

Robótica educativa: Un estudio del estado del arte

Educational robotics: a survey

Rebeca Solís-Ortega¹, Cindy Calderón-Arce¹, Juan Carlos Brenes-Torres², Cristhian Chavez-Montoya³, Kenneth Mejía-Luna³, José Pablo Calderón Gairaud³

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Matemática, Cartago, Costa Rica.

² Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Mecatrónica, Cartago, Costa Rica.

³ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Estudiante Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos, Cartago, Costa Rica.

rsolis@itcr.ac.cr, ccalderon@itcr.ac.cr, juanbrenes@itcr.ac.cr, acrismontoya@gmail.com, kennethluna16k@gmail.com, jose03pcg@gmail.com

Recibido: 18/05/2024 | Corregido: 24/12/2024 | Aceptado: 06/12/2024

Cita sugerida: R. Solís-Ortega, C. Calderón-Arce, J. C. Brenes-Torres, C. Chavez-Montoya, K. Mejía-Luna, J. P. Calderón Gairaud, "Robótica educativa: un estudio del estado del arte," *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. Especial 40, pp. 55-65, 2025. doi:10.24215/18509959.40.e6.

Esta obra se distribuye bajo Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0

Resumen

Este artículo realiza un análisis exhaustivo de los robots utilizados en actividades educativas enfocadas en áreas STEM (por su nombre en inglés: Science, Technology, Engineering y Mathematics), destacando tanto opciones básicas como avanzadas. La investigación aborda diversas plataformas, capacidades y tamaños de robots educativos a través de un análisis del estado del arte actual. Se destaca el papel de la robótica para cubrir necesidades educativas en STEM, evidenciando la capacidad de adaptación de los robots para entornos de aprendizaje específicos. Se mencionan ejemplos de cómo han sido y pueden ser personalizados para entornos de aprendizaje específicos, enfatizando su capacidad para promover la interacción entre estudiantes y el aprendizaje colaborativo. Además, se detallan las herramientas y recursos educativos disponibles para incorporarlos en el aula. Finalmente, este artículo presenta una comparativa entre los robots estudiados, resaltando sus puntos fuertes y áreas de mejora.

Palabras clave: Robótica educativa; Recursos educativos; Aprendizaje colaborativo; STEM.

Abstract

This paper provides a thorough survey of robots used in STEM (Science, Technology, Engineering y Mathematics) focused educational activities, covering both basic and advanced options. This research delves into various platforms, capabilities, and sizes of educational robots through an analysis of the current state of the art. It emphasizes the role of robotics in addressing educational needs in STEM, showcasing the ability to customize robots for specific learning environments. Examples of how robots have been and can be tailored for learning settings are highlighted, emphasizing their capacity to foster student interaction and collaborative learning. Additionally, the article details educational tools and resources available for effectively integrating robots into the classroom. Lastly, it offers a comparison of the presented robots, spotlighting their strengths and areas for improvement.

Keywords: Educational robotics; Educational resources; Collaborative learning; STEM.

1. Introducción

El desarrollo tecnológico ha aumentado e impactado dentro de la sociedad del conocimiento, en diferentes entornos como la educación [1]. Además, el entorno educativo ha sido parte de grandes cambios que pretenden dejar atrás los métodos de enseñanza tradicionales, en su mayoría unidireccionales y centrados en el docente [2]. La inclusión de la tecnología en la educación ha llevado a una importante modificación de los procesos de enseñanza-aprendizaje en función de mejorar la calidad educativa del estudiante [1].

La robótica aplicada o utilizada en procesos de enseñanza y aprendizaje se conoce como robótica educativa, con ella se ha logrado el desarrollo y la implementación de diferentes herramientas que permiten un aprendizaje más activo de parte de los estudiantes. La inclusión de la robótica en la educación ha ido creciendo y evolucionando, con el objetivo de brindar clases más interactivas y que permitan un aprendizaje más significativo. En esta línea, Lopez-Caudana et al. [3] señalan que la integración y el uso de robótica educativa puede convertirse en un punto de inflexión como recurso para atender la diversidad del aula, así como para mantenerlos activos y motivados. De esta forma, el proceso de enseñanza y aprendizaje se vuelve más enriquecedor tanto para los docentes como para los estudiantes.

