas, ya que facilita la generalización de ideas y la construcción de modelos. A su vez, el razonamiento lógico permite establecer relaciones coherentes entre los elementos, favoreciendo la formulación de conclusiones válidas. Estos procesos no operan de manera aislada, sino que se complementan, generando una base sólida para la comprensión y el análisis.

El pensamiento matemático también se ve influenciado por procesos como la metacognición, que permite al estudiante reflexionar sobre sus propias estrategias y ajustar su forma de abordar una situación. La OCDE (2022) señala que la capacidad de evaluar y regular el propio aprendizaje resulta fundamental para el desarrollo de habilidades de orden superior. Esta autorregulación favorece una mayor autonomía, al permitir que el estudiante identifique errores, revise sus planteamientos y mejore sus resultados.

**Tabla 2**

*Procesos cognitivos en el razonamiento matemático*

Proceso cognitivo	Descripción	Aplicación en matemáticas
Atención	Focalización en información relevante	Identificación de datos clave en problemas
Memoria de trabajo	Retención temporal de información	Resolución de operaciones complejas
Abstracción	Representación simbólica de situaciones	Uso de variables y modelos
Razonamiento lógico	Establecimiento de relaciones coherentes	Desarrollo de argumentos matemáticos
Metacognición	Reflexión sobre el propio pensamiento	Evaluación y ajuste de estrategias

*Nota.* Elaboración propia basada en fundamentos del aprendizaje cognitivo (UNESCO, 2021; OCDE, 2022).

La tabla sintetiza que estos procesos permiten reconocer que el razonamiento matemático no depende únicamente del dominio de contenidos, sino de la interacción entre diversas capacidades cognitivas. Cuando estas se desarrollan de manera articulada, el estudiante logra enfrentar situaciones con mayor claridad, precisión y autonomía. Este enfoque favorece un aprendizaje más profundo, en el que el conocimiento se construye a partir del análisis, la reflexión y la toma de decisiones fundamentadas.

### 1.3.2. Funciones ejecutivas en la resolución de problemas

Las funciones ejecutivas constituyen un conjunto de habilidades cognitivas que permiten dirigir el pensamiento hacia la resolución de situaciones que requieren análisis, organización y toma de decisiones. Su participación resulta esencial en matemáticas, donde el estudiante debe estructurar procesos, anticipar resultados y ajustar sus acciones en función de la información disponible. Estas capacidades favorecen un desempeño más reflexivo, alejándose de respuestas impulsivas y promoviendo un abordaje más estratégico frente a los desafíos planteados.

Dentro de este conjunto, la planificación permite organizar los pasos necesarios para abordar una situación, estableciendo una secuencia lógica que orienta el proceso de resolución. A esto se suma el control inhibitorio, que posibilita descartar respuestas inmediatas que no resultan adecuadas, evitando errores asociados a la impulsividad. La UNESCO (2021) resalta que el desarrollo de estas habilidades contribuye a una comprensión más consciente, al favorecer procesos de análisis que requieren control y regulación cognitiva.

La flexibilidad cognitiva introduce la capacidad de modificar estrategias cuando las condiciones lo exigen, lo que resulta especialmente útil ante situaciones que no responden a esquemas predefinidos. De manera paralela, la memoria de trabajo permite mantener activa la información necesaria durante el proceso, facilitando la coordinación de múltiples elementos. En este entramado también intervienen procesos como la monitorización y la autorregulación, que permiten al estudiante evaluar su desempeño y realizar ajustes en tiempo real, fortaleciendo así la eficacia en la resolución.

**Tabla 3***Funciones ejecutivas en la resolución de problemas matemáticos*

<b>Función ejecutiva</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicación en matemáticas</b>
Planificación	Organización de acciones y estrategias	Secuenciación de pasos para resolver problemas
Control inhibitorio	Regulación de respuestas impulsivas	Evitar errores por respuestas rápidas
Flexibilidad cognitiva	Capacidad de cambiar de estrategia	Adaptación ante nuevos enfoques
Memoria de trabajo	Manejo temporal de información	Seguimiento de procedimientos complejos
Toma de decisiones	Elección de la mejor alternativa	Selección de estrategias adecuadas

*Nota.* Elaboración propia basada en fundamentos del aprendizaje cognitivo (UNESCO, 2021; OCDE, 2022).

El fortalecimiento de estas funciones permite comprender que la resolución de problemas no depende únicamente del dominio conceptual, sino de la capacidad de gestionar los propios procesos mentales. A medida que estas habilidades se desarrollan, el estudiante logra enfrentar situaciones con mayor claridad, adaptarse a nuevas condiciones y tomar decisiones fundamentadas. Este enfoque favorece un aprendizaje más sólido, donde el pensamiento matemático se construye desde la reflexión, el análisis y la regulación consciente de la acción.



La transferencia también implica un nivel de abstracción que permite generalizar principios y aplicarlos en contextos diversos. En matemáticas, esto se evidencia cuando un procedimiento aprendido se adapta a una situación diferente, manteniendo su estructura esencial. Esta habilidad favorece la autonomía del estudiante, ya que le permite enfrentar nuevos desafíos sin depender exclusivamente de ejemplos previos. Además, contribuye al desarrollo del pensamiento estratégico, al facilitar la selección de herramientas adecuadas según las características de la situación.

Desde una perspectiva educativa, promover la transferencia de conocimiento implica diseñar experiencias que inviten a establecer conexiones entre disciplinas. La OCDE (2022) señala que la capacidad de aplicar conocimientos en contextos diversos es una de las competencias más relevantes en la formación actual. En este sentido, el aprendizaje matemático adquiere mayor sentido cuando se vincula con otras áreas, permitiendo comprender la realidad desde una mirada más amplia y articulada.

#### **1.3.4. Aprendizaje significativo en entornos integrados**

El aprendizaje significativo se construye cuando el estudiante logra relacionar nuevos conocimientos con saberes previos, generando una estructura cognitiva más sólida y coherente. En entornos donde convergen distintas áreas del conocimiento, esta relación adquiere mayor relevancia, ya que permite interpretar la información desde múltiples perspectivas. La comprensión no se limita a la adquisición de conceptos, sino que implica establecer vínculos que faciliten su uso en diversas situaciones. Este tipo de aprendizaje favorece una apropiación más profunda, al situar los contenidos en contextos que les otorgan sentido.

Las experiencias que promueven este tipo de aprendizaje suelen caracterizarse por su cercanía con la realidad del estudiante. Cuando los contenidos se presentan en escenarios reconocibles, se facilita la conexión con conocimientos previos, lo que fortalece la comprensión.

Esta dinámica permite que el estudiante no solo entienda los conceptos, sino que también los utilice para interpretar situaciones y tomar decisiones. La UNESCO (2021) señala que los aprendizajes adquieren mayor valor cuando se vinculan con experiencias relevantes, lo que favorece su permanencia en el tiempo.

La construcción de significados también se ve favorecida por la interacción con otros, ya que el intercambio de ideas permite contrastar perspectivas y enriquecer la comprensión. A través del diálogo y la colaboración, los estudiantes pueden reorganizar sus conocimientos, identificar errores y fortalecer sus argumentos. Este proceso contribuye a una comprensión más elaborada, en la que el conocimiento se construye de manera progresiva. Además, permite desarrollar habilidades comunicativas que resultan fundamentales en contextos donde se requiere argumentar y justificar ideas.

Promover este tipo de aprendizaje implica diseñar experiencias que favorezcan la conexión, la reflexión y la aplicación del conocimiento. La OCDE (2022) destaca la importancia de generar entornos que permitan a los estudiantes utilizar lo aprendido en distintos contextos. De este modo, el aprendizaje significativo no solo fortalece la comprensión, sino que también contribuye al desarrollo de una formación más flexible, en la que el conocimiento puede adaptarse a diferentes situaciones.

### **1.3.5. Neuroeducación aplicada a STEAM**

La neuroeducación aporta un marco científico que permite comprender cómo el cerebro procesa la información en contextos de aprendizaje que requieren análisis, creatividad y toma de decisiones. Este campo integra conocimientos provenientes de la neurociencia, la psicología y la pedagogía para explicar los mecanismos implicados en la adquisición y consolidación del conocimiento. En entornos STEAM, estos aportes adquieren especial relevancia, ya que el aprendizaje implica la activación simultánea de diversas funciones cognitivas que operan de manera coordinada.

El aprendizaje matemático se fortalece cuando se activan múltiples redes neuronales que permiten relacionar conceptos, identificar patrones y construir representaciones mentales. Este proceso no ocurre de forma aislada, sino que depende de la manera en que se presentan los contenidos y de las experiencias que se generan en el aula. La UNESCO (2021) señala que comprender cómo aprenden los estudiantes resulta clave para diseñar propuestas que favorezcan el desarrollo cognitivo, especialmente en escenarios donde se requiere movilizar distintos tipos de conocimiento.

El papel de la emoción en el aprendizaje constituye otro elemento determinante. Cuando el estudiante se enfrenta a experiencias que despiertan interés o curiosidad, se activan procesos neuroquímicos que favorecen la atención y la memoria. La motivación no solo impulsa la participación, sino que también facilita la retención de la información, lo que contribuye a una comprensión más duradera. En este sentido, las experiencias que combinan exploración, creatividad y resolución de situaciones favorecen un mayor nivel de implicación, fortaleciendo el proceso de aprendizaje.

Desde otra perspectiva, la plasticidad cerebral permite comprender cómo el cerebro se adapta y reorganiza en función de las experiencias. Este principio explica por qué la práctica, la retroalimentación y la repetición en contextos significativos contribuyen al fortalecimiento de las conexiones neuronales. Mora (2021) sostiene que el aprendizaje se consolida cuando existe una experiencia emocionalmente relevante, lo que refuerza la importancia de diseñar entornos que generen interés y participación activa. Este enfoque permite comprender que el aprendizaje no depende únicamente del contenido, sino de la forma en que se experimenta.

El análisis de estos procesos permite reconocer que el aprendizaje en contextos STEAM involucra una interacción constante entre aspectos cognitivos y emocionales. La OCDE (2022) destaca que las propuestas educativas deben considerar estos elementos para favorecer una comprensión más efectiva. Cuando se diseñan experiencias que

estimulan distintas áreas del cerebro, se facilita la construcción de conocimientos más sólidos y transferibles.

Considerar los aportes de la neuroeducación permite diseñar experiencias que favorezcan una mayor comprensión y participación del estudiante. Al reconocer cómo se procesa la información, se pueden proponer estrategias que potencien la atención, la memoria y la reflexión. De esta manera, el aprendizaje matemático se construye a partir de experiencias que combinan análisis, emoción y acción, favoreciendo el desarrollo de habilidades que permiten comprender y actuar en contextos diversos.

#### **1.4. Enfoques pedagógicos contemporáneos para STEAM**

Las propuestas pedagógicas actuales responden a la necesidad de transformar las prácticas educativas tradicionales, orientándolas hacia procesos en los que el estudiante asume un papel activo en la construcción del conocimiento. Este cambio supone dejar atrás modelos centrados exclusivamente en la transmisión de contenidos para dar paso a experiencias que promuevan la exploración, el análisis y la participación constante. Dentro del enfoque STEAM, esta orientación adquiere especial relevancia, ya que el aprendizaje se construye a partir de la interacción con situaciones que requieren comprensión, toma de decisiones y aplicación del conocimiento en contextos diversos.

Estas perspectivas educativas se sustentan en principios que priorizan la autonomía, la reflexión y la implicación del estudiante en su propio proceso formativo. En lugar de limitarse a recibir información, se favorece la participación en actividades que exigen interpretar, argumentar y construir respuestas fundamentadas. Esta dinámica permite que los contenidos se vinculen con experiencias concretas, lo que fortalece la comprensión. La UNESCO (2021) destaca que la participación activa favorece el desarrollo de habilidades cognitivas y sociales en entornos educativos complejos.

En este escenario, el docente redefine su función, orientándose hacia la mediación y el acompañamiento del aprendizaje. Su labor se centra en generar condiciones que faciliten la exploración, el cuestionamiento y la construcción de conocimiento. Esta forma de interacción favorece un ambiente en el que se valora el intercambio de ideas y la diversidad de perspectivas. El trabajo conjunto entre estudiantes adquiere un papel relevante, ya que permite enriquecer la comprensión a partir del diálogo y la confrontación de puntos de vista.

Las metodologías vinculadas a estos enfoques promueven la resolución de situaciones abiertas, el trabajo colaborativo y la reflexión continua. A través de estas prácticas se fortalecen habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad y la capacidad de adaptación. La OCDE (2022) señala que la educación debe orientarse hacia el desarrollo de competencias que permitan enfrentar contextos cambiantes, lo que exige propuestas dinámicas y contextualizadas.

La enseñanza, desde esta perspectiva, se configura como un proceso en constante construcción, donde el conocimiento se desarrolla a partir de la experiencia, el análisis y la interacción. Los contenidos dejan de concebirse como elementos aislados para convertirse en herramientas que permiten comprender y actuar frente a distintas situaciones. De esta manera, los enfoques pedagógicos contemporáneos contribuyen a una formación más integral, en la que el estudiante adquiere recursos para interpretar, analizar y responder a los desafíos del entorno.



### 1.4.1. Aprendizaje activo y constructivismo

El aprendizaje activo se sustenta en la participación directa del estudiante en la construcción del conocimiento, desplazando el énfasis desde la recepción pasiva hacia la interacción constante con los contenidos. Esta perspectiva encuentra su fundamento en el constructivismo, corriente que sostiene que el conocimiento no se transmite de manera literal, sino que se construye a partir de la experiencia, la reflexión y la reorganización de ideas previas. Bajo esta visión, el estudiante deja de ser un receptor de información para convertirse en protagonista de su propio proceso formativo, lo que favorece una comprensión más profunda y duradera.



La actividad del estudiante no se limita a la ejecución de tareas, sino que implica interpretar, analizar y tomar decisiones frente a situaciones que requieren comprensión. Este tipo de participación favorece la construcción de significados, ya que permite relacionar los nuevos conocimientos con estructuras previas. La UNESCO (2021) resalta que los entornos educativos deben promover experiencias donde el estudiante participe activamente, fortaleciendo su capacidad de análisis y reflexión.

Desde esta perspectiva, el error adquiere un valor formativo, al convertirse en una oportunidad para revisar ideas, ajustar estrategias y profundizar en la comprensión. El proceso de aprendizaje se construye a partir de la exploración y la reflexión, lo que permite que el estudiante desarrolle una actitud crítica frente al conocimiento. Este enfoque favorece la autonomía, ya que el estudiante aprende a identificar sus dificultades y a buscar alternativas para superarlas, fortaleciendo su capacidad de autorregulación.

La aplicación de estos principios en entornos STEAM permite generar experiencias donde el conocimiento se construye a través de la acción. La OCDE (2022) señala que las metodologías activas contribuyen al desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico y la resolución de situaciones complejas.

Este tipo de experiencias favorece la conexión entre teoría y práctica, permitiendo que los contenidos adquieran mayor sentido.

Asumir el aprendizaje activo como base del proceso educativo implica reconocer que el conocimiento se construye a partir de la interacción con el entorno, la reflexión y la experiencia. Esta forma de trabajo favorece una comprensión más sólida, ya que el estudiante no solo adquiere información, sino que la transforma y la utiliza en distintos contextos. De esta manera, el constructivismo se consolida como un enfoque que potencia el desarrollo de habilidades necesarias para enfrentar escenarios complejos con mayor autonomía y criterio.

### 1.4.2. Aprendizaje basado en retos (Challenge-Based Learning)

El aprendizaje basado en retos plantea una forma de trabajo donde los estudiantes enfrentan situaciones que requieren análisis, creatividad y toma de decisiones para ser resueltas. A diferencia de propuestas centradas en ejercicios estructurados, este enfoque sitúa al estudiante ante problemáticas abiertas que demandan investigación, interpretación y construcción de soluciones. Estas experiencias favorecen una comprensión más profunda, ya que el conocimiento se construye en función de su utilidad para abordar una situación concreta, lo que otorga mayor sentido al proceso formativo.

La naturaleza de los retos implica considerar múltiples variables, lo que exige un pensamiento flexible capaz de adaptarse a distintas condiciones. El estudiante debe explorar alternativas, contrastar información y evaluar posibles resultados antes de tomar decisiones. Este tipo de dinámica fortalece habilidades cognitivas de orden superior, al promover procesos de análisis y reflexión continua. La UNESCO (2021) destaca la importancia de generar experiencias educativas que involucren activamente al estudiante en la resolución de situaciones significativas.

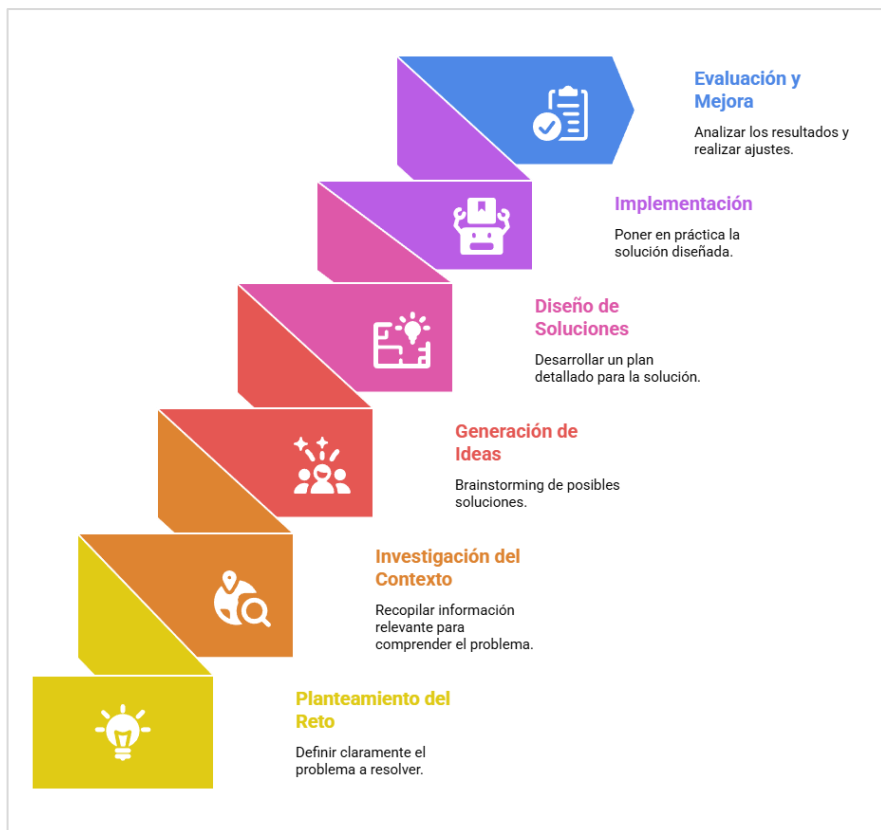
La interacción con retos también favorece el desarrollo de habilidades sociales, ya que muchas de estas experiencias se desarrollan en equipo. El intercambio de ideas permite enriquecer los planteamientos, identificar nuevas perspectivas y construir soluciones más completas. La discusión y el debate contribuyen a fortalecer la argumentación, permitiendo que el estudiante justifique sus decisiones y comprenda distintos enfoques frente a una misma situación. Este proceso fomenta una participación más activa y reflexiva en el aprendizaje.

El uso de retos en entornos STEAM permite vincular el conocimiento matemático con situaciones que requieren diseño, análisis y toma de decisiones. La OCDE (2022) señala que este tipo de experiencias favorece el desarrollo de competencias relacionadas con la resolución

de problemas y la innovación. A través de estos procesos, el aprendizaje adquiere un carácter más dinámico, donde los contenidos se utilizan como herramientas para comprender y actuar sobre el entorno.

**Figura 2**

*Estructura del aprendizaje basado en retos en STEAM*



*Nota.* Elaboración propia basada en metodologías activas (UNESCO, 2021; OCDE, 2022).

La secuencia representada permite comprender que el aprendizaje basado en retos se desarrolla mediante un proceso dinámico que involucra exploración, análisis y mejora constante. Cada fase contribuye a la construcción del conocimiento, favoreciendo la revisión de ideas y la toma de decisiones fundamentadas. Este enfoque permite que el estudiante no solo resuelva una situación específica, sino que desarrolle habilidades transferibles a distintos contextos, fortaleciendo su capacidad para enfrentar escenarios complejos.

### **1.4.3. Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) en STEAM**

El Diseño Universal para el Aprendizaje propone una organización de la enseñanza que reconoce la diversidad desde el inicio del proceso formativo. En lugar de incorporar ajustes posteriores, este enfoque plantea ofrecer múltiples formas de acceso al conocimiento, considerando que cada estudiante procesa la información de manera distinta. Esta perspectiva favorece la construcción de experiencias más inclusivas, donde se amplían las posibilidades de participación y comprensión. En entornos STEAM, esta orientación resulta especialmente pertinente, ya que las actividades implican distintos niveles de complejidad y formas de interacción con los contenidos.

Una de las bases del DUA se centra en la diversificación de las formas de presentar la información. El uso de recursos visuales, auditivos y prácticos permite facilitar la comprensión, especialmente en áreas donde la abstracción puede representar una dificultad. Esta variedad de representaciones contribuye a que los estudiantes encuentren distintas vías para acceder al conocimiento, fortaleciendo su implicación en el proceso de aprendizaje. La UNESCO (2021) destaca la importancia de diseñar entornos educativos que respondan a la diversidad, favoreciendo aprendizajes accesibles y significativos.

Otra dimensión relevante se relaciona con las formas en que los estudiantes pueden expresar lo aprendido. El DUA promueve la posibilidad de demostrar el conocimiento a través de distintos medios, lo que permite reconocer diversas habilidades y estilos de aprendizaje.

Esta flexibilidad contribuye a una participación más equitativa, evitando que la evaluación se limite a un único formato. Además, permite valorar el proceso de aprendizaje desde múltiples perspectivas, fortaleciendo la confianza y la motivación del estudiante.

La aplicación de este enfoque en contextos STEAM favorece la construcción de experiencias más flexibles, donde el conocimiento se adapta a las características de quienes aprenden. La OCDE (2022) señala que los entornos educativos deben promover la participación y la autonomía, elementos clave para el desarrollo de habilidades en contextos dinámicos. Esta perspectiva contribuye a una formación más inclusiva, donde se amplían las oportunidades de comprensión y participación, fortaleciendo el aprendizaje en su conjunto.

#### **1.4.4. Gamificación en la enseñanza matemática**

La gamificación propone una forma de dinamizar el aprendizaje mediante la incorporación de elementos propios del juego en contextos educativos, generando experiencias que despiertan interés y participación. En el ámbito matemático, esta estrategia permite transformar actividades tradicionales en desafíos que invitan a analizar, explorar y resolver situaciones desde una perspectiva más activa. Lejos de simplificar los contenidos, esta propuesta favorece un acercamiento distinto, donde el estudiante se involucra en procesos que requieren razonamiento, toma de decisiones y construcción de soluciones.

El carácter lúdico de estas dinámicas favorece la motivación, ya que plantea escenarios donde se establecen metas, niveles de progreso y retroalimentación constante. Esta estructura permite mantener el interés y promover la persistencia frente a la dificultad, aspecto especialmente relevante en matemáticas. Diversas investigaciones han evidenciado que estas estrategias generan un impacto positivo en la implicación del estudiante, favoreciendo tanto el rendimiento como la participación en el proceso de aprendizaje.

La mejora de estas experiencias también contribuye al fortalecimiento de habilidades cognitivas, al requerir análisis, comparación de alternativas y ajuste de estrategias. A medida que el estudiante interactúa con situaciones que implican toma de decisiones, se favorece una comprensión más profunda de los conceptos. Además, la interacción con otros participantes permite contrastar ideas y enriquecer los planteamientos, lo que fortalece la argumentación y el pensamiento crítico.

Este enfoque favorece una relación más cercana con el conocimiento matemático, al situarlo en escenarios que requieren acción, reflexión y adaptación. Las actividades dejan de percibirse como ejercicios aislados y se convierten en experiencias que demandan comprensión y aplicación. De esta manera, la gamificación contribuye a generar un aprendizaje más dinámico, donde el estudiante asume un papel activo y desarrolla habilidades que le permiten enfrentar situaciones con mayor autonomía y criterio.

#### **1.4.5. Aprendizaje colaborativo interdisciplinar**

El aprendizaje colaborativo interdisciplinar se configura como una estrategia que promueve la construcción conjunta del conocimiento a partir del intercambio de ideas y la participación activa de los estudiantes. Esta dinámica favorece la interacción entre diferentes perspectivas, lo que permite abordar situaciones desde enfoques diversos y enriquecer la comprensión. En el ámbito matemático, el trabajo en equipo facilita la discusión de procedimientos, la comparación de estrategias y la elaboración de soluciones más fundamentadas, lo que fortalece el desarrollo del razonamiento.

La interacción entre estudiantes permite generar un espacio donde el conocimiento se construye a partir del diálogo y la confrontación de ideas. Cada participante aporta experiencias y formas de pensar que contribuyen a ampliar la comprensión del grupo. Esta dinámica favorece la argumentación, ya que los estudiantes deben justificar sus planteamientos y considerar otras alternativas. La UNESCO (2021)

señala que el aprendizaje se fortalece cuando se desarrolla en entornos donde se promueve la cooperación y el intercambio.

Estas capacidades resultan fundamentales en contextos donde se requiere coordinar acciones y construir soluciones de manera conjunta. A través de esta interacción, los estudiantes aprenden a escuchar, negociar y llegar a acuerdos, lo que favorece una participación más consciente y respetuosa.

Este enfoque favorece una comprensión más amplia del conocimiento, al permitir que los contenidos se analicen desde distintas perspectivas. La OCDE (2022) destaca la importancia de desarrollar habilidades que permitan trabajar de manera colaborativa en contextos complejos. De esta forma, el aprendizaje colaborativo interdisciplinar no solo fortalece la comprensión matemática, sino que también impulsa el desarrollo de competencias necesarias para desenvolverse en entornos donde la interacción y el trabajo conjunto resultan esenciales.



## 1.5. Rol del docente en la integración STEAM

La labor del docente en contextos STEAM adquiere una dimensión distinta, ya que su función trasciende la transmisión de contenidos para orientarse hacia la mediación del aprendizaje. Esta transformación implica asumir un papel activo en la organización de experiencias que permitan al estudiante explorar, analizar y construir conocimiento a partir de situaciones significativas. La enseñanza se convierte en un proceso dinámico donde el docente guía, acompaña y orienta, favoreciendo una participación más consciente por parte del estudiante.

Dentro de este escenario, resulta fundamental generar condiciones que estimulen la curiosidad y el interés por aprender. El docente diseña situaciones que invitan a investigar, cuestionar y proponer soluciones, promoviendo un ambiente donde el aprendizaje se construye a partir de la interacción con el entorno. La UNESCO (2021) destaca la importancia de promover prácticas educativas que favorezcan la participación activa y el desarrollo de habilidades cognitivas y sociales.

La mediación docente también implica orientar el proceso de aprendizaje mediante la formulación de preguntas, la retroalimentación constante y el acompañamiento en la construcción de soluciones. Esta intervención permite que el estudiante reflexione sobre sus decisiones, identifique errores y ajuste sus estrategias. La interacción entre docente y estudiante favorece una comprensión más profunda, al generar espacios de diálogo que enriquecen el proceso formativo.

Otro aspecto relevante se relaciona con la capacidad de adaptar las experiencias educativas a las características del grupo. El docente considera las diferencias individuales, los ritmos de aprendizaje y las formas de interacción con el conocimiento, lo que permite generar propuestas más inclusivas. Esta flexibilidad favorece la participación de todos los estudiantes, contribuyendo a una construcción más equitativa del aprendizaje.

La OCDE (2022) señala que el docente desempeña un papel clave en la formación de habilidades necesarias para enfrentar contextos complejos. Su intervención no solo orienta el aprendizaje, sino que también impulsa el desarrollo de capacidades como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de situaciones. De esta manera, su rol se consolida como un elemento fundamental en la construcción de experiencias educativas que favorecen una comprensión más amplia y significativa del conocimiento.

### **1.5.1. Docente como facilitador del aprendizaje interdisciplinar**

La figura del docente como facilitador implica un cambio sustancial en la dinámica educativa, donde su intervención se orienta a crear condiciones que favorezcan la construcción del conocimiento por parte del estudiante. Esta función no se limita a explicar contenidos, sino que busca guiar procesos en los que los estudiantes relacionan saberes, analizan información y elaboran respuestas fundamentadas. En escenarios donde convergen distintas disciplinas, esta mediación resulta clave para ayudar a establecer conexiones que permitan comprender los fenómenos desde una perspectiva más amplia.

La formulación de preguntas, la retroalimentación oportuna y la generación de espacios de reflexión permiten que el estudiante avance en la comprensión de los contenidos. Este tipo de intervención favorece el desarrollo de habilidades cognitivas, ya que promueve el análisis, la interpretación y la toma de decisiones. La UNESCO (2021) resalta la importancia de prácticas educativas que impulsen la participación activa y la construcción del conocimiento.

El diálogo en el aula contribuye a generar un ambiente donde el aprendizaje se construye de manera compartida. A través del intercambio de ideas, se amplían las perspectivas y se fortalecen los procesos de argumentación. Esta dinámica fomenta la autonomía, ya que el estudiante aprende a cuestionar, justificar y sostener sus planteamientos, desarrollando mayor seguridad al enfrentar situaciones complejas.

La función del docente también implica reconocer la diversidad presente en el aula y ajustar las experiencias de aprendizaje en función de las necesidades de los estudiantes. Esta atención a las diferencias permite generar propuestas más inclusivas, donde se amplían las oportunidades de participación. La OCDE (2022) destaca que el acompañamiento docente resulta fundamental para el desarrollo de habilidades que permiten desenvolverse en contextos diversos y cambiantes.

### **1.5.2. Competencias pedagógicas STEAM**

El progreso de competencias pedagógicas vinculadas a STEAM exige que el docente cuente con una preparación que le permita orientar procesos de aprendizaje en contextos complejos y cambiantes. Estas competencias no se limitan al dominio de contenidos, sino que abarcan la capacidad de diseñar experiencias, guiar procesos y promover el desarrollo de habilidades en los estudiantes. Esta preparación implica comprender cómo se construye el conocimiento en escenarios donde convergen distintas áreas, favoreciendo una enseñanza más dinámica y contextualizada.

Entre las competencias más relevantes se encuentra la capacidad de planificar experiencias de aprendizaje que permitan abordar situaciones desde múltiples perspectivas. Esta habilidad implica seleccionar estrategias adecuadas, organizar recursos y estructurar actividades que favorezcan la comprensión. La UNESCO (2021) señala que la formación docente debe orientarse hacia el desarrollo de capacidades que permitan responder a la diversidad de contextos educativos, fortaleciendo la calidad del proceso formativo.

Otra dimensión importante se relaciona con la mediación pedagógica, entendida como la capacidad de orientar el aprendizaje mediante preguntas, retroalimentación y acompañamiento constante. Esta competencia favorece la construcción del conocimiento, ya que permite al estudiante reflexionar sobre sus procesos y ajustar sus estrategias. A su vez, la capacidad de fomentar la participación activa

contribuye a generar un ambiente donde el aprendizaje se construye de manera más significativa.

La adaptación a contextos diversos constituye una competencia clave en escenarios educativos actuales. El docente debe reconocer las características de los estudiantes, sus ritmos de aprendizaje y sus formas de comprender la información, lo que permite diseñar propuestas más inclusivas. La OCDE (2022) destaca la importancia de desarrollar habilidades que permitan responder a contextos cambiantes, favoreciendo una enseñanza flexible y pertinente.

**Tabla 4**

*Competencias pedagógicas STEAM del docente*

Competencia	Descripción	Aplicación en el aula
Planificación didáctica	Organización de experiencias de aprendizaje	Diseño de actividades contextualizadas
Mediación pedagógica	Orientación del proceso de aprendizaje	Retroalimentación y formulación de preguntas
Adaptación a la diversidad	Ajuste de estrategias según necesidades	Atención a distintos ritmos de aprendizaje
Fomento de la participación	Promoción de la implicación del estudiante	Actividades activas y reflexivas
Evaluación formativa	Seguimiento del aprendizaje	Ajuste de estrategias pedagógicas

*Nota.* Elaboración propia basada en lineamientos educativos contemporáneos (UNESCO, 2021; OCDE, 2022).

La tabla ilustra un conjunto de capacidades que orientan la práctica docente hacia escenarios más dinámicos y pertinentes, donde la planificación, la mediación y la evaluación se articulan para favorecer la comprensión. Estas competencias permiten al docente diseñar experiencias que responden a la diversidad del aula, promoviendo la participación y el desarrollo de habilidades cognitivas. A partir de esta base, la enseñanza se configura como un proceso que impulsa la reflexión, la aplicación del conocimiento y la construcción de aprendizajes más sólidos.

### **1.5.3. Mediación didáctica en entornos tecnológicos**

La mediación didáctica en entornos tecnológicos supone orientar el aprendizaje mediante el aprovechamiento intencionado de recursos digitales que faciliten la comprensión y el análisis. Este proceso exige una planificación cuidadosa que permita vincular las herramientas con los objetivos formativos, evitando su uso como un fin en sí mismo. En este escenario, los recursos tecnológicos posibilitan el acceso a información diversa, la representación de conceptos complejos y la exploración de situaciones que, en otros contextos, resultarían difíciles de abordar. De este modo, el aprendizaje se construye a partir de experiencias que combinan análisis, observación y reflexión, fortaleciendo la comprensión del estudiante.

La labor docente se orienta a guiar el acceso y tratamiento de la información disponible en entornos digitales. La abundancia de recursos requiere desarrollar criterios que permitan seleccionar contenidos pertinentes y analizarlos de manera crítica. Esta orientación favorece la construcción de conocimiento, ya que el estudiante aprende a discriminar información, identificar fuentes confiables y organizar datos de forma coherente. La UNESCO (2021) destaca la necesidad de promover competencias que permitan interpretar y utilizar la información en contextos diversos, lo que resulta fundamental en escenarios mediados por tecnología.

Las experiencias que se generan a través de estos recursos permiten representar fenómenos, simular situaciones y analizar resultados desde distintas perspectivas. Este tipo de trabajo favorece la comprensión, ya que facilita la visualización de conceptos y la experimentación en tiempo real. La posibilidad de interactuar con contenidos dinámicos contribuye a que el estudiante establezca relaciones, identifique patrones y construya explicaciones más elaboradas. Estas dinámicas favorecen un aprendizaje más activo, donde el conocimiento se desarrolla a partir de la exploración y el análisis.

La OCDE (2022) señala que los entornos educativos deben propiciar el desarrollo de habilidades que permitan utilizar los recursos digitales de manera efectiva. Desde esta perspectiva, la mediación didáctica adquiere un papel fundamental, ya que orienta el proceso de aprendizaje hacia la comprensión y la aplicación del conocimiento. A través de una guía adecuada, la tecnología se convierte en un recurso que favorece la reflexión, el análisis y la construcción de aprendizajes más sólidos, contribuyendo al desarrollo de habilidades necesarias para enfrentar contextos complejos.



#### 1.5.4. Gestión del aula STEAM

La gestión del aula en entornos STEAM requiere una organización que favorezca la participación activa, la exploración y el trabajo con situaciones abiertas. Este tipo de dinámica implica estructurar el espacio, el tiempo y los recursos de manera flexible, permitiendo que los estudiantes desarrollen actividades que combinan análisis, diseño y resolución de problemas. A diferencia de modelos tradicionales, donde el control recae principalmente en el docente, aquí se promueve una distribución más dinámica de responsabilidades, en la que los estudiantes asumen un rol más activo en su proceso de aprendizaje. Esta organización favorece un ambiente consensuado, crítico y empático donde el conocimiento se construye a partir de la experiencia y la reflexión.

La disposición del espacio juega un papel relevante en este tipo de contextos, ya que influye en la forma en que se desarrollan las actividades. La organización del aula debe facilitar el trabajo en equipo, la circulación de ideas y el acceso a recursos diversos. Un entorno bien estructurado permite que los estudiantes trabajen con materiales, compartan planteamientos y construyan soluciones de manera conjunta. La UNESCO (2021) destaca la importancia de generar ambientes que favorezcan la participación y el desarrollo de habilidades en contextos educativos complejos.

La gestión del tiempo constituye otro elemento clave, ya que las actividades en estos entornos suelen requerir procesos de exploración, análisis y ajuste continuo. La planificación debe contemplar momentos para investigar, diseñar, probar y reflexionar, evitando estructuras rígidas que limiten el desarrollo de las experiencias. Este tipo de organización permite que los estudiantes avancen a su propio ritmo, favoreciendo una comprensión más profunda. Asimismo, contribuye a que el proceso tenga mayor relevancia que el resultado final, fortaleciendo el aprendizaje a partir de la experiencia.

Una organización adecuada del aula no solo facilita el desarrollo de actividades, sino que también incide en la calidad del aprendizaje. La OCDE (2022) resalta la necesidad de promover entornos que favorezcan la autonomía y la adaptación; sin embargo, estos elementos se consolidan cuando el docente logra articular espacio, tiempo y recursos en función de los objetivos formativos. De esta manera, la gestión del aula se convierte en un componente estratégico que permite sostener procesos de aprendizaje dinámicos, donde la participación, el análisis y la construcción de soluciones se desarrollan de manera equilibrada y coherente.

### **1.5.5. Formación docente continua en innovación educativa**

La formación docente continua en innovación educativa se configura como un proceso necesario para responder a las transformaciones que atraviesan los sistemas educativos en la actualidad. La rapidez con la que evolucionan las tecnologías, las metodologías y las demandas sociales exige que el docente mantenga una actualización permanente que le permita adaptar su práctica a nuevos escenarios. Esta preparación no se limita a la adquisición de conocimientos teóricos, sino que implica el desarrollo de habilidades que faciliten la adaptación, la reflexión y la mejora constante de la enseñanza.

El fortalecimiento profesional requiere espacios que promuevan la reflexión sobre la práctica pedagógica, permitiendo analizar experiencias, identificar dificultades y proponer mejoras. Este tipo de procesos favorece una comprensión más profunda de la enseñanza, al permitir que el docente cuestione sus propias estrategias y explore nuevas alternativas. La UNESCO (2021) destaca la importancia de generar oportunidades de formación que impulsen el desarrollo profesional y la calidad educativa, especialmente en contextos que demandan innovación.

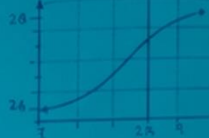
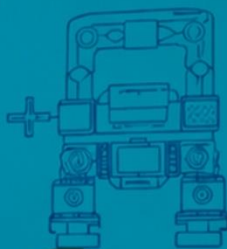
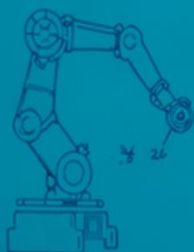
El acceso a comunidades de aprendizaje, redes profesionales y espacios de colaboración permite enriquecer la práctica docente a partir del intercambio de experiencias. La participación en estos entornos favorece la actualización de conocimientos y la incorporación de nuevas perspectivas, lo que contribuye a mejorar la calidad de la enseñanza. Además, posibilita el desarrollo de una visión más amplia, donde el docente no solo aprende de manera individual, sino que construye conocimiento en conjunto con otros profesionales.

La formación continua adquiere mayor sentido cuando el docente comprende cómo aprenden sus estudiantes y adapta su práctica en función de ello. En este proceso, los aportes de la neuroeducación permiten orientar la enseñanza hacia experiencias más significativas, donde se consideran factores cognitivos y emocionales. Como señala Mora (2021), el aprendizaje se fortalece cuando se vincula con la motivación, la curiosidad y la experiencia, lo que resalta la importancia de diseñar propuestas que despierten interés y favorezcan la participación activa. Desde esta perspectiva, el desarrollo profesional no solo implica actualizar conocimientos, sino también transformar la práctica pedagógica para responder de manera más efectiva a las necesidades del contexto educativo.

$$x(k) = x(k-1) + u(k)$$
$$y(k) = x(k-1) - Ky(k)$$

$$\sum F = ma, y = \frac{x}{\omega t}$$

$$\theta = \omega t, s = r\theta$$



$$x(k) = x(k-1) + u(k)$$

$$y(k) = y(k-1) - Ky(k)$$

$$\sum F = ma, y = \frac{x}{\omega t}$$

$$\theta = \omega t, s = r\theta$$



## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS APLICADOS A LA ROBÓTICA EDUCATIVA

## CAPÍTULO 2: Fundamentos Matemáticos Aplicados a la Robótica Educativa

El desarrollo de sistemas robóticos en contextos educativos exige comprender cómo las matemáticas se convierten en una herramienta esencial para interpretar, modelar y controlar procesos automatizados. Lejos de limitarse a operaciones abstractas, los conceptos matemáticos adquieren un carácter aplicado que permite estructurar el comportamiento de un sistema en función de variables observables. En este sentido, el pensamiento lógico-matemático se posiciona como una base fundamental, ya que facilita la organización de información, la construcción de secuencias y la formulación de soluciones coherentes. Tal como se evidencia en el abordaje inicial del capítulo, este tipo de razonamiento permite establecer relaciones entre datos y diseñar procesos que orientan el funcionamiento de sistemas programables.

La relación entre matemáticas y robótica se manifiesta en la necesidad de representar situaciones reales mediante modelos que permitan anticipar comportamientos y ajustar acciones. Esta articulación favorece una comprensión más profunda, ya que los conceptos dejan de ser elementos aislados y se integran en procesos que requieren análisis, interpretación y toma de decisiones. Grover y Pea (2020) destacan que la estructuración de relaciones entre variables fortalece el pensamiento computacional, lo que resulta clave cuando se diseñan soluciones que deben responder a condiciones cambiantes.

El contenido desarrollado en este capítulo aborda distintos campos matemáticos que sustentan el funcionamiento de los sistemas robóticos, entre ellos la lógica, el álgebra, la geometría y la estadística. Cada uno de estos ámbitos aporta herramientas específicas que permiten comprender diferentes dimensiones del sistema. La lógica permite estructurar decisiones, el álgebra facilita la representación de relaciones entre variables, la geometría contribuye a interpretar el espacio y el movimiento, mientras que la estadística permite organizar

y comprender la información generada durante el funcionamiento del sistema. Esta diversidad de enfoques permite construir una visión integral que favorece el análisis del comportamiento del robot desde múltiples perspectivas.

El estudio de estos fundamentos también permite reconocer que el movimiento de un sistema no ocurre de manera aislada, sino que responde a relaciones cuantificables que pueden describirse mediante modelos matemáticos. La capacidad de representar trayectorias, interpretar cambios en la velocidad o analizar la variación de ciertas magnitudes permite comprender el comportamiento del robot con mayor precisión. Shute et al. (2020) señalan que el aprendizaje en contextos aplicados favorece la comprensión de fenómenos complejos, especialmente cuando se integran distintas variables dentro de un mismo proceso.

A lo largo del capítulo, se propone un recorrido que conecta la teoría con su aplicación, permitiendo que cada concepto matemático se relacione con situaciones concretas dentro del funcionamiento de sistemas robóticos. Este enfoque favorece el desarrollo de habilidades relacionadas con la interpretación, la organización de la información y la resolución de problemas, elementos fundamentales en entornos tecnológicos. La posibilidad de anticipar resultados, ajustar procesos y mejorar el desempeño del sistema permite construir una comprensión más sólida y significativa.

Finalmente, este capítulo establece una base que permite comprender la robótica educativa desde una perspectiva matemática, donde cada decisión, cada movimiento y cada respuesta del sistema se fundamenta en relaciones que pueden ser analizadas y optimizadas. Este enfoque no solo fortalece el razonamiento lógico, sino que también permite desarrollar una visión más estructurada del funcionamiento de los sistemas automatizados. A partir de estos fundamentos, se sientan las bases para avanzar hacia niveles más complejos, donde la integración de conocimientos permitirá enfrentar desafíos con mayor autonomía, precisión y capacidad de adaptación.

## 2.1. Pensamiento lógico-matemático en robótica

El pensamiento lógico-matemático se posiciona como un componente esencial en la formación vinculada a la robótica educativa, debido a su capacidad para estructurar procesos, organizar información y diseñar soluciones coherentes. A través de este tipo de razonamiento, los estudiantes establecen relaciones entre datos, identifican regularidades y construyen secuencias que permiten orientar el funcionamiento de sistemas automatizados. En este contexto, la matemática deja de percibirse como un conjunto de procedimientos aislados y se proyecta como un lenguaje que permite representar y operar sobre la realidad, facilitando la construcción de modelos aplicados.

El trabajo con sistemas robóticos exige habilidades que trascienden la ejecución de instrucciones, ya que implica analizar situaciones, anticipar comportamientos y tomar decisiones fundamentadas. En esta línea, Jeannette M. Wing (2006) plantea que el pensamiento computacional constituye una forma de abordar problemas mediante la descomposición, la abstracción y el diseño de soluciones, elementos que se articulan directamente con el razonamiento matemático. Estas capacidades se fortalecen cuando los estudiantes estructuran algoritmos y ajustan procesos en función de los resultados obtenidos, consolidando un pensamiento organizado y secuencial.

La relación entre matemáticas y robótica favorece la transición desde lo abstracto hacia experiencias concretas. Al interactuar con dispositivos programables, los estudiantes logran visualizar cómo las estructuras matemáticas se traducen en acciones específicas, facilitando la construcción de significados. En este sentido, investigaciones más recientes como las de Massimo Lodi y Stefano Martini (2021) destacan que el pensamiento computacional permite integrar procesos como la modelación, el reconocimiento de patrones y la estructuración lógica, fortaleciendo la comprensión de sistemas complejos en contextos educativos.