La robótica requiere del conocimiento y la integración de múltiples disciplinas independientes, desarrollando la capacidad de crear conexiones interdisciplinarias que involucran ingeniería, matemática, física, entre otras [4]. Sin embargo, actualmente hay otros usos de la robótica como su integración en disciplinas sociales para la recreación de eventos históricos e incluso modelar la integración de grupos sociales [5].

La robótica educativa representa un cambio positivo en el proceso de enseñanza y aprendizaje. No se deben dejar por fuera los diferentes aspectos que implican el uso de robots en el aula, como escenarios, contextos y tendencias, que traen consigo nuevos roles para los protagonistas en el proceso formativo [6]. En este artículo se describen algunas aplicaciones de robots en la enseñanza de la matemática, directa o indirectamente relacionadas con el desarrollo del pensamiento matemático según las diversas funcionalidades que ofrecen. Además, se comparan los robots encontrados en la literatura para identificar mejoras o nuevas adaptaciones de estos ante diferentes intereses educativos, particularmente enfocados en la matemática. Primero se detallan experiencias con robots en la educación, luego se presentan tablas comparativas con componentes y temas de interés propios de la aplicación; luego, una discusión que analiza las características de interés para el uso en la educación y cómo se abordan entre robots investigados. Por último, se resaltan las cualidades que se consideran esenciales para la integración de robots en métodos de enseñanza que

permitan un aprendizaje interactivo y de motivación para los estudiantes, según las funcionalidades de los robots descritos.

2. Aplicaciones de robots en la educación

En esta sección se describen ocho robots educativos y su uso en el aula de matemáticas con el fin de obtener resultados sobre el proceso de aprendizaje. Al final de la sección hay una tabla comparativa con las principales características de cada robot investigado. Se evidencian características como componentes, costo y algunas funcionalidades particulares para su uso en docencia.

2.1. Edison

Edison es un robot educativo que ofrece diferentes métodos de programación como EdBlocks, EdScratch y EdPy los cuales se adaptan a las diferentes edades de los usuarios. Posee funcionalidades como avanzar en línea recta y girar 90° hacia la izquierda o derecha. Además, cuenta con dos motores independientes, un parlante, luces LED y varios sensores, incluyendo de luz, seguimiento de línea y sonido [7] En la Figura 1 se muestra un ejemplo de este robot.



Figura 1. Ejemplo del robot educativo Edison. Tomado de Meet Edison, "The Edison robot's inputs, outputs and sensors," 2024, [Online] <https://meetiedison.com/edison-robots-sensors>

Leoste y Heidmets [8] llevaron a cabo un estudio con docentes de primaria en Estonia, utilizando el robot educativo Edison programado con el sistema gráfico EdBlocks. El robot se empleó en actividades relacionadas con el cálculo y la comprobación de distancias recorridas en un tiempo determinado, para reforzar los conceptos matemáticos trabajados en el aula. Entre las actividades propuestas al estudiante se le planteaban situaciones como "el robot recorre 148 cm en 6 segundos a velocidad baja. ¿Cuánta distancia recorrerá el robot en la mitad del tiempo?" a partir de esto debían realizar los cálculos y hacer uso del robot para comprobarlos.

Entre los principales hallazgos del estudio se encontró que los sensores de rotación del motor no se pueden utilizar con lenguajes de programación gráfica, lo que hace que el movimiento del robot sea inexacto en cierta medida. Además, aunque la mayoría de las escuelas en Estonia tienen robots, los docentes de matemáticas aún necesitan

la ayuda de especialistas para poder implementarlos adecuadamente en sus clases [8].

2.2. Dash and Dot

Dash es un pequeño robot capaz de desplazarse en cualquier dirección haciendo uso de sus tres ruedas, también puede detectar obstáculos y posee gran variedad de accesorios los cuales aumentan su productividad (ver Figura 2a). Según la página web de Wonder Workshop [9], Dash posee luces led, botones personalizables, receptores y transmisores infrarrojos que permiten encontrar e interactuar con otros robots, motores duales, sensores de proximidad, Bluetooth, parlantes, micrófono, entre otros componentes.

Por otra parte, Dot es el compañero de Dash, y no tiene ruedas, por lo tanto, no es tan dinámico, pero con sus sensores infrarrojos es capaz de detectar y controlar a Dash (ver Figura 2b). Posee algunos juegos incorporados y permite a los usuarios crear más de 100 juegos usando las aplicaciones Wonder y Blockly [9].

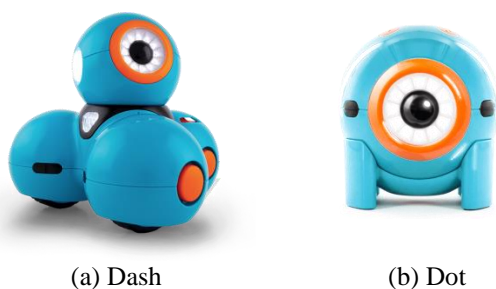


Figura 2. Ejemplo del robot educativo (a) Dash y (b) Dot. Tomado de Wonder Workshop, "Get ready to roll," 2024, [Online] <https://www.makewonder.com/en/dash/>.

En cuanto a los usos que se les ha dado a estos robots, Heljakka y Ihamäki [10] presentan una experiencia sobre la participación de niños preescolares, de 5 a 6 años, y sus maestros en una investigación de tres meses sobre el uso de juguetes de codificación en actividades diarias de juego. La investigación emplea métodos diversos, como diarios, entrevistas temáticas y análisis de videos de sesiones de juego. Los hallazgos resaltan la movilidad en el aprendizaje lúdico de la codificación con el robot Dash. Además, se observa que estos juguetes fomentan la actividad física, invitando a los niños a incorporarse como jugadores y aprendices, brindando así una perspectiva valiosa sobre el aprendizaje lúdico móvil con juguetes interactivos y móviles.

2.3. Kit Bee Bot

Kit Bee Bot es un robot fácil de utilizar, dirigido a estudiantes de preescolar y primer año de escuela (de entre los 3 y 7 años). En general, el robot es programado para seguir una serie de pasos y que pueda desplazarse por unos tableros para cumplir tareas específicas [11]. Kit Bee Bot está compuesto por un Bee Bot (ver Figura 3), tapetes,

y cartas secuenciales. Los robots hacen movimientos en ángulos de 90° y deben programarse para seguir una secuencia [12].



Figura 3. Ejemplo del robot educativo Bee Bot. Tomado de TTS, "Bee-Bot® Programmable Floor Robot," 2024, [Online] <https://www.tts-group.co.uk/bee-bot-programmable-floor-robot/1015268.html>.

Torrejón y Ventura-Campos [13] describen actividades implementadas en un salón de clases haciendo uso del Kit Bee Bot para aprender conceptos musicales específicos y desarrollar el pensamiento lógico matemático. Sus actividades tenían como finalidad desarrollar habilidades musicales como: reconocimiento de las principales figuras musicales y aprendizaje de la duración de las figuras musicales, y habilidades matemáticas como: lenguajes de programación sencillos para resolución de problemas y vocabulario asociado a nociones de visualización espacial.

2.4. Robots Lego®

Lego, la reconocida empresa de juguetes nacida en Billund, Dinamarca, en 1932, inicialmente se especializó en la creación de juguetes de construcción vinculados al ámbito de la ingeniería. A principios de la década del 2000, siguiendo la tendencia a nivel mundial, incursionó en el mundo de los kits electrónicos. Este cambio estratégico no solo consolidó a Lego como juguete, sino también como herramienta educativa. La adaptación de sus kits a las aspiraciones de los niños del siglo XXI, como el innovador LEGO Mindstorms, que incorpora bloques inteligentes con software y hardware para construir robots personalizados, marcó un hito en la integración de la robótica educativa [14].

El EV3 (Education Version 3) formó parte de la familia LEGO Mindstorms y se introdujo en el mercado en 2013. Este kit facilita la creación de robots altamente precisos en sus funciones mediante un entorno de programación intuitivo. Consta de un total de 541 piezas, que incluyen motores, sensores de color, táctiles, ultrasónicos, giroscópicos, así como el cerebro del robot, cables y las piezas necesarias para su construcción [15].

El EV3 ha sido utilizado en investigaciones educativas en el ámbito STEM. Por ejemplo, Casler-Failing [16] llevó a cabo una investigación con estudiantes de séptimo grado, utilizando el EV3 para desarrollar habilidades de razonamiento proporcional en un plan de estudios de matemáticas. Destacó que los estudiantes, especialmente aquellos con bajo rendimiento, mostraron un aumento significativo en la comprensión de relaciones proporcionales. Por otro lado, en el estudio de Ponce et al.