El abordaje de tareas en robótica también impulsa la organización secuencial del pensamiento, necesaria para enfrentar situaciones que involucran múltiples variables. La formulación de algoritmos, la interpretación de datos y la evaluación de resultados permiten que los estudiantes estructuren sus ideas de manera lógica, fortaleciendo su capacidad de análisis. Este tipo de razonamiento no solo resulta útil en el ámbito tecnológico, sino que también se proyecta hacia otros contextos donde se requiere tomar decisiones fundamentadas y resolver problemas de manera eficiente.

El análisis de este tipo de pensamiento permite reconocer que su fortalecimiento depende de experiencias que integren acción, reflexión y ajuste continuo. A través de actividades que combinan diseño, experimentación y evaluación, los estudiantes desarrollan una mayor capacidad para estructurar soluciones y adaptarse a nuevas situaciones. Este apartado introduce los elementos que configuran el pensamiento lógico-matemático en robótica, los cuales se profundizan en los siguientes subtemas, abordando aspectos como la lógica proposicional, los patrones, el razonamiento algorítmico y la resolución de problemas mediante estructuras organizadas.

### **2.1.1. Lógica proposicional aplicada a algoritmos**

La lógica proposicional constituye una base esencial para la construcción de algoritmos en robótica educativa, ya que permite estructurar decisiones a partir de proposiciones que pueden evaluarse como verdaderas o falsas. Este tipo de razonamiento facilita la organización de instrucciones que orientan el comportamiento de un sistema, estableciendo condiciones claras para la ejecución de acciones. En programación, estas estructuras se traducen en sentencias condicionales que determinan el flujo de un algoritmo, permitiendo que un robot responda de manera adecuada frente a distintas situaciones del entorno.

La combinación de proposiciones mediante conectores lógicos como la conjunción, la disyunción y la negación posibilita la construcción de

condiciones más complejas. Estas operaciones permiten definir reglas que integran múltiples variables dentro de un mismo proceso decisional. En el ámbito educativo, el desarrollo de este tipo de razonamiento se vincula con el pensamiento computacional, el cual implica formular problemas y diseñar soluciones de forma estructurada. En este sentido, Lodi y Martini (2021) destacan que la lógica formal constituye un componente clave en la comprensión de algoritmos, al permitir organizar procesos mediante estructuras coherentes y verificables

En entornos de robótica educativa, estas estructuras se evidencian cuando se diseñan secuencias que dependen de condiciones específicas. Por ejemplo, un algoritmo puede establecer que, si un sensor detecta un obstáculo, entonces el sistema debe detenerse o modificar su trayectoria. Esta relación condicional refleja una proposición lógica que guía la acción del robot en función de la información recibida. De acuerdo con Grover y Pea (2020), el pensamiento computacional integra habilidades como la descomposición, la abstracción y la formulación de algoritmos, elementos que se articulan directamente con el razonamiento lógico en la resolución de problemas.

La formalización de estas estructuras favorece la claridad en la construcción de algoritmos, ya que permite representar con precisión las condiciones bajo las cuales se ejecutan determinadas acciones. Esta organización contribuye a reducir la ambigüedad y facilita la identificación de errores durante el proceso de programación. Además, posibilita que el estudiante comprenda cómo se estructuran las decisiones dentro de un sistema, fortaleciendo su capacidad de análisis y su razonamiento lógico.

Por ende, la lógica proposicional en la enseñanza de la robótica favorece el desarrollo de habilidades cognitivas vinculadas con la organización del pensamiento, la argumentación y la resolución de problemas. Al establecer condiciones, anticipar resultados y estructurar soluciones, los estudiantes desarrollan una forma de

razonamiento más rigurosa y sistemática. Este proceso permite consolidar bases sólidas para el razonamiento algorítmico, facilitando la comprensión de sistemas cada vez más complejos en contextos tecnológicos.

### **2.1.2. Secuencias, patrones y estructuras matemáticas**

Las secuencias y los patrones constituyen elementos esenciales en la construcción del pensamiento lógico-matemático aplicado a la robótica, ya que permiten organizar acciones y anticipar comportamientos dentro de un sistema. A partir de la identificación de regularidades, los estudiantes logran establecer relaciones entre eventos y construir estructuras que orientan la ejecución de instrucciones. Este proceso favorece la comprensión de cómo se articulan las acciones dentro de un algoritmo, facilitando la organización de tareas en secuencias coherentes que responden a una lógica definida.

El reconocimiento de patrones permite establecer generalizaciones que simplifican la resolución de situaciones complejas. Al identificar repeticiones o variaciones en una secuencia, los estudiantes pueden predecir resultados y ajustar comportamientos sin necesidad de analizar cada caso de manera aislada. En este sentido, el pensamiento computacional se nutre de estas habilidades, ya que implica reconocer estructuras recurrentes y utilizarlas para diseñar soluciones eficientes. Como señalan Grover y Pea (2020), la identificación de patrones constituye una habilidad clave en la formulación de algoritmos, al permitir reducir la complejidad de los problemas.

La organización de secuencias también resulta fundamental en la programación de robots, donde cada acción debe ejecutarse en un orden específico para lograr un resultado determinado. La estructuración adecuada de estas secuencias permite coordinar movimientos, procesar información y responder a estímulos del entorno. De acuerdo con Lodi y Martini (2021), la construcción de algoritmos se apoya en la capacidad de organizar pasos de manera

lógica, lo que evidencia la relación directa entre estructuras matemáticas y pensamiento computacional en contextos educativos.

**Tabla 5**

*Secuencias y patrones en robótica educativa*

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicación en robótica</b>
Secuencia lineal	Orden fijo de acciones	Movimiento recto programado
Patrón repetitivo	Repetición de una acción o conjunto	Ciclos de avance y retroceso
Patrón creciente	Incremento progresivo de valores	Aumento de velocidad en trayectorias
Patrón condicional	Secuencia basada en condiciones	Respuesta a sensores (obstáculos)
Estructura iterativa	Repetición controlada mediante ciclos	Programación con bucles (loops)

*Nota.* Elaboración propia basada en fundamentos del pensamiento computacional (Grover & Pea, 2020; Lodi & Martini, 2021).

La tabla sintetiza cómo las secuencias y los patrones permiten organizar el comportamiento de los sistemas robóticos mediante estructuras claras y predecibles. Estas formas de organización facilitan la construcción de algoritmos, al proporcionar modelos que orientan la ejecución de acciones. A partir de esta base, los estudiantes desarrollan una mayor capacidad para anticipar resultados, ajustar procesos y diseñar soluciones eficientes, fortaleciendo su razonamiento lógico y su comprensión del funcionamiento de sistemas automatizados.

### **2.1.3. Razonamiento algorítmico**

El razonamiento algorítmico se refiere a la capacidad de organizar una serie de pasos de manera lógica para resolver una situación o alcanzar un objetivo específico. En el contexto de la robótica educativa, esta habilidad permite estructurar instrucciones que guían el comportamiento de un sistema, considerando tanto el orden de las

acciones como las condiciones que influyen en su ejecución. No se trata únicamente de seguir secuencias, sino de comprender por qué cada paso es necesario y cómo se relaciona con el resultado esperado.

Cuando los estudiantes desarrollan este tipo de razonamiento, comienzan a descomponer situaciones complejas en partes más manejables, lo que facilita su análisis y resolución. Este proceso implica identificar elementos clave, establecer relaciones entre ellos y definir una secuencia de acciones coherente. Grover y Pea (2020) destacan que la formulación de algoritmos constituye una de las habilidades centrales del pensamiento computacional, ya que permite abordar problemas de forma estructurada y sistemática, favoreciendo una comprensión más profunda de los procesos implicados.

En entornos de robótica, esta forma de pensar se evidencia cuando los estudiantes diseñan soluciones que requieren ajustar instrucciones en función de los resultados obtenidos. A medida que prueban, corrigen y refinan sus algoritmos, desarrollan una mayor capacidad para anticipar comportamientos y mejorar sus propuestas. Lodi y Martini (2021) señalan que este tipo de razonamiento no solo fortalece la comprensión de sistemas tecnológicos, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades analíticas transferibles a distintos contextos, consolidando una forma de pensamiento más organizada y flexible.

#### **2.1.4. Pensamiento computacional y matemáticas**

El pensamiento computacional se configura como una forma de abordar situaciones mediante la organización lógica de ideas, la descomposición de problemas y la construcción de soluciones estructuradas. Vinculado con las matemáticas, este tipo de razonamiento permite interpretar información, establecer conexiones entre variables y representar situaciones a través de modelos. Esta articulación favorece una comprensión más profunda, ya que los conceptos matemáticos adquieren sentido cuando se emplean para diseñar soluciones en contextos concretos.

La identificación de patrones, la abstracción y la formulación de algoritmos constituyen procesos compartidos entre ambas áreas. Estas habilidades permiten simplificar situaciones complejas y transformarlas en estructuras manejables, facilitando su análisis. Grover y Pea (2020) señalan que el pensamiento computacional actúa como una competencia transversal que fortalece la resolución de problemas en distintos contextos, al permitir organizar la información y estructurar soluciones de manera lógica.

Estas capacidades se evidencian cuando los estudiantes diseñan sistemas que requieren interpretar datos, tomar decisiones y ajustar comportamientos en función de condiciones cambiantes. La construcción de algoritmos, la modelación de situaciones y la evaluación de resultados contribuyen al desarrollo de una forma de pensamiento que combina precisión y flexibilidad. En este sentido, Shute, Sun y Asbell-Clarke (2020) destacan que el pensamiento computacional favorece habilidades cognitivas vinculadas con la resolución de problemas complejos, especialmente cuando se desarrolla en entornos de aprendizaje activos.

### **2.1.5. Resolución de problemas mediante lógica estructurada**

La resolución de problemas mediante lógica estructurada implica organizar el pensamiento a partir de secuencias claras que permiten analizar una situación, definir estrategias y ejecutar acciones de manera ordenada. Este tipo de razonamiento favorece la construcción de soluciones coherentes, ya que cada paso responde a una intención específica dentro del proceso. En el ámbito educativo, esta forma de abordar los problemas permite que los estudiantes comprendan no solo el resultado, sino también el camino seguido para alcanzarlo, fortaleciendo su capacidad de análisis y reflexión.

El proceso inicia con la identificación de los elementos que conforman la situación, seguido de la descomposición en partes más manejables. Esta organización facilita la comprensión, ya que permite centrarse en aspectos específicos antes de integrar la solución completa. A partir de

esta estructura, se establecen relaciones entre los datos, se formulan posibles estrategias y se evalúan las alternativas disponibles. Según Shute et al. (2020), la resolución de problemas complejos se ve favorecida cuando los estudiantes desarrollan habilidades para organizar la información y estructurar sus acciones de manera lógica, lo que permite abordar situaciones con mayor claridad.

Durante este proceso, la verificación y el ajuste de las soluciones adquieren un papel relevante. La posibilidad de revisar los pasos realizados permite identificar errores, corregirlos y mejorar las estrategias utilizadas. Esta dinámica contribuye a desarrollar una actitud reflexiva frente al aprendizaje, en la que el error se convierte en una oportunidad para fortalecer la comprensión. Asimismo, Grover y Pea (2020) destacan que la capacidad de estructurar soluciones de manera lógica favorece la transferencia del conocimiento a nuevos contextos, permitiendo que los estudiantes apliquen lo aprendido en situaciones diversas.

La lógica estructurada no solo facilita la resolución de problemas, sino que también fortalece el pensamiento organizado y la toma de decisiones fundamentadas. A través de este tipo de razonamiento, los estudiantes desarrollan la capacidad de analizar situaciones, anticipar resultados y construir soluciones eficientes. Esta habilidad resulta clave en contextos donde se requiere precisión y adaptación, consolidando una forma de pensamiento que permite enfrentar desafíos con mayor autonomía y criterio.

## **2.2. Álgebra aplicada a sistemas robóticos**

El álgebra constituye una herramienta fundamental en el desarrollo de sistemas robóticos, ya que permite representar relaciones, modelar comportamientos y estructurar procesos mediante expresiones simbólicas. A través de variables, ecuaciones y funciones, se logra describir el funcionamiento de un sistema de manera general, lo que facilita su análisis y control. Esta capacidad de abstracción resulta clave, ya que permite trabajar con situaciones complejas sin depender

únicamente de valores específicos, favoreciendo una comprensión más amplia de los procesos involucrados.

En el ámbito educativo, la incorporación del álgebra en robótica permite que los estudiantes comprendan cómo los sistemas responden a diferentes condiciones a partir de relaciones matemáticas. La interpretación de variables, la manipulación de expresiones y la formulación de ecuaciones permiten representar el comportamiento de sensores, motores y otros componentes. Según Shute et al. (2020), el aprendizaje de conceptos matemáticos en contextos aplicados favorece una comprensión más profunda, al vincular los contenidos con situaciones reales que requieren análisis y toma de decisiones.

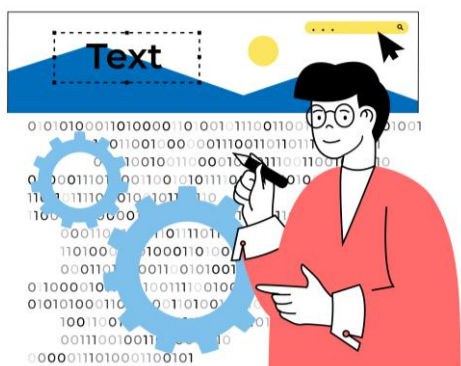
La modelación algebraica permite anticipar el comportamiento de un sistema antes de su ejecución, lo que resulta esencial en la programación y el diseño de robots. A partir de ecuaciones, es posible predecir trayectorias, calcular velocidades o determinar respuestas ante ciertos estímulos. Esta capacidad de anticipación favorece la optimización de los procesos, ya que permite ajustar parámetros y mejorar el rendimiento del sistema. En este sentido, el álgebra se convierte en un puente entre el pensamiento matemático y la acción, facilitando la construcción de soluciones más precisas.

El aprendizaje de estos conceptos en entornos vinculados con robótica favorece el desarrollo de habilidades relacionadas con el análisis, la interpretación y la resolución de problemas. Al trabajar con representaciones simbólicas, los estudiantes desarrollan una mayor capacidad para estructurar su pensamiento y comprender relaciones entre variables. Grover y Pea (2020) destacan que la integración de las matemáticas en contextos tecnológicos fortalece la capacidad de diseñar soluciones estructuradas, lo que resulta fundamental en la formación de competencias vinculadas con el pensamiento computacional.

La relevancia del álgebra en este contexto permite reconocer su utilidad más allá del ámbito académico, ya que se convierte en una herramienta para analizar y controlar sistemas reales. A través de su aplicación, los estudiantes logran construir modelos que explican el comportamiento de los robots, fortaleciendo su capacidad de razonamiento y su autonomía en la resolución de situaciones. Este apartado introduce los fundamentos que se desarrollarán en los siguientes subtemas, donde se abordarán las variables, funciones, ecuaciones y su aplicación en sistemas robóticos.

### 2.2.1. Variables y expresiones algebraicas en programación

Las variables constituyen un elemento esencial en la programación de sistemas robóticos, ya que permiten representar valores que pueden modificarse durante la ejecución de un algoritmo. Estas estructuras facilitan la gestión de información proveniente de sensores, cálculos internos o condiciones del entorno. A través de su utilización, es posible almacenar datos, actualizarlos y emplearlos en distintos momentos del proceso, lo que aporta flexibilidad y dinamismo al comportamiento del sistema. En este sentido, el pensamiento algebraico se traduce en una herramienta que permite organizar y manipular información de manera estructurada.



Las expresiones algebraicas, por su parte, permiten establecer relaciones entre variables mediante operaciones matemáticas. Estas

relaciones resultan fundamentales para definir comportamientos en sistemas robóticos, como el cálculo de distancias, velocidades o tiempos de respuesta. A partir de estas estructuras, los estudiantes pueden representar situaciones de manera simbólica, lo que facilita el análisis y la predicción de resultados. Shute et al. (2020) destacan que la representación simbólica favorece la comprensión de problemas complejos, al permitir organizar la información y estructurar soluciones de manera coherente.

En entornos de programación, estas expresiones se materializan en instrucciones que combinan variables y operadores para generar resultados específicos. Por ejemplo, una variable puede almacenar la distancia detectada por un sensor, mientras que una expresión algebraica permite calcular la acción a ejecutar en función de ese valor. Esta capacidad de relacionar datos y operaciones favorece la construcción de algoritmos más precisos y adaptativos. Grover y Pea (2020) señalan que la formulación de soluciones mediante estructuras simbólicas fortalece el pensamiento computacional, al permitir establecer relaciones claras entre los elementos de un problema.

**Tabla 6**

*Variables y expresiones algebraicas en robótica*

Elemento	Descripción	Ejemplo en robótica
Variable	Representa un valor que puede cambiar	Distancia = lectura del sensor
Constante	Valor fijo dentro del programa	Velocidad = 5 cm/s
Expresión algebraica	Relación entre variables y operaciones	Tiempo = distancia / velocidad
Operadores	Símbolos que permiten realizar cálculos	+, -, *, ÷
Asignación	Proceso de dar valor a una variable	distancia = sensor ultrasónico

*Nota.* Elaboración propia basada en fundamentos del pensamiento computacional (Grover & Pea, 2020; Shute et al., 2020).

La tabla muestra cómo las variables y las expresiones algebraicas permiten estructurar la información dentro de un sistema robótico, facilitando la toma de decisiones y la ejecución de acciones. Estas herramientas permiten representar situaciones de manera precisa, favoreciendo el diseño de algoritmos que responden a condiciones específicas. A partir de esta base, los estudiantes desarrollan una mayor capacidad para interpretar datos, establecer relaciones y construir soluciones adaptadas a distintos escenarios.

### **2.2.2. Funciones matemáticas en control de robots**

Las funciones matemáticas permiten describir relaciones entre variables que intervienen en el comportamiento de un sistema robótico. A través de estas estructuras, es posible establecer cómo cambia una magnitud en función de otra, lo que resulta fundamental para controlar movimientos, ajustar respuestas y regular procesos. Esta representación facilita la comprensión de fenómenos dinámicos, ya que permite modelar situaciones donde intervienen múltiples factores. En este sentido, las funciones constituyen una herramienta clave para traducir relaciones matemáticas en acciones concretas dentro de un sistema programado.

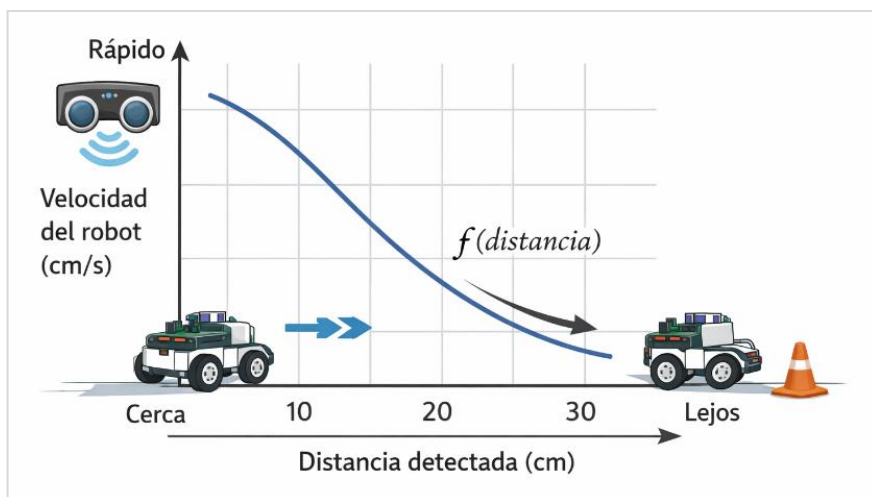
En la programación de robots, las funciones permiten definir comportamientos a partir de entradas y salidas claramente estructuradas. Por ejemplo, la velocidad de un robot puede depender de la distancia detectada por un sensor, lo que se puede expresar mediante una función que relacione ambas variables. Este tipo de modelación permite anticipar el comportamiento del sistema y ajustar sus parámetros para mejorar su desempeño. Shute et al. (2020) señalan que la utilización de representaciones matemáticas en contextos aplicados favorece una comprensión más profunda, al permitir que los estudiantes interpreten y manipulen relaciones entre variables.

La implementación de funciones también favorece la optimización de los procesos, ya que permite ajustar el comportamiento del robot en

función de condiciones cambiantes. A partir de estas estructuras, es posible diseñar sistemas que respondan de manera más eficiente a su entorno, regulando acciones como la aceleración, el giro o la detención. Grover y Pea (2020) destacan que la formulación de modelos matemáticos contribuye al desarrollo del pensamiento computacional, al permitir estructurar soluciones basadas en relaciones lógicas y cuantificables.

### Figura 3

*Relación funcional en el control de un robot*



*Nota.* Elaboración propia basada en modelación matemática aplicada (Shute et al., 2020).

La figura ilustra cómo una función matemática permite regular el comportamiento de un robot en función de la información recibida. A través de esta relación, el sistema puede ajustar su velocidad de manera progresiva, evitando colisiones y optimizando su desplazamiento. Este tipo de representación facilita la comprensión de cómo las matemáticas intervienen directamente en la toma de decisiones dentro de sistemas automatizados, fortaleciendo la capacidad de análisis y modelación en contextos aplicados.

### 2.2.3. Modelos algebraicos de movimiento

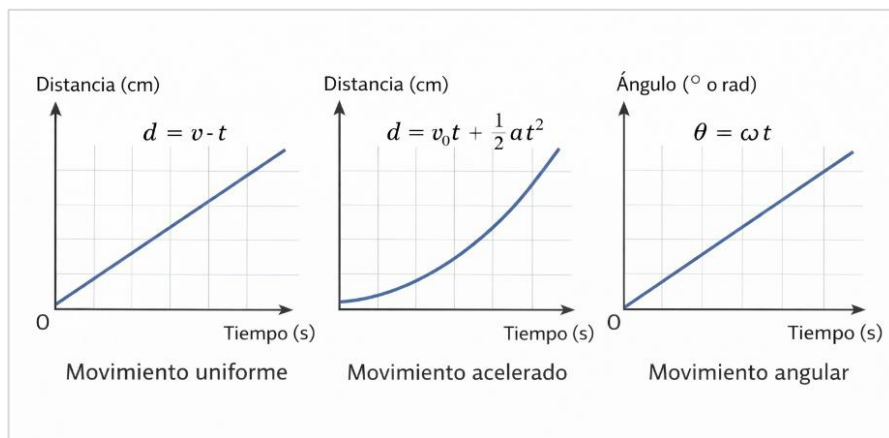
Los modelos algebraicos de movimiento permiten representar de forma simbólica el comportamiento de un sistema robótico a partir de variables como el tiempo, la distancia, la velocidad o el ángulo. Mediante ecuaciones, es posible describir cómo se desplaza un robot y estimar su posición en distintos intervalos, lo que facilita la planificación de trayectorias y la organización de sus acciones. Estas representaciones aportan claridad al análisis del movimiento, ya que convierten fenómenos físicos en relaciones matemáticas que pueden ser interpretadas y ajustadas según las condiciones del entorno.

La formulación de ecuaciones no se limita a describir un único tipo de desplazamiento, sino que permite abordar distintas formas de movimiento. Por ejemplo, el modelo lineal  $d = v \cdot t$  describe desplazamientos uniformes, mientras que expresiones como  $d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$  permiten analizar situaciones donde existe aceleración. Esta diversidad de representaciones amplía las posibilidades de análisis y favorece la selección del modelo más adecuado según el comportamiento que se desea estudiar. Como señalan Shute et al. (2020), la modelación matemática en contextos aplicados fortalece la comprensión al estructurar relaciones entre variables de manera significativa.

El estudio de estos modelos también permite identificar cómo diferentes factores influyen en el comportamiento del sistema. Cambios en la velocidad, el tiempo o la aceleración modifican la trayectoria, lo que exige ajustar las expresiones algebraicas para mantener el control del movimiento. Este tipo de análisis favorece una visión más flexible, donde el estudiante no solo interpreta resultados, sino que comprende las condiciones que los generan. A partir de esta base, resulta posible anticipar comportamientos y tomar decisiones más precisas durante el diseño y la programación del sistema robótico.

Figura 4

Modelos algebraicos del movimiento en robótica



*Nota.* Elaboración propia basada en modelación matemática aplicada (Shute et al., 2020).

La figura presenta distintos modelos algebraicos que describen el movimiento de un sistema robótico en función de variables como el tiempo, la distancia y el ángulo. Cada representación permite interpretar comportamientos específicos, desde desplazamientos uniformes hasta movimientos acelerados o rotacionales.

Esta diversidad de modelos facilita un análisis más riguroso y contextualizado de situaciones reales, al permitir la selección de la ecuación más adecuada según las condiciones específicas del entorno y las variables involucradas. De este modo, la modelación algebraica trasciende la simple descripción del movimiento, convirtiéndose en un instrumento clave para la predicción de comportamientos, la toma de decisiones informadas y la optimización de sistemas, favoreciendo ajustes precisos que mejoran la eficiencia y el control en distintos escenarios aplicados.

### 2.2.4. Sistemas de ecuaciones en robótica

Los sistemas de ecuaciones permiten representar situaciones en las que intervienen varias variables relacionadas entre sí, lo que resulta fundamental en el análisis y control de sistemas robóticos. A través de estas estructuras, es posible describir comportamientos simultáneos, como el movimiento coordinado de motores o la interacción entre sensores y actuadores. Este tipo de modelación favorece una visión más completa del sistema, ya que permite analizar cómo distintos elementos influyen en un mismo resultado.

La resolución de sistemas de ecuaciones facilita la determinación de valores desconocidos a partir de relaciones previamente definidas. En robótica, esto se evidencia cuando se requiere calcular variables como la velocidad, la posición o la trayectoria en función de múltiples condiciones. Por ejemplo, al combinar ecuaciones que relacionan tiempo, distancia y aceleración, se puede obtener una descripción más precisa del movimiento. Shute et al. (2020) señalan que la representación matemática de situaciones complejas permite organizar la información y estructurar soluciones de manera coherente, favoreciendo la toma de decisiones fundamentadas.

El análisis simultáneo de variables también permite ajustar el comportamiento del sistema en función de los resultados obtenidos. Cuando un robot recibe información de distintos sensores, es necesario integrar esos datos para generar una respuesta adecuada. Este proceso implica establecer relaciones entre variables y resolverlas de manera conjunta, lo que exige una organización lógica del pensamiento. Grover y Pea (2020) destacan que la capacidad de estructurar soluciones mediante relaciones matemáticas fortalece el pensamiento computacional y la resolución de problemas en contextos tecnológicos.

**Tabla 7***Aplicación de sistemas de ecuaciones en robótica*

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicación en robótica</b>
Sistema lineal	Relación entre variables de primer grado	Control de velocidad y distancia
Sistema con dos variables	Permite determinar valores desconocidos	Coordinación de dos motores
Sistema dependiente	Variables relacionadas directamente	Movimiento sincronizado
Sistema independiente	Variables con soluciones distintas	Control de sensores múltiples
Sistema no lineal	Incluye relaciones más complejas	Trayectorias curvas o aceleradas

*Nota.* Elaboración propia basada en modelación matemática aplicada (Shute et al., 2020; Grover & Pea, 2020).

La tabla sintetiza cómo los sistemas de ecuaciones permiten estructurar relaciones entre variables para describir y controlar el comportamiento de un robot. Estas representaciones facilitan el análisis de situaciones donde intervienen múltiples factores, permitiendo diseñar soluciones más precisas y adaptativas. A partir de este tipo de estructuras, los estudiantes desarrollan una mayor capacidad para interpretar datos, establecer conexiones y resolver problemas de manera organizada, fortaleciendo su razonamiento matemático en contextos tecnológicos.

### 2.2.5. Interpretación algebraica de sensores

La interpretación algebraica de sensores permite representar matemáticamente la información que un sistema robótico obtiene del entorno. Los sensores transforman magnitudes físicas, como la distancia, la luz o la temperatura, en datos numéricos que pueden ser procesados mediante expresiones algebraicas. Esta conversión facilita el análisis de la información y su integración dentro de algoritmos, permitiendo que el robot actúe en función de condiciones específicas. A partir de estas representaciones, se logra establecer relaciones entre las variables que intervienen en el funcionamiento del sistema.

La construcción de expresiones algebraicas a partir de datos sensoriales permite organizar la información y establecer reglas de comportamiento. Por ejemplo, la distancia detectada por un sensor puede representarse mediante una variable que se utiliza para determinar la velocidad o la dirección del robot. Este tipo de relaciones permite ajustar el comportamiento del sistema de manera dinámica, ya que las decisiones dependen de los valores obtenidos en tiempo real. Shute et al. (2020) señalan que la representación matemática de datos favorece la comprensión de situaciones complejas, al permitir estructurar la información y analizarla de forma coherente.

La interpretación de estos datos también implica comprender cómo varían las magnitudes en función de las condiciones del entorno. Cambios en la distancia, la intensidad de la luz o la temperatura generan variaciones en los valores registrados, lo que exige establecer modelos que permitan interpretar estos cambios. Esta capacidad resulta clave para el diseño de sistemas adaptativos, donde el comportamiento del robot se ajusta en función de la información recibida. Grover y Pea (2020) destacan que la capacidad de analizar datos y establecer relaciones entre variables fortalece el pensamiento computacional, facilitando la toma de decisiones en contextos tecnológicos.

El análisis algebraico de sensores no solo permite interpretar información, sino también anticipar comportamientos y optimizar el funcionamiento del sistema. A través de estas representaciones, es posible establecer umbrales, definir condiciones y diseñar respuestas más precisas frente a distintas situaciones. Este tipo de razonamiento favorece una comprensión más profunda del funcionamiento de los sistemas robóticos, ya que permite conectar los datos obtenidos con acciones concretas, fortaleciendo la capacidad de análisis y resolución de problemas en contextos reales.

### **2.3. Geometría y espacialidad en robótica**

La geometría cumple un papel fundamental en la robótica, ya que permite describir con precisión la posición, la orientación y el desplazamiento de un sistema dentro de un espacio determinado. A partir de elementos como puntos, líneas, ángulos y planos, es posible construir representaciones que facilitan la comprensión del entorno en el que opera el robot. Estas representaciones no solo ayudan a ubicar objetos, sino que también permiten definir trayectorias y anticipar movimientos. Cuando se trabaja con estos conceptos, el espacio deja de ser una noción abstracta y se convierte en una estructura organizada que puede ser interpretada, analizada y utilizada para tomar decisiones dentro de un sistema programado.

Cuando los estudiantes interpretan esquemas, planos o sistemas de coordenadas, comienzan a desarrollar habilidades espaciales que les permiten imaginar recorridos, prever cambios de dirección y comprender cómo se organiza el entorno. Este tipo de razonamiento facilita la anticipación de movimientos y contribuye a que las decisiones sean más acertadas. Uttal et al. (2020) señalan que las habilidades espaciales tienen un impacto directo en el aprendizaje de áreas STEM, ya que permiten comprender configuraciones complejas y establecer relaciones entre distintos elementos. Esta capacidad no

solo mejora la comprensión, sino que también fortalece la seguridad al momento de enfrentar situaciones que requieren orientación.

Dentro de los sistemas robóticos, las representaciones geométricas permiten traducir el entorno físico en modelos que pueden ser interpretados por el sistema. Gracias a estas estructuras, es posible planificar rutas, ajustar desplazamientos y evitar obstáculos de manera más eficiente. Este tipo de organización facilita el control del movimiento, ya que permite prever lo que puede ocurrir antes de ejecutar una acción. Al trabajar con estas representaciones, los estudiantes logran relacionar lo que observan con modelos matemáticos, lo que favorece una comprensión más clara del funcionamiento del robot.

A medida que el robot se desplaza, su posición y orientación cambian constantemente, lo que exige interpretar relaciones espaciales para mantener el control del movimiento. Estos cambios requieren ajustar trayectorias, modificar direcciones y responder a condiciones que pueden variar en cada momento. Comprender cómo se producen estas transformaciones permite tomar decisiones más precisas y mejorar el desempeño del sistema. Esta capacidad resulta especialmente importante en situaciones donde el entorno no es estático y se requiere adaptarse de manera continua.

La geometría, en este contexto, ofrece herramientas que permiten organizar el espacio, interpretar posiciones y transformar trayectorias con mayor claridad. Gracias a estos elementos, los estudiantes desarrollan una visión más completa del funcionamiento de los sistemas robóticos, lo que les permite actuar con mayor seguridad y precisión. Este apartado sienta las bases para profundizar en aspectos más específicos, como las coordenadas cartesianas, las transformaciones geométricas y la representación del entorno en distintos niveles de complejidad.

### 2.3.1. Coordenadas cartesianas y navegación

Las coordenadas cartesianas constituyen una herramienta fundamental para ubicar y desplazar un robot dentro de un espacio definido. Este sistema se basa en dos ejes perpendiculares, generalmente denominados eje X y eje Y, que permiten representar cualquier punto mediante un par ordenado. Gracias a esta estructura, es posible determinar posiciones con precisión y establecer rutas de navegación que guían el movimiento del sistema. Esta forma de organización facilita la interpretación del entorno, ya que permite traducir la ubicación de objetos y trayectorias en valores numéricos que pueden ser procesados por un algoritmo.

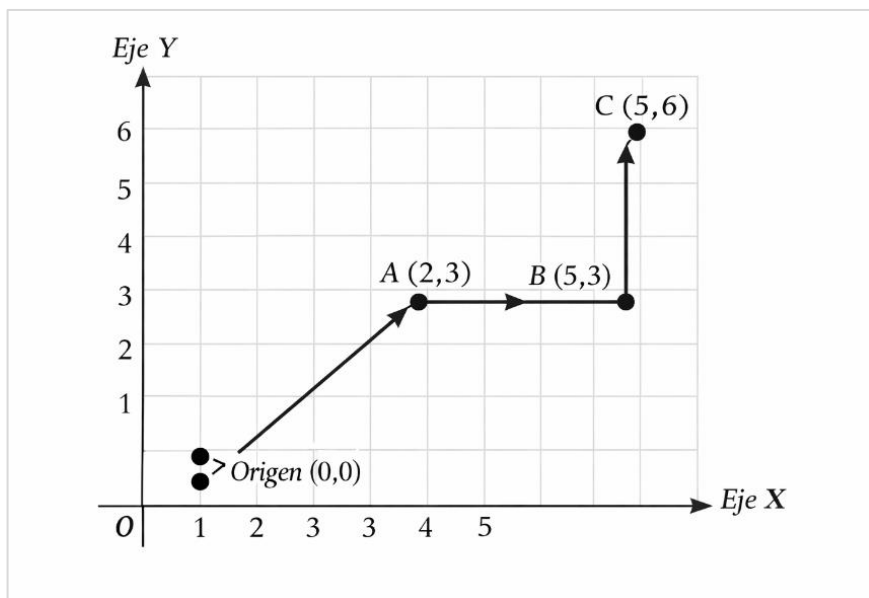
Cuando se trabaja con este sistema, cada desplazamiento del robot puede describirse como un cambio en sus coordenadas, lo que permite seguir su recorrido paso a paso. Por ejemplo, avanzar en línea recta implica modificar únicamente uno de los ejes, mientras que un movimiento diagonal requiere cambios simultáneos en ambos. Esta forma de representación ayuda a visualizar el movimiento de manera más clara, ya que cada acción se asocia con una variación específica en la posición. Uttal et al. (2020) destacan que la representación espacial mediante sistemas coordenados favorece la comprensión de trayectorias y fortalece las habilidades de orientación en entornos complejos.

En el contexto de la navegación, las coordenadas cartesianas permiten planificar rutas, definir destinos y evitar obstáculos con mayor precisión. Al establecer puntos de referencia dentro de un plano, el robot puede calcular distancias, determinar direcciones y ajustar su trayectoria en función de su posición actual. Esta organización facilita la toma de decisiones, ya que cada acción se fundamenta en información cuantificable. Además, permite integrar datos provenientes de sensores para actualizar la posición en tiempo real, lo que contribuye a un desplazamiento más eficiente y controlado.

La representación mediante coordenadas también favorece la comprensión de cómo el robot interactúa con su entorno, ya que permite analizar relaciones espaciales entre distintos elementos. A través de esta estructura, es posible anticipar movimientos, identificar rutas alternativas y optimizar recorridos. Esta capacidad resulta clave en situaciones donde se requiere precisión, ya que pequeñas variaciones en la posición pueden influir en el resultado final. De esta manera, el sistema cartesiano se convierte en una herramienta esencial para estructurar el movimiento y mejorar el control de los sistemas robóticos.

### Figura 5

*Sistema de coordenadas cartesianas en navegación robótica*



*Nota.* Elaboración propia basada en representación espacial en robótica (Uttal et al., 2020).

La figura muestra cómo el sistema de coordenadas permite ubicar con precisión la posición de un robot y representar su trayectoria dentro de un plano. A partir de esta estructura, es posible seguir su desplazamiento mediante cambios en las coordenadas, lo que facilita la planificación de rutas y el control del movimiento. Esta representación permite comprender de manera clara cómo las matemáticas intervienen en la navegación, convirtiéndose en una herramienta clave para el diseño de trayectorias en sistemas robóticos.

### 2.3.2. Transformaciones geométricas

Las transformaciones geométricas permiten describir los cambios de posición y orientación de un robot dentro de un espacio determinado. A través de operaciones como la traslación, la rotación y la reflexión, es posible representar cómo un sistema se desplaza o modifica su dirección sin alterar su forma. Estas transformaciones ofrecen una forma clara de interpretar el movimiento, ya que cada cambio puede expresarse mediante relaciones matemáticas que facilitan su análisis y control. Gracias a ello, el desplazamiento deja de ser solo una acción física y pasa a entenderse como un proceso estructurado que puede modelarse y preverse.



Cuando se analiza una traslación, se observa que el robot cambia de ubicación manteniendo su orientación, lo que puede representarse como un desplazamiento en el plano cartesiano. En cambio, una rotación implica un giro alrededor de un punto, generalmente el propio eje del robot, lo que modifica su dirección sin cambiar su posición inicial de forma inmediata. Por otro lado, la reflexión permite interpretar movimientos simétricos, útiles en ciertos procesos de programación o simulación. Según Uttal et al. (2020), la comprensión de transformaciones espaciales fortalece las habilidades cognitivas relacionadas con la orientación y la visualización, lo que resulta clave en entornos STEM.

Estas operaciones adquieren especial relevancia cuando se requiere ajustar trayectorias o responder a cambios en el entorno. Por ejemplo, al detectar un obstáculo, el sistema puede ejecutar una rotación para cambiar su dirección y continuar su recorrido. Del mismo modo, una traslación controlada permite avanzar hacia un punto específico previamente definido. Este tipo de acciones, representadas mediante transformaciones geométricas, facilita la planificación del movimiento y mejora la precisión en la ejecución de las instrucciones.

El dominio de estas transformaciones permite construir modelos más completos del comportamiento del robot, ya que combina posición, orientación y desplazamiento dentro de una misma estructura. Esta visión favorece una mayor claridad al momento de diseñar rutas o ajustar movimientos, especialmente en situaciones donde se requiere precisión. A través de estas herramientas, los estudiantes desarrollan una mejor capacidad para interpretar el espacio y adaptarse a diferentes escenarios, fortaleciendo su razonamiento geométrico en contextos aplicados.

### 2.3.3. Ángulos y trayectorias

Los ángulos desempeñan un papel esencial en la orientación y el desplazamiento de un robot, ya que permiten definir con precisión los cambios de dirección durante su recorrido. A partir de su medida, es posible establecer giros controlados que orientan el movimiento hacia un objetivo determinado. Esta capacidad resulta fundamental cuando el sistema debe desplazarse en entornos donde existen obstáculos o rutas específicas que seguir. Los ángulos no solo indican cuánto debe girar el robot, sino también cómo debe reorganizar su trayectoria para continuar avanzando de manera eficiente.

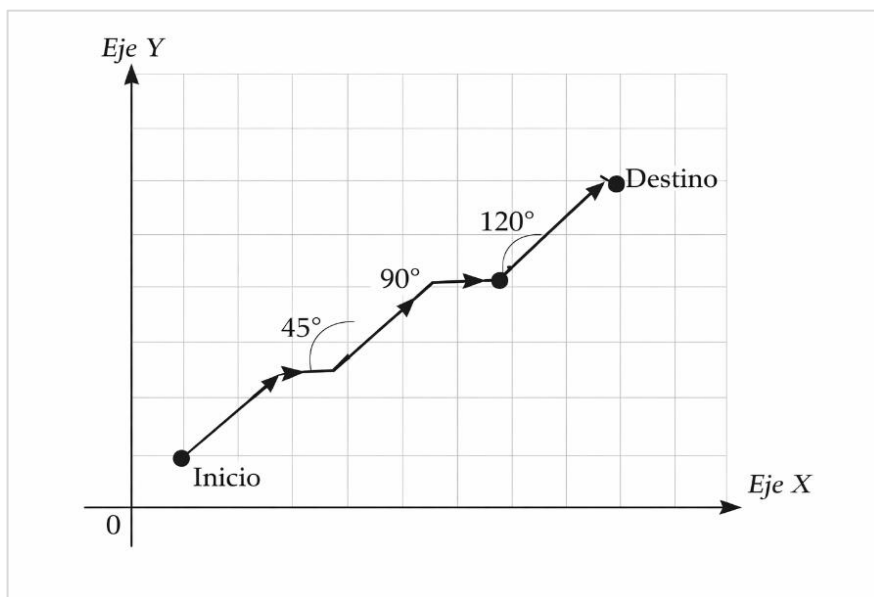
Cuando se analiza una trayectoria, se observa que el movimiento del robot no siempre se realiza en línea recta, sino que puede incluir cambios de dirección que dependen de la configuración del entorno. Estos cambios se representan mediante ángulos que determinan la nueva orientación del sistema. Por ejemplo, un giro de  $90^\circ$  permite cambiar de dirección en un plano cartesiano, mientras que ángulos menores generan trayectorias más suaves. Uttal et al. (2020) señalan que la comprensión de relaciones espaciales y angulares favorece la capacidad de anticipar movimientos y mejorar la orientación en contextos complejos.

La relación entre ángulos y trayectorias permite describir el movimiento de forma más precisa, ya que cada giro influye directamente en el recorrido que seguirá el robot. A partir de estas variaciones, es posible diseñar rutas que optimicen el desplazamiento, evitando recorridos innecesarios o colisiones. Este tipo de representación facilita la planificación, ya que permite visualizar cómo se desarrollará el movimiento antes de ejecutarlo. Además, contribuye a que los estudiantes comprendan cómo pequeñas variaciones en la dirección pueden generar cambios significativos en el resultado final.

El manejo adecuado de ángulos también permite ajustar el comportamiento del robot en tiempo real, especialmente cuando las condiciones del entorno cambian. La capacidad de modificar la trayectoria mediante giros controlados favorece la adaptación y mejora la precisión en la ejecución de tareas. A través de este tipo de razonamiento, se fortalece la comprensión del movimiento como un proceso dinámico que combina dirección, orientación y desplazamiento dentro de un mismo sistema.

**Figura 6**

*Ángulos y trayectorias en robótica*



*Nota.* Elaboración propia basada en representación espacial del movimiento (Uttal et al., 2020).

La figura muestra cómo los ángulos determinan los cambios de dirección dentro de una trayectoria, permitiendo visualizar el recorrido del robot en función de sus giros. A partir de esta representación, se

puede observar cómo cada variación angular modifica el desplazamiento, lo que facilita la planificación de rutas y el control del movimiento. Esta relación entre ángulos y trayectorias permite comprender con mayor claridad cómo se organiza el desplazamiento en sistemas robóticos.

#### 2.3.4. Representación espacial del entorno

La representación espacial del entorno permite organizar la información que rodea a un sistema robótico para facilitar su desplazamiento y orientar sus decisiones. A través de modelos como mapas, planos o esquemas digitales, es posible ubicar objetos, delimitar zonas y definir recorridos dentro de un espacio determinado. Esta forma de estructurar el entorno transforma la realidad física en un modelo interpretable, lo que favorece una navegación más precisa y un control más claro del movimiento. De esta manera, el robot no actúa de forma aislada, sino que responde a una configuración espacial previamente definida.



Lo que permite identificar distancias, direcciones y posibles rutas. Esta organización facilita anticipar recorridos y reconocer zonas de riesgo antes de ejecutar una acción. En este sentido, estudios recientes como los de Mix et al. (2021) destacan que las habilidades espaciales permiten comprender configuraciones complejas y mejorar la toma de decisiones en contextos dinámicos. Esta capacidad resulta especialmente relevante cuando se requiere interpretar entornos con múltiples variables.

Estos modelos pueden actualizarse de forma continua a partir de los datos proporcionados por sensores. Esta información permite ajustar el comportamiento del sistema frente a cambios en el entorno, modificando trayectorias o adaptando respuestas según las condiciones detectadas. Según Tussyadiah et al. (2020), la representación espacial basada en datos en tiempo real mejora la capacidad de adaptación de los sistemas inteligentes, ya que permite responder de manera más eficiente ante situaciones imprevistas.

La organización del entorno en estructuras interpretables también contribuye a mejorar la precisión en la ejecución de tareas, especialmente en escenarios donde se requiere evitar obstáculos o seguir rutas específicas. A partir de estas representaciones, es posible diseñar estrategias más eficientes y optimizar el desplazamiento del robot. Este tipo de análisis permite comprender el espacio como un sistema estructurado, donde cada elemento influye en la toma de decisiones, fortaleciendo la capacidad de adaptación y el razonamiento en contextos tecnológicos.

### **2.3.5. Geometría en diseño de robots**

El diseño de robots se sustenta en principios geométricos que permiten definir formas, dimensiones y estructuras con impacto directo en su funcionamiento. A partir de figuras como polígonos, circunferencias y prismas, se configuran componentes que favorecen la estabilidad, el

equilibrio y la eficiencia del sistema. Estas decisiones no responden únicamente a criterios visuales, sino que se relacionan con aspectos como la distribución del peso, la resistencia de los materiales y la capacidad de desplazamiento. De esta manera, la geometría aporta una base estructural que orienta la construcción de sistemas más eficientes y funcionales.

Desde una perspectiva aplicada, la forma de cada componente influye en el comportamiento general del robot. Por ejemplo, una base amplia puede mejorar la estabilidad, mientras que estructuras circulares facilitan movimientos continuos en distintas direcciones. Estas configuraciones permiten adaptar el diseño a las condiciones del entorno y a las tareas que se desean realizar. Tal como señalan Alsina y Nelsen (2021), la geometría aplicada permite comprender cómo las propiedades de las formas inciden en su comportamiento dentro de sistemas reales, lo que resulta clave en contextos tecnológicos.

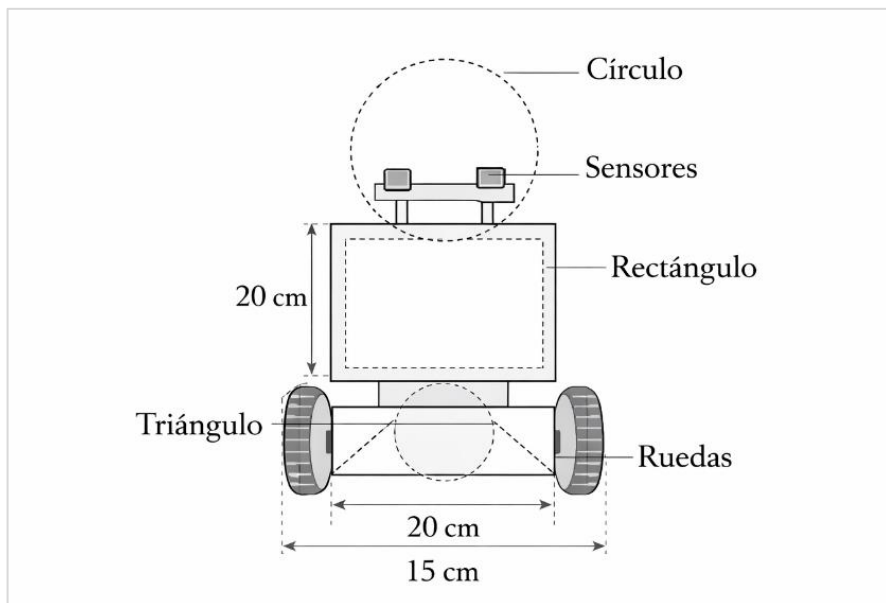
En relación con la disposición de los elementos, la ubicación de ruedas, sensores y mecanismos de acción responde a relaciones geométricas que determinan el alcance, la precisión y la eficiencia del movimiento. Analizar distancias, ángulos y proporciones permite organizar el sistema de manera más funcional, evitando interferencias y mejorando su rendimiento. Este tipo de organización favorece una comprensión más clara de cómo cada componente contribuye al funcionamiento general, permitiendo realizar ajustes antes de su implementación.

A medida que se integran estos principios en el proceso de diseño, se fortalece una visión más estructurada del sistema robótico. La geometría no solo permite representar las formas, sino también anticipar su comportamiento en diferentes condiciones. Según García y Ruiz (2020), la aplicación de modelos geométricos en contextos educativos favorece la comprensión de estructuras espaciales y su relación con el entorno, lo que facilita el desarrollo de soluciones más

eficientes. Esta perspectiva permite conectar el conocimiento matemático con la construcción de dispositivos tecnológicos.

### Figura 7

*Geometría en el diseño de robots*

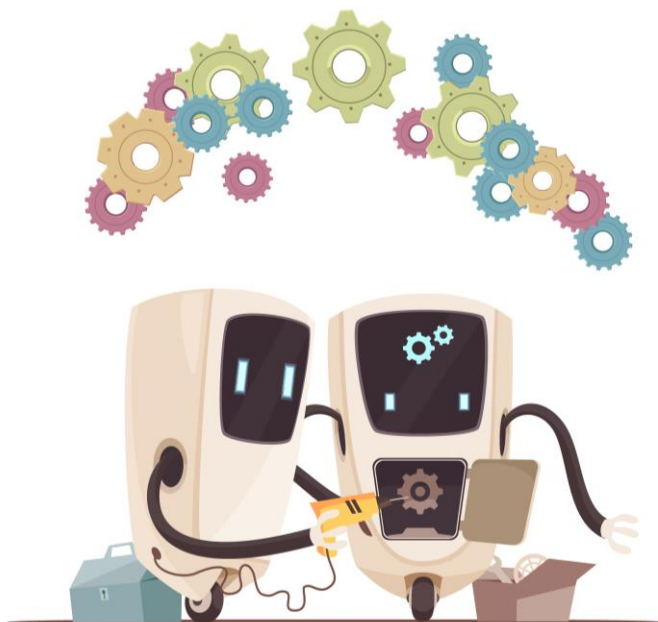


*Nota.* Elaboración propia basada en geometría aplicada al diseño tecnológico (Alsina & Nelsen, 2021; García & Ruiz, 2020).

La figura muestra cómo las formas geométricas estructuran el diseño de un robot, permitiendo visualizar la relación entre sus componentes y su funcionamiento. A través de esta representación, se observa cómo las dimensiones y proporciones influyen en la estabilidad, el movimiento y la interacción con el entorno. Esta forma de análisis facilita interpretar el diseño como un proceso matemático aplicado, donde cada elemento cumple una función específica dentro del sistema.

## 2.4. Matemáticas del movimiento y cinemática básica

Las matemáticas del movimiento permiten describir y analizar cómo se desplaza un robot en función de variables como el tiempo, la distancia, la velocidad y la aceleración. A través de relaciones cuantificables, es posible representar de manera precisa los cambios que ocurren durante el desplazamiento, lo que facilita tanto la planificación como el control de las trayectorias. Este tipo de análisis no solo ayuda a entender cómo se mueve un sistema, sino también a prever su comportamiento ante distintas condiciones. En este sentido, la cinemática se convierte en una herramienta clave para interpretar el movimiento sin considerar las fuerzas que lo producen, centrándose únicamente en la descripción de sus características.



Desde una perspectiva aplicada, estas relaciones permiten construir modelos que explican cómo varía la posición de un robot a lo largo del tiempo. La velocidad, por ejemplo, indica la rapidez con la que se

produce el desplazamiento, mientras que la aceleración describe los cambios en esa velocidad. Estas magnitudes no se analizan de forma aislada, sino como parte de un sistema que permite comprender el comportamiento del movimiento en su totalidad. Según Serway y Jewett (2021), la cinemática proporciona un marco conceptual que facilita la interpretación del movimiento a partir de variables medibles, lo que resulta fundamental en contextos tecnológicos y educativos.

La representación matemática de estas variables permite establecer relaciones que facilitan la toma de decisiones en sistemas robóticos. A partir de ecuaciones, es posible calcular tiempos de desplazamiento, ajustar velocidades o definir trayectorias que optimicen el recorrido. Esta capacidad de anticipación resulta especialmente útil cuando el robot debe interactuar con un entorno cambiante, ya que permite adaptar su comportamiento en función de nuevas condiciones. Además, favorece una comprensión más profunda, al vincular los conceptos matemáticos con situaciones reales que requieren análisis y precisión.

El estudio del movimiento también contribuye a desarrollar habilidades relacionadas con la interpretación de datos, la organización de información y la resolución de problemas. A través de estas herramientas, los estudiantes logran comprender cómo se relacionan las variables y cómo pueden utilizarse para mejorar el desempeño de un sistema. Como señalan Tipler y Mosca (2020), el análisis del movimiento desde una perspectiva matemática permite construir modelos que explican fenómenos reales, facilitando su aplicación en distintos contextos tecnológicos.

Este apartado sienta las bases para profundizar en conceptos específicos como la velocidad, la aceleración, las trayectorias y la relación entre tiempo y espacio. A partir de estos elementos, será posible analizar el movimiento de manera más detallada y comprender cómo se aplican estos principios en sistemas robóticos que requieren precisión, control y adaptación constante.

### 2.4.1. Conceptos de velocidad y aceleración

La velocidad y la aceleración constituyen magnitudes fundamentales para describir el movimiento de un robot, ya que permiten interpretar cómo cambia su posición a lo largo del tiempo. La velocidad expresa la rapidez con la que se produce un desplazamiento, mientras que la aceleración indica las variaciones de esa rapidez durante el recorrido. Estas magnitudes no se analizan de forma aislada, ya que ambas permiten entender cómo se comporta el sistema en diferentes situaciones, especialmente cuando se requiere precisión en el control del movimiento.

En sistemas robóticos, la velocidad se asocia directamente con la capacidad de desplazarse de un punto a otro en un tiempo determinado. Este valor puede mantenerse constante o variar según las condiciones del entorno. La aceleración, por su parte, describe los cambios en esa velocidad, ya sea aumentando, disminuyendo o modificando la dirección del movimiento. Shute et al. (2020) destacan que la interpretación de relaciones entre variables permite estructurar soluciones más precisas, lo que resulta clave cuando se analizan cambios en el comportamiento de un sistema.

La comprensión de estas magnitudes permite ajustar el desempeño del robot en función de las condiciones en las que se encuentra. Por ejemplo, reducir la velocidad al acercarse a un obstáculo o incrementarla en trayectos libres permite optimizar el recorrido. Estos ajustes se basan en la relación entre velocidad, aceleración y tiempo, lo que facilita la toma de decisiones dentro del sistema. Grover y Pea (2020) señalan que la capacidad de organizar información y establecer relaciones entre variables fortalece el pensamiento estructurado en contextos tecnológicos.

El análisis conjunto de estas variables favorece una comprensión más completa del movimiento, ya que permite interpretar no solo cuánto se desplaza un robot, sino también cómo cambia su comportamiento a lo largo del tiempo. A partir de esta base, se pueden diseñar estrategias

que mejoren la eficiencia del sistema y permitan responder de manera adecuada ante distintas situaciones.

**Tabla 8**

*Comparación entre velocidad y aceleración*

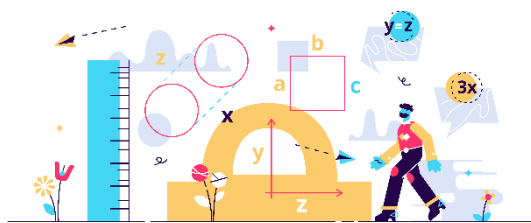
Magnitud	Definición	Expresión matemática	Aplicación en robótica
Velocidad	Cambio de posición en un tiempo determinado	$v = \frac{d}{t}$	Control de desplazamiento
Aceleración	Cambio de la velocidad en el tiempo	$a = \frac{\Delta v}{t}$	Ajuste de velocidad del robot
Tipo de magnitud	Vectorial	Depende de dirección y sentido	Control de trayectorias
Comportamiento	Puede ser constante o variable	Puede ser positiva o negativa	Adaptación al entorno
Unidad	m/s o cm/s	m/s <sup>2</sup> o cm/s <sup>2</sup>	Programación de movimiento

*Nota.* Elaboración propia basada en fundamentos de cinemática (Shute et al., 2020; Grover & Pea, 2020).

La tabla permite diferenciar las características de la velocidad y la aceleración, facilitando su interpretación dentro del movimiento de un sistema robótico. A partir de estas magnitudes, se pueden establecer relaciones que permiten ajustar el comportamiento del robot, optimizar su desplazamiento y mejorar su capacidad de respuesta ante distintas condiciones.

### 2.4.2. Modelación matemática del movimiento

La modelación matemática del movimiento permite describir con precisión el desplazamiento de un robot a partir de relaciones entre variables como la posición, el tiempo, la velocidad y la aceleración. Estas relaciones no solo representan el movimiento, sino que también permiten interpretarlo y anticiparlo en distintos escenarios. A través de ecuaciones, el comportamiento del sistema puede analizarse antes de ejecutarse, lo que facilita la planificación de trayectorias y la toma de decisiones más acertadas dentro del entorno en el que opera.



Según las condiciones en las que se desarrolla el desplazamiento, es posible emplear diferentes tipos de representaciones matemáticas.

Un movimiento constante puede expresarse mediante relaciones lineales, mientras que las variaciones en la velocidad requieren modelos que incorporen aceleración. Esta distinción permite seleccionar la ecuación más adecuada para cada situación, favoreciendo una comprensión más clara del comportamiento del sistema. Shute et al. (2020) destacan que la organización de la información mediante estructuras matemáticas facilita el análisis de fenómenos dinámicos en contextos aplicados.

La posibilidad de prever resultados antes de ejecutar una acción aporta una ventaja importante en el control del movimiento. A partir de las ecuaciones, se pueden estimar tiempos de desplazamiento, ajustar velocidades y definir recorridos más eficientes. Grover y Pea (2020) señalan que la estructuración de relaciones entre variables fortalece la capacidad de resolver problemas en contextos tecnológicos. Este tipo de análisis permite interpretar cómo evoluciona el movimiento y ajustar el comportamiento del robot en función de los resultados obtenidos, favoreciendo un desempeño más preciso.

### 2.4.3. Trayectorias lineales y curvilíneas

Las trayectorias describen el camino que sigue un robot durante su desplazamiento dentro de un espacio determinado. Estas pueden representarse como líneas rectas o curvas, dependiendo de las condiciones del entorno y de los objetivos del sistema. Un recorrido lineal implica un movimiento directo entre dos puntos, mientras que uno curvilíneo introduce variaciones en la dirección que modifican el trayecto. Esta diferenciación permite analizar cómo se organiza el desplazamiento y qué tipo de control se requiere para mantener la precisión en cada situación.

Un movimiento en línea recta suele emplearse cuando no existen obstáculos y se busca optimizar el tiempo de desplazamiento. En cambio, las trayectorias curvas resultan necesarias cuando el robot debe adaptarse a cambios en el entorno, evitar interferencias o seguir rutas más complejas. Estas variaciones pueden describirse mediante funciones matemáticas que permiten representar el recorrido con mayor exactitud. Shute et al. (2020) señalan que la representación de situaciones mediante modelos matemáticos facilita la comprensión de fenómenos dinámicos, especialmente cuando intervienen múltiples variables.

La elección del tipo de trayectoria influye directamente en el comportamiento del sistema y en la eficiencia del movimiento. Un recorrido mal definido puede generar desviaciones, aumentar el tiempo de ejecución o afectar la precisión de las acciones. Grover y Pea (2020) destacan que la organización estructurada de soluciones permite optimizar procesos en contextos tecnológicos. A partir de este análisis, el diseño de trayectorias se convierte en un elemento clave para garantizar un desplazamiento controlado, adaptativo y coherente con las condiciones del entorno.

#### 2.4.4. Relación entre tiempo, espacio y movimiento

El desplazamiento de un robot puede comprenderse a partir de la relación entre el tiempo, el espacio recorrido y las condiciones en las que se produce el movimiento. Estas variables permiten describir cómo cambia la posición de un sistema a lo largo de un intervalo determinado, aportando claridad en la interpretación de su comportamiento.

Considerar estos elementos de manera conjunta facilita entender no solo cuánto se mueve el robot, sino también en qué momento ocurre ese desplazamiento y bajo qué condiciones se desarrolla. Además, permite analizar la velocidad, la dirección y posibles variaciones en la trayectoria, contribuyendo a una mejor planificación y control del movimiento.

Las relaciones entre estas magnitudes pueden expresarse mediante estructuras matemáticas que permiten organizar la información y analizar el movimiento con mayor precisión. La velocidad surge al vincular la distancia con el tiempo, mientras que la aceleración permite interpretar los cambios que se producen en esa velocidad. Shute et al. (2020) destacan que la organización de la información mediante representaciones estructuradas favorece la comprensión de procesos dinámicos, especialmente cuando intervienen múltiples variables que deben analizarse de manera simultánea.

Interpretar estas relaciones de forma conjunta permite ajustar el comportamiento del sistema con mayor precisión, ya que cualquier variación en una de las magnitudes influye directamente en las demás. Grover y Pea (2020) señalan que establecer conexiones entre variables fortalece la toma de decisiones en contextos tecnológicos. Esta comprensión permite diseñar desplazamientos más eficientes, anticipar resultados y mejorar el control del movimiento en función de las condiciones del entorno.

**Figura 8**

*Relación entre tiempo, espacio y movimiento*



*Nota.* Elaboración propia que representa las relaciones entre las variables fundamentales del movimiento en sistemas robóticos.

La figura sintetiza de manera visual las relaciones entre las variables que intervienen en el movimiento, mostrando cómo se conectan entre sí dentro de un mismo sistema. Esta representación facilita la comprensión de las dependencias entre el tiempo, la distancia, la velocidad y la aceleración, permitiendo interpretar el movimiento como un proceso estructurado. A partir de este tipo de organización, se logra una visión más clara que favorece el análisis, la toma de decisiones y el control del desplazamiento en sistemas robóticos.

### 2.4.5. Aplicaciones en robots móviles

Las matemáticas del movimiento encuentran su aplicación directa en el funcionamiento de robots móviles, donde el desplazamiento debe realizarse con precisión y adaptarse a distintas condiciones del entorno. La interpretación de variables como la velocidad, el tiempo y la distancia permite definir rutas eficientes y ajustar el comportamiento del sistema según los objetivos establecidos. Estas aplicaciones no se limitan al cálculo, sino que implican la toma de decisiones basada en información cuantificable, lo que favorece un control más preciso del movimiento. Asimismo, permiten anticipar errores, optimizar trayectorias y mejorar la interacción del robot con su entorno, garantizando mayor eficiencia y seguridad en su desempeño.

En escenarios reales, los robots móviles deben responder a situaciones que requieren modificar su trayectoria, regular su velocidad o detenerse ante la presencia de obstáculos. Estas acciones dependen de relaciones matemáticas que permiten interpretar los datos obtenidos por los sensores y transformarlos en respuestas adecuadas. Shute et al. (2020) señalan que la representación de situaciones mediante estructuras matemáticas facilita la resolución de problemas en contextos dinámicos, lo que resulta clave cuando el sistema debe adaptarse a cambios constantes.

La implementación de estos principios permite optimizar el rendimiento del robot, ya que facilita la planificación de recorridos, reduce errores y mejora la eficiencia del desplazamiento. Grover y Pea (2020) destacan que la estructuración de relaciones entre variables fortalece la capacidad de diseñar soluciones en contextos tecnológicos. A partir de esta base, los robots móviles pueden operar de manera más autónoma, ajustando su comportamiento en función de las condiciones del entorno y cumpliendo con mayor precisión las tareas asignadas.

Tabla 9

*Aplicaciones de la cinemática en robots móviles*

Aplicación	Descripción	Relación matemática	Ejemplo
Control de velocidad	Ajuste del desplazamiento según condiciones	$v = \frac{d}{t}$	Reducir velocidad ante un obstáculo
Navegación autónoma	Definición de rutas eficientes	Relación tiempo–distancia	Desplazamiento hacia un destino
Evitación de obstáculos	Cambio de trayectoria	Variación de velocidad y dirección	Giro al detectar un objeto
Planificación de trayectorias	Diseño de recorridos óptimos	Modelos de movimiento	Ruta más corta entre puntos
Control de aceleración	Ajuste progresivo del movimiento	$a = \frac{\Delta v}{t}$	Arranque y frenado suave

*Nota.* Elaboración propia basada en principios de cinemática aplicada (Shute et al., 2020; Grover & Pea, 2020).

La tabla muestra cómo los conceptos de velocidad, aceleración y trayectoria se aplican en el funcionamiento de robots móviles, permitiendo transformar relaciones matemáticas en acciones concretas. Estas aplicaciones facilitan el control del desplazamiento y mejoran la capacidad de respuesta del sistema frente a distintas situaciones, lo que contribuye a un desempeño más eficiente y adaptativo.

## 2.5. Estadística y análisis de datos en robótica

El funcionamiento de un sistema robótico no depende únicamente de su capacidad de desplazamiento, sino también de la interpretación de los datos que obtiene del entorno. La estadística permite organizar, analizar y comprender esa información, transformándola en conocimiento útil para la toma de decisiones. A partir de los datos recopilados por sensores, es posible identificar patrones, detectar variaciones y ajustar el comportamiento del robot de manera más precisa. Esta capacidad resulta fundamental en entornos dinámicos, donde las condiciones cambian constantemente y se requiere una respuesta adaptativa.

El análisis de datos permite interpretar la información más allá de valores individuales, ya que facilita la comprensión de tendencias y comportamientos generales. Medidas como el promedio, la variabilidad o la frecuencia permiten describir cómo se comportan los datos a lo largo del tiempo. Shute et al. (2020) destacan que la organización de la información mediante estructuras cuantitativas favorece la comprensión de sistemas complejos, lo que resulta clave en contextos donde intervienen múltiples variables. Esta perspectiva permite que los estudiantes desarrollen una visión más amplia del funcionamiento del sistema.

Los datos obtenidos no solo se analizan, sino que también se utilizan para ajustar el comportamiento del sistema en tiempo real. La interpretación de esta información permite modificar trayectorias, regular la velocidad o mejorar la precisión en la ejecución de tareas. Grover y Pea (2020) señalan que la capacidad de estructurar información y establecer relaciones entre variables fortalece la toma de decisiones en contextos tecnológicos. Este enfoque permite que los sistemas robóticos evolucionen de manera más eficiente, adaptándose a nuevas condiciones y optimizando su desempeño.

Por lo tanto, la estadística en el análisis del movimiento permite comprender el comportamiento del robot desde una perspectiva más completa, ya que no se limita a describir acciones individuales, sino que permite identificar patrones y tendencias. Esta capacidad favorece el desarrollo de soluciones más eficientes y contribuye a una mejor interpretación del entorno, fortaleciendo el razonamiento matemático en contextos aplicados.

### **2.5.1. Recolección de datos mediante sensores**

Los sensores permiten captar información del entorno y convertirla en datos que pueden ser interpretados por un sistema robótico. A través de estos dispositivos, se registran variables como la distancia, la luz, la temperatura o el movimiento, lo que facilita comprender lo que ocurre alrededor. Estos datos no solo describen una situación puntual, sino que ofrecen información continua que puede ser utilizada para orientar decisiones y ajustar el comportamiento del sistema.

Cada tipo de sensor cumple una función específica y genera datos que deben ser interpretados de acuerdo con su naturaleza. Un sensor de distancia, por ejemplo, proporciona valores que permiten identificar obstáculos, mientras que uno de luz permite reconocer cambios en la iluminación. Esta diversidad de información amplía las posibilidades de análisis, ya que permite combinar distintas fuentes de datos para obtener una visión más completa del entorno. Shute et al. (2020) señalan que la organización de información proveniente de múltiples variables favorece la comprensión de situaciones complejas.

El valor de estos datos depende en gran medida de su correcta interpretación. No basta con registrar información, sino que resulta necesario analizarla para tomar decisiones adecuadas. A partir de estos valores, es posible ajustar la velocidad, modificar la trayectoria o activar determinadas acciones. Grover y Pea (2020) destacan que la capacidad de estructurar datos y establecer relaciones entre ellos fortalece la resolución de problemas en contextos tecnológicos.

El manejo de datos provenientes de sensores permite desarrollar una comprensión más precisa del entorno, lo que favorece respuestas más acertadas. Esta capacidad de interpretar información en tiempo real resulta clave en situaciones donde las condiciones cambian constantemente, ya que permite adaptar el comportamiento del sistema y mejorar su desempeño.

### **2.5.2. Representación gráfica de datos**

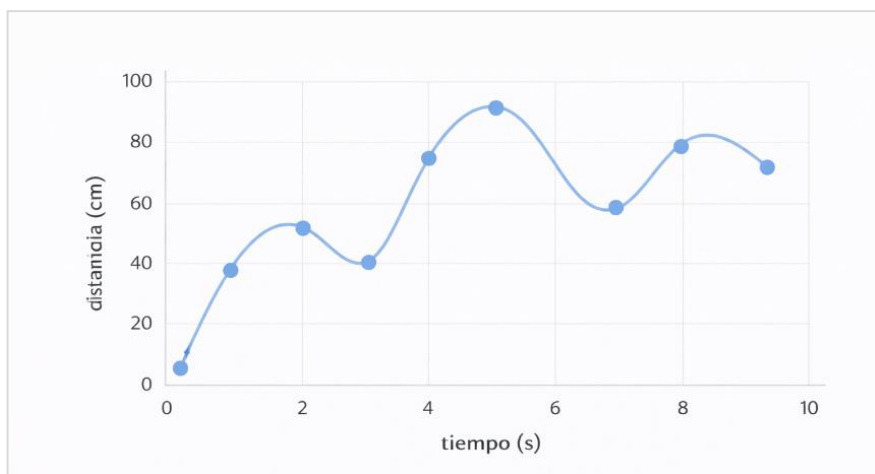
Los datos obtenidos a partir de sensores adquieren mayor sentido cuando se organizan en representaciones visuales que permiten identificar patrones, tendencias y cambios a lo largo del tiempo. Las gráficas facilitan esta tarea al transformar valores numéricos en elementos visuales que pueden interpretarse con mayor rapidez. Esta forma de representación no solo simplifica la lectura de la información, sino que también permite comparar resultados y detectar comportamientos que no siempre son evidentes en listas de datos.

Entre las representaciones más utilizadas se encuentran los gráficos de líneas, barras y dispersión, cada uno con características que permiten analizar distintos tipos de información. Un gráfico de líneas resulta útil para observar la evolución de una variable, mientras que uno de barras facilita la comparación entre valores discretos. La elección del tipo de gráfica depende del objetivo del análisis y de la naturaleza de los datos recopilados. Shute et al. (2020) destacan que la organización visual de la información favorece la comprensión de sistemas complejos, especialmente cuando se requiere interpretar múltiples variables.

El uso de gráficos permite tomar decisiones más informadas, ya que facilita la identificación de comportamientos relevantes dentro de los datos. Por ejemplo, una variación repentina en una gráfica puede indicar un cambio en el entorno que requiere atención inmediata. Grover y Pea (2020) señalan que la interpretación de datos estructurados fortalece la capacidad de análisis en contextos tecnológicos. Esta habilidad resulta clave cuando se necesita ajustar el comportamiento del sistema en función de la información obtenida.

**Figura 9**

*Representación gráfica de datos en robótica*



*Nota.* Elaboración propia basada en representación de datos (Shute et al., 2020).

La figura permite observar cómo los datos pueden representarse de manera visual para facilitar su interpretación. A través de esta estructura, es posible identificar cambios, comparar valores y analizar el comportamiento de una variable a lo largo del tiempo. Esta forma de representación contribuye a una comprensión más clara de la información y permite tomar decisiones basadas en datos organizados y significativos.

### **2.5.3. Análisis de variabilidad**

Los resultados derivados del análisis a partir de sensores no siempre presentan valores constantes, ya que suelen reflejar cambios que dependen de las condiciones del entorno y del comportamiento del sistema. Estas variaciones permiten identificar patrones, detectar irregularidades y comprender cómo evoluciona una variable a lo largo del tiempo. Analizar la variabilidad implica observar cómo se

distribuyen los datos y qué tan alejados se encuentran entre sí, lo que facilita interpretar si el sistema mantiene estabilidad o presenta fluctuaciones que podrían afectar su desempeño. Esta lectura resulta fundamental cuando se requiere comprender el funcionamiento del robot más allá de valores individuales, considerando el comportamiento general de la información recopilada.

El estudio de estas diferencias aporta elementos clave para interpretar la consistencia del sistema, ya que permite reconocer si los datos siguen una tendencia o presentan cambios abruptos que requieren atención. Medidas como el rango, la dispersión o la variación relativa ofrecen información que ayuda a comprender cómo se comportan las variables en distintos momentos. Investigaciones recientes destacan que la capacidad para interpretar patrones y relaciones cuantitativas favorece la comprensión de fenómenos complejos, especialmente cuando se analizan datos que cambian constantemente en función del entorno (Whitehead & Hawes, 2023). Esta perspectiva permite que el análisis deje de centrarse únicamente en valores aislados y se enfoque en la dinámica de los datos.

La interpretación de la variabilidad adquiere especial relevancia cuando se busca mejorar el desempeño del sistema, ya que permite identificar tendencias, anticipar comportamientos y tomar decisiones más precisas. A partir de este análisis, es posible ajustar parámetros, reducir errores y optimizar el funcionamiento del robot en función de los resultados obtenidos. Grover y Pea (2020) señalan que establecer relaciones entre datos fortalece la capacidad de análisis en contextos tecnológicos, lo que resulta clave cuando se trabaja con información en tiempo real. Esta forma de interpretar los datos permite comprender el sistema como un proceso dinámico, donde cada variación aporta información valiosa para mejorar su funcionamiento.

#### 2.5.4. Toma de decisiones basada en datos

La toma de decisiones en sistemas robóticos se fundamenta en la interpretación de la información que el sistema recibe del entorno. Los valores registrados por sensores permiten establecer condiciones que orientan el comportamiento del robot en diferentes situaciones. Esta forma de funcionamiento facilita responder con mayor precisión, ya que cada acción se apoya en información concreta que refleja lo que ocurre en tiempo real. A partir de ello, el sistema puede ajustar su comportamiento frente a cambios del entorno, logrando una respuesta más coherente y eficiente.

La interpretación de esta información permite identificar patrones, reconocer tendencias y definir criterios que guían la ejecución de acciones. Con base en estos elementos, es posible establecer reglas que determinen cuándo avanzar, detenerse o modificar la trayectoria según las condiciones observadas. Este tipo de lógica favorece respuestas más acertadas, ya que cada decisión se construye a partir de información organizada y significativa. Whitehead y Hawes (2023) destacan que la capacidad de interpretar información cuantitativa fortalece la comprensión de sistemas dinámicos y mejora la toma de decisiones en contextos complejos.

El trabajo con información proveniente del entorno también contribuye a mejorar el desempeño general del sistema, ya que permite reducir errores y optimizar su funcionamiento. La posibilidad de evaluar resultados y ajustar el comportamiento en función de ellos favorece un proceso continuo de mejora, donde cada situación aporta nuevos elementos para futuras decisiones. Grover y Pea (2020) señalan que establecer relaciones entre variables fortalece la capacidad de resolver problemas en contextos tecnológicos, permitiendo que el sistema actúe de manera más adaptativa y precisa.

### 2.5.5. Interpretación de resultados experimentales

La interpretación de resultados experimentales permite comprender el comportamiento de un sistema robótico a partir de la información obtenida durante su funcionamiento. Cada prueba realizada genera evidencias que muestran cómo responde el sistema frente a determinadas condiciones, lo que facilita identificar aciertos, limitaciones y posibles mejoras. Esta lectura no se centra únicamente en los valores obtenidos, sino en el significado que estos adquieren dentro del contexto en el que se desarrollan. A través de este proceso, se logra una comprensión más profunda del funcionamiento del robot y de las variables que influyen en su desempeño.

La comparación entre los resultados esperados y los obtenidos permite evaluar el nivel de precisión del sistema y detectar posibles desviaciones. Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores como las condiciones del entorno, la calibración de los sensores o la estructura del algoritmo utilizado. Interpretar estas variaciones permite ajustar el comportamiento del sistema y mejorar su funcionamiento en futuras ejecuciones. Whitehead y Hawes (2023) destacan que la interpretación de información cuantitativa favorece la comprensión de patrones y la toma de decisiones más fundamentadas en contextos dinámicos.

La revisión de los resultados también contribuye a fortalecer el proceso de aprendizaje, ya que permite reflexionar sobre las acciones realizadas y sus consecuencias. A partir de esta revisión, es posible identificar estrategias más eficientes, corregir errores y optimizar el desempeño del sistema. Grover y Pea (2020) señalan que establecer relaciones entre variables fortalece la resolución de problemas en contextos tecnológicos, lo que permite mejorar progresivamente el funcionamiento del robot. Este enfoque convierte cada experiencia en una oportunidad para perfeccionar el sistema, favoreciendo una mejora continua basada en la comprensión de los resultados obtenidos.

A photograph of three children in a classroom setting, focused on a white humanoid robot. The robot is positioned on a table, and the children are gathered around it, looking intently at its components. The scene is overlaid with a blue tint. A white graphic element, consisting of a square, a horizontal line, and a line that curves around the bottom and right sides, frames the text.

# CAPÍTULO 3

DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE  
APRENDIZAJE STEAM CON ROBÓTICA

### **CAPÍTULO 3: Diseño de Experiencias de Aprendizaje STEAM con Robótica**

El diseño de experiencias de aprendizaje en entornos STEAM constituye uno de los desafíos más complejos y, al mismo tiempo, más frecuentes de la pedagogía contemporánea. No se trata simplemente de juntar contenidos de distintas disciplinas en torno a un dispositivo tecnológico, sino de construir rutas formativas en los que la robótica actúe como un eje articulador que proporciona sentido, funcionalidad y profundidad al conocimiento matemático. Esta perspectiva exige del docente una comprensión sofisticada de los procesos de aprendizaje, una sólida formación disciplinar y la capacidad de traducir principios pedagógicos en decisiones curriculares concretas y situadas.

La literatura especializada ha documentado con insistencia que la incorporación de herramientas tecnológicas en el aula no garantiza aprendizajes de calidad. Como señala Bocconi et al. (2022), la tecnología educativa solo produce transformaciones significativas cuando se inscribe en marcos didácticos deliberadamente diseñados, donde los propósitos formativos orientan el uso de los recursos y no al revés. Esta premisa resulta especialmente pertinente en el caso de la robótica educativa, cuyo potencial pedagógico se actualiza únicamente cuando el docente diseña secuencias que articulan la experiencia práctica con la construcción conceptual rigurosa.

En el contexto latinoamericano, y ecuatoriano en particular, el diseño de estas experiencias debe además responder a condiciones de heterogeneidad socioeducativa que imponen restricciones y posibilidades propias. Las brechas en acceso tecnológico, la diversidad cultural del estudiantado y las exigencias del currículo nacional obligan a pensar el diseño instruccional desde una lógica de adaptación y pertinencia, sin renunciar al rigor ni al interés formativo. Este capítulo aborda sistemáticamente los elementos que configuran

un diseño didáctico STEAM de calidad, desde la planificación curricular hasta la adaptación a contextos diversos, pasando por las metodologías activas, la integración tecnológica y el diseño de proyectos robóticos con base matemática sólida.

### **3.1. Planificación didáctica interdisciplinar**

La planificación didáctica interdisciplinar representa una ruptura epistemológica con la lógica fragmentada que ha estructurado históricamente la organización escolar en áreas aisladas. Planificar desde la interdisciplinariedad implica identificar núcleos problemáticos que convoquen a diversas disciplinas en torno a preguntas genuinas, donde la matemática no aparezca como un recurso instrumental, sino como una forma de interpretar, organizar y actuar sobre la realidad. Torres Santomé (2020) sostiene que la interdisciplinariedad no es una técnica ni un recurso metodológico opcional, sino una postura epistemológica que reconoce la naturaleza compleja del conocimiento y la insuficiencia de las perspectivas parciales para comprenderlo.

Esta planificación adquiere una dimensión adicional: el diseño debe contemplar la articulación entre el pensamiento matemático, las competencias tecnológicas, la comprensión científica y la sensibilidad creativa, todo ello materializado en la construcción, programación y análisis de sistemas robóticos. Esto supone un trabajo de mapeo curricular riguroso, en el que el docente identifica los puntos de convergencia entre los objetivos de distintas áreas y los pone en diálogo a través de tareas complejas y auténticas. Según Jacobs (2021), la clave de una planificación interdisciplinar exitosa radica en la selección de conceptos organizadores suficientemente potentes para generar conexiones significativas entre disciplinas sin diluir su especificidad.

### 3.1.1. Diseño curricular basado en competencias

El paradigma de la educación basada en competencias ha transformado profundamente la manera en que se concibe y se organiza el currículo escolar. Lejos de limitarse a la acumulación de contenidos, el enfoque competencial orienta el diseño instruccional hacia el desarrollo de capacidades integradas que permiten al estudiante actuar de manera eficaz en contextos complejos e inciertos. Tobón (2020) distingue entre un enfoque competencial superficial, que reduce las competencias a listas de habilidades discretas, y uno profundo, que las concibe como configuraciones dinámicas de conocimientos, actitudes, habilidades y valores que se despliegan en situaciones auténticas. Es este segundo sentido el que resulta pertinente para el diseño STEAM con robótica.



En el ámbito de las matemáticas, el diseño basado en competencias exige identificar qué capacidades se pretende desarrollar, bajo qué condiciones y con qué nivel de complejidad, antes de seleccionar los contenidos y las actividades. La competencia matemática, entendida como la disposición y la capacidad para utilizar el pensamiento

matemático en la comprensión y resolución de problemas reales, articula dimensiones cognitivas, metacognitivas y afectivas que no pueden desarrollarse mediante la enseñanza transmisiva convencional. La OCDE (2022) subraya que el diseño de currículos orientados a competencias matemáticas debe priorizar el razonamiento, la argumentación y la modelización por encima de la reproducción de algoritmos.

La integración de la robótica en este diseño potencia el desarrollo competencial al crear contextos donde las matemáticas se vuelven herramientas imprescindibles para resolver problemas que el estudiante percibe como significativos. Programar el movimiento de un robot, interpretar los datos de sus sensores o calcular las trayectorias óptimas son situaciones que demandan competencias matemáticas genuinas en contextos de alta autenticidad. Rico y Lupiáñez (2021) señalan que la contextualización auténtica es el factor más decisivo en el desarrollo de la competencia matemática, porque es la que convierte el conocimiento en instrumento de acción, y no meramente en objeto de estudio. Desde esta perspectiva, el diseño curricular basado en competencias y la integración de la robótica no son iniciativas paralelas, sino dimensiones mutuamente constitutivas de un mismo proyecto educativo.



### 3.1.2. Integración de contenidos STEAM

La integración de contenidos STEAM trasciende la simple articulación temática entre áreas del conocimiento. Supone la construcción de relaciones conceptuales profundas en las que los contenidos de una disciplina contribuyen a ampliar, complementar o cuestionar los de otra, generando comprensiones que difícilmente podrían alcanzarse de manera aislada. English (2023) distingue tres niveles de integración curricular: la multidisciplinariedad, en la que cada área conserva su lógica interna y comparte únicamente un eje temático; la interdisciplinariedad, donde se combinan conceptos y métodos de distintas disciplinas para abordar problemas comunes; y la transdisciplinariedad, en la que emerge un marco conceptual propio que supera los límites disciplinares tradicionales. Un diseño STEAM de calidad se orienta, al menos, hacia el nivel interdisciplinar.

En la práctica del aula, esta integración requiere que el docente identifique los nodos conceptuales que funcionan como puentes entre disciplinas. En el contexto de la robótica, las funciones matemáticas constituyen uno de esos nodos privilegiados: permiten modelar el comportamiento de motores y sensores, describir trayectorias en el espacio, representar relaciones entre variables y fundamentar decisiones algorítmicas. Estos mismos conceptos conectan con la física del movimiento, con la lógica computacional, con el diseño estructural y, en algunas propuestas, con representaciones artísticas del espacio y el movimiento. La potencia pedagógica de la robótica reside precisamente en su capacidad para activar simultáneamente múltiples dimensiones del conocimiento alrededor de una tarea concreta y motivadora.

Cabe señalar que la integración de contenidos no debe confundirse con la eliminación de las especificidades disciplinares. El rigor matemático, la precisión científica y el pensamiento tecnológico no se disuelven en el enfoque STEAM, sino que se profundizan al verse convocados por

problemas que los trascienden. Thibaut et al. (2021) advierten que uno de los riesgos del enfoque STEAM mal implementado es la superficialidad disciplinar: actividades aparentemente integradoras que, en el análisis detallado, apenas tocan la superficie de cada área. Evitar este riesgo exige que el diseño explicita con claridad qué contenidos matemáticos específicos se desarrollan, en qué nivel de profundidad y mediante qué tipo de tareas, sin sacrificar la autenticidad del contexto integrador.

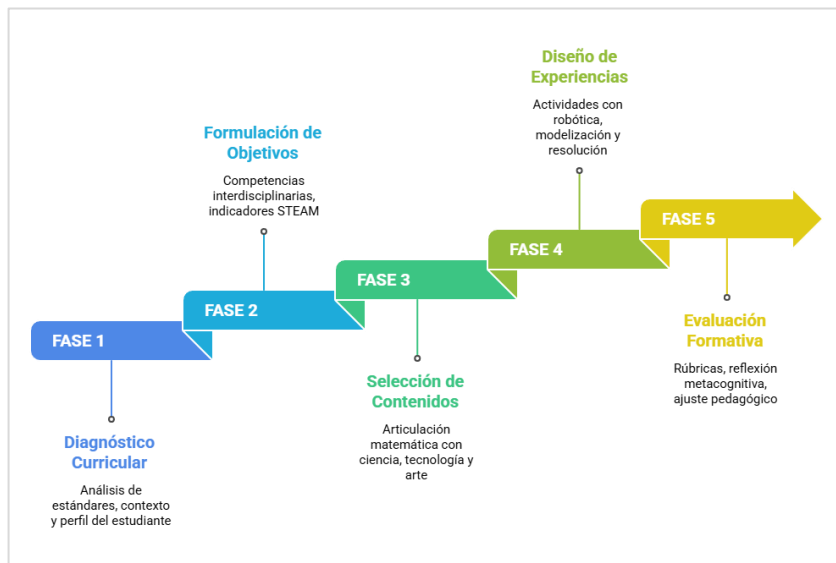
### **3.1.3. Secuenciación de aprendizajes**

La secuenciación de aprendizajes en entornos STEAM con robótica constituye una de las decisiones curriculares más complejas y delicadas del proceso de planificación. A diferencia de la didáctica convencional, donde la secuencia suele seguir la lógica interna de una sola disciplina, la planificación interdisciplinar debe articular progresiones simultáneas en varias dimensiones del conocimiento, asegurando que los estudiantes cuenten con los prerrequisitos necesarios en cada área antes de enfrentar las tareas integradoras. Coll et al. (2020) proponen que la secuenciación interdisciplinar debe organizarse en espiral: los conceptos clave se abordan en distintos momentos con niveles crecientes de complejidad, aprovechando cada nueva experiencia para profundizar y ampliar las comprensiones anteriores.

En la robótica educativa, esta secuencia puede adoptar una estructura de cinco fases que van desde el diagnóstico y la exploración inicial hasta la evaluación reflexiva, pasando por la formulación de objetivos, la construcción de experiencias y el diseño de tareas complejas. Cada fase tiene propósitos específicos y condiciona la siguiente, de manera que el proceso formativo adquiere coherencia y progresión interna.

Figura 10

*Secuencia de planificación didáctica interdisciplinar STEAM con robótica educativa*



*Nota.* Elaboración propia basada en Coll et al. (2020) y Thibaut et al. (2021).

El organizador presentado no es un simple esquema de pasos: constituye una representación de la lógica epistemológica que subyace a la planificación interdisciplinar. La secuencia entre fases no son un elemento decorativo; señalan que el proceso de diseño didáctico es fundamentalmente reflexivo. Un docente que descubre en la fase de evaluación que los estudiantes no lograron los aprendizajes previstos no simplemente repite la secuencia, sino que retorna a las fases anteriores con nueva información para rediseñar las experiencias. Este principio de retroalimentación continua es lo que distingue a la planificación didáctica de calidad de la elaboración de planes de clase. Además, la estructura por fases facilita la colaboración docente, pues cada fase puede ser abordada por equipos interdisciplinarios que aportan su experticia específica al diseño colectivo.

### 3.1.4. Diseño de objetivos interdisciplinarios

La formulación de objetivos en el diseño interdisciplinar exige superar la lógica atomizada que caracteriza a los objetivos disciplinares convencionales, donde cada área define sus propósitos de manera independiente y raramente en diálogo con las demás. Un objetivo interdisciplinario positivo integra, en su propia formulación, los aportes de distintas áreas del saber en la resolución de una situación compleja. No se trata de sumar objetivos de distintas asignaturas, sino de formular propósitos que solo pueden alcanzarse mediante la articulación efectiva de saberes provenientes de múltiples disciplinas. Wiggins y McTighe (2022) proponen el modelo de diseño inverso como herramienta para la formulación de objetivos profundos, definir las comprensiones duraderas que se busca desarrollar y, en función de estas, diseñar las evidencias de aprendizaje y las experiencias formativas.

En el contexto STEAM con robótica, un objetivo interdisciplinario bien formulado podría enunciarse de la siguiente manera: el estudiante diseña, programa y evalúa un sistema robótico que resuelve un problema del entorno comunitario, aplicando conceptos de geometría analítica, lógica proposicional y análisis estadístico, y comunicando sus resultados mediante representaciones visuales y argumentación fundamentada. Este tipo de objetivo convoca simultáneamente el pensamiento matemático, el razonamiento tecnológico, la comprensión científica y la capacidad comunicativa, y solo puede alcanzarse si el diseño instruccional articula coherentemente todos estos elementos. La UNESCO (2021) señala que los objetivos educativos del siglo XXI deben orientarse al desarrollo de competencias complejas que permitan al estudiante actuar de manera responsable y eficaz en su entorno.

La evaluación de estos objetivos constituye un desafío adicional, pues las herramientas convencionales de evaluación, diseñadas para medir

aprendizajes disciplinares discretos, resultan insuficientes para capturar la complejidad de las comprensiones interdisciplinares. El diseño de rúbricas analíticas que especifiquen los indicadores de logro en cada dimensión del objetivo, así como la incorporación de estrategias de evaluación auténtica como portafolios, presentaciones públicas y demostraciones prácticas, permite dar cuenta de manera más fiel del nivel de logro alcanzado. Rico y Lupiáñez (2021) subrayan que la coherencia entre objetivos, actividades y evaluación es el criterio más importante de calidad en cualquier diseño curricular, y su ausencia es la principal fuente de fracaso en las propuestas de innovación educativa.