[17], se empleó el EV3 para impartir lecciones de matemáticas y energías renovables a estudiantes de cuarto a sexto grado en México. Los resultados revelaron un fortalecimiento significativo en el conocimiento de los temas tratados. En una línea similar, el estudio de Matyushchenko, Zvereva y Lavina [18] reafirmaron la eficacia del EV3 en el desarrollo de habilidades de razonamiento proporcional en estudiantes de séptimo grado, respaldando la productividad del enfoque educativo basado en este robot.

De manera similar, se tiene el kit de robot LEGO WeDo 2.0. Este, según Anastasaki y Vassilakis [19], se ha establecido como una herramienta pedagógica para la introducción de la robótica educativa en las escuelas primarias. Este kit incluye aproximadamente 280 bloques LEGO y una variedad de componentes electrónicos como smarthub, motor, sensor de inclinación y sensor de distancia. Además, brinda una plataforma para explorar conceptos STEM de una manera práctica [19].

Al igual que el EV3, WeDo 2.0 también ha sido objeto de diversas investigaciones sobre su impacto en entornos educativos. Ejemplos de ello son el estudio de Araujo et al. [20], que demostró cómo la combinación de WeDo 2.0 y Lego Education mejoró significativamente el desarrollo lógico y matemático de estudiantes de cuarto año de primaria de la unidad educativa Oswaldo Guayasamin en Ecuador. Otro estudio similar fue el realizado por Usengül y Bahçeci [21], quienes determinaron que el uso del WeDo 2.0 aumentó el rendimiento académico, la actitud y las habilidades de pensamiento computacional en un grupo de estudiantes de quinto año de primaria en una escuela privada en Elazığ Turquía.

Es importante destacar que en el año 2021 se descontinuó la producción de los modelos EV3 y WeDo 2.0. debido a la aparición del LEGO Spike Prime, que representa una consolidación de las características de estos dos modelos [22].

2.5. mBot

El mBot (ver Figura 4) es un robot educativo equipado con un procesador mCore de 16MHz. Entre los sensores que incluye están: de luz, ultrasonido y seguidor de línea/color para interacción con el entorno. Es compatible con más de 500 partes de Makeblock y LEGO. Además, ofrece comunicación USB, Bluetooth y 2.4G. Este robot ofrece opciones de programación en bloques y Arduino, lo cual lo hace adecuado tanto para aprender programación y robótica como para programar cosas más avanzadas [23].



Figura 4. Ejemplo del robot educativo mBot. Tomado de Makeblock, "Mbot Robot Kit," 2024, [Online] <https://www.makeblock.com/>.

Un estudio realizado por Gómez [24] investigó la experiencia de estudiantes de primaria al utilizar el mBot en el aula. Los resultados de la observación mostraron que los estudiantes adquirieron conocimiento tecnológico al combinar un dispositivo móvil y utilizar Bluetooth para conectarse y dar seguimiento al uso del robot. Las sesiones de aprendizaje incluyeron prácticas para manipular y controlar el robot, relacionándolo con los temas curriculares, y se obtuvieron percepciones positivas de los estudiantes sobre el uso de esta tecnología.

Por otro lado, Sáez-López, Sevillano-García y Vazquez-Cano [25] destacan la importancia de integrar la robótica y la programación en la educación primaria para mejorar la comprensión de la lógica y las matemáticas. Un estudio con 96 estudiantes de sexto grado de cuatro escuelas primarias de España demostró mejoras significativas en la comprensión de conceptos matemáticos y adquisición de conceptos computacionales mediante actividades integradas de programación y robótica. Los resultados sugieren que enfoques pedagógicos activos, que fomentan la motivación, el compromiso y la diversión, pueden potenciar el aprendizaje en áreas STEM.

2.6. Ozobot

Ozobot (ver Figura 5) es un robot creado por Nader Hamda en el 2014, fue nombrado así por su hija que en su momento tenía 10 años [26]. Este robot es capaz de emitir sonidos, tiene múltiples luces que pueden parpadear en diferentes colores y puede desplazarse. Está equipado con sensores para detectar el color de la superficie sobre la que se desplaza, así como sensores de proximidad hacia adelante y hacia atrás. Ofrece dos modos principales de interacción: en el modo de seguimiento de línea, en donde el robot sigue líneas coloreadas y responde a secuencias especiales de colores que representan comandos. También puede ser programado a través de la aplicación OzoBlockly, que proporciona un entorno de programación basado en bloques y que admite diferentes niveles de habilidad. La transferencia de programas al robot se realiza mediante secuencias de colores [27].