### **3.1.5. Selección de recursos didácticos**

La selección de recursos didácticos para entornos STEAM con robótica es una decisión estratégica que va mucho más allá de la disponibilidad tecnológica. Un recurso didáctico es valioso no en virtud de su sofisticación técnica, sino de su capacidad para activar procesos de aprendizaje profundo en los estudiantes.

Desde esta perspectiva, la selección debe estar guiada por criterios pedagógicos claros: ¿qué capacidades activa este recurso?, ¿a qué tipo de tareas da lugar?, ¿qué nivel de demanda cognitiva genera?, ¿en qué medida permite al estudiante construir conocimiento y no solo ejecutar instrucciones? Prats et al. (2020) sostienen que la evaluación pedagógica de los recursos tecnológicos debe preceder siempre a su incorporación en el aula, pues el entusiasmo por la novedad tecnológica frecuentemente opaca el análisis de su pertinencia didáctica.

En el campo específico de la robótica educativa, los recursos pueden clasificarse en tres grandes categorías: hardware robótico (kits de construcción, microcontroladores, sensores y actuadores), software de programación (entornos visuales por bloques, entornos de

programación textual, simuladores y plataformas de diseño) y recursos curriculares de apoyo (guías de proyectos, rúbricas de evaluación, material de consulta).

La selección en cada categoría debe atender simultáneamente al nivel educativo de los estudiantes, a los objetivos del proyecto, a las condiciones de infraestructura de la institución y a los criterios de accesibilidad e inclusión. Bocconi et al. (2022) recomiendan privilegiar plataformas que admitan múltiples niveles de complejidad y que puedan crecer con el estudiante, evitando herramientas que limiten el aprendizaje a un único nivel o modo de interacción.

En el contexto ecuatoriano y latinoamericano, la selección de recursos debe contemplar además la dimensión de la sostenibilidad y la equidad. Muchos establecimientos educativos carecen de conectividad estable o de presupuesto para adquirir kits robóticos comerciales de alto costo. Frente a esta realidad, cobran especial relevancia las plataformas de acceso abierto, el hardware de bajo costo como Arduino o micro:bit, y las estrategias de construcción de materiales con recursos del entorno. La creatividad docente en la selección y adaptación de recursos no es un signo de precariedad, sino una competencia pedagógica de alto valor, que permite contextualizar el aprendizaje y aproximarlos a la realidad concreta de los estudiantes. La OCDE (2022) destaca que la equidad en el acceso a recursos tecnológicos es un imperativo ético y una condición de posibilidad para el desarrollo de sistemas educativos de calidad.

### **3.2. Diseño de proyectos STEAM con robótica**

El proyecto constituye la unidad organizativa fundamental del aprendizaje STEAM con robótica. A diferencia de las actividades puntuales o de los ejercicios de aplicación, el proyecto implica un proceso sostenido de investigación, diseño, construcción, prueba y evaluación en torno a un problema auténtico que el estudiante percibe

como relevante y desafiante. Esta característica de autenticidad es lo que confiere al proyecto su potencia formativa singular: cuando el estudiante trabaja en la resolución de un problema real, el conocimiento deja de ser un fin en sí mismo y se convierte en un instrumento de acción, lo que potencia tanto la motivación como la comprensión profunda. Krajcik y Shin (2022) identifican la autenticidad, la complejidad y la colaboración como los tres rasgos definitorios de los proyectos STEAM de calidad.

La investigación educativa ha documentado de manera consistente los efectos positivos del aprendizaje basado en proyectos sobre el rendimiento matemático, la motivación hacia el aprendizaje y el desarrollo de habilidades sociales y comunicativas. Laboy-Rush (2021) realizó una revisión sistemática de 87 estudios sobre proyectos STEAM con robótica y encontró que los estudiantes que participaron en este tipo de experiencias mostraron ganancias significativas en razonamiento algebraico, pensamiento espacial y capacidad de modelización matemática, en comparación con grupos de control que siguieron metodologías convencionales. Sin embargo, el mismo estudio advierte que la calidad del diseño del proyecto es la variable con mayor poder predictivo sobre los resultados de aprendizaje, lo que subraya la importancia del trabajo reflexivo en la planificación.

### **3.2.1. Estructura de proyectos interdisciplinarios**

Un proyecto interdisciplinario bien estructurado no surge espontáneamente de la motivación de los estudiantes ni de la creatividad improvisada del docente. Requiere un diseño previo cuidadoso que defina con precisión sus componentes, sus etapas, sus roles, sus criterios de evaluación y sus productos esperados. La estructura de un proyecto STEAM con robótica puede organizarse en torno a seis elementos fundamentales: la pregunta o desafío motivador, los aprendizajes esperados en cada disciplina, las tareas y actividades que los generan, los recursos necesarios, la cronología y

organización del trabajo, y los criterios e instrumentos de evaluación. La articulación coherente de estos elementos es lo que distingue a un proyecto genuinamente interdisciplinar de una actividad práctica etiquetada como STEAM.



La pregunta motivadora o desafío inicial cumple una función análoga a la de la hipótesis en la investigación científica: orienta el trabajo, delimita el espacio de soluciones posibles y mantiene la cohesión del equipo a lo largo del proceso. Krajcik y Shin (2022) subrayan que una buena pregunta de proyecto debe ser suficientemente abierta para admitir múltiples respuestas posibles, suficientemente específica para generar criterios de evaluación claros, y suficientemente conectada con la experiencia del estudiante para sostener la motivación. En el caso de la robótica, estas preguntas suelen organizarse alrededor de problemas del entorno comunitario: ¿cómo automatizar el riego en la huerta escolar?, ¿qué datos necesitamos recolectar para mejorar la calidad del aire en nuestra comunidad?, ¿cómo puede un robot asistir a personas con movilidad reducida?

La gestión del trabajo en equipo durante el desarrollo del proyecto constituye otro elemento estructural de alta importancia. Los proyectos interdisciplinarios generan inevitablemente momentos de incertidumbre, conflicto y reelaboración que pueden resultar difíciles de gestionar sin estructuras de apoyo claras. La asignación de roles específicos al interior de cada equipo, la definición de productos intermedios con fechas de entrega, la realización de revisiones parciales por parte del docente y la habilitación de espacios de reflexión metacognitiva son estrategias que permiten acompañar el proceso sin sustituir la autonomía del estudiante. Torres Santomé (2020) señala que el andamiaje docente en proyectos complejos no consiste en simplificar las tareas, sino en proporcionar las estructuras de apoyo que permiten al estudiante enfrentar la complejidad con los recursos adecuados.

### **3.2.2. Problemas contextualizados**

La selección del problema que articula un proyecto STEAM es una decisión pedagógica de primer orden. Un problema contextualizado no es simplemente un ejercicio con datos tomados de la vida cotidiana; es una situación genuinamente problemática que demanda conocimiento experto para ser comprendida y resuelta, y cuya resolución tiene consecuencias reales o simbólicas para quienes la emprenden. Esta distinción es crucial: los llamados problemas de contexto que abundan en los libros de texto suelen ser problemas matemáticos con envoltorio cotidiano, no problemas probados que requieran integración disciplinar. La diferencia entre ambos tipos determina en gran medida la calidad del aprendizaje que generan.

En el diseño STEAM con robótica, los problemas contextualizados de mayor potencia pedagógica son aquellos que emergen del entorno inmediato de los estudiantes y que conectan con sus preocupaciones e intereses. Problemas como el diseño de un sistema de monitoreo ambiental para la escuela, la automatización de procesos en la huerta

comunitaria o la construcción de ayudas técnicas para personas con discapacidad en la comunidad tienen la característica de ser a la vez auténticos, complejos y socialmente relevantes. Laboy-Rush (2021) documenta que los proyectos vinculados con problemáticas comunitarias generan niveles significativamente más altos de compromiso y aprendizaje profundo que aquellos desconectados del contexto local, especialmente en estudiantes de zonas rurales o de contextos socioculturales específicos.

La contextualización del problema también tiene implicaciones importantes para la integración matemática. Cuando el problema es legítimo, los contenidos matemáticos que se necesitan para resolverlo no son arbitrarios ni intercambiables: la geometría analítica aparece cuando se trata de planificar trayectorias, la estadística cuando se analizan datos del entorno, el álgebra cuando se modelan relaciones entre variables del sistema. Este carácter necesario de los contenidos matemáticos, frente a su carácter contingente en los ejercicios descontextualizados, es lo que transforma la percepción del estudiante respecto a la utilidad y el sentido de las matemáticas. Coll et al. (2020) sostienen que la motivación matemática aumenta de manera sustancial cuando los estudiantes perciben que los conceptos que estudian son herramientas imprescindibles para resolver problemas que les importan.

### **3.2.3. Integración de matemáticas en proyectos**

La integración de las matemáticas en proyectos STEAM con robótica puede realizarse en distintos niveles de profundidad, y la calidad del diseño didáctico determina en cuál de ellos se ubica la experiencia formativa. En el nivel más superficial, las matemáticas aparecen como herramientas de cálculo que el estudiante aplica de manera rutinaria para obtener resultados numéricos que alimentan el proyecto. En un nivel intermedio, los conceptos matemáticos se utilizan para modelar

situaciones y tomar decisiones, lo que exige comprensión y no solo ejecución procedimental. En el nivel más profundo, las matemáticas se convierten en un lenguaje de análisis y argumentación que el estudiante emplea para fundamentar sus decisiones de diseño, interpretar los resultados de las pruebas y comunicar sus hallazgos de manera rigurosa.

Alcanzar este tercer nivel requiere que el diseño del proyecto incluya explícitamente momentos de matematización: instancias en las que el estudiante debe traducir una situación real en términos matemáticos, trabajar con esa representación para obtener conclusiones y luego interpretar esas conclusiones en el contexto original. Blum (2022) describe este proceso como el ciclo de modelización matemática, y lo identifica como el núcleo de la competencia matemática funcional. En el contexto de la robótica, la matematización ocurre, por ejemplo, cuando el estudiante debe expresar algebraicamente la relación entre la velocidad de un motor y la distancia recorrida, o cuando debe utilizar estadística descriptiva para interpretar las lecturas de un sensor y decidir si el sistema está funcionando correctamente.

Un aspecto frecuentemente subestimado en el diseño de la integración matemática es el rol de la comunicación matemática. Que el estudiante sepa calcular no es suficiente: debe poder explicar qué calculó, por qué lo hizo y qué significa el resultado en el contexto del proyecto. Esta dimensión comunicativa de la competencia matemática es especialmente importante en proyectos interdisciplinarios, donde la colaboración entre estudiantes con distintas fortalezas requiere que todos puedan articular su razonamiento de manera comprensible. Rico y Lupiáñez (2021) señalan que la comunicación matemática no es solo una habilidad complementaria, sino un componente constitutivo de la comprensión: explicar obliga a clarificar, y la clarificación profundiza la comprensión.

### 3.2.4. Evaluación del diseño de proyectos

La evaluación de proyectos STEAM con robótica presenta desafíos que van más allá de los que plantea la evaluación convencional de aprendizajes disciplinares. Evaluar un proyecto significa dar cuenta de procesos complejos y multidimensionales en los que confluyen el aprendizaje conceptual, el desarrollo de habilidades procedimentales, las actitudes y disposiciones ante el trabajo colaborativo y la capacidad de tomar decisiones fundamentadas bajo condiciones de incertidumbre. Ninguno de estos aspectos puede ser capturado por instrumentos de evaluación que miden únicamente la reproducción de contenidos, lo que obliga a recurrir a estrategias de evaluación auténtica específicamente diseñadas para este tipo de experiencias.

La rúbrica analítica constituye el instrumento de evaluación más adecuado para proyectos STEAM, porque permite especificar con precisión los indicadores de logro en cada dimensión del aprendizaje esperado. Una rúbrica bien diseñada para un proyecto robótico debería contemplar al menos cuatro dimensiones: la solidez matemática del diseño (¿los cálculos son correctos?, ¿el modelo algebraico es apropiado para el problema?), la calidad técnica del sistema construido (¿el robot funciona según lo previsto?, ¿el código es eficiente y documentado?), la coherencia del proceso de diseño (¿el equipo identificó el problema con claridad, planificó sus acciones y revisó sus decisiones?), y la calidad de la comunicación final (¿el informe o la presentación comunican con precisión y rigor los aprendizajes desarrollados?). Wiggins y McTighe (2022) subrayan que las rúbricas deben ser conocidas por los estudiantes desde el inicio del proyecto, para que actúen como guías del proceso y no solo como instrumentos de calificación final.

La autoevaluación y la coevaluación son componentes esenciales del sistema de evaluación en proyectos colaborativos. Estos procesos desarrollan la metacognición, la responsabilidad compartida y la capacidad de dar y recibir retroalimentación constructiva, competencias que tienen un valor formativo que trasciende los contenidos específicos del proyecto. Diversas investigaciones en contextos latinoamericanos (Laboy-Rush, 2021; Torres Santomé, 2020) han documentado que la incorporación de la autoevaluación en proyectos STEAM produce mejoras significativas no solo en el rendimiento académico, sino también en la autoconfianza matemática y en la disposición hacia el aprendizaje colaborativo, especialmente en estudiantes que históricamente han experimentado fracaso escolar en matemáticas.

### 3.2.5. Ejemplos de proyectos aplicados

La presentación de ejemplos concretos de proyectos STEAM con robótica cumple una función epistemológica fundamental en este texto: permite mostrar cómo los principios teóricos desarrollados en los apartados anteriores se materializan en propuestas educativas específicas, situadas y evaluables. Más allá de su valor ilustrativo, estos ejemplos constituyen modelos de diseño que el docente puede adaptar a su propio contexto, aprovechando la estructura y la lógica de integración para generar nuevas propuestas con diferentes contenidos, niveles y recursos.

**Tabla 10**

*Ejemplos de proyectos STEAM aplicados con robótica educativa*

Nombre del proyecto	Nivel educativo	Contenidos STEAM integrados	Producto final
Robot cartógrafo	Básica Superior (8.º-10.º)	Geometría, sistema de coordenadas, programación, sensores, diseño digital	Mapa digital e interactivo del entorno escolar

Puente sostenible	Bachillerato (1.º-2.º)	Trigonometría, física de estructuras, modelado 3D, arte y diseño	Prototipo funcional a escala de un puente sostenible
Granja automatizada	Básica Media (5.º-7.º)	Estadística básica, biología, sensores de humedad, programación visual	Sistema automatizado de riego inteligente
Calculadora de CO <sub>2</sub>	Bachillerato (2.º-3.º)	Álgebra, química ambiental, análisis de datos, infografía digital	Aplicación para calcular la huella de carbono
Laberinto inteligente	Básica Superior (8.º-10.º)	Lógica, álgebra booleana, programación, arte geométrico	Robot capaz de resolver laberintos
Monitor de calidad del aire	Bachillerato y Universidad	Estadística descriptiva, química, electrónica básica, visualización de datos	Dashboard de monitoreo ambiental en tiempo real
Simulador de consumo energético	Universidad	Modelación matemática, física aplicada, programación, sostenibilidad, diseño tecnológico	Simulador digital para optimizar el consumo energético
Sistema domótico educativo	Universidad	Cálculo básico, electrónica, Internet de las Cosas, programación, diseño de interfaces	Prototipo de aula o vivienda inteligente automatizada
Analizador de movilidad urbana	Universidad	Estadística inferencial, modelación, programación, georreferenciación, diseño visual	Plataforma de análisis de rutas y movilidad sostenible
Bioindicador digital del agua	Universidad	Química, biología, sensores, análisis matemático de datos, diseño experimental	Prototipo de monitoreo de calidad del agua

*Nota.* Elaboración propia basada en Krajcik y Shin (2022), Laboy-Rush (2021) y experiencias documentadas en contextos educativos latinoamericanos.

La tabla presenta una secuencia progresiva de proyectos STEAM que evidencia una clara articulación entre niveles educativos y el desarrollo gradual de competencias cognitivas y técnicas. En los niveles de Básica Media y Básica Superior, los proyectos se orientan hacia la exploración guiada y la comprensión de conceptos fundamentales como la geometría, la estadística y la lógica, mediante el uso de herramientas accesibles como sensores y programación visual. A medida que se avanza hacia el Bachillerato, se observa una transición hacia procesos más complejos, donde se integran la modelación matemática, el análisis de datos y la resolución de problemas contextualizados, fortaleciendo el pensamiento crítico y la capacidad de aplicar conocimientos en situaciones reales.

En el nivel universitario, los proyectos alcanzan un enfoque más especializado, incorporando herramientas avanzadas como la estadística inferencial, la simulación, la programación y la georreferenciación, lo que permite abordar problemáticas con impacto social y ambiental. De manera transversal, la tabla destaca el papel de la matemática como eje articulador del enfoque STEAM, integrando disciplinas y promoviendo soluciones innovadoras. Asimismo, los productos finales propuestos reflejan un enfoque basado en proyectos, favoreciendo el desarrollo de competencias del siglo XXI como la creatividad, la colaboración y la adaptabilidad, lo que convierte esta propuesta en una estrategia didáctica pertinente y coherente con las demandas educativas actuales.



### 3.3. Metodologías activas aplicadas

Las metodologías activas constituyen el correlato didáctico del enfoque STEAM: si este último define qué se aprende y por qué, aquellas determinan cómo se aprende y bajo qué condiciones. El rasgo definitorio de las metodologías activas es el desplazamiento del centro de gravedad del proceso educativo, desde la transmisión docente hacia la construcción estudiantil del conocimiento. Este principio, formulado en distintas versiones por Dewey, Piaget y Vygotski a lo largo del siglo XX, adquiere una nueva urgencia en el contexto de la educación del siglo XXI, donde la información está disponible de manera casi ilimitada y la capacidad de procesarla, evaluarla y aplicarla creativamente se convierte en la competencia central que la escuela debe desarrollar.

La incorporación de la robótica en el aula crea condiciones especialmente favorables para el despliegue de metodologías activas, porque el robot es un objeto que convoca la acción: su construcción, programación y puesta a prueba requieren inevitablemente que el estudiante actúe, decida, evalúe y corrija. Pero esta potencia pedagógica no se activa de manera automática: el docente que limita el trabajo con robótica a la reproducción de instrucciones y a la ejecución de rutinas predefinidas desperdicia el potencial metodológico del recurso. Las metodologías que se describen en este apartado representan marcos de trabajo que permiten aprovechar plenamente ese potencial, situando al estudiante en el rol de constructor activo, creativo y reflexivo de su propio aprendizaje.

#### 3.3.1. Aprendizaje basado en proyectos (ABP)

El aprendizaje basado en proyectos representa la metodología activa más estrechamente vinculada con el enfoque STEAM y la más ampliamente documentada en la investigación educativa reciente. Su principio organizador es que el aprendizaje más profundo ocurre

cuando los estudiantes trabajan durante un período sostenido en la investigación y resolución de un problema complejo y auténtico que les resulta significativo. A diferencia de las actividades de aplicación que siguen a la enseñanza de contenidos, en el ABP el problema o proyecto es el punto de partida del aprendizaje: los contenidos disciplinares se aprenden porque son necesarios para avanzar en la resolución, y no como preparación previa a ella. Krajcik y Shin (2022) identifican esta inversión de la secuencia convencional como el rasgo más radical y más potente del ABP.

La implementación del ABP en entornos de robótica educativa sigue un ciclo reconocible que puede adaptarse a distintos contextos y niveles. El ciclo comienza con una pregunta o reto motivador que desestabiliza el conocimiento previo del estudiante y lo impulsa a investigar; continúa con fases de exploración, diseño, construcción y prueba en las que el conocimiento se construye en función de las necesidades del proyecto; y concluye con la presentación pública de los resultados, que activa la dimensión comunicativa del aprendizaje y proporciona una retroalimentación auténtica. En cada una de estas fases, el docente actúa como facilitador, formulando preguntas que profundizan la reflexión, proporcionando recursos cuando son necesarios y orientando el proceso sin sustituir la agencia del estudiante.

Los datos de investigación en contextos latinoamericanos respaldan con solidez la eficacia del ABP en el aprendizaje matemático. Torres Santomé (2020) y Laboy-Rush (2021), en estudios realizados en México, Colombia y Ecuador, documentaron que estudiantes de educación básica superior que participaron en proyectos robóticos organizados según el modelo ABP mostraron mejoras significativas en la comprensión de conceptos algebraicos y geométricos, en la capacidad de resolución de problemas no rutinarios y en la actitud hacia las matemáticas, en comparación con grupos control. Estos resultados son especialmente significativos en el caso de estudiantes de

contextos socioeconómicos desfavorecidos, donde la motivación y el sentido de autoeficacia matemática suelen ser bajos al inicio de la intervención.

### 3.3.2. Aprendizaje basado en problemas

El aprendizaje basado en problemas comparte con el ABP su punto de partida en una situación problemática auténtica, pero se diferencia de él en el alcance y la duración del proceso. Mientras que el ABP típicamente se organiza en torno a proyectos que producen un artefacto o producto tangible, el aprendizaje basado en problemas puede organizarse alrededor de situaciones que demandan análisis, decisión y argumentación sin necesariamente producir un objeto físico. Esta modalidad resulta especialmente fértil en matemáticas, donde muchos problemas genuinamente interesantes son de naturaleza conceptual o analítica, y donde la discusión y la argumentación constituyen en sí mismas la actividad formativa central.

En el contexto de la robótica educativa, el aprendizaje basado en problemas puede emplearse de manera complementaria al ABP para abordar en profundidad los nodos matemáticos que el proyecto activa. Por ejemplo, ante el desafío de calcular la trayectoria óptima de un robot en un laberinto, el docente puede organizar una sesión de aprendizaje basado en problemas donde los estudiantes, sin acceso al robot físico, deben razonar matemáticamente sobre el problema de la ruta mínima, explorar distintas estrategias de solución, argumentar sus decisiones y evaluar las propuestas de sus compañeros. Esta dimensión de razonamiento puro, inserta en el contexto más amplio del proyecto, profundiza la comprensión matemática y evita que la fascinación por el robot desplace la reflexión conceptual.

Bocconi et al. (2022) señalan que la combinación del aprendizaje basado en problemas con la práctica robótica produce un efecto sinérgico: el robot concretiza y motiva el problema, mientras que el

razonamiento abstracto sobre el problema enriquece y profundiza la comprensión de lo que el robot hace. Esta articulación entre lo concreto y lo abstracto, entre la acción y la reflexión, entre el problema situado y el concepto general, refleja de manera precisa el ciclo de modelización matemática que, según Blum (2022), constituye el núcleo de la competencia matemática funcional.

### 3.3.3. Design Thinking en educación

El Design Thinking es una metodología de resolución creativa de problemas, originalmente desarrollada en el ámbito del diseño industrial y de productos, que ha encontrado en la educación STEAM un espacio de aplicación particularmente productivo. Su aportación más significativa al repertorio metodológico de la educación STEAM es la centralidad de la empatía como punto de partida del proceso creativo: antes de diseñar una solución, el estudiante debe comprender en profundidad las necesidades, los deseos y los contextos de las personas para quienes diseña. Esta orientación hacia el usuario humaniza el proceso técnico y abre dimensiones éticas y sociales que las metodologías puramente tecnológicas suelen ignorar.

El ciclo del Design Thinking, en su versión educativa, se organiza típicamente en cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar. En el contexto de la robótica educativa, estas fases adquieren un contenido específico: la empatía implica investigar el problema real que el robot debe ayudar a resolver; la definición consiste en formular el problema con precisión, incluyendo sus dimensiones matemáticas y técnicas; la ideación produce múltiples soluciones posibles que se evalúan en función de criterios técnicos, estéticos y éticos; el prototipado materializa la solución elegida en un sistema robótico funcional; y la evaluación contrasta el prototipo con los criterios establecidos y con las necesidades del usuario. English (2023) destaca que el Design Thinking introduce en la educación STEAM una dimensión

de creatividad estructurada que equilibra la libertad exploratoria con el rigor técnico.

Una de las contribuciones más relevantes del Design Thinking al aprendizaje matemático es la naturalización del error como parte del proceso creativo. En el ciclo convencional de enseñanza de las matemáticas, el error suele ser vivido por el estudiante como fracaso; en el Design Thinking, el prototipo fallido es una fuente de información valiosa que orienta la mejora del diseño. Esta recontextualización del error tiene efectos positivos documentados sobre la autoconfianza matemática y la disposición hacia el aprendizaje, especialmente en estudiantes que han desarrollado ansiedad hacia las matemáticas. Thibaut et al. (2021) señalan que la reducción de la ansiedad matemática es uno de los efectos colaterales más consistentes de las metodologías STEAM bien implementadas, y el Design Thinking contribuye significativamente a este efecto por su énfasis en el proceso iterativo de mejora.

#### **3.3.4. Aprendizaje experimental**

El aprendizaje experimental, en la tradición de Dewey y Kolb, se organiza en torno a un ciclo de cuatro momentos: la experiencia concreta, la observación reflexiva, la conceptualización abstracta y la experimentación activa. Este ciclo describe de manera precisa lo que ocurre cuando un estudiante trabaja con un sistema robótico de manera reflexiva: primero experimenta (construye el robot, escribe el código, lo pone en marcha), luego observa lo que ocurre (el robot no sigue la trayectoria prevista, el sensor da lecturas inesperadas), después conceptualiza (identifica el principio matemático o técnico que explica lo observado) y finalmente actúa de nuevo con base en esa conceptualización (modifica el algoritmo, recalibra el sensor, ajusta el diseño físico).

La potencia formativa del aprendizaje experimental en robótica reside en que este ciclo se repite múltiples veces durante el desarrollo de un proyecto, produciendo una espiral ascendente de comprensión. Cada iteración del ciclo no solo resuelve el problema inmediato, sino que profundiza la comprensión de los principios matemáticos y técnicos subyacentes. Coll et al. (2020) señalan que el aprendizaje experimental bien gestionado produce una forma de conocimiento que combina la solidez conceptual con la flexibilidad procedimental, es decir, el estudiante no solo sabe cómo hacerlo, sino por qué funciona, lo que le permite adaptar su conocimiento a situaciones nuevas con mayor eficacia.

Un aspecto frecuentemente descuidado en la implementación del aprendizaje experimental con robótica es la fase de conceptualización abstracta, que puede quedar opacada por la atracción de la fase experimental concreta. El robot en movimiento capta la atención de los estudiantes de una manera que pocas herramientas educativas pueden igualar, pero si el docente no crea los espacios y las estructuras necesarias para que esa experiencia se convierta en conceptualización rigurosa, el aprendizaje se queda en el nivel de la intuición práctica sin acceder al nivel de la comprensión teórica. La gestión deliberada del ciclo de Kolb, con momentos explícitamente dedicados a la reflexión y la abstracción, es lo que transforma una actividad con robots en una experiencia de aprendizaje profundo.

### **3.3.5. Aprendizaje invertido (Flipped Classroom)**

El modelo de aula invertida propone una reorganización del tiempo y del espacio de aprendizaje que resulta especialmente productiva en el contexto STEAM con robótica. El principio fundamental es que los momentos de instrucción directa, que en el modelo convencional ocupan el tiempo de clase, se trasladan al espacio doméstico mediante videos, lecturas u otros materiales digitales, liberando el tiempo

presencial para actividades de mayor demanda cognitiva: la resolución de problemas complejos, el trabajo colaborativo, la experimentación y la retroalimentación individualizada. Esta reorganización responde a una premisa pedagógica sólida: el tiempo de presencia física con el docente y con los compañeros es demasiado valioso para destinarlo a la recepción pasiva de información.

En entornos de robótica educativa, el aula invertida adopta una forma particular. Antes de cada sesión práctica, los estudiantes acceden en casa a materiales que presentan los conceptos matemáticos o técnicos que necesitarán para avanzar en el proyecto: un video que explica cómo funciona un sensor ultrasónico, una guía que introduce el concepto de función lineal en el contexto del control de velocidad, o una actividad interactiva que permite explorar el sistema de coordenadas cartesianas. Durante la sesión presencial, el docente no repite esa instrucción, sino que dedica el tiempo a acompañar la aplicación de esos conceptos en el contexto del proyecto robótico, identificando dificultades individuales y grupales, formulando preguntas que profundizan la comprensión y facilitando la colaboración entre equipos.

La eficacia del aula invertida depende de manera crítica de la calidad de los materiales de instrucción previa y de la coherencia entre esos materiales y las actividades de clase. Si los materiales son de baja calidad, excesivamente largos o mal articulados con el trabajo práctico, los estudiantes no los acceden de manera significativa, y la inversión del modelo pierde su sentido. Prats et al. (2020) señalan que el diseño de materiales para el aula invertida requiere las mismas competencias didácticas que el diseño de cualquier experiencia de aprendizaje, con el agravante de que el docente no está presente para acompañar la comprensión inicial. En el contexto ecuatoriano, la aplicabilidad de este modelo debe además contemplar las condiciones

de acceso a internet y dispositivos tecnológicos de los estudiantes, lo que puede exigir el diseño de materiales descargables u offline.

### **3.4. Integración tecnológica en el aula**

La integración tecnológica en el aula STEAM con robótica constituye mucho más que la incorporación de dispositivos digitales en el espacio escolar. Representa, en un sentido profundo, una transformación de la cultura del aula: de la pasividad receptiva a la participación activa, de la uniformidad curricular a la personalización del aprendizaje, de la evaluación sumativa al seguimiento formativo continuo. El marco SAMR (Sustitución, Aumento, Modificación, Redefinición), propuesto por Puentedura y ampliamente utilizado en la investigación sobre tecnología educativa, ofrece una herramienta analítica útil para evaluar el nivel de integración tecnológica: solo cuando la tecnología redefine lo que sería imposible hacer sin ella se puede hablar de integración genuina y transformadora.

En el campo específico de la robótica educativa, esta redefinición es particularmente evidente. El robot permite al estudiante interactuar físicamente con conceptos matemáticos abstractos, ver el movimiento real producido por una función lineal o verificar empíricamente las consecuencias de un error en un algoritmo, experiencias que ninguna representación simbólica convencional puede proporcionar. Pero el robot no actúa solo: requiere plataformas de programación, entornos digitales de aprendizaje, simuladores y recursos tecnológicos abiertos que conforman un ecosistema tecnológico cuyo diseño y selección son responsabilidad pedagógica del docente. Los apartados siguientes analizan los componentes de ese ecosistema con el rigor y la especificidad que su importancia requiere.

### 3.4.1. Plataformas de programación educativa

Las plataformas de programación educativa son el medio mediante el cual los estudiantes traducen sus ideas en instrucciones ejecutables por el robot, y en consecuencia constituyen la interfaz más directa entre el pensamiento matemático y la acción tecnológica. La selección de la plataforma adecuada para cada nivel educativo y cada propósito formativo es una decisión que tiene implicaciones profundas sobre la naturaleza del aprendizaje que se genera. No todas las plataformas son equivalentes desde el punto de vista pedagógico: algunas fomentan el pensamiento algorítmico y la comprensión de estructuras de control, mientras que otras se limitan a proporcionar experiencias de programación superficiales que no desarrollan capacidades transferibles. Bocconi et al. (2022) señalan que la selección de plataformas de programación debe guiarse por criterios de transferibilidad cognitiva: ¿lo que aprende el estudiante en esta plataforma le permite comprender mejor la programación en otros entornos, o solo le permite operar dentro de este sistema cerrado?

La progresión desde plataformas de programación por bloques hacia entornos de código textual es un eje de desarrollo curricular que debe planificarse con cuidado. Las plataformas visuales por bloques, como Scratch o mBlock, son excelentes puntos de entrada porque reducen la carga cognitiva asociada a la sintaxis y permiten al estudiante concentrarse en la lógica del algoritmo. Sin embargo, si el estudiante permanece indefinidamente en este nivel, no desarrolla la comprensión de los mecanismos computacionales que subyacen a los bloques, ni accede a las posibilidades expresivas que ofrece el código textual. La Tabla 3.2 presenta las principales plataformas disponibles, organizadas por sus características pedagógicas y su compatibilidad con distintos tipos de hardware educativo.

Tabla 11

*Plataformas de programación educativa para entornos STEAM con robótica*

Plataforma	Lenguaje	Nivel educativo	Compatibilidad con hardware	Fortaleza pedagógica
Scratch 3.0	Bloques visuales	Básica (6-14 años)	micro:bit, LEGO WeDo	Pensamiento secuencial y narrativo
mBlock 5	Bloques / Python	Básica - Bachillerato	Makeblock, Arduino, micro:bit	Transición gradual a código textual
MIT App Inventor	Bloques eventos	Básica Superior	Android, Bluetooth BT	Creación de apps con lógica real
Tinkercad Circuits	Bloques / C++	Bachillerato	Arduino Uno/Mega simulado	Prototipado sin hardware físico
Python (IDLE/Mu)	Textual	Bachillerato avanzado	Raspberry Pi, sensores GPIO	Transición a programación profesional
Blockly (Google)	Bloques web	Básica Media - Superior	Multidevice vía web	Pensamiento algorítmico abierto

*Nota.* Elaboración propia basada en Bocconi et al. (2022) y Wing (2006).

La lectura pedagógica de esta tabla supera la comparación técnica de características. Lo que emerge es una arquitectura de progresión formativa: las plataformas por bloques constituyen el andamiaje inicial que desarrolla el pensamiento algorítmico sin la fricción de la sintaxis, mientras que las plataformas textuales representan el destino de una trayectoria formativa que el docente debe diseñar con intencionalidad. La columna de fortaleza pedagógica revela que cada plataforma activa dimensiones cognitivas distintas, lo que sugiere que la selección no debe responder únicamente a criterios de compatibilidad técnica sino a una lectura del perfil cognitivo del grupo y del momento de la trayectoria formativa en que se encuentra. El docente que usa mBlock

con estudiantes de bachillerato no solo está utilizando un recurso apropiado: está creando las condiciones para una transición exitosa hacia Python, lo que a su vez abre el acceso a contextos de programación con impacto en ciencias de datos, inteligencia artificial y robótica avanzada.

### **3.4.2. Uso de simuladores**

Los simuladores educativos representan una solución tecnológica de alto valor pedagógico para uno de los problemas más recurrentes en la educación STEAM con robótica: la escasez o el costo elevado del hardware físico. Un simulador bien diseñado permite al estudiante programar, probar y depurar sistemas robóticos en un entorno virtual que reproduce con fidelidad suficiente el comportamiento del robot real, generando aprendizajes transferibles que luego pueden aplicarse sin dificultad cuando el hardware físico está disponible. Esta funcionalidad es especialmente relevante en el contexto latinoamericano, donde muchas instituciones educativas tienen acceso limitado a kits de robótica y donde la posibilidad de trabajo domiciliario con simuladores permite ampliar significativamente el tiempo efectivo de práctica.

Más allá de su función compensatoria, los simuladores ofrecen posibilidades pedagógicas que el hardware físico no puede proporcionar. La capacidad de visualizar en tiempo real variables internas del sistema, como la velocidad exacta de un motor, la trayectoria que el robot seguiría en distintas condiciones o el árbol de decisiones que genera un algoritmo complejo, permite al estudiante acceder a representaciones del funcionamiento del sistema que serían invisibles en la operación física del robot. Esta visualización convierte al simulador en un poderoso instrumento para el desarrollo del pensamiento matemático: el estudiante puede ver literalmente la función que describe el movimiento del robot, y no solo inferirla a partir de los resultados observables.

Tinkercad Circuits, PhET Simulations y los entornos de simulación de Scratch con extensiones de robótica virtual son algunos de los recursos más accesibles y pedagógicamente sólidos disponibles en la actualidad. Su incorporación en la secuencia didáctica debe ser deliberada: típicamente, el simulador precede al trabajo con hardware físico (permitiendo explorar y depurar el código antes de ejecutarlo en el robot real), pero también puede seguirlo (permitiendo explorar condiciones que serían costosas o peligrosas de reproducir físicamente). Esta flexibilidad de uso hace del simulador un recurso versátil que complementa y enriquece la experiencia con el hardware físico sin sustituirla.

### **3.4.3. Hardware educativo en robótica**

La selección del hardware robótico para entornos educativos es una decisión que debe equilibrar criterios técnicos, pedagógicos y económicos con una visión de largo plazo sobre las trayectorias formativas que se desea habilitar. El mercado de la robótica educativa ofrece una amplia gama de kits y plataformas, desde sistemas integrados de alta facilidad de uso pero menor flexibilidad, como LEGO Education SPIKE Prime, hasta plataformas de hardware abierto como Arduino y Raspberry Pi, que ofrecen posibilidades prácticamente ilimitadas pero requieren mayor competencia técnica por parte del docente y el estudiante. No existe un hardware universalmente superior: la elección debe hacerse en función del nivel educativo, los objetivos de aprendizaje y las capacidades disponibles.

Para la educación básica y los primeros años del bachillerato, los kits integrados presentan ventajas claras: reducen la complejidad de la configuración inicial, permiten a los estudiantes comenzar a programar y construir con rapidez, y minimizan las frustraciones técnicas que pueden desalentar a los principiantes. Sin embargo, su limitación principal reside en que ocultan al estudiante la arquitectura interna del sistema, impidiendo la comprensión de cómo los componentes

electrónicos se relacionan con los conceptos matemáticos que los gobiernan. Las plataformas de hardware abierto, en cambio, hacen visible esa arquitectura: cuando un estudiante conecta un sensor a un Arduino y escribe el código que lee sus datos, comprende de manera directa la relación entre el objeto físico, el dato numérico y la expresión algebraica que los vincula.



El micro:bit se ha consolidado en los últimos años como una plataforma de transición especialmente exitosa en el contexto latinoamericano: suficientemente accesible y amigable para estudiantes de educación básica superior, pero con suficiente profundidad técnica para sostener proyectos robóticos de complejidad media. Su costo reducido, su conectividad inalámbrica y su compatibilidad con plataformas de programación tanto por bloques como textual lo convierten en una opción que equilibra de manera favorable los criterios de accesibilidad, potencia pedagógica y sostenibilidad institucional. Bocconi et al. (2022) lo identifican como uno de los recursos con mayor impacto documentado en el desarrollo del pensamiento computacional en educación básica.

#### 3.4.4. Entornos digitales de aprendizaje

Los entornos digitales de aprendizaje, también denominados plataformas LMS (Learning Management Systems) o entornos virtuales de aprendizaje, constituyen la infraestructura digital que organiza y da continuidad a las experiencias formativas más allá del espacio físico del aula. En el contexto STEAM con robótica, estos entornos cumplen funciones que van desde la gestión administrativa de los proyectos hasta el seguimiento formativo individualizado, pasando por la creación de espacios de colaboración entre equipos y la documentación del proceso de aprendizaje. Su valor pedagógico no reside en sí mismos, sino en la calidad de las actividades y las interacciones que posibilitan, que dependen a su vez del diseño didáctico del docente.

Wiggins y McTighe (2022) señalan que los entornos digitales de aprendizaje solo producen valor pedagógico añadido cuando se integran en un diseño instruccional coherente, donde cada funcionalidad de la plataforma responde a un propósito formativo específico. El foro de discusión, por ejemplo, puede emplearse para que los equipos compartan los resultados de sus pruebas y reciban retroalimentación de sus compañeros, desarrollando así la capacidad de comunicar resultados matemáticos de manera rigurosa. La herramienta de entrega de tareas puede documentar las versiones sucesivas del código, haciendo visible el proceso de mejora iterativa. La función de videoconferencia puede utilizarse para presentaciones públicas de proyectos ante audiencias externas, lo que amplifica el sentido social del trabajo realizado. La tabla sistematiza los principales entornos disponibles y sus aplicaciones específicas en contextos STEAM.

Tabla 12

*Entornos digitales de aprendizaje para contextos STEAM con robótica*

Entorno digital	Tipo de recurso	Aplicación en STEAM	Acceso	Limitación principal
Google Classroom	LMS colaborativo	Organización de proyectos y retroalimentación	Gratuito (cuenta educativa)	Dependencia de conectividad
Moodle	LMS flexible de código abierto	Gestión de cursos, foros, evaluaciones	Gratuito (servidor propio)	Requiere soporte técnico institucional
Khan Academy	Plataforma de contenidos adaptativos	Refuerzo matemático individualizado	Gratuito (web/app)	Limitada interacción robótica
PhET Simulations	Simuladores científicos	Experimentación virtual en física y matemáticas	Gratuito (offline disponible)	No integra programación
CoSpaces Edu	Entorno 3D/VR colaborativo	Diseño de mundos STEAM con código	Freemium	Curva de aprendizaje docente alta
Tinkercad	Diseño 3D y circuitos	Prototipado virtual de robots y estructuras	Gratuito (web)	Requiere registro institucional

*Nota.* Elaboración propia basada en Wiggins y McTighe (2022), Prats et al. (2020).

El análisis comparativo que emerge de esta tabla permite identificar una tensión central en la selección de entornos digitales para contextos educativos latinoamericanos: la brecha entre la riqueza funcional de las plataformas y las condiciones de infraestructura tecnológica de muchas instituciones. Plataformas como CoSpaces Edu o Tinkercad ofrecen posibilidades extraordinarias para el aprendizaje STEAM, pero requieren conectividad estable y dispositivos relativamente recientes, condiciones que no son universales en el sistema educativo ecuatoriano.

Esta realidad obliga al docente a diseñar estrategias híbridas que combinen plataformas online con recursos offline, garantizando la continuidad del aprendizaje independientemente de las condiciones de conectividad. La lógica no debe ser la de esperar las condiciones ideales, sino la de extraer el máximo aprendizaje posible de las condiciones disponibles, con creatividad pedagógica y rigor formativo.

### **3.4.5. Recursos tecnológicos abiertos**

Los recursos educativos abiertos (REA) constituyen uno de los desarrollos más significativos del ecosistema tecnológico educativo de las últimas décadas, y representan una oportunidad especialmente valiosa para los contextos educativos con limitaciones presupuestarias. Un recurso educativo abierto es cualquier material de enseñanza, aprendizaje o investigación que ha sido publicado bajo una licencia que permite su uso, adaptación y redistribución sin costo. En el ámbito STEAM, el movimiento de recursos abiertos ha generado un ecosistema extraordinariamente rico: plataformas de programación, simuladores, guías de proyectos, rúbricas de evaluación y materiales curriculares completos están disponibles de manera gratuita para cualquier docente con acceso a internet.

La utilización pedagógicamente inteligente de los REA requiere, sin embargo, competencias de evaluación y selección que van más allá de la disponibilidad. No todos los recursos abiertos son de igual calidad pedagógica: algunos están bien diseñados desde el punto de vista didáctico y son transferibles a distintos contextos, mientras que otros reproducen en formato digital las mismas limitaciones de la enseñanza transmisiva convencional. El docente STEAM que busca recursos abiertos debe evaluarlos con los mismos criterios que aplicaría a cualquier material curricular: ¿qué tipo de aprendizaje promueve?, ¿qué nivel de demanda cognitiva genera?, ¿es adaptable al contexto específico de sus estudiantes?, ¿está actualizado en términos de contenido y de diseño pedagógico?

En el contexto ecuatoriano, la apropiación de REA para la educación STEAM con robótica tiene además una dimensión de soberanía pedagógica: los docentes que adaptan, producen y comparten sus propios recursos abiertos contribuyen a la construcción de un patrimonio educativo situado, culturalmente pertinente y contextualmente relevante. Esta dimensión productiva, que convierte al docente de consumidor a creador de recursos educativos, es coherente con el enfoque de la investigación-acción pedagógica que caracteriza a la docencia reflexiva de calidad. La OCDE (2022) identifica la capacidad de producir y compartir recursos educativos de calidad como una de las competencias profesionales docentes más relevantes para el siglo XXI.

### **3.5. Adaptación a contextos educativos diversos**

El principio de adaptación curricular es uno de los pilares de la pedagogía contemporánea y un imperativo ético de los sistemas educativos comprometidos con la equidad. En el contexto STEAM con robótica, este principio adquiere una dimensión adicional de complejidad: no se trata solo de adaptar los contenidos matemáticos al nivel y las características de los estudiantes, sino de hacer accesible una propuesta educativa que combina múltiples disciplinas, metodologías activas y recursos tecnológicos, todo ello en contextos marcados por la heterogeneidad sociocultural, las brechas tecnológicas y las necesidades educativas diversas. La adaptación no es un complemento optativo del diseño didáctico, sino una dimensión constitutiva de cualquier propuesta educativa que aspire a la calidad con equidad.

La investigación en educación STEAM ha documentado con insistencia que las brechas de participación y rendimiento en estas áreas no son atribuibles a diferencias en las capacidades cognitivas de los estudiantes, sino a diferencias en las oportunidades de acceso a

experiencias formativas de calidad. Niñas, estudiantes de zonas rurales, estudiantes con discapacidades y estudiantes de contextos socioeconómicos desfavorecidos participan en experiencias STEAM de calidad con mucha menor frecuencia que sus pares masculinos, urbanos, sin discapacidad y de clase media, y esta desigualdad de oportunidades produce y reproduce las brechas de rendimiento que erróneamente se atribuyen a diferencias de capacidad. Thibaut et al. (2021) señalan que la equidad en STEAM no es una cuestión de reducir estándares, sino de ampliar el acceso a experiencias formativas de alta calidad.

### **3.5.1. Inclusión educativa en STEAM**

La inclusión educativa en STEAM implica garantizar que todos los estudiantes, independientemente de sus características personales, sociales o educativas, puedan participar de manera significativa en experiencias de aprendizaje STEAM con robótica, con apoyos apropiados y sin necesidad de abandonar el entorno del aula común. Esta definición, coherente con los principios de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y con el marco de la UNESCO (2021) sobre educación inclusiva, rechaza tanto la exclusión como la integración superficial, y apuesta por una participación genuina que desarrolle las capacidades de cada estudiante al máximo de su potencial.