Figura 5. Ejemplo del robot educativo Ozobot. Tomado de Ozobot, "About us," 2024, [Online] <https://ozobot-homepage.appspot.com/about-us>.

En cuanto al uso de este robot en actividades escolares, Fojtik [28] llevó a cabo una investigación con diferentes grupos de estudiantes, desde niños de primaria hasta universitarios, para evaluar el uso del Ozobot en el aprendizaje de programación. Se encontró que aquellos que participaron activamente en la programación del robot demostraron mayor motivación y dominio de los conceptos básicos de algoritmos y programación. A pesar de las limitaciones en comparación con otros robots, la facilidad de programación sin necesidad de una computadora y la compatibilidad con dispositivos móviles fueron destacadas como ventajas significativas.

Por otro lado, Greifenstein et al. [29] llevaron a cabo siete talleres con estudiantes de tercero y cuarto grado de primaria, donde programaron el Ozobot Evo tanto en modo papel como en dispositivos digitales. Se identificaron ocho categorías de problemas y se proporcionaron sugerencias de retroalimentación correspondientes. A pesar de los desafíos encontrados, se observó que la programación del Ozobot Evo fue alentadora tanto para niñas como para niños, y se discutieron ideas para apoyar a los maestros en la entrega de retroalimentación alentadora durante las actividades de programación. Los estudiantes reportaron una experiencia divertida en general, demostrando así el potencial educativo y motivador del uso del Ozobot en el aula.

2.7. FOSSBot

El robot móvil educativo FOSSBot es diseñado como una plataforma de hardware y software libre (FOSS, por sus siglas en inglés de "Free and Open Source Software") orientada a la enseñanza y experimentación en robótica, especialmente en contextos educativos STEM [30]. Su estructura es de bajo costo y se construye con componentes accesibles, lo que lo convierte en una herramienta ideal para estudiantes y docentes interesados en aprender robótica, programación y electrónica.

Este robot suele estar compuesto de sensores básicos (como sensores de línea o proximidad) y es compatible con entornos de programación accesibles. Además, el FOSSBot promueve la colaboración y la personalización: tanto el diseño de hardware como el código fuente están disponibles para su estudio, modificación y distribución, permitiendo que cualquier persona adapte o mejore el robot para diferentes proyectos educativos.

FOSSBot (ver Figura 6) posee dos ruedas y cuenta con distintos modos de programación: interfaz de codificación en notebook y Python (desde la consola). Estas formas de programación permiten que se pueda utilizar con diferentes tipos de poblaciones, desde primaria hasta universitaria. Recibe constantes actualizaciones a nivel de software debido a su moderna arquitectura. Es posible conectarse al robot mediante una conexión Wi-Fi ya sea desde una computadora, celular o tableta.

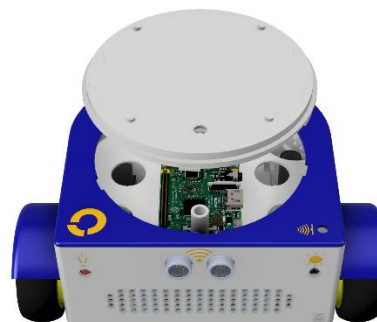


Figura 6. Ejemplo del robot educativo FOSSBot. Tomado de C. Chronis I. Varlamis. "FOSSBot: An Open Source and Open Design Educational Robot," *Electronics*, vol. 11, no. 16, 2606, 2022. <https://doi.org/10.3390/electronics11162606>

Gracias a sus sensores ultrasónicos, sus sensores infrarrojos de obstáculos, su unidad de medición inercial y su sistema de odometría, FOSSBot ha sido probado en tareas de detección y esquivar obstáculos, así como en navegación [31].

Mamatnabiyev et al. en [32] han identificado la separación existente entre los robots educativos y un plan de estudios específico asociado a ellos. Además, muestran cómo FOSSBot puede utilizarse para preparar contenidos y apoyar actividades de aprendizaje en diversas materias, como electrónica, redes de computadoras, inteligencia artificial y visión por computadora, entre otras, debido a su integración con diversas tecnologías IoT (por su nombre en inglés *Internet of Things*) que permiten medir datos, procesarlos e interactuar con el entorno físico.

2.8. Cubi

Cubi es un robot móvil de dos ruedas diseñado por R. Fabre et al. [33] con el propósito de ofrecer una plataforma robótica ultrabásica y de código abierto, ideal para proyectos educativos y recreativos. Este robot puede ser controlado a través de la aplicación Rhoban Metabot, y su kit incluye una tarjeta "industrializada" con todos los componentes integrados para reducir costos de producción. Además, se planea que su carcasa esté fabricada con materiales de bajo costo o reciclados. La Figura 7 muestra un ejemplar de Cubi.

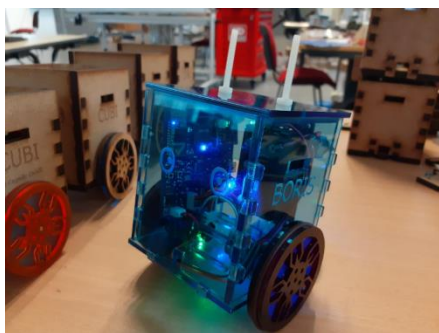


Figura 7. Ejemplo del robot Cubi. Tomado de Cubi: un robot simple et bas coût. EirLab: High-Tech FabLab, 2024, [Online] <https://www.eirlab.net/2021/07/19/cubi/>

En el repositorio del proyecto se muestra que el robot es capaz de girar, avanzar y retroceder en línea recta, y ha sido usado en actividades como la captura de pelotas en

arena. Sin embargo, no se dispone de documentación sobre su uso y resultados en entornos educativos. Su última actualización data de 2021.

3. Discusión

La diversidad en las funcionalidades de los robots, así como otros aspectos como el costo y la población de referencia, nos lleva a reflexionar sobre cuál es el robot óptimo según la finalidad de su aplicación u objetivos educativos. Las Tablas 1 y 2 resumen las principales funcionalidades, componentes y características generales de los robots estudiados que podrían ser útiles para determinar cuál utilizar en actividades educativas. Por su parte la Tabla 3 sintetiza las competencias, actividades y nivel educativo acorde a las funcionales de cada robot.

Tabla 1: Funcionalidades y componentes de los robots

Robot	Edison	Dash and Dot	Kit Bee Bot	Lego Spike	mBot	Ozobot	FoSSBot	Cubi
Libertad de giros	360°	360°	90°	360°	360°	360°	360°	360°
Control de velocidad	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Detección de obstáculos	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Led de colores	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Diseño modular	✓	✓		✓	✓			
Sensor ultrasónico				✓	✓	✓	✓	
Sensor de luz	✓			✓	✓	✓	✓	
Sensor de color	✓		✓	✓		✓		
Sensor de movimiento		✓	✓				✓	
Sensor de temperatura							✓	
Sensor de sonido	✓	✓					✓	
Sensor infrarrojo	✓	✓						
Sensor de línea	✓				✓			
Sensor de distancia				✓		✓		

Tabla 2: Información general sobre los robots (datos actualizados a mayo del 2024)

Característica	Año de creación	Costo*	Forma o interfaz de programación	Autonomía	Conectividad	Guías educativas gratuitas	Sitio web
Edison	2014	\$59	Ed-Blocks Ed Skcratch Ed py	No se indica	Cable USB	Sí	https://meetedison.com
Dash and Dot	2014	\$179.99 (precio de Dash)	Blockly Wonder Blocky Pro	5 horas	Bluetooth	No, son de paga	https://www.makewonder.com
Kit Bee Bot	No se precisa	\$107	Con botones en la parte superior del robot	8 horas	No aplica	Limitado	https://www.tts-group.co.uk/bee-bot-programmable-floor-robot/1015268.html
Lego Spike	2021 (versión Spike)	\$399.95	Scratch Python Lego Spike	No se indica	Bluetooth	Sí	https://spike.legoeducation.com
mBot	2015	\$70.99	Makeblock Arduino	No se indica	Bluetooth	Sí	https://www.makeblock.com
Ozobot	2014	\$175	OzoBlockly Banda de colores Evo by Ozobot	No se indica	Bluetooth	Limitado	https://ozobot.com
FOSSBot	2019	\$200	Python Rasperry Pi	No se indica	Wifi	Sí	https://fossbot.gr/landing-page
Cubi	2017	No se indica	Rhoban Metabot	No se indica	Bluetooth	No	https://www.eirlab.net/2021/07/19/cubi/