La robótica educativa ofrece posibilidades de inclusión especialmente interesantes porque admite múltiples formas de participación y de demostración del aprendizaje. Un estudiante con discapacidad motora puede participar en el diseño del algoritmo y en la interpretación de los datos, aunque no pueda manipular físicamente el hardware. Un estudiante con dificultades en la lectura puede sobresalir en la visualización espacial y el pensamiento geométrico que el trabajo robótico demanda. Un estudiante con altas capacidades matemáticas

puede asumir roles de mayor complejidad en la modelización algebraica del movimiento. Esta flexibilidad de roles y de formas de contribución es lo que convierte a la robótica en un entorno potencialmente inclusivo, a condición de que el docente diseñe deliberadamente esa flexibilidad en la estructura del proyecto.

Ainscow (2020) propone el concepto de barreras para el aprendizaje y la participación como herramienta analítica para identificar los obstáculos específicos que enfrenta cada estudiante en el acceso a una experiencia de aprendizaje, y distingue este enfoque del modelo de déficit que atribuye las dificultades al estudiante. En el contexto STEAM con robótica, las barreras pueden ser de distinta naturaleza: barreras físicas (acceso al hardware, disposición del espacio), barreras cognitivas (nivel de abstracción de los conceptos matemáticos implicados), barreras lingüísticas (instrucciones en idiomas que no son la lengua materna del estudiante) o barreras sociales (dinámicas de género o de clase que limitan la participación de ciertos grupos). Identificar y eliminar estas barreras es la tarea central del docente que aspira a una inclusión STEAM genuina.

### **3.5.2. Adaptaciones curriculares**

Las adaptaciones curriculares en contextos STEAM con robótica son modificaciones intencionales del diseño didáctico que responden a necesidades educativas específicas de determinados estudiantes, sin reducir la ambición ni el rigor del proyecto formativo. Conviene distinguir entre las adaptaciones de acceso, que modifican los medios o los formatos sin alterar los contenidos ni los objetivos, y las adaptaciones significativas, que implican modificaciones en los objetivos o en los contenidos de aprendizaje para estudiantes con necesidades educativas especiales. Ambos tipos son legítimos y necesarios, pero su implementación requiere criterios claros y una toma de decisiones fundamentada en evidencia sobre las necesidades y capacidades del estudiante.

En el ámbito matemático, las adaptaciones de acceso más frecuentes en proyectos STEAM con robótica incluyen: la utilización de representaciones visuales o manipulativas de los conceptos algebraicos y geométricos implicados, la provisión de organizadores gráficos que estructuren el proceso de resolución de problemas, el uso de tecnología de apoyo como lectores de pantalla o interfaces de control alternativas para el hardware robótico, y la flexibilización de los plazos y los formatos de entrega de las tareas. Estas adaptaciones no disminuyen la calidad del aprendizaje, sino que amplían el acceso al mismo, permitiendo que estudiantes con distintos perfiles cognitivos o distintas condiciones de aprendizaje puedan participar plenamente en la experiencia.

Las adaptaciones significativas, en cambio, implican una revisión de los objetivos de aprendizaje para hacerlos accesibles a estudiantes con necesidades educativas especiales graves. En el contexto de proyectos STEAM con robótica, estas adaptaciones pueden implicar reducir el nivel de abstracción de los contenidos matemáticos, simplificar la complejidad del algoritmo a programar o limitar el alcance del proyecto a un subconjunto de las tareas previstas para el grupo. Lo fundamental es que estas modificaciones se realicen siempre en diálogo con los especialistas de apoyo, los propios estudiantes y sus familias, y que estén orientadas por el principio de maximizar el desarrollo de cada estudiante dentro de sus posibilidades reales. Tobón (2020) enfatiza que la adaptación significativa debe ser siempre el último recurso, después de haber agotado las posibilidades de las adaptaciones de acceso.

### **3.5.3. Atención a la diversidad**

La atención a la diversidad en contextos STEAM con robótica va más allá de la respuesta a las necesidades educativas especiales formalmente reconocidas: implica diseñar experiencias que sean

accesibles, significativas y desafiantes para todos los estudiantes, considerando la diversidad de estilos de aprendizaje, ritmos de trabajo, fortalezas cognitivas, bagajes culturales e intereses personales que caracterizan a cualquier grupo escolar. Esta perspectiva, coherente con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje desarrollados en el capítulo anterior, requiere que el diseño didáctico incorpore desde el inicio múltiples formas de representación, acción y expresión, en lugar de diseñar para el estudiante promedio y remediar después para los que se desvían de esa media.

En la práctica de la robótica educativa, la atención a la diversidad se materializa en decisiones de diseño concretas: proporcionar instrucciones en múltiples formatos (texto, audio, video, diagrama), ofrecer distintos niveles de complejidad en las tareas del proyecto para que cada equipo pueda trabajar en su zona de desarrollo próximo, diseñar roles específicos dentro del equipo que permitan a cada estudiante contribuir desde sus fortalezas, y evaluar mediante múltiples instrumentos que capturen distintas formas de demostración del aprendizaje. English (2023) señala que la diversificación de las formas de participación en proyectos STEAM produce, además de mayor equidad, mayor calidad en los productos finales, porque aprovecha la complementariedad de las distintas fortalezas del grupo.

La dimensión de género merece atención específica en el contexto STEAM latinoamericano. La investigación ha documentado de manera consistente la subrepresentación de las mujeres en las carreras y las profesiones vinculadas con las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, y ha identificado sus raíces en experiencias educativas que, desde edades tempranas, transmiten mensajes explícitos o implícitos sobre quién pertenece a estos campos. El diseño de experiencias STEAM que incluyan referentes femeninos visibles en la robótica y las matemáticas, que eviten el lenguaje y los ejemplos estereotipados, y que estructuren el trabajo en equipo de manera que

garantice la participación equitativa de todos sus miembros, constituye una contribución activa a la construcción de una cultura STEAM más justa e inclusiva. Thibaut et al. (2021) documentan que estos cambios de diseño producen efectos medibles sobre la autoconfianza matemática y tecnológica de las estudiantes mujeres.

#### **3.5.4. Contextos rurales y urbanos**

La dualidad entre entornos rurales y urbanos en el sistema educativo latinoamericano configura paisajes pedagógicos profundamente distintos que demandan respuestas diferenciadas en el diseño de experiencias STEAM con robótica. Los entornos urbanos suelen ofrecer mayor acceso a infraestructura tecnológica, mayor disponibilidad de docentes especializados y mayor conectividad, pero también mayor fragmentación social, mayor distancia entre la escuela y los problemas comunitarios, y mayor presión de los currículos formales estandarizados. Los entornos rurales, en cambio, presentan desafíos específicos de acceso y recursos, pero ofrecen posibilidades de contextualización extraordinariamente ricas: los problemas del entorno agrícola, ambiental y comunitario proporcionan el material de proyectos STEAM auténticos, relevantes y culturalmente pertinentes que difícilmente podrían replicarse en un entorno urbano.

La robótica educativa tiene un potencial especial en contextos rurales que todavía no ha sido plenamente explorado ni documentado. La automatización de procesos agrícolas, el monitoreo de variables ambientales como temperatura, humedad y calidad del suelo, el diseño de sistemas de riego eficientes o la construcción de estaciones meteorológicas escolares son proyectos STEAM que conectan directamente con la realidad económica y cultural de las comunidades rurales, y que generan aprendizajes matemáticos y tecnológicos de alta relevancia para el futuro laboral de los estudiantes. Esta pertinencia contextual es, según Laboy-Rush (2021), el factor más poderoso de motivación y compromiso en estudiantes de comunidades rurales,

cuya experiencia educativa suele estar marcada por la percepción de que la escuela es un espacio ajeno a su realidad y sus proyectos de vida.

Las estrategias de implementación en contextos rurales deben además contemplar la realidad de grupos multigrado, que caracterizan a muchas escuelas rurales ecuatorianas y latinoamericanas. El trabajo en proyectos STEAM con grupos de distintas edades y niveles no es una limitación, sino una oportunidad pedagógica: los estudiantes mayores pueden asumir roles de tutores de sus compañeros más jóvenes, desarrollando así competencias de comunicación matemática y liderazgo que no emergen con igual facilidad en aulas homogéneas. Este modelo de tutoría entre pares, respaldado por la investigación sobre aprendizaje colaborativo (Torres Santomé, 2020), produce beneficios de aprendizaje tanto para quien enseña como para quien aprende.

### **3.5.5. Accesibilidad tecnológica**

La accesibilidad tecnológica en el contexto educativo latinoamericano es una cuestión que trasciende la disponibilidad de dispositivos para convertirse en una dimensión de justicia social. Las brechas de acceso a la tecnología no siguen una distribución aleatoria en la población estudiantil: se superponen con precisión inquietante sobre las brechas de clase, de género, de etnia y de territorio que ya existen en la sociedad. Hablar de educación STEAM con robótica sin abordar la cuestión de la accesibilidad tecnológica es incurrir en una ingenuidad que, en el mejor de los casos, condena la propuesta a reproducir las inequidades existentes, y en el peor, las amplifica.

El diseño de experiencias STEAM accesibles desde el punto de vista tecnológico requiere estrategias en múltiples niveles. A nivel de hardware, implica privilegiar plataformas de bajo costo y alta disponibilidad, explorar modalidades de préstamo de equipos entre

instituciones, diseñar proyectos que puedan realizarse parcialmente con materiales de construcción de bajo costo y componentes electrónicos básicos, y contemplar el trabajo con simuladores para las fases que requieren mayor intensidad tecnológica. A nivel de software, implica priorizar plataformas que funcionen sin conexión permanente a internet o que tengan versiones offline descargables. A nivel curricular, implica diseñar proyectos que puedan escalarse hacia abajo en términos de recursos tecnológicos sin perder su potencia pedagógica esencial.

La noción de tecnología apropiada, tomada del campo del desarrollo sostenible y adaptada al contexto educativo, ofrece un marco conceptual útil para abordar la accesibilidad tecnológica sin resignar la ambición formativa. Una tecnología apropiada no es necesariamente la más sofisticada, sino la que mejor se ajusta al contexto específico de uso, considerando factores como el nivel de los usuarios, las condiciones de infraestructura, la disponibilidad de mantenimiento y la pertinencia cultural. En el contexto ecuatoriano, donde la diversidad de condiciones institucionales es extraordinaria, el principio de tecnología apropiada orienta al docente hacia soluciones creativas y situadas que permiten desarrollar pensamiento matemático riguroso y competencias tecnológicas genuinas, independientemente de los recursos disponibles. La OCDE (2022) concluye, a partir de la evidencia comparativa internacional, que la calidad del docente y la calidad del diseño didáctico predicen los resultados de aprendizaje de manera mucho más robusta que la disponibilidad de tecnología avanzada, lo que coloca la responsabilidad y la esperanza donde genuinamente residen: en la formación y el compromiso del profesional de la educación.

A photograph of a science classroom with a blue tint. An older male teacher in a white lab coat stands behind a table, holding a white robotic arm. Three students (two boys and one girl) in white lab coats are seated at the table, focused on a project involving a robot. The background shows a white shelving unit with various items.

# CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE  
MATEMÁTICO EN ENTORNOS STEAM  
CON ROBÓTICA

## **CAPÍTULO 4: Evaluación del Aprendizaje Matemático en Entornos STEAM con Robótica**

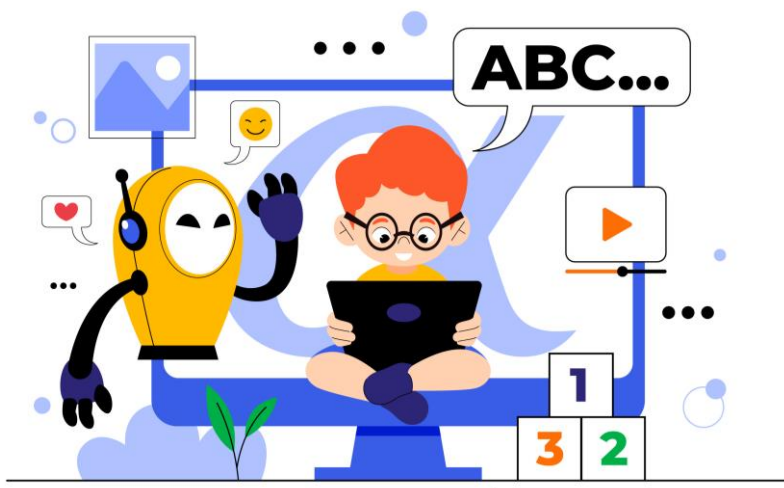
Evaluar el aprendizaje matemático en entornos STEAM con robótica es una de las tareas más exigentes que enfrenta el docente contemporáneo. No se trata solo de medir si el estudiante recuerda una fórmula o resuelve un ejercicio correctamente, sino de comprender qué tan bien puede usar sus conocimientos matemáticos para resolver problemas reales, tomar decisiones, comunicar ideas y trabajar en equipo. Esta forma de entender la evaluación cambia radicalmente el tipo de instrumentos que se necesitan, los momentos en que se evalúa y el uso que se da a los resultados obtenidos. La evaluación, desde esta perspectiva, no es el final del proceso educativo, sino una parte activa de él.

La investigación educativa ha mostrado con claridad que las formas tradicionales de evaluación, como los exámenes escritos con preguntas cerradas, son insuficientes para capturar la complejidad del aprendizaje que ocurre en proyectos STEAM. Cuando un equipo de estudiantes programa un robot para que navegue un laberinto, el aprendizaje que se produce abarca el razonamiento lógico, el pensamiento geométrico, la resolución de problemas, la comunicación matemática y la colaboración. Ninguna de estas dimensiones puede evaluarse de manera aislada ni con un solo instrumento. Black y Wiliam (2020) señalan que la evaluación formativa, cuando se implementa de manera sistemática y reflexiva, es uno de los factores con mayor impacto positivo sobre el rendimiento académico, especialmente en matemáticas.

En el contexto de la educación STEAM con robótica, la evaluación adquiere además una dimensión motivacional que no debe ignorarse. Cuando los estudiantes saben desde el inicio del proyecto cuáles son los criterios con los que serán evaluados, qué se espera de ellos en

cada etapa y cómo pueden mejorar, su compromiso con el aprendizaje aumenta de manera significativa. La transparencia evaluativa reduce la ansiedad, fortalece la autoconfianza y orienta el esfuerzo hacia el aprendizaje real y no hacia la simple acumulación de calificaciones. Wiggins y McTighe (2022) sostienen que el diseño evaluativo debe ser el primer paso en la planificación de cualquier experiencia formativa, no el último, porque los criterios de evaluación son, en esencia, una definición operativa de lo que se considera aprendizaje valioso.

Este capítulo aborda de manera sistemática los fundamentos, los instrumentos y las estrategias de evaluación más pertinentes para entornos STEAM con robótica. Se organiza en cinco grandes apartados que van desde los principios de la evaluación por competencias hasta el uso de tecnología para el seguimiento del progreso estudiantil, pasando por los instrumentos de evaluación más adecuados, la evaluación del pensamiento matemático en sus distintas dimensiones y el análisis de los resultados para la mejora continua. A lo largo de cada sección, se privilegian herramientas y enfoques que son aplicables en el contexto educativo latinoamericano, considerando las condiciones reales de los docentes y las instituciones de la región.



## 4.1. Evaluación por competencias en STEAM

La evaluación por competencias parte de una idea central: el aprendizaje no se mide solo por lo que el estudiante sabe, sino por lo que es capaz de hacer con ese saber en situaciones concretas. En entornos STEAM con robótica, esto significa que evaluar si un estudiante aprendió álgebra no consiste únicamente en revisar si resolvió ecuaciones correctamente, sino en observar si pudo usar esas ecuaciones para modelar el movimiento de un robot, interpretar sus datos y ajustar el diseño en función de los resultados. Esta diferencia de enfoque transforma completamente cómo se diseña la evaluación, qué evidencias se recogen y cómo se interpretan.

Tobón (2020) explica que una evaluación por competencias requiere tres condiciones básicas: que las tareas de evaluación sean lo suficientemente complejas como para exigir la integración de varios saberes, que los criterios de logro estén definidos con claridad desde el inicio del proceso, y que los resultados sirvan para orientar la enseñanza y no solo para emitir una calificación. En la práctica, esto implica diseñar situaciones de evaluación que se parezcan a las situaciones reales de aprendizaje, es decir, que el estudiante enfrente durante la evaluación el mismo tipo de desafíos que enfrentó durante el proyecto robótico.

Un aspecto importante de la evaluación por competencias en STEAM es que no se limita al producto final. El proceso de construcción, programación, prueba y corrección del robot contiene evidencias de aprendizaje tan valiosas como el resultado terminado, y en muchos casos más reveladoras. Un equipo que llega a un robot funcional sin haber documentado su proceso matemático puede haber logrado el producto por ensayo y error, sin comprender realmente los principios involucrados. En cambio, un equipo que documenta sus cálculos, justifica sus decisiones y analiza sus errores demuestra una

comprensión que trasciende la anécdota del proyecto. Rico y Lupiáñez (2021) destacan que el proceso de matematización, es decir, la capacidad de traducir un problema real a términos matemáticos y volver al contexto con las soluciones, es la competencia clave que debe evaluarse.

La equidad es otro principio fundamental de la evaluación por competencias en contextos diversos. Una evaluación que solo puede realizarse bajo condiciones ideales de acceso tecnológico, tiempo y recursos excluye sistemáticamente a los estudiantes que más necesitan que la evaluación sea justa y sensible a sus condiciones. Diseñar instrumentos que sean flexibles en el formato pero rigurosos en los criterios permite que cada estudiante demuestre su aprendizaje desde sus propias condiciones, sin que ello implique bajar los estándares de logro. La UNESCO (2021) insiste en que la equidad evaluativa no es sinónimo de facilidad, sino de acceso justo a la oportunidad de demostrar lo que se ha aprendido.

Finalmente, la evaluación por competencias en STEAM debe contemplar la dimensión metacognitiva del aprendizaje. Que el estudiante sea capaz de reflexionar sobre su propio proceso, identificar qué estrategias le funcionaron, qué errores cometió y cómo los corrigió, es en sí mismo un indicador de aprendizaje profundo y duradero. La OCDE (2022) señala que los estudiantes que desarrollan habilidades metacognitivas muestran un rendimiento significativamente superior en matemáticas y ciencias, porque son capaces de regular su propio aprendizaje y transferir sus conocimientos a situaciones nuevas con mayor eficacia.

#### **4.1.1. Conceptualización de evaluación formativa**

La evaluación formativa se define como todo proceso de obtención de información sobre el aprendizaje que se utiliza para ajustar la enseñanza y apoyar al estudiante durante el transcurso del proceso

educativo, y no al final de él. A diferencia de la evaluación sumativa, que emite un juicio sobre el nivel de aprendizaje alcanzado al término de una etapa, la evaluación formativa actúa en tiempo real, proporcionando al docente y al estudiante información útil para tomar decisiones mientras todavía hay tiempo de cambiar el rumbo. Black y Wiliam (2020) demostraron en una revisión de más de 250 estudios que la evaluación formativa bien implementada produce ganancias de aprendizaje equivalentes a avanzar entre uno y dos años escolares, un efecto que supera al de la mayor parte de otras intervenciones educativas documentadas.



En el contexto de proyectos STEAM con robótica, la evaluación formativa se integra de manera natural en el ciclo de construcción y programación del robot. Cada vez que el robot no responde como se esperaba, se produce una oportunidad de evaluación formativa: el estudiante debe diagnosticar qué salió mal, identificar el error en el código o en el diseño matemático y corregirlo. Este proceso, que los

estudiantes viven como depuración técnica, es en realidad una forma sofisticada de autoevaluación formativa. El docente puede enriquecer este ciclo formulando preguntas que profundicen la reflexión: ¿qué variable crees que está fallando?, ¿el modelo algebraico que usaste describe correctamente lo que el robot debería hacer?, ¿qué dato del sensor te confirmaría que el problema está resuelto?

La retroalimentación es el elemento central de la evaluación formativa, y su calidad determina en gran medida el impacto que esta evaluación tiene sobre el aprendizaje. Una retroalimentación efectiva no consiste en señalar que algo está mal, sino en proporcionar información específica sobre qué aspectos del trabajo no alcanzan el criterio de logro y qué pasos concretos podrían mejorarlos. Hattie y Timperley (2021) identifican cuatro niveles de retroalimentación, desde la referida a la tarea hasta la referida al proceso, a la autorregulación y a la persona, y señalan que las dos primeras son las más frecuentes en los entornos educativos pero las menos eficaces para el aprendizaje profundo. En entornos STEAM, la retroalimentación más valiosa es la que se dirige al proceso de razonamiento matemático y a las decisiones de programación.

La participación del estudiante en la producción de la retroalimentación, mediante la autoevaluación y la evaluación entre pares, multiplica el efecto de la evaluación formativa. Cuando el estudiante aprende a identificar la calidad de su propio trabajo usando los mismos criterios que usa el docente, se produce un efecto de apropiación de los estándares que transforma profundamente su relación con el aprendizaje. Este proceso, denominado por Sadler (2021) como convergencia evaluativa, es especialmente poderoso en matemáticas, donde la tendencia a depender de la autoridad del docente para saber si algo es correcto puede inhibir el desarrollo de la autonomía intelectual.

### 4.1.2. Evaluación auténtica

La evaluación auténtica propone que las tareas de evaluación deben parecerse lo más posible a las situaciones reales en las que el estudiante utilizará el conocimiento que ha aprendido. Esto significa diseñar evaluaciones que no sean ejercicios artificiales o simplificados de la realidad, sino situaciones genuinamente complejas que demanden la integración de múltiples conocimientos y habilidades. En el contexto STEAM con robótica, la evaluación auténtica ocurre de manera natural cuando el estudiante debe demostrar su aprendizaje construyendo un sistema que funcione, resolviendo un problema del entorno comunitario o presentando sus resultados ante una audiencia real. Wiggins y McTighe (2022) señalan que la autenticidad de la tarea de evaluación es el factor que más incide en la transferencia del aprendizaje a situaciones nuevas.

Un ejemplo concreto de evaluación auténtica en robótica matemática es pedir a los estudiantes que diseñen un sistema de alerta para detectar cuando una planta necesita riego, utilizando un sensor de humedad conectado a un microcontrolador. Esta tarea exige modelar algebraicamente la relación entre los datos del sensor y la decisión de activar o no el sistema de riego, programar la lógica condicional, recopilar y analizar datos para establecer el umbral de activación y comunicar los resultados con argumentos matemáticos. Cada uno de estos pasos es evaluable con criterios claros, pero el conjunto produce un aprendizaje que ningún ejercicio de libro podría generar.

La presentación pública de los proyectos es una de las modalidades de evaluación auténtica más poderosas disponibles en contextos STEAM. Cuando los estudiantes presentan su trabajo ante compañeros, docentes de otras áreas, familiares o miembros de la comunidad, la exigencia de comunicar su razonamiento matemático con claridad y precisión activa una dimensión del aprendizaje que los formatos de evaluación privada no pueden alcanzar. Esta audiencia real genera una

motivación genuina para que el trabajo sea de calidad y para que la explicación matemática sea comprensible. Laboy-Rush (2021) documenta que los proyectos STEAM que culminan con una presentación pública producen mejoras estadísticamente significativas en la comunicación matemática oral y en la autoconfianza de los estudiantes.

La evaluación auténtica también requiere que los criterios de calidad sean transparentes y conocidos por los estudiantes desde el inicio. No se trata de sorprender al estudiante con tareas inesperadas, sino de informarle con claridad qué se considera un trabajo de calidad y permitirle trabajar hacia ese estándar a lo largo del proyecto. Esta transparencia no reduce el desafío de la tarea; lo orienta. Un estudiante que conoce desde el primer día que su proyecto será evaluado, entre otros criterios, por la solidez matemática de su modelo y por la claridad de su comunicación, tiene más probabilidades de prestar atención deliberada a estos aspectos durante el proceso que uno que los descubre solo en el momento de la calificación.

#### **4.1.3. Indicadores de desempeño matemático**

Los indicadores de desempeño matemático son descripciones específicas y observables de lo que el estudiante puede hacer para demostrar que ha alcanzado una determinada competencia matemática. Su utilidad principal es convertir los objetivos de aprendizaje, que suelen formularse en términos generales y abstractos, en evidencias concretas que el docente puede observar, documentar y valorar. Un indicador bien formulado responde siempre a la pregunta: ¿cómo se ve en la práctica que este estudiante domina este concepto? En entornos STEAM con robótica, los indicadores de desempeño matemático deben articularse con las tareas del proyecto para que la evaluación y el aprendizaje ocurran de manera integrada. La tabla

consiguiente presenta un conjunto de indicadores organizados por dimensión matemática.

**Tabla 13**

*Indicadores de desempeño matemático en entornos STEAM con robótica*

<b>Dimensión matemática</b>	<b>Indicador de desempeño</b>	<b>Nivel de logro esperado</b>	<b>Evidencia observable en robótica</b>
Razonamiento algebraico	Formula expresiones para modelar el movimiento del robot	Plantea y justifica al menos una ecuación funcional	Ecuación escrita y verificada con prueba del robot
Pensamiento geométrico	Describe trayectorias usando coordenadas y ángulos	Calcula posiciones con error menor al 10%	Mapa de ruta trazado y ejecutado correctamente
Lógica y algoritmos	Construye algoritmos con estructuras condicionales	El algoritmo resuelve el problema sin errores lógicos	Código funcional con decisión correcta ante sensores
Modelización matemática	Traduce un problema real a una representación matemática	El modelo describe el comportamiento del sistema	Informe con modelo validado por prueba experimental
Estadística aplicada	Recolecta, organiza e interpreta datos del sensor	Calcula media, rango y tendencia correctamente	Tabla de datos y gráfica con interpretación escrita
Resolución de problemas	Selecciona estrategias ante un problema no rutinario	Justifica la estrategia elegida con argumentos claros	Registro escrito del proceso de toma de decisiones
Comunicación matemática	Explica resultados usando lenguaje y notación correcta	Utiliza vocabulario matemático de manera adecuada	Presentación oral o informe con explicación rigurosa

*Nota.* Elaboración propia basada en Rico y Lupiáñez (2021), OCDE (2022).

El valor pedagógico de esta tabla no reside en su función como lista de verificación mecánica, sino en su capacidad para orientar tanto la planificación docente como la autoevaluación estudiantil. Cuando los indicadores están vinculados a evidencias concretas y observables dentro del proyecto robótico, el docente puede reconocer el aprendizaje matemático en el momento en que ocurre y no solo al final del proceso. Más importante aún, el estudiante puede identificar por sí mismo si está avanzando hacia el indicador o si necesita visitar algún concepto. Esta doble función, orientadora y autorreguladora, es lo que convierte a los indicadores de desempeño en herramientas de evaluación formativa genuinamente útiles.

#### **4.1.4. Evaluación interdisciplinar**

La evaluación interdisciplinar representa uno de los mayores desafíos del diseño didáctico STEAM, porque exige integrar en un mismo proceso evaluativo los estándares de calidad de disciplinas que tienen culturas evaluativas propias, a veces muy distintas entre sí. En matemáticas, la evaluación suele centrarse en la corrección del procedimiento y la exactitud del resultado; en tecnología, en el funcionamiento del sistema construido; en artes, en la calidad expresiva y creativa del producto. Articular estas dimensiones en una evaluación coherente que valore la integración y no solo la suma de los componentes es una tarea que requiere una negociación pedagógica explícita entre los docentes involucrados en el proyecto. Torres Santomé (2020) señala que la evaluación interdisciplinar genuina solo es posible cuando los docentes de distintas áreas diseñan conjuntamente los criterios de evaluación, las tareas y los instrumentos.

En la práctica, la evaluación interdisciplinar en proyectos robóticos puede organizarse a través de rúbricas que incluyan criterios de distintas dimensiones disciplinares evaluados de manera integrada.

Por ejemplo, una rúbrica para un proyecto de robot cartógrafo podría evaluar simultáneamente la solidez de la representación matemática de la trayectoria, la precisión de la programación del sistema de navegación, la calidad del mapa producido como representación visual y la claridad de la explicación presentada al grupo. Ninguno de estos criterios pertenece exclusivamente a una sola disciplina: todos requieren la integración de saberes matemáticos, tecnológicos y comunicativos para ser alcanzados en el nivel más alto.

Un aspecto que merece atención especial es la ponderación de los distintos criterios dentro de la evaluación interdisciplinar. Si la calificación final de un proyecto STEAM se construye asignando el mismo peso a todos los criterios sin reflexionar sobre cuáles son los aprendizajes prioritarios del proyecto, se corre el riesgo de que la dimensión matemática quede diluida por aspectos más llamativos o más fáciles de lograr, como la presentación visual del producto. El diseño de la ponderación debe ser coherente con los objetivos de aprendizaje del proyecto: en un proyecto cuyo propósito central es desarrollar la competencia algebraica, los criterios matemáticos deben tener un peso correspondiente a esa prioridad.

La participación del estudiante en la comprensión y el uso de los criterios de evaluación interdisciplinar es, según Sadler (2021), una condición necesaria para que la evaluación produzca aprendizaje. Cuando los estudiantes comprenden por qué se evalúan simultáneamente la solidez matemática y la calidad técnica de su proyecto, internalizan la idea de que estas dimensiones no son independientes sino complementarias, y orientan su trabajo hacia la integración real. Esta comprensión de la interdependencia disciplinar es, en sí misma, uno de los aprendizajes más valiosos que puede producir un proyecto STEAM bien evaluado.

#### 4.1.5. Retroalimentación efectiva

La retroalimentación efectiva es mucho más que decirle al estudiante qué estuvo bien y qué estuvo mal. Es un proceso de comunicación que proporciona información específica, orientada al aprendizaje y orientada hacia el futuro, que permite al estudiante comprender con precisión qué aspectos de su trabajo necesitan mejora y qué pasos concretos puede dar para mejorarlos. Hattie y Timperley (2021) identifican tres preguntas fundamentales que toda retroalimentación efectiva debe responder: ¿hacia dónde voy?, es decir, cuál es el objetivo o el estándar; ¿cómo voy?, es decir, en qué medida mi trabajo actual alcanza ese estándar; y ¿qué necesito hacer a continuación?, es decir, qué acciones específicas me acercan al logro del objetivo.

En entornos STEAM con robótica, la retroalimentación puede adoptar formas muy variadas y altamente específicas. Una retroalimentación efectiva sobre el componente matemático de un proyecto podría señalar: el modelo algebraico que usaron describe correctamente la relación entre velocidad y distancia, pero no contempla la aceleración inicial del motor, lo que explica por qué el robot se desvía en los primeros centímetros del recorrido. Esta retroalimentación es específica, conecta el error matemático con la consecuencia técnica observable, y orienta hacia una corrección concreta. En contraste, una retroalimentación como las matemáticas están incompletas no proporciona información útil para mejorar.

El momento en que se proporciona la retroalimentación es tan importante como su contenido. En proyectos con robótica, la retroalimentación más eficaz es la que se da durante el proceso, cuando el estudiante todavía puede usarla para mejorar su trabajo. Esperar al final del proyecto para proporcionar retroalimentación detallada sobre los errores matemáticos cometidos convierte esa retroalimentación en información post mortem, útil para la calificación pero no para el aprendizaje.

Black y Wiliam (2020) señalan que la retroalimentación inmediata, entregada en el momento en que el estudiante está activamente comprometido con la tarea, produce un efecto de aprendizaje significativamente mayor que la retroalimentación diferida.

La retroalimentación entre pares es una estrategia complementaria de alto valor en entornos colaborativos. Cuando los estudiantes aprenden a evaluar el trabajo de sus compañeros usando los mismos criterios que usa el docente, se produce un doble efecto: el estudiante que recibe la retroalimentación obtiene una perspectiva adicional sobre su trabajo, y el estudiante que la proporciona profundiza su comprensión de los criterios de calidad al aplicarlos al trabajo ajeno. Este proceso requiere formación explícita, pues los estudiantes no saben naturalmente cómo dar retroalimentación constructiva y específica; pero una vez que adquieren esa habilidad, se convierte en uno de los recursos formativos más poderosos del aula STEAM.

#### **4.2. Instrumentos de evaluación**

Los instrumentos de evaluación son las herramientas concretas que el docente utiliza para recoger, organizar e interpretar evidencias del aprendizaje de los estudiantes. En entornos STEAM con robótica, ningún instrumento por sí solo es suficiente para capturar la complejidad de los aprendizajes que se producen, por lo que la clave está en construir un sistema evaluativo que combine instrumentos complementarios, cada uno adecuado para una dimensión específica del aprendizaje. Seleccionar el instrumento correcto para el momento y el propósito evaluativo correcto es una competencia pedagógica central que el docente STEAM debe desarrollar de manera deliberada.

La diversidad de instrumentos es también una forma de equidad evaluativa. Estudiantes con distintos estilos de aprendizaje, distintas fortalezas comunicativas y distintas condiciones de acceso tecnológico pueden demostrar su aprendizaje matemático de maneras

muy distintas. Un estudiante que tiene dificultades para expresar su razonamiento por escrito puede demostrar la misma comprensión en una presentación oral o en la demostración práctica de su robot. Un sistema evaluativo que contempla múltiples formatos de evidencia es más justo y más completo que uno que solo acepta una única forma de demostración del aprendizaje. Black y Wiliam (2020) señalan que la diversificación de los instrumentos de evaluación es una de las estrategias más efectivas para reducir las brechas de rendimiento entre estudiantes con distintos perfiles.

La coherencia entre los instrumentos de evaluación y las actividades de aprendizaje es otro criterio fundamental de diseño. Los instrumentos no deben evaluar habilidades que no fueron desarrolladas durante el proyecto ni exigir formas de demostración que no fueron practicadas durante el proceso. Si durante el proyecto los estudiantes trabajaron principalmente de manera colaborativa, construyendo y probando robots en equipo, no sería coherente evaluarlos mediante un examen individual desconectado de ese contexto. Esta coherencia, denominada alineación constructiva por Biggs y Tang (2022), es el principio organizador que garantiza que lo que se enseña, lo que se aprende y lo que se evalúa sean partes del mismo proceso formativo.

Los siguientes subapartados describen los instrumentos más relevantes para la evaluación en entornos STEAM con robótica: las rúbricas analíticas, las listas de cotejo, los portafolios digitales, las evaluaciones prácticas y la evaluación entre pares. Cada uno tiene propósitos, fortalezas y limitaciones específicas que el docente debe conocer para poder combinarlos de manera inteligente en un sistema de evaluación coherente y equitativo.

### 4.2.1. Rúbricas analíticas

La rúbrica analítica es el instrumento de evaluación más potente y versátil disponible para entornos STEAM con robótica, porque permite evaluar múltiples dimensiones del aprendizaje de manera simultánea, con criterios claramente definidos y niveles de logro descritos con precisión. A diferencia de la rúbrica holística, que emite un juicio global sobre el trabajo del estudiante, la rúbrica analítica descompone el aprendizaje en criterios específicos y asigna una valoración independiente a cada uno. Esto permite identificar con precisión cuáles dimensiones del aprendizaje han sido alcanzadas, cuáles están en proceso y cuáles requieren mayor apoyo, información que resulta decisiva para la toma de decisiones pedagógicas. Wiggins y McTighe (2022) la identifican como el instrumento más adecuado para la evaluación de desempeños complejos en proyectos interdisciplinarios.

El diseño de una buena rúbrica analítica para proyectos STEAM con robótica requiere tres condiciones previas. Primero, que los criterios de evaluación se deriven directamente de los objetivos de aprendizaje del proyecto, de manera que cada criterio corresponda a una dimensión del aprendizaje que fue efectivamente trabajada durante el proceso. Segundo, que los descriptores de cada nivel de logro sean lo suficientemente específicos como para que tanto el docente como el estudiante puedan identificar sin ambigüedad en cuál nivel se encuentra el trabajo evaluado. Tercero, que la rúbrica sea conocida y comprendida por los estudiantes desde el inicio del proyecto, para que pueda actuar como guía del proceso y no solo como instrumento de calificación al final. La tabla presenta un modelo de rúbrica analítica para la evaluación de proyectos robóticos con base matemática.

Tabla 14

*Rúbrica analítica para la evaluación de proyectos STEAM con robótica*

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Nivel 4: Sobresaliente</b>	<b>Nivel 3: Satisfactorio</b>	<b>Nivel 2: En proceso</b>	<b>Nivel 1: Inicial</b>
Solidez matemática del diseño	Aplica conceptos con rigor; el modelo algebraico es correcto y justificado	Aplica los conceptos correctamente con mínimos errores	Aplica conceptos con errores que afectan el resultado	No integra conceptos matemáticos al diseño
Funcionamiento del robot	El robot cumple todas las tareas previstas con precisión	El robot cumple la mayoría de tareas con leves fallas	El robot funciona de forma parcial o inestable	El robot no ejecuta las instrucciones esperadas
Proceso de programación	Código limpio, documentado y eficiente; sin errores lógicos	Código funcional con pocas observaciones menores	Código con errores que requieren corrección frecuente	Código incompleto o con errores lógicos graves
Modelización y análisis	Construye y valida un modelo matemático ajustado al problema	Construye el modelo con pequeños desajustes	Intenta modelizar pero con importantes imprecisiones	No desarrolla un modelo matemático reconocible
Comunicación de resultados	Explica con claridad, usa notación correcta y argumenta	Explica con claridad y usa vocabulario adecuado	Explica de forma básica con imprecisiones terminológicas	No logra comunicar los resultados de forma comprensible

*Nota.* Elaboración propia basada en Wiggins y McTighe (2022) y en criterios de evaluación de competencias matemáticas (Rico y Lupiáñez, 2021).

La rúbrica presentada opera en cuatro niveles de logro que permiten diferenciar con claridad las trayectorias de aprendizaje de los distintos estudiantes. Lo más significativo desde el punto de vista pedagógico es que los criterios no evalúan solo el resultado final del robot, sino la calidad del proceso matemático y técnico que lo sustenta. Un robot que funciona sin que el equipo haya desarrollado un modelo matemático explícito no alcanzará el nivel más alto en el criterio de modelización, aunque su desempeño técnico sea impecable. Esta distinción es fundamental porque garantiza que la evaluación capture el aprendizaje matemático genuino y no simplemente la capacidad de ejecutar procedimientos por tanteo. El uso sistemático de esta rúbrica, compartida con los estudiantes desde el inicio del proyecto, convierte la evaluación en un espejo que refleja el proceso de aprendizaje y no solo el producto final.

#### 4.2.2. Listas de cotejo



La lista de cotejo es un instrumento de evaluación más sencillo que la rúbrica, pero igualmente útil cuando se trata de verificar la presencia o ausencia de indicadores específicos en el trabajo del estudiante. A diferencia de la rúbrica, que valora la calidad del desempeño en distintos niveles, la lista de cotejo opera de manera binaria: el indicador se cumple o no se cumple. Esta simplicidad la hace especialmente adecuada para la observación sistemática durante el proceso de trabajo, para la autoevaluación diaria del estudiante y para la evaluación entre pares en etapas intermedias del proyecto. Black y Wiliam (2020) señalan que las listas de cotejo, cuando están bien diseñadas y son usadas de manera habitual por los estudiantes, desarrollan la capacidad de autorregulación porque obligan al estudiante a reflexionar de manera regular sobre qué hace y qué deja de hacer.

En entornos STEAM con robótica, las listas de cotejo son especialmente útiles para registrar comportamientos y acciones que son difíciles de capturar en los productos del trabajo: si el estudiante planifica antes de programar, si revisa el código antes de ejecutarlo, si consulta los datos del sensor antes de tomar decisiones de ajuste, si documenta los resultados de cada prueba. Estos comportamientos de trabajo científico y matemático son centrales en la formación STEAM pero frecuentemente quedan invisibles en los instrumentos que solo evalúan el producto final. La tabla presenta un modelo de lista de cotejo adaptado para proyectos robóticos con base matemática.

**Tabla 15**

*Lista de cotejo para el seguimiento del proceso en proyectos STEAM con robótica*

<b>Indicador observable</b>	<b>Si cumple</b>	<b>No cumple</b>	<b>Observaciones del docente</b>	<b>del</b>
El estudiante identifica las variables del problema antes de programar	[ ]	[ ]		
Formula al menos una expresión algebraica para describir el movimiento	[ ]	[ ]		
El código incluye al menos una estructura condicional funcional	[ ]	[ ]		
Ejecuta pruebas del robot y registra los resultados obtenidos	[ ]	[ ]		
Compara los resultados esperados con los obtenidos y analiza diferencias	[ ]	[ ]		
Recopila datos del sensor y los organiza en una tabla o grafica	[ ]	[ ]		
Argumenta sus decisiones de programación con lenguaje matemático	[ ]	[ ]		
Participa activamente en el trabajo de equipo y asume su rol	[ ]	[ ]		
Presenta los resultados finales de forma clara y ordenada	[ ]	[ ]		
Aplica al menos un concepto matemático específico del nivel en el proyecto	[ ]	[ ]		

*Nota.* Elaboración propia basada en Black y Wiliam (2020).

La utilidad pedagógica de esta lista de cotejo trasciende su función como instrumento de calificación. Usada como herramienta de autoevaluación diaria, permite al estudiante identificar de manera concreta y sistemática qué aspectos del proceso de trabajo matemático está descuidando, y actuar sobre ellos antes de que se conviertan en obstáculos para el aprendizaje. Esta función reguladora es especialmente valiosa en las etapas iniciales del proyecto, cuando los equipos todavía están estableciendo sus dinámicas de trabajo y pueden necesitar que un instrumento estructurado les ayude a organizar su proceso. El docente, por su parte, obtiene de una revisión rápida de las listas completadas una imagen precisa del estado del proceso en cada equipo, lo que le permite focalizar su acompañamiento donde más se necesita.

#### **4.2.3. Portafolios digitales**

El portafolio digital es el instrumento de evaluación más completo disponible para capturar el aprendizaje a lo largo del tiempo en proyectos STEAM con robótica. A diferencia de los instrumentos que evalúan un momento o un producto específico, el portafolio documenta el proceso completo de aprendizaje: las ideas iniciales del estudiante, las estrategias que fue probando, los errores que cometió y cómo los corrigió, los conceptos matemáticos que fue desarrollando y la reflexión sobre lo aprendido al final del proceso. Esta dimensión longitudinal y reflexiva del portafolio lo convierte en una herramienta de evaluación auténtica de primer orden, coherente con la naturaleza del aprendizaje en proyectos complejos. Paulson et al. (2021) señalan que el portafolio es el único instrumento de evaluación que documenta el aprendizaje como proceso y no solo como estado.

En el contexto digital, el portafolio puede construirse usando herramientas accesibles como Seesaw, Google Sites, Padlet o simplemente una carpeta compartida en Google Drive. Lo importante no es la plataforma elegida, sino la estructura de contenidos que guía

al estudiante en la documentación de su proceso y la regularidad con que se actualiza durante el proyecto. Un portafolio digital de calidad en un proyecto STEAM con robótica debe incluir evidencias del proceso matemático, registros del proceso técnico, reflexiones sobre el aprendizaje y documentación del trabajo colaborativo. La Tabla 4.4 presenta una estructura de portafolio digital con sus secciones, contenidos y criterios de evaluación.

**Tabla 16**

*Estructura del portafolio digital para proyectos STEAM con robótica*

Sección del portafolio	Contenido esperado	Formato recomendado	Criterio de evaluación
Presentación personal	Quien soy, mis intereses y mis expectativas del proyecto	Video breve o texto con foto	Refleja identidad y motivación genuina
Planificación del proyecto	Descripción del problema, objetivos y distribución de tareas	Documento escrito o mapa conceptual	Claridad, viabilidad y coherencia del plan
Registro del proceso	Fotografías, videos de pruebas, notas de ajustes realizados	Álbum fotográfico comentado o diario digital	Evidencia el proceso iterativo de mejora
Producción matemática	Cálculos, expresiones algebraicas, gráficas y modelos usados	Hoja de trabajo digitalizada o archivo editable	Rigor matemático y coherencia con el proyecto
Código y programación	Versiones del código con comentarios sobre cambios realizados	Capturas de pantalla o archivo exportable	Legibilidad, eficiencia y documentación del código
Resultados y análisis	Datos recolectados, graficas e interpretación de resultados	Informe breve con tablas y graficas	Profundidad del análisis e interpretación correcta
Reflexión final	Que aprendí, que cambiaria, como aplico esto en mi vida	Texto reflexivo o video de cierre	Profundidad reflexiva y conexión con el aprendizaje

*Nota.* Elaboración propia basada en Paulson et al. (2021).

El portafolio digital así estructurado produce un tipo de aprendizaje que ningún otro instrumento de evaluación puede generar: la capacidad de narrar el propio proceso de aprendizaje con rigor y reflexión. Cuando el estudiante debe explicar en la sección de producción matemática qué expresión algebraica usó, por qué la eligió y qué limitaciones encontró, está realizando una operación cognitiva de alto nivel que consolida y profundiza su comprensión matemática. La reflexión final, en particular, activa la metacognición de manera directa: obliga al estudiante a distanciarse de la experiencia inmediata del proyecto y a identificar qué aprendió realmente, más allá de lo que hizo. Esta capacidad de aprender sobre el propio aprendizaje es, según la OCDE (2022), una de las competencias más valoradas en los sistemas educativos de alto rendimiento.

#### **4.2.4. Evaluaciones prácticas**

Las evaluaciones prácticas son situaciones en las que el estudiante demuestra su aprendizaje realizando una tarea concreta, generalmente en presencia del docente o de una audiencia. En entornos STEAM con robótica, la evaluación práctica por excelencia es la demostración del funcionamiento del sistema construido: el equipo presenta su robot, explica cómo funciona, demuestra que realiza la tarea para la que fue diseñado y responde preguntas sobre las decisiones matemáticas y técnicas que tomaron. Esta modalidad de evaluación es auténtica porque coincide exactamente con el tipo de desempeño que tendría valor en un contexto profesional real, y es integral porque moviliza simultáneamente el conocimiento matemático, la comprensión técnica y la capacidad comunicativa.

Para que la evaluación práctica sea válida y confiable, es necesario que sus criterios estén definidos con precisión y sean conocidos por los estudiantes con anticipación. Una demostración sin criterios claros se convierte en un espectáculo donde lo que se evalúa queda a la discreción del observador, lo que genera inequidad y ansiedad. Una

demostración guiada por criterios explícitos, en cambio, permite al estudiante prepararse con intención y al docente evaluar con consistencia. Estos criterios deben cubrir tanto el funcionamiento técnico del sistema, el robot hace lo que se supone que debe hacer, como la comprensión matemática que lo sustenta, el equipo puede explicar por qué el robot hace lo que hace.

La evaluación práctica también puede adoptar la forma de una prueba de desafío: el docente presenta al equipo una situación nueva que su robot no había sido programado explícitamente para enfrentar, y observa si los estudiantes pueden adaptar su diseño o su código para responder al nuevo desafío. Esta modalidad evalúa la transferencia del aprendizaje, es decir, la capacidad de aplicar los conocimientos matemáticos y tecnológicos adquiridos durante el proyecto a una situación diferente. Krajcik y Shin (2022) señalan que la capacidad de transferencia es el indicador más fiable de aprendizaje profundo, porque demuestra que el estudiante comprendió los principios involucrados y no solo memorizó los procedimientos específicos del proyecto.

Una variante especialmente valiosa en contextos de educación básica es la evaluación práctica informal durante el proceso: el docente se acerca a cada equipo durante la sesión de trabajo, observa lo que están haciendo, formula preguntas sobre las decisiones matemáticas que están tomando y registra sus observaciones en una lista de cotejo o una nota de campo. Este tipo de evaluación in situ proporciona información formativa en tiempo real, sin interrumpir el flujo del proyecto, y permite al docente detectar dificultades de comprensión antes de que se conviertan en errores estructurales difíciles de corregir. La clave es la sistematicidad: el docente debe planificar qué observará en cada sesión y cómo registrará sus observaciones para que la información acumulada sea útil para la toma de decisiones pedagógicas.

#### 4.2.5. Evaluación entre pares

La evaluación entre pares, también llamada coevaluación, es el proceso mediante el cual los estudiantes aplican criterios de evaluación al trabajo de sus compañeros y proporcionan retroalimentación sobre sus logros y sus áreas de mejora. Lejos de ser un simple ejercicio de calificación mutua, la coevaluación bien implementada es una poderosa herramienta de aprendizaje: el estudiante que evalúa el trabajo de otro debe aplicar los mismos criterios con los que su propio trabajo será evaluado, lo que profundiza su comprensión de los estándares de calidad y desarrolla su capacidad de juicio crítico. Sadler (2021) sostiene que la convergencia evaluativa entre estudiantes y docentes, es decir, el hecho de que ambos juzguen la calidad del trabajo usando los mismos criterios y lleguen a conclusiones similares, es un indicador de que el proceso formativo ha sido exitoso.

En proyectos STEAM con robótica, la coevaluación puede estructurarse en distintos momentos del proyecto con distintos propósitos. En etapas intermedias, puede servir para que los equipos reciban retroalimentación sobre el estado de su diseño matemático antes de avanzar a la fase de programación. En las presentaciones finales, puede complementar la evaluación docente con perspectivas adicionales sobre la claridad y la solidez del trabajo presentado. En la reflexión posterior al proyecto, puede ayudar a identificar las contribuciones específicas de cada miembro del equipo al trabajo colectivo, abordando así la cuestión de la evaluación individual en un contexto colaborativo. En cada uno de estos momentos, la coevaluación debe apoyarse en criterios explícitos que el estudiante haya aprendido a aplicar con precisión.

La formación de los estudiantes en la práctica de la coevaluación es un requisito previo que no puede omitirse. Evaluar el trabajo de un compañero de manera justa, constructiva y específica es una habilidad

compleja que requiere práctica deliberada y retroalimentación sobre la calidad de la evaluación misma. Es necesario enseñar a los estudiantes cómo se proporciona una retroalimentación útil, cómo se distingue una observación genérica de una específica y cómo se comunica una crítica constructiva de manera que el compañero la reciba como una ayuda y no como un ataque. Hattie y Timperley (2021) documentan que las habilidades de retroalimentación entre pares, una vez desarrolladas, se transfieren a otros contextos de aprendizaje y trabajo colaborativo, con efectos positivos que se extienden más allá del aula STEAM.

### **4.3. Evaluación del pensamiento matemático**

El pensamiento matemático es un conjunto de capacidades interrelacionadas que no se reduce al dominio de procedimientos de cálculo. Incluye la capacidad de razonar de manera lógica y rigurosa, de formular y resolver problemas en contextos variados, de construir modelos matemáticos que representan situaciones reales, de pensar de manera crítica sobre los datos y los resultados, y de planificar soluciones paso a paso mediante estructuras algorítmicas. En entornos STEAM con robótica, estas capacidades se activan de manera integrada y simultánea, lo que hace que su evaluación sea especialmente rica pero también especialmente compleja. Cada una requiere estrategias evaluativas específicas que sean capaces de capturar la naturaleza propia de esa dimensión del pensamiento.

La investigación en didáctica de las matemáticas ha avanzado significativamente en la última década en la comprensión de cómo se desarrollan y cómo se evalúan estas distintas dimensiones del pensamiento matemático. Rico y Lupiáñez (2021) proponen un marco de competencias matemáticas que distingue entre el razonamiento, la resolución de problemas, la modelización, la comunicación, la representación, el uso de herramientas y la argumentación como dimensiones diferenciadas del pensamiento matemático que pueden

desarrollarse y evaluarse de manera relativamente independiente. Este marco es coherente con el enfoque STEAM con robótica, donde cada uno de estos aspectos encuentra situaciones auténticas de activación y demostración.

La dificultad central de la evaluación del pensamiento matemático en entornos STEAM reside en que las capacidades más valiosas son precisamente las más difíciles de observar y medir. El razonamiento lógico profundo, la creatividad en la resolución de problemas y la calidad del proceso de modelización son procesos internos que no siempre dejan huellas visibles en el producto final del trabajo. Por esto, la combinación de múltiples estrategias evaluativas, incluyendo la observación directa durante el proceso, el análisis de producciones matemáticas escritas, la entrevista o el diálogo matemático con el estudiante y la revisión del portafolio digital, es la única manera de obtener una imagen completa y fiel del pensamiento matemático del estudiante.

Los siguientes subapartados abordan cada dimensión del pensamiento matemático relevante en entornos STEAM con robótica, describiendo qué implica evaluar esa dimensión, qué evidencias son las más indicadas y qué estrategias permiten obtenerlas de manera sistemática y justa. El objetivo no es proporcionar fórmulas cerradas, sino orientar al docente en la construcción de un repertorio evaluativo lo suficientemente rico y flexible como para responder a la complejidad del pensamiento matemático que la robótica educativa puede activar.

#### **4.3.1. Evaluación del razonamiento lógico**

El razonamiento lógico en matemáticas implica la capacidad de establecer relaciones de implicación, de distinguir afirmaciones verdaderas de falsas, de construir argumentos válidos y de identificar errores en razonamientos ajenos. En el contexto de la robótica educativa, el razonamiento lógico se activa de manera especialmente

visible en el diseño de estructuras condicionales: cuando el estudiante decide que si el sensor detecta un obstáculo a menos de 20 centímetros entonces el robot debe girar 90 grados, está operando con proposiciones lógicas en un contexto absolutamente concreto y verificable. Esta materialización de la lógica en acciones del robot es una de las mayores fortalezas pedagógicas de la robótica como recurso para el desarrollo del razonamiento matemático.

Evaluar el razonamiento lógico en este contexto implica observar no solo si la estructura condicional funciona técnicamente, sino si el estudiante puede explicar por qué formuló la condición de esa manera y no de otra, qué habría ocurrido si hubiera elegido un umbral diferente para el sensor y cómo puede verificar que la condición es correcta sin necesidad de probar todas las posibilidades. Estas preguntas de diagnóstico, formuladas durante el trabajo o en el marco de la evaluación práctica, revelan con precisión si el estudiante ha comprendido los principios lógicos involucrados o si simplemente ha reproducido una estructura sin comprenderla. Lodi y Martini (2021) señalan que la capacidad de predecir el comportamiento de una estructura lógica antes de ejecutarla es el indicador más fiable de comprensión del razonamiento formal en programación educativa.

Una estrategia especialmente efectiva para evaluar el razonamiento lógico es el análisis de código ajeno. El docente presenta al estudiante un algoritmo con un error lógico y le pide que lo identifique, lo explique y lo corrija. Esta tarea exige que el estudiante trace la ejecución del algoritmo mentalmente, paso a paso, aplicando las reglas de la lógica proposicional para identificar dónde el razonamiento falla. El proceso de diagnóstico que el estudiante realiza es mucho más revelador de su comprensión que simplemente escribir un código propio, porque exige desacoplar la comprensión lógica de la habilidad procedimental de programación. Grover y Pea (2020) documentan que esta estrategia

produce mejoras significativas en la comprensión de la lógica computacional y en la capacidad de depuración de código.

La evaluación del razonamiento lógico debe considerar también la dimensión argumentativa: la capacidad del estudiante de justificar por escrito o de manera oral por qué su estructura lógica es correcta, qué casos contempla y qué casos excluye. Esta capacidad de argumentación matemática, que la OCDE (2022) identifica como uno de los componentes centrales de la competencia matemática funcional, es especialmente importante en el contexto de los proyectos robóticos, donde las decisiones de diseño lógico tienen consecuencias físicas observables que el estudiante puede usar como evidencia para apoyar o refutar sus argumentos.

#### **4.3.2. Evaluación de resolución de problemas**

Evaluar la capacidad de resolución de problemas matemáticos en entornos robóticos es una tarea que va más allá de comprobar si el estudiante obtuvo la respuesta correcta. Lo que se evalúa es el proceso: cómo identifica y comprende el problema, qué estrategias selecciona y por qué, cómo implementa y ajusta esas estrategias ante los obstáculos que encuentra, y cómo comunica y valida sus soluciones. Polya (en su versión actualizada por Schoenfeld, 2022) propone que la resolución de problemas genuinos se caracteriza por la ausencia de un camino predefinido hacia la solución, lo que exige flexibilidad, creatividad y persistencia por parte del estudiante. En robótica, esta flexibilidad se ve constantemente: el robot raramente se comporta exactamente como se había previsto en el primer intento.

Una estrategia evaluativa especialmente poderosa es pedir al estudiante que registre su proceso de resolución de problemas en tiempo real, anotando qué estrategia intentó en cada momento, qué resultado obtuvo y qué decisión tomó a continuación. Este registro, que puede realizarse en papel, en un documento digital o mediante video,

proporciona al docente una ventana directa al proceso de razonamiento del estudiante, sin necesidad de inferirlo a partir del producto final. El portafolio digital es el contenedor natural de estos registros, que acumulados a lo largo del proyecto construyen una narrativa del desarrollo de la capacidad de resolución de problemas del estudiante.

La evaluación de la transferencia es el criterio más exigente de la capacidad de resolución de problemas. Un estudiante que puede resolver el mismo tipo de problema en distintos contextos, adaptar su estrategia cuando las condiciones cambian y reconocer la estructura matemática común entre problemas aparentemente diferentes ha alcanzado un nivel de comprensión que trasciende el dominio de un procedimiento específico. En proyectos robóticos, esta transferencia puede evaluarse mediante desafíos adicionales al final del proyecto: ¿puede el equipo adaptar el algoritmo que diseñó para un entorno sin obstáculos a uno con obstáculos variables?, ¿puede modificar el modelo matemático del movimiento para que contemple una aceleración que no estaba en el diseño original? Estas preguntas, sin respuesta única ni procedimiento predefinido, son la prueba más fiel de la competencia matemática real del estudiante.

Schoenfeld (2022) destaca que los recursos, las heurísticas, las creencias y el control metacognitivo son los cuatro factores que determinan el desempeño en resolución de problemas matemáticos. En el contexto de la evaluación STEAM con robótica, esto implica que el docente debe atender no solo a los recursos matemáticos que el estudiante moviliza, sino también a las estrategias generales que usa, a sus creencias sobre su propia competencia y a su capacidad de supervisar y ajustar su propio proceso. Esta mirada amplia hace de la evaluación de la resolución de problemas una tarea compleja que requiere la combinación de múltiples instrumentos y múltiples momentos de observación.

### 4.3.3. Evaluación de modelización matemática

La modelización matemática es el proceso de construir una representación matemática de una situación real, trabajar con esa representación para obtener conclusiones y luego interpretar esas conclusiones en el contexto original. Blum (2022) describe este proceso como un ciclo de seis etapas: comprender la situación real, simplificarla para construir un modelo, trabajar matemáticamente con el modelo, interpretar los resultados matemáticos en términos reales, validar el modelo comparándolo con la realidad y, si es necesario, revisarlo y mejorarlo. En robótica educativa, este ciclo ocurre de manera natural y repetida: el estudiante construye un modelo algebraico del movimiento del robot, programa ese modelo, observa si el robot se comporta como el modelo predice y ajusta el modelo cuando encuentra discrepancias.

Evaluar la modelización matemática en este contexto implica valorar la calidad de cada etapa del ciclo, no solo el resultado final. Un modelo matemático puede ser matemáticamente correcto pero inapropiado para la situación real que pretende describir, o puede ser adecuado conceptualmente pero mal implementado en el código. La evaluación debe capturar estas distintas posibilidades con criterios diferenciados: la pertinencia del modelo elegido para el problema, la corrección matemática de su formulación, la coherencia entre el modelo y el código, la calidad de la interpretación de los resultados y la disposición a revisar el modelo cuando los datos empíricos lo contradicen. Esta última dimensión es especialmente reveladora de la comprensión matemática profunda.

Una estrategia evaluativa eficaz para la modelización es pedir al estudiante que justifique por escrito el modelo matemático que utilizó: qué simplificaciones realizó sobre la realidad, por qué consideró que esas simplificaciones eran aceptables y qué limitaciones tiene el modelo como consecuencia de esas simplificaciones. Esta reflexión

sobre los límites del modelo es un indicador de madurez matemática que distingue a los estudiantes que comprenden genuinamente la naturaleza de la modelización de aquellos que simplemente aplican fórmulas. La OCDE (2022) identifica la evaluación crítica de los modelos matemáticos como una de las competencias más avanzadas y más buscadas en la formación matemática del siglo XXI.

La comparación entre distintos modelos propuestos por diferentes equipos para resolver el mismo problema es otra estrategia evaluativa de alto valor. Cuando el docente organiza una sesión de comparación y discusión de modelos alternativos, los estudiantes deben argumentar a favor de su propio modelo y evaluar críticamente los modelos ajenos, lo que activa simultáneamente el pensamiento matemático riguroso y la capacidad de comunicación y argumentación. Blum (2022) señala que la discusión de modelos matemáticos alternativos es una de las actividades más potentes para el desarrollo de la comprensión de la naturaleza y los límites del pensamiento matemático.

#### **4.3.4. Evaluación del pensamiento crítico**

El pensamiento crítico en matemáticas implica la capacidad de cuestionar supuestos, evaluar la validez de los argumentos, identificar sesgos en los datos y reconocer las limitaciones de las conclusiones. En proyectos robóticos, el pensamiento crítico se activa cuando el estudiante no acepta el primer resultado que obtiene como correcto, sino que lo cuestiona y busca confirmación; cuando identifica que los datos del sensor tienen un margen de error que afecta la confiabilidad de las conclusiones; cuando reconoce que el modelo algebraico que usó solo es válido bajo ciertas condiciones que no siempre se cumplen. Estas actitudes críticas frente al conocimiento matemático son tan importantes como el dominio de los procedimientos, y su evaluación requiere estrategias específicas que inviten al estudiante a ir más allá de la respuesta correcta.

Una estrategia evaluativa especialmente eficaz para el pensamiento crítico es plantear al estudiante situaciones donde los datos parecen contradictorios o donde el resultado obtenido parece contraintuitivo. Por ejemplo: el robot debería haber recorrido 50 centímetros según el modelo, pero el sensor de distancia registra 47 centímetros. ¿Qué podría explicar esta discrepancia?, ¿es el modelo incorrecto?, ¿es el sensor poco preciso?, ¿hay algún factor que el modelo no contempló? La calidad del razonamiento que el estudiante despliega para abordar esta situación revela con claridad su nivel de pensamiento crítico matemático. Bocconi et al. (2022) documentan que este tipo de situaciones disonantes son las que más eficazmente desarrollan el pensamiento crítico en contextos de aprendizaje activo.



La evaluación del pensamiento crítico también debe atender a la disposición del estudiante a cambiar de opinión cuando la evidencia lo justifica. Un estudiante que defiende su modelo a pesar de que los datos empíricos lo contradicen sistemáticamente no está mostrando seguridad matemática, sino rigidez cognitiva. En contraste, un estudiante que revisa y ajusta su modelo cuando los datos lo demandan está demostrando precisamente el tipo de pensamiento crítico que la formación científica y matemática busca desarrollar. Esta disposición a la revisión, que a veces se percibe erróneamente como falta de confianza, es en realidad una de las actitudes más avanzadas que un estudiante puede demostrar en matemáticas.

### 4.3.5. Evaluación del pensamiento computacional

El pensamiento computacional, tal como lo conceptualizó originalmente Wing (2006) y lo han desarrollado investigadores más recientes como Lodi y Martini (2021), es una forma de razonar que incluye la descomposición de problemas en partes más manejables, la identificación de patrones, la abstracción de los detalles no esenciales y el diseño de algoritmos. En el contexto de la robótica educativa, estas cuatro dimensiones del pensamiento computacional están presentes de manera simultánea y articulada en cada sesión de trabajo, lo que convierte a la robótica en uno de los mejores contextos posibles para el desarrollo y la evaluación de este tipo de pensamiento.

Evaluar la descomposición implica observar si el estudiante es capaz de analizar un problema complejo en partes más simples y abordar cada parte de manera sistemática. En robótica, esto se ve cuando el estudiante divide el problema de navegación del robot en subproblemas, como avanzar, girar, detectar obstáculos y detenerse, y diseña soluciones para cada subproblema antes de integrarlas. La evaluación de la abstracción, por su parte, observa si el estudiante puede identificar los elementos esenciales del problema y prescindir de los detalles superfluos. Grover y Pea (2020) señalan que la abstracción es la dimensión más difícil del pensamiento computacional para los estudiantes de educación básica, porque requiere una madurez cognitiva que se desarrolla progresivamente con la práctica.

La evaluación del pensamiento algorítmico, es decir, la capacidad de diseñar una secuencia de pasos ordenados y completos para resolver un problema, puede realizarse eficazmente mediante la solicitud de diagramas de flujo previos a la programación. Si el estudiante puede representar su algoritmo de manera gráfica, clara y completa antes de escribir una sola línea de código, está demostrando que ha comprendido la estructura lógica de la solución y no solo su

implementación técnica. Esta distinción entre la comprensión del algoritmo y su implementación en un lenguaje de programación específico es pedagógicamente fundamental: el primero es transferible a cualquier lenguaje y a cualquier problema similar, mientras que el segundo es dependiente del contexto tecnológico particular.

Finalmente, la evaluación del reconocimiento de patrones, que es la capacidad de identificar regularidades en los datos o en los procesos que permiten diseñar soluciones más eficientes, puede realizarse mediante tareas que presenten al estudiante secuencias de datos o comportamientos del robot y le pidan que identifique el patrón subyacente y lo explote algorítmicamente. Esta habilidad conecta directamente con el pensamiento algebraico, porque la generalización de un patrón es el primer paso hacia la formulación de una expresión algebraica que lo describe, lo que demuestra la profunda articulación que existe entre el pensamiento computacional y el pensamiento matemático en entornos STEAM con robótica.

#### **4.4. Análisis de resultados de aprendizaje**

El análisis de los resultados de aprendizaje es el proceso mediante el cual el docente transforma los datos recopilados por los distintos instrumentos de evaluación en información útil para mejorar su práctica pedagógica y el aprendizaje de sus estudiantes. Este proceso no termina con la asignación de calificaciones: comienza en ella. Una calificación que no se analiza en profundidad es información desperdiciada. En cambio, un análisis cuidadoso de los resultados puede revelar patrones de dificultad compartidos, identificar estrategias que funcionaron particularmente bien con ciertos grupos, detectar necesidades individuales de apoyo y orientar las decisiones de planificación para las siguientes experiencias de aprendizaje.

En entornos STEAM con robótica, los datos de aprendizaje provienen de fuentes muy diversas: las rúbricas de evaluación del proyecto, las listas

de cotejo del proceso, las entradas del portafolio digital, las observaciones del docente durante las sesiones de trabajo, los datos de las plataformas digitales de aprendizaje y los resultados de las evaluaciones entre pares. Cada una de estas fuentes proporciona una perspectiva diferente sobre el aprendizaje del estudiante, y es la triangulación de estas perspectivas lo que permite construir una imagen completa y fiel. Black y Wiliam (2020) señalan que la calidad del análisis evaluativo depende directamente de la diversidad y la complementariedad de las fuentes de evidencia utilizadas.

La participación de los propios estudiantes en el análisis de sus resultados es un componente pedagógico de alto valor. Cuando el estudiante revisa su rúbrica de evaluación junto con el docente y comprende concretamente en qué criterios alcanzó el nivel esperado y en cuáles no, tiene la oportunidad de conectar los resultados con las decisiones que tomó durante el proceso. Esta conexión entre evaluación y acción es la que convierte los resultados en aprendizaje real, porque permite al estudiante identificar no solo qué le faltó, sino por qué le faltó y qué puede hacer de manera diferente en la próxima oportunidad. Sadler (2021) denomina a este proceso comprensión evaluativa y lo identifica como una de las competencias más importantes que la escuela puede desarrollar en sus estudiantes.

El análisis de los resultados de aprendizaje debe alimentar necesariamente la planificación de las siguientes experiencias educativas. Un docente que analiza sus datos evaluativos y descubre que la mayoría de sus estudiantes tiene dificultades para formular modelos algebraicos del movimiento tiene información suficiente para rediseñar la secuencia de actividades del próximo proyecto, incorporando más momentos de matematización explícita y más oportunidades de práctica guiada antes de que los estudiantes enfrenten de manera autónoma esa tarea. Esta retroalimentación del

análisis evaluativo hacia la planificación didáctica es el motor del ciclo de mejora continua que se describe en el siguiente subapartado.

#### **4.4.1. Interpretación de datos evaluativos**

Interpretar datos evaluativos es mucho más que calcular promedios o clasificar a los estudiantes en niveles de rendimiento. Es el proceso de encontrar significado en los datos para orientar decisiones pedagógicas fundamentadas. En el contexto STEAM con robótica, los datos evaluativos incluyen tanto información cuantitativa, como puntuaciones en rúbricas o porcentajes de indicadores alcanzados, como información cualitativa, como las notas de observación del docente, las reflexiones del portafolio o los comentarios de la evaluación entre pares. Ambos tipos de datos son igualmente valiosos y se complementan: los cuantitativos permiten identificar tendencias y comparar, mientras que los cualitativos permiten comprender los matices y las razones detrás de esas tendencias.

Una estrategia particularmente útil para interpretar datos evaluativos en proyectos STEAM es el análisis por criterio. En lugar de analizar el rendimiento global de cada estudiante, el docente examina cómo se distribuyeron los resultados en cada criterio de la rúbrica en todo el grupo. Si la mayoría de los equipos alcanzaron niveles altos en el criterio de funcionamiento técnico del robot, pero niveles bajos en el criterio de modelización matemática, esta información señala con precisión dónde se concentra la brecha entre el aprendizaje técnico y el aprendizaje matemático, y orienta hacia una intervención pedagógica específica. Este tipo de análisis por criterio es mucho más informativo para la toma de decisiones que el análisis del rendimiento global.

Hattie y Timperley (2021) advierten que la interpretación de datos evaluativos requiere cautela frente a las conclusiones precipitadas. Un rendimiento bajo en un criterio puede deberse a múltiples causas:

dificultad genuina con el concepto matemático involucrado, instrucción insuficiente en esa dimensión, falta de tiempo para desarrollar esa parte del proyecto, o simplemente una formulación poco clara del criterio en la rúbrica. Distinguir entre estas causas requiere triangular los datos cuantitativos con la observación cualitativa y, cuando sea posible, con el diálogo directo con los estudiantes sobre su experiencia durante el proyecto. Esta triangulación es lo que transforma la interpretación de datos en una práctica reflexiva genuinamente informada.

La presentación de los resultados a los propios estudiantes es también una etapa importante de la interpretación evaluativa. Mostrar al grupo, de manera agregada y anónima, cómo se distribuyeron los resultados en los distintos criterios, qué dimensiones del trabajo resultaron más sólidas y cuáles más débiles, invita a una reflexión colectiva sobre el proceso de aprendizaje que puede ser tan formativa como la reflexión individual. Esta práctica de compartir el análisis evaluativo con los estudiantes es coherente con la idea de la evaluación como proceso colaborativo entre docente y estudiante, no como un juicio unilateral del primero sobre el segundo.

#### **4.4.2. Mejora continua del proceso educativo**

La mejora continua del proceso educativo es el principio que convierte la evaluación de un instrumento de medición en un motor de transformación pedagógica. Su lógica es sencilla: los datos evaluativos, cuando se analizan con rigor y se traducen en decisiones pedagógicas concretas, permiten que cada ciclo de enseñanza sea mejor que el anterior. En entornos STEAM con robótica, esta mejora puede manifestarse en múltiples dimensiones: un rediseño de la secuencia de aprendizaje, una modificación de los instrumentos de evaluación, un ajuste en los recursos utilizados o un cambio en la forma de organizar el trabajo en equipo. La figura representa visualmente este ciclo de mejora continua.

Figura 11

*Ciclo de mejora continua del proceso educativo STEAM con robótica*



*Nota.* Elaboración propia basada en Black y Wiliam (2020) y Wiggins y McTighe (2022).

La figura revela algo que trasciende la simple descripción de pasos: la mejora continua no es un proceso que ocurra una vez al final de cada proyecto, sino una práctica permanente que se activa en múltiples escalas de tiempo. En la escala de la sesión, el docente observa lo que ocurre, ajusta su intervención y modifica la actividad siguiente. En la escala del proyecto, analiza los resultados parciales y ajusta las fases que faltan. En la escala del año escolar, reflexiona sobre el diseño

completo de las experiencias STEAM y planifica cambios para el curso siguiente. Esta práctica reflexiva en múltiples escalas temporales es lo que distingue al docente investigador del que simplemente repite lo que hizo el año anterior, y es la base de un desarrollo profesional genuino y sostenido.

#### 4.4.3. Identificación de dificultades de aprendizaje

Identificar las dificultades de aprendizaje matemático en proyectos STEAM con robótica requiere un sistema de observación sistemático y sensible que permita detectar los obstáculos antes de que se conviertan en fracasos. En entornos de proyectos, las dificultades suelen emerger de maneras que no siempre son visibles desde lejos: un equipo que parece trabajar activamente puede estar avanzando en la dimensión técnica del proyecto mientras evita o pospone las tareas que requieren razonamiento matemático. Identificar este tipo de dificultad requiere que el docente se acerque, formule preguntas específicas sobre el proceso matemático y observe con atención qué aspectos del trabajo generan dudas, bloqueos o estrategias de evitación.

**Tabla 17**

*Identificación de dificultades de aprendizaje matemático en entornos STEAM con robótica*

<b>Dificultad identificada</b>	<b>Manifestación observable</b>	<b>Posible causa pedagógica</b>	<b>Estrategia de apoyo sugerida</b>
Confusión entre variable y constante	Usa valores fijos donde debería usar variables en el código	Instrucción centrada en cálculos y no en el concepto	Actividades de traducción entre lenguaje natural y algebraico
Dificultad en coordenadas cartesianas	El robot no sigue la ruta planeada por error de ubicación	Escasa experiencia con representación grafica del espacio	Trabajo previo con cuadrículas físicas y mapas reales

Errores en estructura lógica del algoritmo	El condicional no produce la respuesta esperada del robot	Confusión entre condición, acción y resultado	Diagramas de flujo antes de programar; revisión por pares
Dificultad para interpretar datos del sensor	Lee los números, pero no comprende su significado	Falta de conexión entre el dato numérico y el fenómeno real	Actividades de medición física previa al uso del sensor
Baja producción matemática escrita	Resuelve el problema, pero no puede explicarlo por escrito	Escasa practica de comunicación matemática formal	Plantillas de registro y ejercicios de escritura matemática
Dependencia del grupo en tareas matemáticas	Evita asumir la parte matemática del proyecto	Ansiedad matemática o percepción de baja competencia	Asignación de roles rotativos y refuerzo de autoconfianza

*Nota.* Elaboración propia basada en Rico y Lupiáñez (2021), Tobón (2020).

El valor pedagógico de esta tabla no reside únicamente en el catálogo de dificultades, que cualquier docente experimentado reconocerá en su práctica cotidiana, sino en la columna de posibles causas pedagógicas. La identificación de la causa permite distinguir entre dificultades que se originan en la comprensión conceptual del estudiante y dificultades que se originan en el diseño de la enseñanza. Cuando la causa reside en el diseño, la solución no es intervenir sobre el estudiante sino sobre la práctica docente: replantear la secuencia de actividades, modificar los recursos utilizados o incorporar momentos de instrucción explícita que no estaban previstos en el diseño original. Esta distinción entre dificultades de aprendizaje y dificultades de enseñanza es, según Black y Wiliam (2020), uno de los cambios de perspectiva más importantes que produce la implementación sistemática de la evaluación formativa.

#### 4.4.4. Toma de decisiones pedagógicas

La toma de decisiones pedagógicas fundamentadas en evidencia evaluativa es la competencia que cierra el ciclo de la evaluación y la convierte en un motor de mejora. Cuando el docente analiza los resultados de aprendizaje y decide ajustar su práctica en función de lo que los datos le dicen, está operando como un profesional reflexivo en el sentido que Schön (citado en Tobón, 2020) le dio a ese término: alguien que aprende de su propia práctica mediante un proceso continuo de reflexión sobre la acción. Esta forma de profesionalidad docente es especialmente valiosa en el contexto STEAM con robótica, donde la novedad de las experiencias y la variabilidad de los contextos hacen que el repertorio de decisiones rutinarias sea insuficiente y que la reflexión fundamentada sea imprescindible.

Las decisiones pedagógicas que emergen del análisis evaluativo pueden operar en distintos niveles. En el nivel inmediato, el docente puede decidir dedicar la sesión siguiente a trabajar específicamente la dificultad identificada en la anterior, reorganizar los equipos para que estudiantes con distintas fortalezas se complementen, o proporcionar un andamiaje adicional a los equipos que muestran mayor dificultad. En el nivel de medio plazo, puede decidir incorporar un nuevo instrumento de evaluación que capture mejor una dimensión del aprendizaje que estaba quedando invisible, o rediseñar una actividad que produjo resultados consistentemente bajos en todos los grupos. En el nivel de largo plazo, puede repensar la secuencia curricular del año siguiente para garantizar que los estudiantes lleguen al proyecto con los prerrequisitos matemáticos necesarios.

Una práctica especialmente valiosa es la revisión colaborativa de los datos evaluativos entre docentes del mismo nivel o del mismo proyecto interdisciplinar. Cuando el docente de matemáticas y el de tecnología comparten y analizan juntos los resultados del proyecto STEAM, pueden identificar patrones que ninguno de los dos habría detectado

de manera independiente: por ejemplo, que las dificultades matemáticas de ciertos estudiantes se correlacionan con dificultades específicas en la comprensión del funcionamiento del sensor, lo que sugiere que el problema no es algebraico sino conceptual, y que la solución requiere un abordaje integrado desde ambas áreas. Esta revisión colaborativa es, según Torres Santomé (2020), una de las prácticas más efectivas para el desarrollo del diseño interdisciplinar de calidad.

Wiggins y McTighe (2022) sostienen que la pregunta central de toda toma de decisiones pedagógica no es ¿qué enseñaré mañana?, sino ¿qué evidencia tengo de que mis estudiantes están aprendiendo lo que se supone que deben aprender, y qué haré de manera diferente si esa evidencia sugiere que no lo están logrando? Esta pregunta, aparentemente simple, encierra una transformación profunda de la cultura evaluativa: convierte la evaluación de un ritual de cierre en un instrumento de apertura hacia la mejora continua.

#### **4.4.5. Evaluación basada en evidencia**

La evaluación basada en evidencia es un enfoque que exige que las decisiones sobre el aprendizaje del estudiante y sobre la práctica pedagógica del docente se fundamenten en datos concretos y verificables, y no en impresiones subjetivas, tradiciones institucionales o supuestos no examinados. En el contexto STEAM con robótica, este enfoque implica que el docente construya un sistema de recopilación de evidencias que sea lo suficientemente diverso como para capturar las múltiples dimensiones del aprendizaje, lo suficientemente sistemático como para producir datos comparables a lo largo del tiempo, y lo suficientemente manejable como para ser sostenible en las condiciones reales del trabajo docente. Black y Wiliam (2020) insisten en que la sofisticación del sistema de evaluación no es un valor en sí mismo: lo que importa es que la evidencia recopilada sea relevante, confiable y usable.

Las evidencias más valiosas en proyectos STEAM con robótica son aquellas que muestran el pensamiento matemático del estudiante en acción: un registro escrito de cómo formuló un modelo algebraico, un video de cómo explicó su algoritmo a sus compañeros, una captura de pantalla del código que muestra cómo estructuró sus estructuras condicionales, o una entrada del portafolio donde reflexiona sobre por qué su primera solución no funcionó y qué cambió para mejorarla. Estas evidencias de proceso son mucho más informativas que las evidencias de producto, porque revelan el razonamiento detrás del resultado y permiten identificar tanto las fortalezas como las brechas en la comprensión del estudiante.

La triangulación de evidencias, es decir, el uso de múltiples fuentes de información que se complementan y se verifican mutuamente, es el principio metodológico central de la evaluación basada en evidencia. Si el desempeño de un estudiante en la rúbrica del proyecto, sus anotaciones en el portafolio y las observaciones del docente durante el proceso apuntan en la misma dirección, la conclusión evaluativa tiene una solidez que ninguna fuente aislada podría proporcionar. Si en cambio apuntan en direcciones distintas, esa discrepancia es en sí misma una evidencia valiosa que merece ser investigada con mayor profundidad.



#### 4.5. Uso de tecnología para la evaluación

La tecnología digital ha transformado de manera significativa las posibilidades de evaluación en contextos educativos, proporcionando herramientas que permiten recopilar evidencias de manera más rápida y diversa, analizar datos de aprendizaje con mayor profundidad y proporcionar retroalimentación con mayor oportunidad y personalización. En entornos STEAM con robótica, donde el aprendizaje ocurre en múltiples dimensiones simultáneas y produce evidencias muy variadas, las herramientas tecnológicas de evaluación son aliadas especialmente valiosas del docente. Sin embargo, su uso debe guiarse siempre por criterios pedagógicos claros: la tecnología sirve a la evaluación, y no al revés.

La digitalización de los procesos evaluativos ofrece ventajas concretas que tienen un impacto directo sobre la calidad del aprendizaje. La automatización de ciertos procesos de recopilación y análisis de datos libera tiempo del docente para las tareas que no pueden automatizarse: la observación directa, el diálogo matemático con los estudiantes y la reflexión sobre la práctica. Las plataformas que generan informes automáticos sobre el progreso de cada estudiante permiten al docente identificar tendencias y dificultades con mayor rapidez que el análisis manual. Los sistemas de retroalimentación automatizada pueden proporcionar al estudiante información inmediata sobre ciertos tipos de tareas, sin necesidad de esperar a la intervención del docente.

Las herramientas digitales de evaluación también facilitan la documentación y el seguimiento longitudinal del aprendizaje. En proyectos STEAM que se desarrollan durante semanas o meses, poder comparar las producciones matemáticas de un estudiante al inicio y al final del proceso es una evidencia de aprendizaje extraordinariamente poderosa que los sistemas analógicos difícilmente pueden

proporcionar con la misma facilidad. Los portafolios digitales, los registros de actividad en las plataformas de aprendizaje y los historiales de versiones del código son fuentes de datos longitudinales que permiten narrar el proceso de aprendizaje con una riqueza que ninguna evaluación puntual puede igualar.

Una precaución importante es no confundir la cantidad de datos que las herramientas tecnológicas pueden generar con la calidad de la información evaluativa. Una plataforma que registra con precisión milimétrica cuántas veces cada estudiante accedió a cada recurso no está midiendo el aprendizaje matemático: está midiendo el uso de la plataforma, que puede o no correlacionarse con el aprendizaje. El docente que usa herramientas tecnológicas de evaluación debe mantener siempre la pregunta pedagógica como eje: ¿esta información que la herramienta me proporciona me dice algo relevante sobre si mis estudiantes están desarrollando competencias matemáticas en el proyecto robótico? Si la respuesta no es claramente afirmativa, el dato es ruido evaluativo que consume atención sin aportar orientación.

#### **4.5.1. Herramientas digitales de evaluación**

Las herramientas digitales de evaluación disponibles actualmente para entornos educativos cubren un espectro muy amplio de funciones, desde los cuestionarios automatizados hasta los sistemas de video respuesta y los entornos de representación matemática interactiva. Su valor pedagógico varía considerablemente según el tipo de aprendizaje que se pretende evaluar y el momento del proceso formativo en que se usan. En proyectos STEAM con robótica, las herramientas más útiles son las que permiten capturar evidencias del proceso de razonamiento matemático, que proporcionan retroalimentación inmediata al estudiante, y que facilitan al docente el seguimiento individualizado del progreso sin generar una carga administrativa insostenible. Prats et al. (2020) señalan que la selección de herramientas digitales de evaluación debe comenzar por definir qué tipo de evidencia se necesita

recopilar y solo entonces identificar la herramienta que mejor se ajusta a ese propósito.

**Tabla 18**

*Herramientas digitales de evaluación para entornos STEAM con robótica*

Herramienta	Tipo	Función principal en STEAM	Acceso	Ventaja pedagógica
Google Forms	Encuesta / cuestionario	Evaluaciones de entrada, salida y autoevaluación	Gratuito	Retroalimentación automática e inmediata
Kahoot!	Quiz interactivo gamificado	Verificación de comprensión conceptual en clase	Freemium	Alta motivación y participación estudiantil
Padlet	Muro digital colaborativo	Portafolio visual de proyectos y reflexiones	Freemium	Fácil de usar; compatible con imágenes y video
Socrative	Sistema de respuesta estudiantil	Diagnóstico y evaluación formativa en tiempo real	Freemium	Informes automáticos por estudiante y grupo
Flipgrid	Video respuesta estudiantil	Presentación oral y demostración del aprendizaje	Gratuito (Microsoft)	Desarrolla comunicación matemática oral
Desmos	Calculadora grafica interactiva	Evaluación de funciones y modelización algebraica	Gratuito	Representación visual dinámica de conceptos
ClassDojo	Seguimiento conductual y académico	Registro de participación y logros por proyecto	Gratuito	Comunicación fluida con familias y estudiantes

*Nota.* Elaboración propia basada en Prats et al. (2020), Black y Wiliam (2020).

El análisis pedagógico de esta tabla revela una diversidad de propósitos que ninguna herramienta por sí sola puede cubrir, lo que refuerza la necesidad de construir un ecosistema evaluativo y no de depender de una única plataforma. Herramientas como Kahoot! son excepcionales para la verificación rápida de comprensión conceptual durante una sesión de clase, pero serían completamente inapropiadas para evaluar la capacidad de modelización matemática o la calidad del portafolio digital. Desmos, en cambio, permite al docente observar en tiempo real cómo el estudiante construye y manipula funciones algebraicas, proporcionando una ventana directa al pensamiento matemático que ningún cuestionario de opción múltiple puede ofrecer. La clave es seleccionar cada herramienta para el momento y el propósito evaluativo para el que fue diseñada, integrándola en un sistema coherente que capture la complejidad del aprendizaje STEAM desde múltiples ángulos.

#### **4.5.2. Analítica de aprendizaje**

La analítica de aprendizaje es el campo emergente que se ocupa de recopilar, analizar e interpretar los datos que los estudiantes generan al interactuar con entornos digitales de aprendizaje, con el propósito de mejorar la comprensión del proceso educativo y optimizar las decisiones pedagógicas. En plataformas como Moodle, Canvas o Google Classroom, cada acceso, cada entrega, cada interacción del estudiante con los materiales deja una huella digital que puede ser analizada para identificar patrones de comportamiento, predecir dificultades y personalizar el apoyo. Sin embargo, el uso pedagógicamente responsable de esta información requiere una reflexión ética y crítica que va más allá de la capacidad técnica de recopilarla.

En el contexto específico de proyectos STEAM con robótica, la analítica de aprendizaje tiene aplicaciones concretas y valiosas. El análisis de los registros de versiones del código puede revelar la evolución del

pensamiento algorítmico de un equipo a lo largo del proyecto: cuántas versiones necesitaron para lograr una estructura condicional correcta, en qué tipos de errores incurrieron con mayor frecuencia y cómo fue evolucionando la complejidad de sus algoritmos. Este tipo de análisis longitudinal del proceso de programación es una evidencia de aprendizaje computacional que los instrumentos convencionales no pueden capturar con la misma riqueza. Bocconi et al. (2022) señalan que la analítica de código es uno de los campos más prometedores de la investigación en educación STEAM con robótica.

La dimensión ética de la analítica de aprendizaje merece atención explícita. El uso de datos de comportamiento estudiantil para tomar decisiones pedagógicas plantea preguntas sobre privacidad, consentimiento, equidad en los algoritmos de análisis y riesgo de estigmatización de los estudiantes que los datos identifican como en dificultad. Estas preguntas no tienen respuestas simples, pero ignorarlas equivale a adoptar de manera acrítica una tecnología cuyas implicaciones sociales y educativas están lejos de ser neutras. El docente que incorpora analítica de aprendizaje en su práctica evaluativa debe hacerlo con plena conciencia de estos dilemas y con criterios claros sobre cómo usará la información de manera justa, transparente y respetuosa de los derechos de los estudiantes y sus familias.

Utilizada de manera reflexiva y ética, la analítica de aprendizaje puede convertirse en un aliado poderoso de la evaluación formativa, porque permite al docente identificar tendencias y patrones que serían invisibles al análisis manual de los productos del trabajo. El desafío no es técnico, sino pedagógico: aprender a formular las preguntas correctas sobre los datos disponibles, a interpretar las respuestas con el criterio que proporciona la comprensión del proceso de aprendizaje, y a traducir esas interpretaciones en decisiones pedagógicas que mejoren concretamente la experiencia de los estudiantes.

### 4.5.3. Evaluación automatizada

La evaluación automatizada utiliza sistemas digitales para revisar y valorar producciones estudiantiles sin intervención directa del docente, al menos en un primer nivel de análisis. Sus aplicaciones más maduras se encuentran en la evaluación de ejercicios matemáticos con respuesta única, en la corrección de cuestionarios de opción múltiple y, más recientemente, en la revisión de código de programación mediante sistemas de prueba automática.

En robótica educativa, los sistemas de evaluación automatizada de código pueden verificar si un algoritmo produce el comportamiento esperado en el robot simulado, proporcionando retroalimentación inmediata al estudiante sobre si su solución es técnicamente correcta. Esta retroalimentación inmediata, que actuaría como un docente disponible en cualquier momento, tiene un valor formativo real especialmente en contextos donde el tiempo de atención docente individual es limitado.

Sin embargo, la evaluación automatizada tiene limitaciones importantes que el docente debe conocer y gestionar. Los sistemas actuales pueden verificar si el código produce el resultado correcto, pero no pueden evaluar la calidad del razonamiento matemático que lo fundamenta, la elegancia de la solución, la solidez de la modelización o la profundidad de la comprensión conceptual. Un estudiante que llega al resultado correcto por un camino incorrecto, o que copia un código funcional sin comprenderlo, puede engañar fácilmente a un sistema automatizado pero no a un docente que observa el proceso y formula preguntas. Por esto, la evaluación automatizada debe entenderse como un nivel de evaluación inicial, útil para verificar la corrección técnica básica, pero no como un sustituto de la evaluación docente de las dimensiones más profundas del aprendizaje.

La combinación de evaluación automatizada con evaluación humana es la estrategia más efectiva en contextos STEAM con robótica. El sistema automatizado puede encargarse de verificar la corrección técnica del código y proporcionar retroalimentación inmediata sobre los errores de programación, mientras que el docente concentra su atención evaluativa en las dimensiones que requieren juicio humano: la calidad del razonamiento matemático, la profundidad de la reflexión, la capacidad de comunicar el proceso y la habilidad para trabajar de manera colaborativa. Esta división del trabajo evaluativo permite una mayor eficiencia sin sacrificar la riqueza y la pertinencia de la evaluación educativa.

#### **4.5.4. Plataformas educativas**

Las plataformas educativas digitales que integran funciones de seguimiento del aprendizaje constituyen la infraestructura sobre la que se construye el sistema de evaluación tecnológico en entornos STEAM. Su valor no reside únicamente en la eficiencia administrativa que proporcionan, sino en la posibilidad que ofrecen de integrar en un solo espacio todas las evidencias del aprendizaje: las tareas entregadas, los cuestionarios respondidos, las participaciones en foros, los registros de acceso a los materiales y las calificaciones asignadas por distintos instrumentos.

Esta integración permite al docente y al estudiante tener una visión holística del proceso de aprendizaje que sería imposible construir a partir de fuentes dispersas. Wiggins y McTighe (2022) señalan que la coherencia del sistema evaluativo requiere que todas las evidencias del aprendizaje estén organizadas de manera que puedan ser analizadas en conjunto y no de manera fragmentada.

Tabla 19

*Plataformas educativas digitales para el seguimiento del aprendizaje en STEAM*

Plataforma	Tipo de plataforma	Funciones de seguimiento	Costo	Integración con STEAM
Google Classroom	LMS general	Tareas, entregas, calificaciones y comentarios	Gratuito	Alta; compatible con Drive, Forms y Meet
Moodle	LMS de código abierto	Cuestionarios, foros, reportes de progreso	Gratuito (servidor)	Alta; permite módulos de robótica y simulación
Seesaw	Portafolio digital escolar	Registro de evidencias, audio, video y dibujo	Freemium	Alta; ideal para documentar proyectos prácticos
Schoology	LMS avanzado	Rubricas, analítica detallada, mensajería interna	Freemium	Media; requiere configuración docente activa
Canvas	LMS institucional	Evaluaciones adaptativas, seguimiento de objetivos	Pago / institucional	Alta; amplio ecosistema de integraciones
Khan Academy	Plataforma adaptativa	Progreso por habilidad matemática, recomendaciones	Gratuito	Media; fuerte en matemáticas, limitada en robótica

*Nota.* Elaboración propia basada en Wiggins y McTighe (2022), Prats et al. (2020).

La comparación de estas plataformas desde una perspectiva pedagógica, más que técnica, revela que la dimensión más relevante no es la cantidad de funciones disponibles sino la calidad de la información evaluativa que producen y la facilidad con que esa información puede traducirse en decisiones pedagógicas concretas.

Una plataforma con cien funciones que el docente usa superficialmente es menos valiosa que una con diez funciones que el docente domina y emplea de manera reflexiva y sistemática. La formación docente en el uso pedagógico de estas plataformas es, en consecuencia, una inversión tan importante como la adquisición de las herramientas mismas. En el contexto ecuatoriano, donde Google Classroom y Moodle son las plataformas de mayor penetración en el sistema educativo, el desarrollo de competencias para un uso evaluativo profundo de estas herramientas representa una oportunidad de mejora pedagógica de alto impacto y costo relativamente bajo.

#### **4.5.5. Seguimiento del progreso estudiantil**

El seguimiento del progreso estudiantil es el proceso mediante el cual el docente documenta, analiza y comunica de manera continua cómo evoluciona el aprendizaje de cada estudiante a lo largo del tiempo. En entornos STEAM con robótica, donde los proyectos se desarrollan durante períodos sostenidos y el aprendizaje es altamente individual y dinámico, el seguimiento longitudinal es especialmente valioso porque permite capturar trayectorias de aprendizaje que los cortes evaluativos puntuales no pueden revelar. Un estudiante puede mostrar un rendimiento bajo en la primera semana del proyecto y un rendimiento excepcional en las últimas dos semanas, y solo un sistema de seguimiento continuo puede dar cuenta de esa evolución y atribuirle el valor formativo que merece.

Las herramientas digitales facilitan de manera significativa el seguimiento longitudinal, porque permiten acumular y organizar evidencias de aprendizaje sin el esfuerzo que este proceso requeriría en un sistema analógico. Los registros de actividad en las plataformas LMS, las versiones sucesivas del portafolio digital, los historiales de entregas y los comentarios acumulados de las evaluaciones formativas construyen colectivamente una narrativa del aprendizaje de cada estudiante que es extraordinariamente rica y útil para la toma de

decisiones pedagógicas. La OCDE (2022) señala que los sistemas educativos de alto rendimiento se caracterizan por tener culturas de seguimiento del aprendizaje que son sistemáticas, transparentes y orientadas al desarrollo del estudiante y no solo a su clasificación.

La comunicación del progreso a los propios estudiantes y a sus familias es un componente del seguimiento que tiene efectos pedagógicos propios. Cuando el estudiante puede ver de manera clara y comprensible cómo ha evolucionado su aprendizaje, qué logros ha alcanzado y qué desafíos le quedan por superar, esta transparencia genera una forma de responsabilidad y de motivación que las calificaciones aisladas no pueden producir. Hattie y Timperley (2021) documentan que los estudiantes que reciben información regular y específica sobre su progreso muestran tasas de mejora significativamente superiores a las de sus pares que solo reciben calificaciones periódicas sin contexto explicativo. Esta información, traducida al lenguaje de los criterios de evaluación del proyecto robótico, permite al estudiante entender exactamente dónde está y qué necesita hacer para avanzar.

El seguimiento del progreso también tiene una función de equidad: permite identificar de manera temprana a los estudiantes que están mostrando dificultades persistentes y proporcionar el apoyo necesario antes de que esas dificultades se consoliden en brechas de aprendizaje difíciles de cerrar. En proyectos STEAM con robótica, donde la complejidad de las tareas puede resultar abrumadora para algunos estudiantes sin el andamiaje adecuado, la detección temprana de las dificultades y la intervención oportuna son condiciones necesarias para garantizar que la experiencia formativa sea equitativa y que ningún estudiante quede excluido del aprendizaje por falta de apoyo en el momento en que lo necesitaba.



**CAPÍTULO 5**

**INNOVACIÓN, TENDENCIAS Y FUTURO DE  
LA ROBÓTICA STEAM EN MATEMÁTICAS**

## CAPÍTULO 5: Innovación, Tendencias y Futuro de la Robótica STEAM en Matemáticas

El mundo en el que vivirán los estudiantes de hoy será profundamente distinto al mundo en que fueron formados sus docentes. Las transformaciones tecnológicas, sociales y económicas que se están produciendo a una velocidad sin precedentes están redefiniendo qué significa aprender, qué conocimientos tienen valor y qué competencias son necesarias para participar de manera activa y responsable en la sociedad. En este escenario, la educación STEAM con robótica no es una moda pedagógica ni un lujo reservado para instituciones de élite: es una respuesta necesaria y urgente a los desafíos que plantea una realidad que avanza más rápido que los sistemas educativos.



Las tendencias que se analizan en este capítulo, desde la inteligencia artificial hasta el Internet de las Cosas, desde la realidad aumentada

hasta los ecosistemas digitales de aprendizaje, no son realidades lejanas que llegarán en algún momento futuro indeterminado. Están ya presentes en los dispositivos que los estudiantes llevan en sus bolsillos, en los sistemas que gestionan los servicios de sus comunidades y en las industrias que definen el mercado laboral al que se incorporarán en pocos años. Ignorar estas tendencias en el diseño de las experiencias educativas es condenar a los estudiantes a prepararse para un mundo que ya no existe.

Al mismo tiempo, este capítulo no cede a un optimismo tecnológico acrítico. Las tendencias emergentes traen consigo no solo oportunidades sino también desafíos y riesgos que deben abordarse con honestidad y rigor. La brecha digital, la insuficiencia de la formación docente, las limitaciones de infraestructura y la resistencia institucional al cambio son obstáculos reales que no se resuelven con entusiasmo innovador sino con políticas educativas sólidas, inversión sostenida y un compromiso colectivo con la equidad. La innovación educativa genuina no es la que adopta la tecnología más sofisticada, sino la que transforma de manera duradera las oportunidades de aprendizaje de todos los estudiantes, especialmente los más vulnerables.

La proyección futura de la educación matemática con robótica que se desarrolla en la sección final de este capítulo es, a la vez, una descripción de tendencias documentadas y una propuesta normativa: así es hacia donde apuntan las evidencias, pero también así es hacia donde deberíamos orientar nuestros esfuerzos como comunidad educativa. Convertir esa proyección en realidad requiere la acción articulada de docentes, investigadores, diseñadores de políticas, familias y estudiantes, cada uno desde su lugar, con la conciencia de que transformar la educación matemática es transformar la capacidad de una sociedad para comprender y actuar sobre su propia realidad.

## 5.1. Tendencias emergentes en educación STEAM

Las tendencias emergentes en educación STEAM no son fenómenos independientes que puedan analizarse de manera aislada: forman parte de una transformación sistémica que afecta simultáneamente la tecnología disponible, las formas de organizar el conocimiento, los modelos de trabajo y las expectativas de la sociedad sobre qué debe producir la escuela. Comprender estas tendencias no solo como oportunidades tecnológicas sino como cambios en la epistemología del aprendizaje es lo que permite diseñar respuestas educativas coherentes y duraderas, en lugar de adaptaciones superficiales a cada nueva herramienta que aparece en el mercado.

La inteligencia artificial, el IoT, la robótica avanzada, la realidad aumentada y la educación basada en datos comparten una característica pedagógica fundamental: todas ellas hacen visible lo que antes era invisible. La IA puede revelar patrones en el proceso de aprendizaje que el docente no podría detectar de otra manera. El IoT convierte fenómenos físicos en datos analizables matemáticamente. La realidad aumentada hace visible la geometría del espacio tridimensional. La educación basada en datos transforma la intuición pedagógica en evidencia verificable. Esta capacidad de hacer visible lo invisible es lo que convierte a estas tecnologías en aliadas naturales de la educación matemática, donde la abstracción es simultáneamente la mayor fortaleza y el mayor obstáculo del aprendizaje.

La incorporación de estas tendencias en el aula no puede hacerse sin una reflexión crítica sobre sus implicaciones. Cada tecnología emergente trae consigo no solo posibilidades sino también riesgos: de exclusión de quienes no tienen acceso, de dependencia de sistemas privados que controlan los datos del aprendizaje, de sustitución del juicio pedagógico humano por algoritmos que no comprenden la complejidad del aprendizaje. El docente STEAM del futuro necesitará

no solo dominar estas tecnologías, sino también ser capaz de evaluarlas críticamente, seleccionarlas con criterio pedagógico y usarlas de manera responsable y equitativa.

Las investigaciones más recientes sobre el impacto de las tecnologías emergentes en el aprendizaje matemático (Bocconi et al., 2022; English, 2023) convergen en una conclusión importante: el efecto de estas tecnologías sobre el aprendizaje no depende principalmente de la sofisticación de la herramienta sino de la calidad del diseño pedagógico en que se inserta. Un aula con inteligencia artificial y un diseño didáctico pobre producirá resultados mediocres. Un aula con micro:bit y un diseño didáctico excelente puede producir aprendizajes matemáticos extraordinarios. Esta conclusión es simultáneamente una advertencia y una esperanza: la tecnología no salva a la pedagogía, pero la pedagogía puede sacar el máximo provecho de la tecnología.



Los siguientes subapartados analizan cada tendencia de manera específica, conectando su descripción técnica con sus implicaciones pedagógicas para la enseñanza de las matemáticas en entornos STEAM con robótica. El objetivo no es proporcionar un catálogo exhaustivo de herramientas, sino ofrecer un marco conceptual que permita al docente orientarse en un panorama tecnológico que cambia con una rapidez que ningún libro puede seguir completamente.

### 5.1.1. Inteligencia artificial en educación

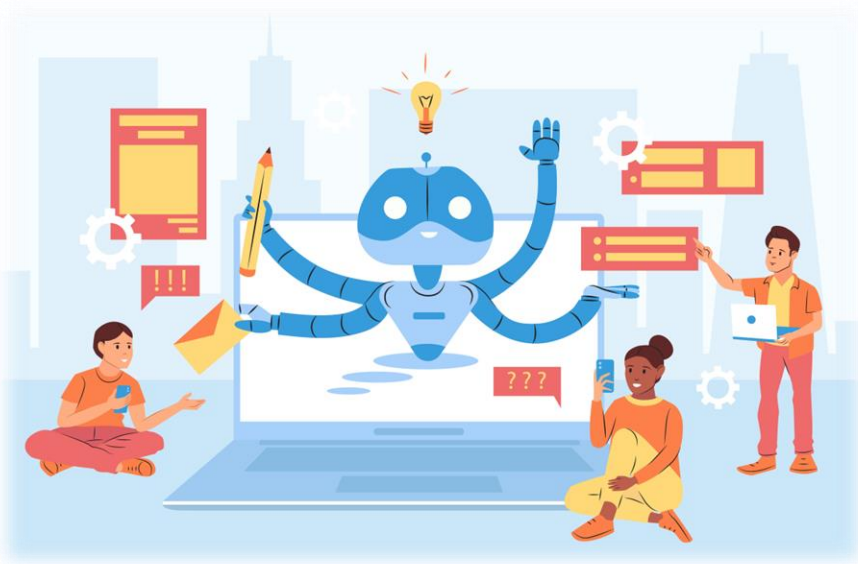
La inteligencia artificial está transformando la educación de maneras que van mucho más allá de los tutoriales automatizados y los sistemas de recomendación de contenidos. Sus aplicaciones más prometedoras en el campo de las matemáticas incluyen la detección temprana de dificultades de aprendizaje mediante el análisis de patrones de error, la personalización de la retroalimentación en función del proceso de razonamiento del estudiante y la generación de problemas adaptados al nivel y el estilo de aprendizaje de cada persona. En el contexto de la robótica educativa, la IA puede analizar el código producido por los estudiantes para identificar patrones de pensamiento algorítmico y proporcionar retroalimentación específica sobre la estructura lógica de sus soluciones.

Sin embargo, la incorporación de IA en entornos educativos requiere una reflexión ética que no puede obviarse. Los sistemas de IA aprenden de los datos con que fueron entrenados, y si esos datos reflejan los sesgos históricos del sistema educativo, como la subrepresentación de mujeres en matemáticas o el menor rendimiento estadístico de estudiantes de contextos socioeconómicos desfavorecidos, los algoritmos tenderán a reproducir y amplificar esos sesgos. Holmes et al. (2022) advierten que la IA en educación puede ser una poderosa herramienta de equidad o una poderosa herramienta de inequidad, dependiendo de cómo se diseñe, se implemente y se supervise. Esta advertencia es especialmente relevante en el contexto latinoamericano, donde las brechas educativas preexistentes son significativas.

La IA también está cambiando la naturaleza de las tareas matemáticas que tienen sentido proponer a los estudiantes. Si un sistema de IA puede resolver en segundos cualquier problema matemático de cálculo rutinario, el valor educativo de entrenar a los estudiantes en esos cálculos disminuye de manera radical. Lo que permanece

irreemplazable es la capacidad de formular los problemas correctos, de evaluar críticamente las soluciones que producen los sistemas automatizados, de interpretar los resultados en contextos complejos y de tomar decisiones responsables con base en el análisis matemático. Estas son precisamente las competencias que desarrolla la educación STEAM con robótica cuando está bien diseñada.

En el corto plazo, la IA más accesible para el docente ecuatoriano no son los sistemas sofisticados de aprendizaje adaptativo, sino las herramientas de asistencia pedagógica que permiten diseñar actividades, generar problemas contextualizados, producir rúbricas de evaluación o adaptar materiales a distintos niveles de dificultad con mayor rapidez y eficacia. Aprender a usar estas herramientas de manera crítica y creativa, como auxiliares del juicio pedagógico y no como sustitutos de él, es la competencia de IA más importante que el docente STEAM necesita desarrollar hoy.



### 5.1.2. Robótica avanzada en el aula

La robótica educativa está evolucionando desde los kits de construcción y programación básica hacia sistemas cada vez más sofisticados que incorporan sensores avanzados, comunicación inalámbrica, visión artificial y capacidades de aprendizaje automático. Esta evolución amplía significativamente el rango de conceptos matemáticos que pueden abordarse mediante la robótica: el procesamiento de imágenes introduce conceptos de matrices y transformaciones lineales, la navegación autónoma requiere trigonometría avanzada y álgebra vectorial, y el aprendizaje automático del robot convoca la estadística y el análisis de datos en contextos de alta autenticidad.

Los robots colaborativos, diseñados para trabajar junto a las personas en lugar de reemplazarlas, representan una tendencia especialmente relevante desde el punto de vista educativo. En el aula, los robots colaborativos pueden actuar como compañeros de aprendizaje que retroalimentan al estudiante, proponen desafíos adaptados a su nivel o demuestran conceptos matemáticos de manera dinámica. Estas posibilidades están todavía en sus etapas iniciales de exploración pedagógica, pero los primeros estudios en contextos educativos muestran resultados prometedores en cuanto a la motivación y el compromiso de los estudiantes, especialmente en grupos que históricamente han mostrado resistencia hacia las matemáticas.

La robótica de bajo costo sigue siendo, sin embargo, la tendencia más relevante para el contexto latinoamericano. La democratización del hardware mediante plataformas como Arduino, micro:bit y Raspberry Pi ha puesto al alcance de instituciones con presupuesto limitado recursos que hace una década eran inaccesibles. Esta tendencia, combinada con el crecimiento de las comunidades de práctica docente alrededor de estas plataformas, está creando las condiciones para una expansión significativa de la robótica educativa en la región.

Bocconi et al. (2022) documentan que las escuelas que combinan hardware de bajo costo con diseño pedagógico de calidad producen resultados de aprendizaje comparables a los de instituciones con recursos tecnológicos mucho más costosos.

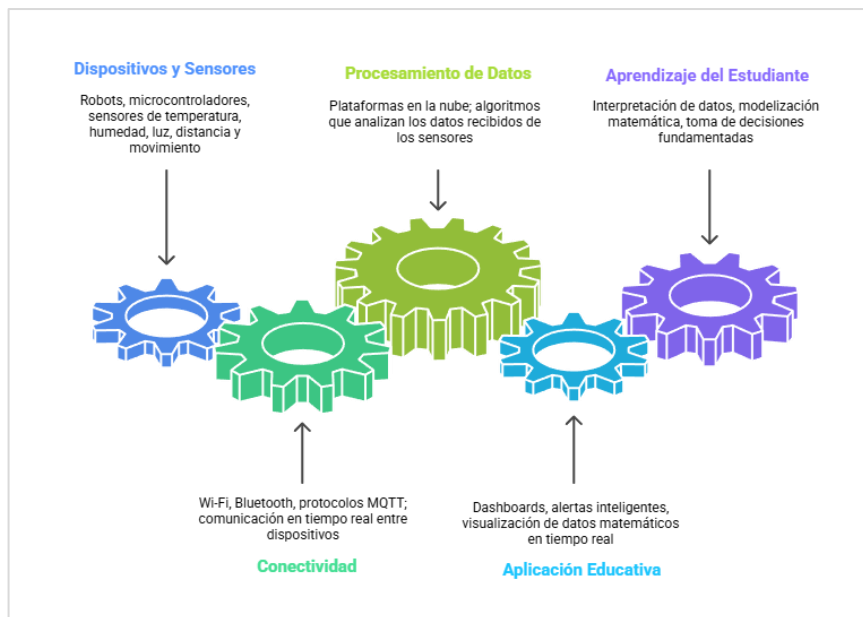
El desarrollo de competencias de mantenimiento y reparación del hardware robótico por parte de los propios estudiantes es una tendencia pedagógica emergente que merece atención. Cuando los estudiantes no solo usan el robot sino que comprenden cómo funciona, pueden diagnosticar fallas y realizar reparaciones básicas, el aprendizaje matemático y técnico que se produce tiene una profundidad adicional que la simple operación del dispositivo no genera. Esta dimensión de la robótica educativa conecta con el movimiento maker y con la cultura del diseño abierto, que proponen que comprender los artefactos que usamos es una forma de ciudadanía activa en la sociedad tecnológica.

### **5.1.3. Internet de las cosas (IoT) educativo**

El Internet de las Cosas educativo es la convergencia entre la conectividad digital y los objetos físicos del entorno escolar, creando sistemas donde sensores, actuadores y dispositivos intercambian datos en tiempo real para generar experiencias de aprendizaje que antes eran imposibles. En el contexto de las matemáticas, el IoT ofrece algo extraordinariamente valioso: datos reales, generados por fenómenos reales del entorno inmediato del estudiante, que pueden ser analizados con herramientas matemáticas concretas. La temperatura del aula, la intensidad de la luz exterior, la humedad del suelo de la huerta escolar o el nivel de ruido en el recreo son variables que los estudiantes pueden medir, registrar, analizar e interpretar usando conceptos de estadística, álgebra y modelización matemática. La Figura 5.1 describe la arquitectura del IoT educativo en contextos STEAM.

Figura 12

## Arquitectura del IoT educativo en entornos STEAM con robótica



*Nota.* Elaboración propia basada en Bocconi et al. (2022) y English (2023).

La figura no es simplemente una descripción técnica de cómo funciona el IoT: es un mapa del camino que recorre el aprendizaje matemático desde el fenómeno físico hasta la comprensión conceptual. Cada capa activa un tipo diferente de pensamiento matemático. La capa de dispositivos activa el pensamiento de medición y precisión. La capa de conectividad activa el pensamiento sobre representación y transmisión de datos. La capa de procesamiento activa el álgebra y la estadística. La capa de aplicación educativa activa la visualización y la interpretación. Y la capa de aprendizaje del estudiante activa la modelización y la toma de decisiones fundamentadas. Comprender el IoT como una arquitectura de aprendizaje matemático progresivo, y no solo como una infraestructura técnica, permite al docente diseñar experiencias que aprovechen plenamente su potencial pedagógico.

#### 5.1.4. Realidad aumentada y virtual

La realidad aumentada y la realidad virtual están comenzando a encontrar aplicaciones educativas genuinamente transformadoras en el campo de las matemáticas, especialmente en las dimensiones que implican pensamiento espacial, visualización geométrica y comprensión de fenómenos dinámicos. La realidad aumentada permite superponer representaciones matemáticas sobre el mundo físico: el estudiante puede ver la función que describe la trayectoria de un objeto en movimiento proyectada sobre la trayectoria real del objeto, o explorar la geometría de una figura tridimensional girándola y manipulándola en el espacio con sus propias manos. Esta capacidad de hacer visible lo que normalmente solo existe en la mente del matemático tiene un valor pedagógico extraordinario, especialmente para estudiantes cuyo pensamiento matemático es más concreto que abstracto.



La realidad virtual ofrece posibilidades adicionales al permitir al estudiante sumergirse en entornos matemáticos tridimensionales que serían imposibles de explorar de otra manera. Un estudiante que puede caminar dentro de un poliedro regular, explorar la geometría del espacio hiperbólico o navegar por un sistema de coordenadas tridimensional usando su propio cuerpo como referencia está desarrollando una intuición espacial que ninguna representación en el plano puede generar con la misma eficacia. Uttal et al. (2020) documentan que las habilidades espaciales son uno de los predictores más robustos del rendimiento en matemáticas y ciencias, lo que convierte a las tecnologías que las desarrollan en herramientas de alto valor pedagógico.

En el contexto de la robótica educativa, la realidad aumentada puede usarse para visualizar en tiempo real las variables matemáticas que gobiernan el movimiento del robot: la trayectoria prevista superpuesta sobre la trayectoria real, los vectores de velocidad y aceleración, la zona de detección de los sensores representada como una nube de puntos alrededor del robot. Esta visualización instantánea de las matemáticas del movimiento convierte al robot en un laboratorio matemático de extraordinaria riqueza, donde las abstracciones algebraicas y geométricas se convierten en objetos visibles y manipulables. English (2023) señala que esta capacidad de hacer tangibles las abstracciones matemáticas es la contribución más valiosa de las tecnologías de realidad mixta a la educación matemática.

Las limitaciones de estas tecnologías en el contexto educativo latinoamericano son reales y deben reconocerse sin eufemismos. Los dispositivos de realidad virtual de calidad son costosos, las aplicaciones educativas específicas para matemáticas con robótica son todavía escasas, y la curva de aprendizaje para docentes y estudiantes puede ser significativa. Sin embargo, la tendencia de abaratamiento sostenido de estas tecnologías y el crecimiento acelerado del ecosistema de aplicaciones educativas de acceso abierto sugieren que en un horizonte de cinco a diez años estarán disponibles para un número mucho mayor de instituciones educativas latinoamericanas que en la actualidad.

#### **5.1.5. Educación basada en datos**

La educación basada en datos es el enfoque que utiliza información sistemáticamente recopilada sobre el proceso de aprendizaje para tomar decisiones pedagógicas más precisas, personalizadas y efectivas. En el contexto STEAM con robótica, esta información proviene de fuentes muy diversas: los registros de actividad en las plataformas digitales, los resultados de las evaluaciones formativas, las observaciones del docente durante las sesiones de trabajo, los

datos producidos por los sensores del robot y las entradas del portafolio digital del estudiante. Analizar e interpretar esta diversidad de fuentes para construir una imagen coherente del aprendizaje de cada estudiante es una competencia pedagógica emergente que requiere tanto habilidades analíticas como sensibilidad educativa.

Uno de los usos más prometedores de la educación basada en datos es la detección temprana de estudiantes en riesgo de quedar excluidos del aprendizaje matemático. Los datos de actividad en las plataformas digitales pueden revelar patrones de comportamiento, como el abandono prematuro de las tareas de programación o la evitación sistemática de las partes matemáticas del proyecto, que son señales tempranas de dificultad o desenganche que el docente podría no detectar de manera visual en un aula de treinta estudiantes. Identificar estos patrones y actuar sobre ellos de manera oportuna puede marcar la diferencia entre una dificultad transitoria que se supera con apoyo y un fracaso que se consolida y se cronifica.

La dimensión más compleja de la educación basada en datos es la interpretación. Los datos nunca hablan por sí solos: siempre requieren ser interpretados por alguien que comprende el contexto educativo, las características del grupo, las condiciones del entorno y los objetivos del proceso formativo. Un estudiante que accede pocas veces a la plataforma puede estar desenganchado del aprendizaje, pero también puede carecer de acceso a internet en su hogar, o puede estar trabajando de manera intensiva en el proyecto robótico sin necesidad de acceder a los materiales digitales adicionales. Distinguir entre estas posibilidades requiere triangular los datos digitales con la observación directa y el diálogo con el estudiante, lo que recuerda que la educación basada en datos no reemplaza al docente reflexivo sino que lo enriquece con información adicional.

## 5.2. Innovación pedagógica en matemáticas

La innovación pedagógica en matemáticas no se produce cuando se cambia la herramienta tecnológica con que se enseña un concepto, sino cuando se transforma de manera fundamental la relación del estudiante con el conocimiento matemático. Desde esta perspectiva, las tendencias que se analizan en este apartado, el aprendizaje adaptativo, la personalización, el microaprendizaje, la educación híbrida y los ecosistemas digitales, son genuinamente innovadoras solo cuando cambian la experiencia de aprender matemáticas de manera que ningún enfoque anterior podía lograr.

El hilo conductor de estas innovaciones es la personalización: la capacidad de adaptar la experiencia de aprendizaje a las características, las necesidades y los ritmos de cada estudiante de manera que antes requería un tutor individual y que ahora puede realizarse, al menos parcialmente, mediante sistemas digitales. Esta personalización tiene el potencial de reducir de manera significativa las brechas de rendimiento matemático, porque permite que cada estudiante reciba el tipo de apoyo que necesita en el momento en que lo necesita, y no el mismo tratamiento uniforme que inevitablemente favorece a quienes ya llegan con ventaja.

Al mismo tiempo, la personalización digital tiene límites importantes que la pedagogía no puede ignorar. El aprendizaje matemático tiene dimensiones sociales y dialógicas, como la argumentación, la construcción colectiva de significados y el aprendizaje del error ajeno, que no pueden reducirse a una interacción individual con una pantalla. El diseño de ecosistemas de aprendizaje que combinen la personalización digital con la riqueza de la interacción humana es el desafío pedagógico central de la innovación educativa en matemáticas. Las tendencias que se describen a continuación apuntan en esa dirección, cada una desde un ángulo diferente.

La innovación en la enseñanza de las matemáticas no puede separarse de la innovación en la formación de los docentes que la implementan. Las mismas tendencias que transforman el aprendizaje de los estudiantes, la personalización, el aprendizaje adaptativo, los ecosistemas digitales, deben también transformar la manera en que los docentes se forman y se desarrollan profesionalmente. Un docente que aprendió matemáticas de manera completamente transmisiva difícilmente podrá diseñar experiencias genuinamente innovadoras sin haber vivido él mismo el tipo de aprendizaje activo, reflexivo y contextualizado que se propone a sus estudiantes. La coherencia entre la formación docente y la innovación pedagógica que se espera de esa formación es un requisito fundamental que los sistemas de formación docente de la región todavía no han alcanzado de manera satisfactoria.

### **5.2.1. Aprendizaje adaptativo**

El aprendizaje adaptativo es el enfoque que utiliza sistemas digitales para ajustar automáticamente la secuencia, el nivel de dificultad y el tipo de apoyo de las actividades de aprendizaje en función del desempeño demostrado por cada estudiante. En matemáticas, estos sistemas pueden detectar cuándo un estudiante está listo para avanzar al siguiente concepto, cuándo necesita más práctica en el mismo nivel, cuándo comete un tipo específico de error que requiere una explicación alternativa o cuándo muestra señales de desenganche que requieren una intervención de motivación. La promesa del aprendizaje adaptativo es que cada estudiante siempre trabaja en su zona de desarrollo próximo, ni demasiado fácil para aburrirse ni demasiado difícil para frustrarse.

En el contexto de la robótica educativa, el aprendizaje adaptativo puede manifestarse en sistemas que presentan retos de programación calibrados al nivel del estudiante, que ofrecen pistas matemáticas progresivas cuando el estudiante se bloquea y que proponen extensiones más complejas cuando el estudiante demuestra dominio

con facilidad. La integración de estos sistemas con las plataformas de robótica está todavía en sus primeras etapas, pero investigadores como Holmes et al. (2022) documentan experiencias piloto prometedoras donde el aprendizaje adaptativo de conceptos matemáticos en entornos de programación produjo mejoras significativas en el rendimiento y en la autoconfianza de los estudiantes.

La implementación eficaz del aprendizaje adaptativo requiere que el docente mantenga su rol como diseñador y supervisor del proceso, y no lo delegue completamente al sistema. Los algoritmos adaptativos son buenos optimizando dentro de un espacio de posibilidades predefinido, pero no pueden capturar la complejidad de las necesidades individuales de un estudiante real en su contexto específico. El docente que conoce a sus estudiantes, que comprende su historia de aprendizaje matemático y que puede interpretar sus comportamientos en el contexto de su vida escolar y familiar tiene una información que ningún algoritmo puede replicar, y esa información es necesaria para que la adaptación sea genuinamente personalizada y no simplemente automatizada.

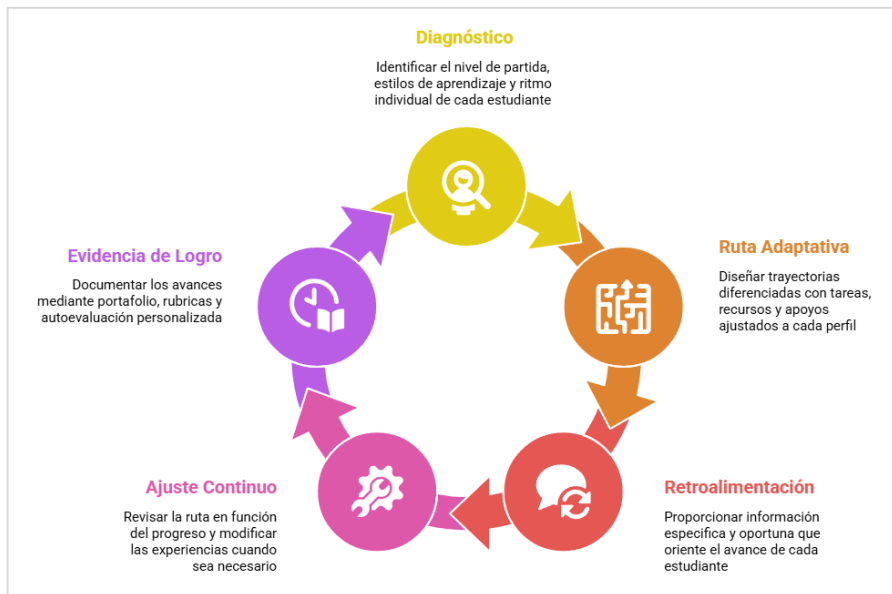
Tobón (2020) advierte que la personalización del aprendizaje mediante sistemas adaptativos corre el riesgo de fragmentar el conocimiento matemático en unidades tan pequeñas y aisladas que el estudiante pierde la visión de conjunto que da sentido a cada concepto. En matemáticas, los conceptos se organizan en estructuras de relaciones que son fundamentales para la comprensión: el álgebra no son ecuaciones aisladas sino un sistema de relaciones entre variables; la geometría no son figuras separadas sino un lenguaje para describir el espacio. Mantener esa visión sistémica mientras se personaliza la trayectoria de aprendizaje de cada estudiante es el desafío central del diseño de sistemas adaptativos de calidad para la educación matemática.

### 5.2.2. Personalización del aprendizaje

La personalización del aprendizaje va más allá del aprendizaje adaptativo automatizado: implica que el diseño de la experiencia educativa en su conjunto reconoce y responde a la singularidad de cada estudiante como aprendiz. Esto incluye no solo ajustar el nivel de dificultad, sino también ofrecer distintos caminos hacia el mismo objetivo de aprendizaje, permitir que el estudiante contribuya a definir sus propios proyectos de aprendizaje dentro del marco del currículo, y valorar las fortalezas y los intereses individuales como recursos pedagógicos en lugar de tratar la diversidad como un problema que gestionar. La Figura 5.2 representa el ciclo de personalización del aprendizaje en entornos STEAM con robótica.

**Figura 13**

*Ciclo de personalización del aprendizaje en entornos STEAM con robótica*



*Nota.* Elaboración propia basada en Tobón (2020) y Krajcik y Shin (2022).

El ciclo representado en la figura revela que la personalización del aprendizaje no es un estado que se alcanza de una vez, sino un proceso continuo de ajuste que requiere información actualizada sobre el progreso de cada estudiante. La etapa de diagnóstico no ocurre solo al inicio del proyecto: se repite de manera informal en cada sesión de trabajo, cada vez que el docente observa cómo un estudiante aborda un problema matemático o cómo un equipo estructura su algoritmo. Esta lectura continua del estado del aprendizaje es la que permite que los ajustes sean oportunos y precisos, y no tardíos e imprecisos. La personalización genuina no es un evento: es una actitud pedagógica que impregna cada momento del proceso formativo.

### **5.2.3. Microaprendizaje**

El microaprendizaje es la tendencia que organiza el contenido educativo en unidades breves, focalizadas y altamente específicas, diseñadas para ser consumidas en períodos cortos de tiempo y para abordar de manera precisa un único concepto o habilidad. En el contexto de la educación STEAM con robótica, el microaprendizaje puede adoptar la forma de un video de tres minutos que explica cómo conectar un sensor ultrasónico, de una guía de una página que describe cómo formular una expresión algebraica para calcular la velocidad del robot, o de una actividad de cinco minutos en una plataforma digital que permite practicar la identificación de patrones en una secuencia de datos. Estas micro lecciones no reemplazan las experiencias de aprendizaje prolongado y profundo que caracterizan a los proyectos STEAM: las preparan y las complementan.

El aula invertida es el modelo pedagógico que integra de manera más natural el microaprendizaje en el diseño de experiencias STEAM. Los videos y las guías breves que los estudiantes acceden en casa antes de la sesión presencial son, en esencia, micro unidades de aprendizaje que preparan la comprensión conceptual necesaria para abordar con éxito las tareas prácticas del proyecto robótico. Esta organización del

tiempo y el espacio de aprendizaje maximiza el uso del tiempo presencial para las actividades que requieren la presencia del docente y la interacción con los compañeros: el trabajo en equipo, la resolución de problemas complejos, la retroalimentación individualizada y la discusión argumentada.

La producción de micro contenidos matemáticos de calidad es una competencia docente emergente que está ganando valor rápidamente. Un docente que puede producir explicaciones breves, claras y específicas de los conceptos matemáticos que sus estudiantes necesitan para avanzar en sus proyectos robóticos tiene a su disposición una herramienta de personalización de alta potencia: puede crear micro unidades específicas para los errores recurrentes de su grupo, para los conceptos previos que detecta como ausentes o para las extensiones que desafíen a los estudiantes más avanzados. Esta producción no requiere equipos de producción sofisticados: un teléfono inteligente, un pizarrón y una explicación matemática clara son suficientes para crear un micro contenido pedagógicamente valioso.

#### **5.2.4. Educación híbrida**

La educación híbrida combina de manera planificada y coherente experiencias de aprendizaje presencial y virtual, de modo que cada modalidad aporta lo que mejor puede ofrecer y las dos juntas producen un aprendizaje más completo que cualquiera de las dos de manera independiente. La pandemia aceleró la adopción de esta modalidad en sistemas educativos de todo el mundo, pero la experiencia también reveló sus limitaciones cuando la hibridación es el resultado de la emergencia y no de un diseño pedagógico deliberado. Una educación híbrida genuinamente efectiva requiere diseñar con intención qué ocurre en cada espacio, por qué ocurre allí y cómo los dos espacios se articulan de manera que el aprendizaje fluya coherentemente entre ellos.

En entornos STEAM con robótica, la educación híbrida tiene una lógica especialmente natural. El trabajo con el hardware físico del robot, la construcción, la depuración del código y la experimentación, requiere la presencia física y el trabajo en equipo que solo el espacio presencial puede proporcionar. El aprendizaje de los conceptos matemáticos preliminares, la exploración en simuladores, la documentación del portafolio, la comunicación entre equipos y la consulta de recursos de apoyo, pueden realizarse de manera efectiva en el espacio virtual. Diseñar proyectos STEAM que distribuyan estas tareas entre los dos espacios de manera coherente y complementaria es una forma de educación híbrida que maximiza el valor de cada modalidad.

La equidad en la educación híbrida es una preocupación que no puede ignorarse. Los estudiantes que tienen acceso a dispositivos personales, conectividad estable y un espacio tranquilo en casa para trabajar tienen una ventaja significativa en los modelos híbridos sobre aquellos que carecen de estas condiciones. Diseñar educación híbrida sin considerar estas diferencias es reproducir y ampliar las desigualdades existentes mediante un mecanismo que se presenta bajo el discurso de la innovación y la modernización. La OCDE (2022) documenta que los modelos híbridos han aumentado las brechas de aprendizaje en los sistemas educativos donde se implementaron sin políticas activas de compensación de las desigualdades de acceso.

### **5.2.5. Ecosistemas digitales de aprendizaje**

Un ecosistema digital de aprendizaje es un conjunto integrado de herramientas, plataformas, recursos y comunidades digitales que trabajan de manera articulada para apoyar el proceso educativo de manera coherente y sostenida. La metáfora del ecosistema es apropiada porque sugiere interdependencia, diversidad y equilibrio: las distintas herramientas del ecosistema se relacionan entre sí de maneras que generan un valor conjunto mayor que la suma de sus partes individuales. En el contexto STEAM con robótica, un ecosistema

digital bien diseñado podría integrar una plataforma LMS para la gestión del proyecto, un entorno de programación para el desarrollo del código, un simulador para las pruebas virtuales, una herramienta de portafolio para la documentación del proceso y una plataforma de comunicación para el trabajo colaborativo.

**Tabla 20**

*Ecosistemas digitales de aprendizaje para entornos STEAM con robótica*

<b>Ecosistema digital</b>	<b>Componentes principales</b>	<b>Función en STEAM</b>	<b>Nivel educativo</b>	<b>Ejemplo de uso en robótica</b>
Google Workspace for Education	Classroom, Drive, Meet, Jamboard, Forms	Gestión integral de proyectos y colaboración	Todos los niveles	Portafolio colaborativo del proyecto robótico
Microsoft Education	Teams, OneNote, Forms, Minecraft EDU	Comunicación, creación y evaluación integrada	Básica y bachillerato	Documentación del proceso de programación
Apple Education	Swift Playgrounds, Schoolwork, iCloud	Programación móvil y gestión de tareas	Básica Superior y bachillerato	Programación de micro:bit y apps educativas
Raspberry Pi Foundation	Raspberry Pi, Thonny, Scratch, recursos abiertos	Computación física con hardware económico	Bachillerato	Control de sensores y automatización básica
Arduino Ecosystem	IDE Arduino, Tinkercad, comunidad open source	Prototipado electrónico y pensamiento computacional	Bachillerato y superior	Diseño de sistemas robóticos personalizados
AWS Educate / Azure for Students	Computo en la nube, IA, análisis de datos	Proyectos de datos, IA y robótica avanzada	Bachillerato superior	Análisis de datos de sensores con machine learning

*Nota.* Elaboración propia basada en Bocconi et al. (2022), English (2023).

El análisis comparativo de estos ecosistemas revela que la elección no puede basarse únicamente en criterios técnicos de funcionalidad, sino que debe contemplar factores como la soberanía sobre los datos del aprendizaje, el costo a largo plazo, la accesibilidad sin conectividad permanente y la curva de aprendizaje para docentes y estudiantes. Un ecosistema digital puede ser tecnológicamente superior pero pedagógicamente inadecuado si su complejidad consume más tiempo del que ahorra o si genera dependencia de proveedores privados que pueden cambiar sus condiciones de uso en cualquier momento. La construcción de un ecosistema digital institucional requiere una reflexión estratégica que involucra a los docentes, los directivos, las familias y, en la medida de lo posible, a los propios estudiantes como actores informados de las decisiones que los afectan.

### 5.3. Impacto de la robótica en el desarrollo de competencias



El impacto de la robótica educativa en el desarrollo de competencias va mucho más allá de la adquisición de habilidades técnicas de programación y construcción. Cuando la robótica se integra de manera deliberada y bien diseñada en el currículo matemático y STEAM, produce transformaciones en la manera en que los estudiantes piensan, colaboran, resuelven problemas y se perciben a sí mismos como aprendices. Estos efectos, documentados de manera creciente en la investigación educativa internacional, incluyen el desarrollo del pensamiento crítico, la creatividad, el trabajo colaborativo y un conjunto de competencias que se han agrupado bajo la denominación de habilidades del siglo XXI.

La investigación longitudinal sobre el impacto de la robótica educativa muestra que los efectos más significativos no se producen en los primeros proyectos, sino a lo largo de una trayectoria sostenida de experiencias que van aumentando en complejidad y autonomía. Un único proyecto robótico puede generar motivación y entusiasmo, pero los cambios profundos en las competencias matemáticas, en la autoconfianza como aprendiz y en las disposiciones hacia la resolución de problemas requieren tiempo, repetición en contextos variados y reflexión sistemática. Esto subraya la importancia de diseñar programas de robótica educativa que se extiendan a lo largo de años escolares, con una progresión curricular coherente, y no de implementarla como experiencias puntuales desconectadas entre sí.

El impacto de la robótica educativa no se distribuye de manera uniforme entre todos los estudiantes. Thibaut et al. (2021) documentan que los estudiantes que más se benefician de las experiencias robóticas bien diseñadas son frecuentemente aquellos que han tenido menor éxito en los formatos tradicionales de enseñanza matemática: estudiantes que aprenden mejor haciendo que escuchando, estudiantes con mayor fortaleza espacial que verbal, estudiantes cuya motivación aumenta cuando el aprendizaje tiene un propósito concreto y visible. Esta característica de la robótica educativa como generadora de oportunidades de éxito para estudiantes habitualmente invisibles o marginalizados en el aula de matemáticas es uno de sus valores pedagógicos más significativos desde el punto de vista de la equidad educativa.

Los siguientes subapartados analizan de manera específica el impacto de la robótica en las competencias que la investigación ha identificado como más relevantes para el desarrollo matemático y para la participación plena en la sociedad del conocimiento: el pensamiento crítico, la creatividad, el trabajo colaborativo, la resolución de problemas complejos y las competencias del siglo XXI en su conjunto.

### 5.3.1. Desarrollo del pensamiento crítico

El pensamiento crítico es la capacidad de analizar información de manera rigurosa, evaluar la validez de los argumentos y tomar decisiones fundamentadas en evidencia. En el contexto de la robótica educativa, esta capacidad se desarrolla de manera especialmente potente porque el robot proporciona retroalimentación inmediata, objetiva e irrefutable: el robot hace lo que el código le dice que haga, y si el resultado no es el esperado, la causa está en el código, en el modelo matemático o en la comprensión del problema, no en la interpretación subjetiva del docente. Esta objetividad del robot como retroalimentador convierte cada prueba en una oportunidad de pensamiento crítico: el estudiante debe diagnosticar qué falló, por qué falló y qué debe cambiar.

La evaluación crítica de los propios modelos matemáticos es otra dimensión del pensamiento crítico que la robótica desarrolla de manera particular. Cuando el modelo algebraico que el estudiante formuló para describir el movimiento del robot no produce el comportamiento esperado, debe plantearse preguntas críticas sobre su propio trabajo: ¿el modelo es matemáticamente correcto?, ¿captura correctamente la situación física que pretendía describir?, ¿hay variables que no contemplé?, ¿las simplificaciones que realicé son aceptables para el nivel de precisión que necesito? Este proceso de cuestionamiento del propio razonamiento es precisamente la forma más sofisticada de pensamiento crítico matemático, y la robótica lo activa de manera auténtica porque las consecuencias del error son visibles y concretas.

Schoenfeld (2022) señala que el pensamiento crítico en matemáticas se desarrolla fundamentalmente a través de la experiencia de resolver problemas genuinamente abiertos, donde no existe un procedimiento predefinido y donde el estudiante debe navegar la incertidumbre con los recursos disponibles. Los proyectos robóticos bien diseñados son

precisamente este tipo de problemas abiertos: no existe una única manera correcta de programar un robot para que navegue un laberinto, ni un único modelo algebraico para describir la relación entre la velocidad del motor y la distancia recorrida. La pluralidad de soluciones posibles es lo que genera el espacio para el pensamiento crítico, porque obliga al estudiante a evaluar y comparar alternativas en lugar de simplemente aplicar un procedimiento memorizado.

### **5.3.2. Creatividad e innovación**

La creatividad en matemáticas es a menudo malentendida como algo que solo pertenece al genio matemático y no al estudiante ordinario. La robótica educativa ayuda a demoler este mito al crear contextos donde la creatividad matemática se activa de manera natural: el diseño del robot, la estructura del algoritmo, la elección del modelo matemático, la forma de presentar los resultados, son todas decisiones que admiten soluciones originales y que valoran la creatividad como un recurso genuinamente útil. Un equipo que descubre una manera ingeniosamente simple de resolver un problema de navegación que otros equipos abordaron con algoritmos complejos está demostrando creatividad matemática en su sentido más auténtico.

English (2023) documenta que la creatividad en entornos STEAM con robótica se activa de manera especialmente consistente cuando los problemas son lo suficientemente abiertos como para admitir múltiples soluciones, cuando el proceso de diseño incluye fases explícitas de generación y evaluación de ideas, y cuando el ambiente del aula valora la exploración y el riesgo cognitivo por encima de la respuesta correcta inmediata. Estas condiciones son perfectamente compatibles con el rigor matemático: de hecho, la creatividad sin rigor produce soluciones que no funcionan, mientras que el rigor sin creatividad produce soluciones que funcionan pero que no sorprenden ni mejoran lo existente. La combinación de ambas es lo que define la innovación genuina.

La innovación en robótica educativa no se limita a la dimensión técnica del proyecto: también puede manifestarse en la identificación de problemas nuevos que el robot podría resolver, en la propuesta de formas originales de comunicar los resultados del proyecto o en la creación de nuevos modelos matemáticos para describir fenómenos que hasta entonces no habían sido modelados en el aula. Estas formas de innovación tienen un valor pedagógico particular porque muestran al estudiante que las matemáticas son un campo vivo y abierto, capaz de crecer con nuevas preguntas y nuevas respuestas, y no un sistema cerrado de verdades establecidas que solo hay que memorizar.

### **5.3.3. Trabajo colaborativo**

El trabajo colaborativo en proyectos STEAM con robótica es simultáneamente una metodología y un objeto de aprendizaje. Como metodología, organiza el proceso de trabajo de manera que los estudiantes construyen el conocimiento en interacción con sus compañeros. Como objeto de aprendizaje, desarrolla competencias de comunicación, coordinación, negociación y construcción colectiva de significados que son fundamentales tanto para el trabajo académico como para la vida profesional y ciudadana. Torres Santomé (2020) señala que el trabajo colaborativo genuino se distingue de la simple división del trabajo en que implica interdependencia positiva: cada miembro del equipo necesita la contribución de los demás para que el proyecto funcione, y su contribución individual solo tiene sentido dentro del conjunto.

En matemáticas, el trabajo colaborativo genera formas de aprendizaje que son imposibles en el trabajo individual. La discusión de estrategias de resolución permite que los estudiantes confronten sus razonamientos, identifiquen errores en el pensamiento ajeno y propio, y construyan argumentos más sólidos que los que cualquiera de ellos habría producido de manera independiente. La diversidad de perspectivas matemáticas dentro de un equipo, lejos de ser un

obstáculo, es un recurso: el estudiante con mayor fortaleza algebraica ve el problema de una manera distinta al que tiene mayor fortaleza espacial, y su complementariedad enriquece la solución final. Esta diversidad productiva es uno de los argumentos más sólidos en favor del aprendizaje colaborativo en matemáticas.

La gestión del trabajo colaborativo en proyectos robóticos requiere del docente una intervención deliberada para garantizar que la colaboración sea genuina y equitativa. Sin estructuras de apoyo explícitas, los proyectos colaborativos tienden a reproducir las jerarquías existentes en el aula: los estudiantes con mayor confianza matemática asumen las tareas de mayor complejidad intelectual, mientras que los más inseguros se limitan a tareas mecánicas o periféricas. Diseñar roles rotativos, establecer normas de participación que garanticen la voz de todos los miembros y utilizar estrategias de evaluación que valoren la contribución individual dentro del trabajo colectivo son medidas necesarias para que la colaboración produzca los beneficios de aprendizaje que promete.

#### **5.3.4. Resolución de problemas complejos**

La resolución de problemas complejos es la competencia que más consistentemente aparece en los estudios sobre el impacto de la robótica educativa en el aprendizaje matemático. La complejidad de los problemas robóticos, que combina dimensiones técnicas, matemáticas, lógicas y sociales en una misma situación, crea condiciones de aprendizaje que el trabajo con problemas matemáticos convencionales raramente puede igualar. Cuando un equipo debe diseñar un robot que navegue de manera autónoma en un entorno desconocido, está enfrentando un problema genuinamente complejo que no tiene una solución única ni un procedimiento predefinido, y cuya resolución requiere la integración creativa de múltiples tipos de conocimiento.

La investigación de Krajcik y Shin (2022) sobre proyectos STEAM con robótica documenta que los estudiantes que participan de manera regular en este tipo de experiencias desarrollan un repertorio de estrategias generales de resolución de problemas que trascienden el dominio matemático: descomposición, búsqueda de casos análogos, prueba sistemática de alternativas, verificación empírica de las soluciones y ajuste iterativo del diseño. Estas estrategias, que Polya denominó heurísticas, son transferibles a problemas de cualquier tipo y dominio, lo que convierte a la robótica educativa en una formación no solo en matemáticas sino en una forma de pensar que tiene valor universal.

Un aspecto que la investigación ha comenzado a explorar es el efecto de la robótica educativa sobre la tolerancia a la frustración ante problemas difíciles. Muchos estudiantes, especialmente aquellos con historia de fracaso en matemáticas, abandonan prematuramente ante el primer obstáculo. El ambiente de los proyectos robóticos, donde el error es visible, concreto y reparable, y donde la persistencia es recompensada con el robot que finalmente funciona, parece desarrollar una disposición más robusta ante la dificultad. Este efecto motivacional y afectivo sobre la relación del estudiante con los problemas complejos es, en muchos casos, el cambio más significativo y más duradero que produce una experiencia de robótica educativa bien diseñada.

### **5.3.5. Competencias del siglo XXI**

Las competencias del siglo XXI, tal como las definen organizaciones como la Partnership for 21st Century Learning y la OCDE (2022), incluyen el pensamiento crítico, la comunicación, la colaboración y la creatividad, el llamado marco de las 4C, junto con competencias digitales, de ciudadanía global y de aprendizaje autónomo. La robótica educativa STEAM es uno de los pocos contextos curriculares que puede activar de manera integrada todas estas competencias en una sola

experiencia de aprendizaje: un proyecto robótico bien diseñado exige pensar críticamente sobre el problema, comunicar el razonamiento matemático con precisión, colaborar en equipo para construir una solución y ser creativo en el diseño del sistema y del algoritmo.

La competencia digital, entendida no solo como habilidad técnica sino como capacidad de usar las herramientas digitales de manera crítica, responsable y creativa, es desarrollada de manera especialmente profunda cuando el estudiante no solo usa la tecnología sino que la programa y la diseña.

Hay una diferencia cognitiva y formativa enorme entre un estudiante que usa una aplicación de robot y uno que crea esa aplicación: el primero es consumidor de tecnología, el segundo es productor. Esta transición de consumidor a productor, que la robótica educativa facilita de manera única, es la forma más poderosa de desarrollo de la competencia digital.

La competencia de aprendizaje autónomo, que incluye la capacidad de identificar lo que se necesita aprender, de buscar y evaluar recursos para aprenderlo y de monitorear el propio proceso de aprendizaje, se desarrolla en proyectos robóticos precisamente porque los estudiantes inevitablemente encuentran dificultades que el docente no puede resolver por ellos: un sensor que no funciona como se esperaba, un concepto matemático que no aparece en el libro de texto, una técnica de programación que requiere investigación adicional. La necesidad de buscar, evaluar y aplicar conocimiento nuevo de manera autónoma, impuesta por la naturaleza del proyecto, es una de las experiencias formativas más valiosas que la robótica educativa puede proporcionar.

#### 5.4. Desafíos en la implementación STEAM

La implementación de la educación STEAM con robótica en los sistemas educativos latinoamericanos enfrenta obstáculos reales que no pueden minimizarse con optimismo retórico. La brecha digital, la insuficiencia de la formación docente, las limitaciones de infraestructura, la resistencia institucional al cambio y la dificultad de sostener proyectos innovadores más allá de los entusiasmos iniciales son desafíos que requieren análisis honesto y respuestas estructuradas, no soluciones rápidas ni parches temporales. Reconocer estos desafíos con claridad es el primer paso para abordarlos de manera efectiva.



Al mismo tiempo, es importante no caer en el determinismo pesimista que concluye que la educación STEAM con robótica es imposible en contextos de pobreza o de limitaciones institucionales. La investigación en América Latina documenta experiencias exitosas en contextos muy adversos, donde docentes creativos y comprometidos han logrado resultados extraordinarios con recursos mínimos. Estas experiencias demuestran que el obstáculo principal no es la tecnología

sino la pedagogía: un docente que comprende profundamente los principios del aprendizaje STEAM puede implementarlos con los recursos disponibles, adaptando el diseño a las condiciones reales sin sacrificar la esencia formativa de la propuesta.

Los desafíos que se analizan en este apartado no son exclusivos de América Latina: afectan en distintos grados a todos los sistemas educativos del mundo que intentan incorporar la robótica y la educación STEAM en sus currículos. La diferencia está en la magnitud de los obstáculos y en los recursos disponibles para abordarlos. En este sentido, las soluciones desarrolladas en contextos de escasez, como las estrategias de uso de hardware de bajo costo, los modelos de formación docente entre pares o las adaptaciones curriculares para entornos rurales, tienen un valor que trasciende el contexto latinoamericano y que puede aportar perspectivas valiosas al debate global sobre la implementación equitativa de la educación STEAM.

La identificación precisa de los desafíos es también una contribución a la investigación educativa. Muchas propuestas de innovación pedagógica fracasan no por deficiencias en el diseño sino por un análisis insuficiente de las condiciones de implementación. Diseñar propuestas STEAM que contemplen desde el inicio las limitaciones del contexto, que incluyan estrategias específicas para abordar los obstáculos previsibles y que se apoyen en evidencia sobre lo que ha funcionado en contextos similares, es la diferencia entre la innovación que se sostiene y la que se abandona después del primer obstáculo.

#### **5.4.1. Brecha digital**

La brecha digital es uno de los obstáculos más significativos para la democratización de la educación STEAM con robótica en América Latina. No se trata simplemente de la ausencia de dispositivos o de conectividad, aunque estas carencias son reales y graves: la brecha digital tiene múltiples dimensiones que se superponen y se refuerzan

mutuamente, creando barreras de acceso que no pueden superarse con la simple dotación de tecnología. La Figura 5.3 representa las cinco dimensiones de la brecha digital que afectan la implementación de la educación STEAM con robótica.

### Figura 14

#### *Dimensiones de la brecha digital en educación STEAM con robótica*



*Nota.* Elaboración propia basada en la OCDE (2022).

La figura evidencia que la brecha digital no es un problema tecnológico sino un problema social que se manifiesta en el ámbito tecnológico. Las cinco dimensiones representadas, acceso, uso, habilidades, contenidos y motivación, están interrelacionadas de maneras que hacen que intervenciones parciales sean insuficientes. Dotar de dispositivos sin garantizar conectividad resuelve el problema de acceso pero no el de uso. Proporcionar conectividad sin desarrollar habilidades digitales produce usuarios que navegan sin propósito educativo. Desarrollar habilidades sin generar contenidos culturalmente pertinentes en el idioma del estudiante limita el aprovechamiento de esas habilidades. Y ninguna de las dimensiones anteriores tiene impacto real si el estudiante no tiene motivación para usar la tecnología con fines de aprendizaje. Una política efectiva de reducción de la brecha digital debe actuar simultáneamente en todas estas dimensiones.

#### **5.4.2. Formación docente insuficiente**

La brecha de formación docente en educación STEAM y robótica es, según la mayor parte de los investigadores del campo, el obstáculo más crítico para la implementación de calidad de estas propuestas educativas. No se trata solo de que muchos docentes no saben programar un robot o usar una plataforma de simulación, aunque eso es cierto y relevante. El problema más profundo es que muchos docentes no han tenido la experiencia de aprender cómo se aprende en un proyecto STEAM: de manera activa, exploratoria, colaborativa, con tolerancia a la incertidumbre y con disposición a revisar las propias ideas cuando la evidencia lo exige. Un docente que no ha vivido este tipo de aprendizaje difícilmente puede diseñarlo para sus estudiantes.

La formación docente para la educación STEAM con robótica debe ser, ella misma, un aprendizaje STEAM. Los programas de formación que consisten en conferencias magistrales sobre robótica, seguidas de demostraciones tecnológicas y finalizadas con un examen de

contenidos, están reproduciendo exactamente el modelo de enseñanza que se pretende transformar. En cambio, los programas que organizan a los docentes en proyectos colaborativos de diseño y construcción de experiencias STEAM, que los invitan a experimentar el ciclo de diseño, prueba, reflexión desde el rol de estudiante antes de adoptarlo desde el rol de docente, y que incluyen acompañamiento en la implementación y reflexión sobre la práctica, producen transformaciones más profundas y más duraderas.

La formación entre pares, articulada alrededor de comunidades de práctica docente, es una de las modalidades más efectivas y más accesibles en contextos con recursos limitados. Un docente que ha implementado un proyecto STEAM con robótica exitoso puede acompañar a sus colegas que están comenzando con una eficacia que difícilmente puede igualar un formador externo que no conoce las condiciones específicas del contexto escolar. Las redes de docentes STEAM que están creciendo en Ecuador y en otros países latinoamericanos son un activo pedagógico de enorme valor que los sistemas educativos deberían reconocer, apoyar y sistematizar como parte de su política de formación docente continua.

La OCDE (2022) documenta que los sistemas educativos con mejores resultados en educación STEAM son aquellos donde la formación docente es un proceso continuo, integrado en la práctica profesional cotidiana y respaldado por culturas institucionales que valoran la reflexión, la colaboración y la innovación pedagógica. Construir esas culturas en las instituciones educativas ecuatorianas requiere no solo programas de formación docente de calidad, sino también cambios en las condiciones de trabajo que permitan a los docentes dedicar tiempo a la reflexión y al desarrollo profesional sin que ello entre en conflicto con las demandas administrativas y curriculares cotidianas.

### 5.4.3. Limitaciones de infraestructura

Las limitaciones de infraestructura son un obstáculo real y cotidiano para la implementación de la educación STEAM con robótica en muchas instituciones educativas latinoamericanas. Estas limitaciones van desde la falta de conectividad hasta la ausencia de espacios físicos adecuados, pasando por la carencia de hardware robótico y la obsolescencia de los dispositivos disponibles. Cada una de estas carencias tiene un impacto específico sobre el tipo de experiencias STEAM que es posible diseñar e implementar, y todas ellas requieren estrategias de mitigación específicas que permitan avanzar en la implementación sin esperar a que las condiciones ideales se alcancen.

**Tabla 21**

*Limitaciones de infraestructura en la implementación STEAM con robótica y estrategias de mitigación*

Limitación	Manifestación en el aula	Impacto en la educación STEAM	Estrategia de mitigación
Falta de conectividad a internet	Actividades en línea no pueden realizarse; simuladores en la nube son inaccesibles	Restringe el uso de plataformas LMS y herramientas de programación web	Usar software offline: Scratch Desktop, Arduino IDE, Tinkercad descargable
Ausencia de kits robóticos	Los estudiantes no pueden construir ni programar sistemas físicos	El aprendizaje práctico queda limitado a teoría o simulación	Usar micro:bit, Arduino o materiales de bajo costo; robótica con cartón y sensores básicos
Dispositivos insuficientes o desactualizados	Un dispositivo para varios estudiantes; software nuevo no corre correctamente	Reduce el tiempo de práctica individual y la autonomía del estudiante	Trabajo por rotación planificada; uso de plataformas livianas y compatibles
Espacios físicos no adaptados	Mesas fijas, falta de espacio para construir y probar robots en movimiento	Limita las actividades prácticas y el trabajo colaborativo dinámico	Reorganizar el aula con mobiliario móvil; usar el patio o espacios exteriores

Falta de laboratorios o talleres STEAM	No existe un espacio dedicado con materiales y herramientas disponibles	El docente debe preparar y guardar materiales en cada sesión, perdiendo tiempo	Gestionar un carrito de materiales móvil; crear un rincón STEAM en el aula regular
Ausencia de soporte técnico	Fallas en dispositivos o software sin posibilidad de reparación oportuna	El tiempo de clase se pierde en problemas técnicos no resueltos	Capacitar a estudiantes como técnicos de apoyo; tener planes alternativos analógicos

*Nota.* Elaboración propia basada en Bocconi et al. (2022), OCDE (2022).

El valor pedagógico de esta tabla trasciende su utilidad práctica como catálogo de soluciones. Lo que revela su análisis es que la mayor parte de las limitaciones de infraestructura tienen estrategias de mitigación viables que no requieren inversiones masivas ni la espera de condiciones ideales. Esta perspectiva es pedagógicamente liberadora: el docente STEAM no está condenado a la inacción mientras espera que su institución llegue a las condiciones ideales. Puede comenzar hoy, con lo que tiene, diseñando experiencias que sean auténticamente STEAM aunque no utilicen la tecnología más sofisticada. La creatividad pedagógica ante la escasez de recursos no es una resignación ante la precariedad: es una demostración de que la calidad del aprendizaje depende fundamentalmente de la calidad del diseño didáctico, y no de la cantidad o la sofisticación de los recursos disponibles.

#### 5.4.4. Resistencia al cambio

La resistencia al cambio es un fenómeno humano y organizacional comprensible que no debe ser ignorado ni despreciado en el análisis de los obstáculos para la implementación STEAM. Los docentes que resisten la adopción de metodologías activas o de tecnologías educativas no lo hacen por ignorancia o por mala voluntad: frecuentemente lo hacen porque tienen experiencia acumulada de reformas educativas que llegaron con grandes promesas y se implementaron de manera deficiente, dejando a los docentes con

mayor carga de trabajo sin mejoras observables en el aprendizaje. Esta experiencia acumulada de decepciones produce una actitud cautelosa ante cada nueva ola de innovación que, aunque frustrante para los reformadores entusiastas, es perfectamente racional desde la perspectiva del docente que la vivió.

La resistencia institucional, por su parte, puede provenir de múltiples fuentes: directivos que perciben el cambio como una amenaza a la estabilidad organizacional, evaluaciones estandarizadas que no contemplan las competencias que la educación STEAM desarrolla y que por tanto desincentivan su implementación, o culturas escolares donde la innovación individual es percibida con desconfianza por el colectivo docente. Abordar esta resistencia institucional requiere estrategias que van más allá de la convicción individual: requiere crear condiciones sistémicas que hagan posible y valorada la innovación, incluyendo espacios de experimentación protegidos, reconocimiento institucional de las prácticas innovadoras y alineación entre las expectativas de evaluación y los objetivos de la educación STEAM.

La investigación en gestión del cambio educativo (Torres Santomé, 2020) señala que las innovaciones pedagógicas con mayor probabilidad de ser adoptadas y sostenidas son aquellas que se desarrollan de manera colaborativa entre los propios docentes, que responden a problemas que los docentes perciben como reales y urgentes, y que producen resultados observables en el aprendizaje de los estudiantes en un plazo razonablemente corto. Estas condiciones orientan la estrategia de implementación: comenzar con grupos pequeños de docentes voluntarios, documentar y compartir los resultados de manera honesta e incluir tanto los éxitos como los desafíos, y construir progresivamente la confianza institucional mediante evidencia acumulada de impacto positivo.

### 5.4.5. Sostenibilidad de proyectos STEAM

La sostenibilidad de los proyectos STEAM con robótica es uno de los desafíos más complejos y menos discutidos en la literatura sobre innovación educativa. Es relativamente fácil implementar un proyecto robótico exitoso durante un trimestre con el entusiasmo de la novedad, el apoyo de un donante externo y la energía de un pequeño grupo de docentes comprometidos. Lo verdaderamente difícil es garantizar que ese proyecto siga funcionando tres años después, cuando el entusiasmo inicial se ha normalizado, el donante externo ha retirado su apoyo y los docentes fundadores se han trasladado a otros establecimientos. La sostenibilidad requiere que la innovación deje de depender de personas específicas o de financiamientos externos y se incorpore a la cultura institucional de manera orgánica y autosostenida.



Los factores que determinan la sostenibilidad de los proyectos STEAM con robótica pueden organizarse en tres dimensiones. La sostenibilidad institucional requiere que el proyecto esté integrado en

el currículo formal de la institución, respaldado por políticas institucionales explícitas y gestionado por equipos docentes que no dependan de una sola persona. La sostenibilidad financiera requiere que el proyecto pueda operar con el presupuesto regular de la institución, sin depender de financiamientos externos discontinuos, lo que implica seleccionar desde el inicio recursos de bajo costo y alta durabilidad. La sostenibilidad pedagógica requiere que el proyecto sea lo suficientemente flexible para adaptarse a los cambios del contexto institucional y curricular sin perder su esencia formativa.

Laboy-Rush (2021) documenta que los proyectos STEAM con robótica que han logrado mayor sostenibilidad en contextos latinoamericanos comparten varias características: están integrados en el currículo formal y no son actividades extracurriculares opcionales, cuentan con el apoyo explícito del equipo directivo, tienen un grupo de al menos tres docentes comprometidos que distribuyen la responsabilidad de su implementación, y han desarrollado una comunidad de familias y estudiantes que valoran el proyecto y lo defienden cuando su continuidad está amenazada. Esta última característica, la construcción de una comunidad de apoyo que trasciende al equipo docente, es quizás el factor de sostenibilidad más subestimado y más decisivo.

### **5.5. Proyección futura de la educación matemática con robótica**

Proyectar el futuro de la educación matemática con robótica es un ejercicio que combina la lectura de las tendencias actuales con la prospectiva educativa informada por evidencia, sin pretender la certeza que ninguna predicción puede tener en un campo que evoluciona con la velocidad que caracteriza a la tecnología educativa. Lo que sí puede decirse con confianza es que las matemáticas seguirán siendo fundamentales para comprender y actuar en el mundo, que la tecnología seguirá transformando los contextos en que ese conocimiento se construye y se usa, y que la calidad de la formación

docente seguirá siendo el factor más decisivo para determinar si esas transformaciones producen mayor equidad o mayor inequidad en las oportunidades de aprendizaje.

El futuro que se dibuja en las investigaciones más recientes no es un mundo donde los robots y la inteligencia artificial reemplacen a los docentes, sino uno donde la tecnología libera a los docentes de las tareas más rutinarias y mecánicas para que puedan dedicar más tiempo y energía a las dimensiones del proceso educativo que son genuinamente humanas e irremplazables: el diálogo matemático profundo, el acompañamiento afectivo del aprendizaje, el diseño de experiencias formativas situadas y el juicio pedagógico informado por el conocimiento del estudiante como persona singular.

La proyección futura de la educación matemática con robótica en el contexto latinoamericano tiene que contemplar de manera honesta la diversidad de condiciones en que esa educación ocurre. No existe un futuro único para la educación STEAM en la región: existe una multiplicidad de futuros posibles que dependerán de las decisiones de política educativa, de inversión tecnológica, de formación docente y de desarrollo curricular que se tomen en los próximos años. Orientar esas decisiones hacia la equidad, la calidad y la pertinencia cultural es la responsabilidad colectiva de investigadores, diseñadores de políticas, formadores de docentes y docentes mismos.

Los siguientes subapartados describen los ejes de esta proyección futura: los nuevos modelos educativos que están emergiendo, la integración global del STEAM como paradigma educativo, la investigación emergente que está informando el campo, las políticas educativas innovadoras que se están desarrollando en la región y la transformación del rol del estudiante que todo ello implica.

### 5.5.1. Nuevos modelos educativos

Los modelos educativos que se están consolidando en los sistemas de mayor rendimiento del mundo comparten una característica fundamental: organizan el aprendizaje alrededor de la acción y el problema, y no alrededor de la transmisión y la evaluación de contenidos. Este desplazamiento del eje organizador del currículo, que parece simple en su formulación pero es profundamente complejo en su implementación, es la transformación más importante que está experimentando la educación formal en la actualidad. La robótica educativa STEAM es una de las manifestaciones más claras y más documentadas de este modelo emergente.

**Figura 15**

*Nuevos modelos educativos para la enseñanza de matemáticas con robótica STEAM*



*Nota.* Elaboración propia basada en English (2023), UNESCO (2021) y Krajcik y Shin (2022).

La figura revela que ninguno de los modelos representados es completamente nuevo: todos tienen raíces en tradiciones pedagógicas que se remontan décadas o siglos atrás. Lo que es nuevo es la convergencia de estos modelos con tecnologías que los hacen más accesibles, más escalables y más evidenciables que en cualquier momento anterior de la historia de la educación. El aprendizaje híbrido, el currículo integrado STEAM, el aprendizaje ubicuo, la personalización con IA, la educación sin asignaturas y las comunidades de aprendizaje no son propuestas radicalmente novedosas: son concreciones contemporáneas de principios pedagógicos que Dewey, Vygotski y Freire ya articularon con claridad. La robótica educativa es, en este sentido, una tecnología que finalmente permite poner en práctica a escala lo que la pedagogía ya sabía que era pedagógicamente correcto.

### **5.5.2. Integración global del STEAM**

La integración del enfoque STEAM como paradigma educativo está avanzando a escala global con una velocidad que habría sido difícil de prever hace apenas una década. Organizaciones internacionales como la UNESCO, la OCDE y el Banco Interamericano de Desarrollo han adoptado el STEAM como marco de referencia para las políticas de modernización educativa, y un número creciente de países está incorporando el pensamiento computacional, la programación y la robótica en sus currículos nacionales. En América Latina, esta tendencia se está manifestando en reformas curriculares que incluyen el pensamiento computacional como competencia transversal, en programas de dotación de kits robóticos para escuelas públicas y en la creación de centros de innovación educativa STEAM a nivel nacional y regional.

Sin embargo, la integración global del STEAM no es un proceso libre de tensiones y contradicciones. La adopción del enfoque STEAM por parte de sistemas educativos muy diferentes entre sí en términos de

recursos, contextos culturales y objetivos educativos produce inevitablemente formas de implementación muy diversas, algunas de las cuales se alejan considerablemente del espíritu pedagógico original del enfoque. En algunos contextos, el STEAM se está convirtiendo en una marca educativa vaciada de contenido, donde la robótica se añade al currículo como actividad extracurricular de entretenimiento sin articulación con los objetivos de aprendizaje. Distinguir entre la adopción genuina del enfoque y la apropiación superficial del rótulo es una tarea crítica que la investigación educativa debe asumir con rigor.



La contribución de América Latina al debate global sobre el STEAM tiene una particularidad que merece reconocimiento explícito: la región ha desarrollado experiencias de implementación en contextos de escasez que son genuinamente innovadoras y que ofrecen

perspectivas que los sistemas con mayores recursos no pueden generar. La robótica con materiales de bajo costo, el STEAM en entornos rurales multigrado, la integración de saberes indígenas en proyectos STEAM comunitarios y las estrategias de formación docente entre pares son contribuciones latinoamericanas al campo que están comenzando a recibir atención internacional y que podrían influir en la manera en que el enfoque se implementa en otros contextos de escasez en todo el mundo.

### **5.5.3. Investigación educativa emergente**

La investigación sobre educación STEAM con robótica está en una etapa de expansión acelerada, con un número creciente de estudios que abordan preguntas cada vez más específicas y sofisticadas sobre los mecanismos por los que esta forma de aprendizaje produce sus efectos. Las preguntas de investigación más activas en la actualidad incluyen: qué componentes específicos del diseño de proyectos STEAM son los que más contribuyen al aprendizaje matemático, cómo varía el impacto según el género, el nivel socioeconómico y el contexto cultural del estudiante, qué duración y qué intensidad de exposición a la robótica educativa son necesarias para producir cambios duraderos en las competencias matemáticas, y qué formas de evaluación capturan de manera más fiel los aprendizajes que produce.

La investigación latinoamericana sobre robótica educativa está ganando visibilidad internacional, aunque todavía está subrepresentada en las revistas indexadas de mayor impacto. El desarrollo de una agenda de investigación propia, que responda a las preguntas relevantes para el contexto de la región y que se publique en revistas accesibles para los docentes e investigadores latinoamericanos, es una necesidad estratégica que las universidades y los centros de investigación educativa de la región deben asumir como prioridad. La investigación que no llega a los docentes que podría informar no produce impacto real sobre la práctica educativa.

Una tendencia especialmente prometedora en la investigación emergente es el uso de metodologías de investigación basadas en diseño, que combinan el desarrollo de propuestas educativas con la investigación rigurosa sobre sus efectos, produciendo conocimiento que es simultáneamente práctico y teórico. Este tipo de investigación, que involucra a los docentes como coinvestigadores y no solo como implementadores de diseños desarrollados en laboratorios universitarios, está produciendo hallazgos que son más transferibles al aula y más relevantes para la toma de decisiones pedagógicas que los estudios experimentales clásicos. English (2023) identifica la investigación basada en diseño como el paradigma metodológico más adecuado para el estudio de la educación STEAM, porque permite capturar la complejidad y el contexto de los procesos de aprendizaje que este enfoque genera.

#### **5.5.4. Políticas educativas innovadoras**

Las políticas educativas son el factor que determina si las innovaciones pedagógicas que se desarrollan en contextos experimentales o en instituciones pioneras tienen la posibilidad de escalar y alcanzar a todos los estudiantes, o si quedan confinadas a islotes de excelencia que coexisten con un sistema educativo mayoritariamente tradicional. La educación STEAM con robótica necesita políticas que la apoyen en múltiples niveles: políticas curriculares que le den espacio y legitimidad dentro del sistema educativo formal, políticas de formación docente que preparen a los docentes para implementarla con calidad, políticas de infraestructura que garanticen el acceso equitativo a los recursos necesarios y políticas de evaluación que valoren las competencias que desarrolla. La Tabla 5.3 presenta un análisis de las políticas educativas innovadoras más relevantes para el contexto latinoamericano.

Tabla 22

*Políticas educativas innovadoras para la integración del STEAM con robótica en América Latina*

Política educativa	Ámbito de aplicación	Relación con STEAM y robótica	Ejemplo de implementación
Currículo nacional STEAM integrado	Ministerios de educación nacionales	Incorpora robótica y programación como contenido obligatorio	Ecuador: inclusión de pensamiento computacional en currículo 2023
Programa de dotación tecnológica	Instituciones educativas públicas	Equipamiento con kits robóticos y dispositivos para entornos STEAM	Plan Ecuador Digital: tabletas y conectividad en escuelas rurales
Formación docente en tecnología	Centros de formación y universidades	Capacita a docentes en STEAM, robótica y programación educativa	Programa de certificación docente en pensamiento computacional (UNESCO)
Alianzas público-privadas en educación	Gobiernos, empresas y ONG	Financiamiento de laboratorios STEAM y kits de robótica	Convenios con empresas tecnológicas para dotar de hardware educativo
Evaluación por competencias en STEAM	Sistemas de evaluación nacionales	Reemplaza pruebas estandarizadas por evaluación de desempeños	Pruebas PISA adaptadas a competencias digitales y matemáticas aplicadas
Repositorios nacionales de REA	Portales educativos gubernamentales	Comparte recursos abiertos de robótica y STEAM en español	Colombia Aprende, Perú Aprende en Casa, Ecuador Recursos Educativos

*Nota.* Elaboración propia basada en UNESCO (2021), OCDE (2022).

El análisis de estas políticas revela que la implementación exitosa del STEAM con robótica a escala sistémica requiere la acción coordinada en múltiples frentes de manera simultánea. Una política curricular excelente sin una política de formación docente correspondiente produce docentes que deben implementar un currículo que no comprenden. Una política de dotación tecnológica sin políticas de soporte técnico y formación produce laboratorios equipados que se

convierten en almacenes de tecnología subutilizada. La coherencia entre las distintas políticas es tan importante como la calidad de cada una de ellas individualmente, y construir esa coherencia es precisamente el desafío de gobernanza más complejo que enfrentan los sistemas educativos que aspiran a integrar el STEAM de manera genuina y sostenida.

### **5.5.5. Transformación del rol del estudiante**

La transformación más profunda que produce la educación STEAM con robótica no ocurre en los contenidos del currículo ni en los recursos del aula: ocurre en la identidad del estudiante como aprendiz. Un estudiante que ha construido y programado un robot que resuelve un problema real de su comunidad ya no puede verse a sí mismo como un receptor pasivo de conocimiento matemático: ha experimentado concretamente que puede usar las matemáticas para comprender y transformar su entorno. Esta experiencia de agencia matemática, la convicción de que uno es capaz de usar el pensamiento matemático de manera poderosa, es quizás el aprendizaje más valioso y más duradero que puede producir la educación STEAM con robótica.

La UNESCO (2021) en su reporte sobre el futuro de la educación, propone la imagen del estudiante como co-creador del conocimiento y como agente de transformación social. En el contexto de la educación STEAM con robótica, esta imagen no es metafórica: es literal. Los proyectos robóticos que abordan problemas reales de la comunidad, ya sean de automatización agrícola, de monitoreo ambiental o de asistencia a personas con discapacidad, convierten al estudiante en un productor de soluciones tecnológicas con impacto social real. Esta dimensión de agencia social del aprendizaje STEAM es lo que le confiere un significado que trasciende el rendimiento académico y conecta el aprendizaje con la construcción de ciudadanía activa y responsable.

La transformación del rol del estudiante también implica una transformación en su relación con el error y con la incertidumbre. En la experiencia de construir y programar robots, el error no es el signo del fracaso: es información que orienta la mejora del diseño. Un robot que no funciona como se esperaba no es una derrota sino un dato; un algoritmo que produce resultados incorrectos no es una vergüenza sino un punto de partida para la reflexión. Esta reconfiguración de la relación con el error, que los proyectos STEAM bien gestionados producen de manera consistente, tiene efectos que se extienden más allá del aula de matemáticas: un estudiante que ha aprendido a ver el error como información valiosa y manejable tiene una disposición ante el aprendizaje que lo acompañará a lo largo de toda su vida.


El futuro del estudiante de matemáticas con robótica STEAM no es el de un experto técnico que domina herramientas específicas que se volverán obsoletas en pocos años. Es el de un pensador matemático flexible, creativo y reflexivo, capaz de usar el conocimiento matemático como herramienta de comprensión y acción en un mundo que cambia más rápido que cualquier currículo puede anticipar. Preparar estudiantes con esas capacidades no requiere simplemente enseñarles las matemáticas de hoy con las herramientas de mañana: requiere transformar fundamentalmente la experiencia de aprender matemáticas, de manera que cada estudiante comprenda, desde su propia experiencia directa, que las matemáticas son una forma de ver el mundo que amplía su capacidad de actuar en él con inteligencia, creatividad y responsabilidad.

## CONCLUSIÓN

La integración de las matemáticas en entornos STEAM mediante la robótica educativa constituye una de las propuestas pedagógicas más coherentes, más fundamentadas y más prometedoras disponibles hoy para transformar la experiencia de aprender matemáticas en los sistemas educativos latinoamericanos. Este libro ha procurado demostrar que esa integración no es una moda tecnológica ni un ejercicio de activismo pedagógico: es una respuesta fundamentada epistemológicamente, respaldada por evidencia empírica y articulada con los desafíos reales que enfrentan los docentes y los estudiantes en contextos concretos y diversos.

El primer conjunto de conclusiones se refiere a los fundamentos teóricos de la propuesta. La epistemología interdisciplinaria que subyace al enfoque STEAM no disuelve las especificidades de las disciplinas, sino que las convoca en torno a problemas que ninguna puede abordar de manera aislada con suficiencia. Las matemáticas, lejos de diluirse en este enfoque, adquieren un papel articulador que revela su naturaleza más profunda: no como un conjunto de procedimientos que se memorizan, sino como un lenguaje que permite organizar, modelar y dar coherencia a la comprensión de fenómenos complejos. La robótica educativa activa este papel articulador de manera especialmente potente al crear contextos donde los conceptos matemáticos son herramientas imprescindibles y no ornamentos opcionales del aprendizaje.


El segundo conjunto de conclusiones se refiere a las condiciones del diseño didáctico de calidad en entornos STEAM. El análisis desarrollado en los capítulos 3 y 4 muestra con claridad que la calidad de los proyectos STEAM con robótica depende fundamentalmente de la calidad del diseño pedagógico y no de la sofisticación de los recursos tecnológicos. Un diseño que define con precisión los objetivos de



aprendizaje matemático, que articula coherentemente las actividades con esos objetivos, que selecciona los recursos más adecuados para el contexto específico y que incorpora un sistema de evaluación formativa continua puede producir aprendizajes matemáticos profundos con recursos tecnológicos modestos. Esta conclusión es simultáneamente una exigencia al docente y una fuente de esperanza para los contextos con limitaciones de infraestructura.

El tercer conjunto de conclusiones se refiere a la evaluación del aprendizaje matemático en entornos STEAM. La investigación y la práctica documentada en este campo convergen en la conclusión de que la evaluación convencional, centrada en la verificación de contenidos mediante pruebas escritas, es radicalmente insuficiente para capturar la complejidad de los aprendizajes que produce la robótica educativa. Un sistema evaluativo adecuado para estos entornos debe combinar múltiples instrumentos, contemplar múltiples momentos a lo largo del proceso, involucrar activamente al estudiante como co-evaluador de su propio aprendizaje y usar los resultados de manera sistemática para mejorar la práctica pedagógica. Construir este sistema requiere tiempo, formación y una cultura institucional que valore la evaluación como herramienta de aprendizaje y no solo de clasificación.

El cuarto conjunto de conclusiones se refiere a los desafíos de la implementación y las condiciones para la sostenibilidad. La brecha digital, la insuficiencia de la formación docente, las limitaciones de infraestructura y la resistencia institucional son obstáculos reales que no desaparecen por efecto del entusiasmo pedagógico. Sin embargo, la evidencia acumulada en contextos latinoamericanos muestra que estos obstáculos son superables cuando existe un liderazgo pedagógico comprometido, un equipo docente colaborativo y bien formado, una estrategia de implementación que contempla las condiciones reales del contexto desde el diseño inicial, y el apoyo de



políticas educativas que alinean currículo, formación, evaluación e infraestructura en una dirección coherente.

El quinto conjunto de conclusiones mira hacia el futuro. La convergencia de tendencias tecnológicas emergentes, desde la inteligencia artificial hasta el IoT educativo, con las innovaciones pedagógicas que este libro ha documentado, abre posibilidades para la educación matemática con robótica que apenas estamos comenzando a explorar. Aprovechar esas posibilidades de manera equitativa, es decir, garantizando que sus beneficios alcancen a todos los estudiantes y no solo a los que ya tienen ventaja, es el desafío más importante que la educación STEAM enfrenta en el horizonte inmediato. Este desafío solo puede abordarse mediante la articulación de voluntades individuales de docentes comprometidos con políticas sistémicas que creen las condiciones para que esa voluntad individual se traduzca en transformación colectiva.

La conclusión más importante que emerge de este trabajo es, paradójicamente, la más simple: las matemáticas tienen sentido cuando sirven para comprender y transformar la realidad, y la robótica educativa crea condiciones extraordinariamente ricas para que ese sentido sea visible, concreto y motivador para los estudiantes. Todo lo demás, los instrumentos de evaluación, las metodologías activas, los ecosistemas digitales, las políticas educativas, son medios al servicio de ese propósito fundamental. Mantener ese propósito en el centro de todas las decisiones pedagógicas es la brújula que orienta al docente STEAM en el territorio complejo y apasionante de la educación matemática del siglo XXI.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Ainscow, M. (2020). Promoting inclusion and equity in education: Lessons from international experiences. *Nordic Journal of Studies in Educational Policy*, 6(1), 7–16. <https://doi.org/10.1080/20020317.2020.1729587>
- ✓ Alsina, C., & Nelsen, R. (2021). *Geometría para el siglo XXI*. Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática.
- ✓ Benitti, F. B. V. (2020). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 149, 103–112.
- ✓ Biggs, J., & Tang, C. (2022). *Teaching for quality learning at university* (5th ed.). Open University Press.
- ✓ Boaler, J. (2022). *Mathematical mindsets* (2nd ed.). Jossey-Bass.
- ✓ Black, P., & Wiliam, D. (2020). Developing a theory of formative assessment. In J. Gardner (Ed.), *Assessment and learning* (3rd ed., pp. 56–78). SAGE.
- ✓ Blum, W. (2022). Mathematical modelling in mathematics education and instruction. In T. Niss et al. (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education* (2nd ed., pp. 3–32). Springer.
- ✓ Bocconi, S., Chiocciariello, A., Kampylis, P., Dagiene, V., Wastiau, P., Engelhardt, K., Earp, J., Horvath, M. A., Jasute, E., Malagoli, C., Masiulionyte-Dagiene, V., & Stupuriene, G. (2022). *Reviewing computational thinking in compulsory education: State of play and implications for future research*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/126955>
- ✓ Coll, C., Onrubia, J., & Mauri, T. (2020). Ayudar a aprender en contextos educativos: El ejercicio de la influencia educativa y el análisis de la enseñanza. *Revista de Educación*, 346, 33–70.
- ✓ Eguchi, A. (2021). Robotics as a learning tool for educational transformation. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1–14.
- ✓ English, L. D. (2023). Ways of thinking in STEM-based problem solving. *ZDM Mathematics Education*, 55(7), 1219–1230. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01492-z>

- ✓ García, J., & Ruiz, M. (2020). Geometría aplicada al diseño tecnológico en educación secundaria. *Revista Española de Pedagogía*, 78(275), 141–158.
- ✓ Grover, S., & Pea, R. (2020). Computational thinking: A competency whose time has come. In S. Sentance et al. (Eds.), *Computer science education: Perspectives on teaching and learning in school* (pp. 19–37). Bloomsbury Academic.
- ✓ Hattie, J., & Timperley, H. (2021). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- ✓ Jacobs, H. H. (2021). *Curriculum 21: Essential education for a changing world*. ASCD.
- ✓ Krajcik, J. S., & Shin, N. (2022). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (3rd ed., pp. 289–312). Cambridge University Press.
- ✓ Laboy-Rush, D. (2021). Integrated STEM education through project-based learning. Learning.com. <https://www.learning.com/blog/integrated-stem-pbl/>
- ✓ Lodi, M., & Martini, S. (2021). Computational thinking, between Papert and Wing. *Science & Education*, 30(4), 883–908. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00202-5>
- ✓ Mix, K. S., Levine, S. C., & Huttenlocher, J. (2021). Spatial training improves children's mathematics achievement. *Psychological Science*, 32(9), 1444–1454. <https://doi.org/10.1177/09567976211000241>
- ✓ Mora, F. (2021). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama* (6th ed.). Alianza Editorial.
- ✓ OECD. (2022). *OECD future of education and skills 2030*. OECD Publishing.
- ✓ OECD. (2022). *PISA 2022 assessment and analytical framework*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/dfc0bf9c-en>
- ✓ Paulson, F. L., Paulson, P. R., & Meyer, C. A. (2021). What makes a portfolio a portfolio? *Educational Leadership*, 48(5), 60–63.
- ✓ Prats, J., Oriol, J., & Vila, R. (2020). *Tecnología educativa y diseño instruccional*. Editorial UOC.
- ✓ Rico, L., & Lupiáñez, J. L. (2021). *Competencias matemáticas desde una perspectiva curricular*. Alianza Editorial.

- ✓ Sadler, D. R. (2021). Beyond feedback: Developing student capability in complex appraisal. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(5), 535–550. <https://doi.org/10.1080/02602930903541015>
- ✓ Schoenfeld, A. H. (2022). *Mathematical problem solving* (2nd ed.). Academic Press.
- ✓ Senge, P. (2020). *La quinta disciplina: El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje* (2nd ed.). Granica.
- ✓ Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2021). *Physics for scientists and engineers* (10th ed.). Cengage Learning.
- ✓ Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2020). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>
- ✓ Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, F. (2021). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- ✓ Tipler, P. A., & Mosca, G. (2020). *Physics for scientists and engineers* (7th ed.). W. H. Freeman.
- ✓ Tobón, S. (2020). *Formación integral y competencias: Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (5th ed.). ECOE Ediciones.
- ✓ Torres Santomé, J. (2020). *Globalización e interdisciplinariedad: El currículo integrado* (4th ed.). Ediciones Morata.
- ✓ Tussyadiah, I., Li, S., & Miller, G. (2020). Privacy protection in tourism: Where we are and where we should be heading. *Journal of Travel Research*, 60(4), 1–18. <https://doi.org/10.1177/0047287520951623>
- ✓ UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707>
- ✓ Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2020). The malleability of spatial

skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>

- ✓ Whitehead, N. A. N., & Hawes, Z. C. K. (2023). Connecting mathematics to real-world contexts through data collection. *Journal for Research in Mathematics Education*, 54(2), 112–134. <https://doi.org/10.5951/jresematheduc-2022-0047>
- ✓ Wiggins, G., & McTighe, J. (2022). *Understanding by design* (3rd ed.). ASCD.
- ✓ Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- ✓ Zhao, Y., et al. (2021). STEM/STEAM education and student learning outcomes. *Journal of Educational Research*, 114(3), 1–12.



El libro Integración de Matemáticas STEAM Mediante Robótica Educativa propone un enfoque innovador para la enseñanza de las matemáticas a través de la articulación con la robótica y las disciplinas STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas). La obra parte de la necesidad de transformar los métodos tradicionales de enseñanza, integrando herramientas tecnológicas que permitan a los estudiantes comprender los conceptos matemáticos desde una perspectiva práctica, dinámica e interdisciplinaria.

A lo largo del texto se presentan estrategias didácticas que utilizan la robótica educativa como medio para aplicar contenidos matemáticos en situaciones reales, favoreciendo el aprendizaje significativo. Se destacan actividades relacionadas con la programación, el diseño de prototipos y la resolución de problemas, donde los estudiantes desarrollan habilidades como el pensamiento lógico, la creatividad, la colaboración y la capacidad de análisis. Este enfoque interdisciplinario permite que las matemáticas se conviertan en una herramienta funcional dentro de proyectos tecnológicos concretos.

Finalmente, el libro resalta el papel del docente como facilitador de experiencias de aprendizaje innovadoras, capaz de integrar la tecnología con metodologías activas y centradas en el estudiante. Asimismo, se enfatiza la importancia de fortalecer una base matemática sólida que sustente la aplicación de la robótica y otras herramientas STEAM. En conjunto, la obra ofrece una guía práctica para docentes y formadores interesados en promover una educación más interactiva, contextualizada y orientada al desarrollo de competencias del siglo XXI.