*Versión más económica

Tabla 3: Análisis de competencias basadas en las experiencias documentadas

Robot	Edison	Dash and Dot	Kit Bee Bot	Lego Spike	mBot	Ozobot	FOSSBot	Cubi
Programación gráfica	✓	✓		✓	✓	✓		
Codificación de actividades diarias		✓						✓
Pensamiento lógico matemático	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
Conceptos musicales			✓					
Conceptos de física	✓							
Conceptos computacionales				✓	✓	✓	✓	
Otros conceptos de ingeniería				✓			✓	
Resolución de problemas	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
Trabajo colaborativo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Inteligencia artificial							✓	
Internet de las cosas							✓	
Nivel educativo	Primaria	Preescolar	Preescolar Primaria	Primaria Secundaria	Primaria	Primaria Secundaria Universidad	Primaria Secundaria Universidad	Secundaria

La Tabla 1 evidencia que la mayoría de los robots analizados consideran las luces led entre sus componentes, solo los de código abierto no. El único que no considera giros hasta de 360° es Kit Bee Bot y entre los de código cerrado solo este no contempla las opciones de control de velocidad y detección de obstáculos. Solo cuatro de los modelos analizados brindan la opción de un diseño modular, característica que aporta significativamente a los procesos de enseñanza y aprendizaje STEM, pues permite a los estudiantes explorar y experimentar con cada componente del sistema de forma independiente, incentivando así el aprendizaje práctico y comprensivo en varias áreas.

Únicamente Edison y Lego Spike cumplen con todas las funcionalidades analizadas. Los modelos que consideran más componentes son Edison y FOSSBot.

Según la Tabla 2, los robots más económicos son Edison y mBot y los más costosos son FOSSBot y Lego Spike, ambos presentan actualizaciones en los últimos 5 años. Los modelos estudiados que brindan guías educativas gratuitas son Edison, Lego Spike, mBot y FOSSBot, dando una ventaja particular para ser utilizados en entornos de enseñanza y aprendizaje.

En general, Lego Spike y FOSSBot parecen ser las opciones más completas y actualizadas para ser utilizadas en entornos educativos, pero a la vez son los más costosos a pesar de que FOSSBot es de acceso abierto. En contraste, Kit Bee Bot es la opción más sencilla y con un precio promedio bajo. Cubit, por su parte, ha sido poco explorado y ha recibido escasa continuidad, lo que explica la limitada información disponible sobre sus componentes y aplicaciones.

Por otro lado, se considera que Kit Bee Bot es adecuado para primaria debido a su simplicidad, esta misma característica limita su aplicación en niveles superiores, donde se esperaría abarcar habilidades cognitivas más avanzadas. Los robots Edison y FOSSBot destacan por su versatilidad en la programación, adaptándose a niveles de educación superior. Sin embargo, Edison tiene la ventaja de que ofrece la programación en bloques, por lo que no es necesario tener bases de programación para utilizarlo y su precio asequible lo convierte en una opción atractiva.

En contraste, los robots de la familia Lego, ofrecen numerosas funcionalidades que podrían ser aprovechadas en educación, pero su alto precio podría limitar su accesibilidad. A pesar de sus capacidades, las actividades propuestas en las investigaciones no reflejaban plenamente su potencial educativo, ya que se centran en generar una actitud positiva de aprendizaje en vez del desarrollo de habilidades específicas.

Ozobot también se destaca por su capacidad para desarrollar la lógica en programación desde edades tempranas, así como por su facilidad de programación a través de la aplicación Evo by Ozobot, disponible para dispositivos móviles. Sin embargo, su elevado precio y la falta de posibilidad de incorporar más piezas pueden

ser considerados como desventajas en comparación con otros robots como Edison.

En el caso de los modelos de código abierto, como FOSSBot y Cubit, además de publicar el código, también ponen a disposición de la comunidad los planos necesarios para su construcción. Estos modelos no se venden ensamblados ni como kits completos; cada usuario interesado debe adquirir los componentes, realizar las impresiones 3D y los cortes láser requeridos para su construcción. Esto permite realizar adaptaciones al modelo original o incluso omitir componentes que no son necesarios para el objetivo de la persona que lo utilizará.

mBot, por su parte, ofrece la oportunidad de ser construido por los estudiantes, lo que fomenta el desarrollo de habilidades STEM en ingeniería. Sin embargo, sus funcionalidades no son tan avanzadas como las de Edison y FOSSBot. Entre los robots investigados, Edison destaca por su versatilidad, libertad de programación y precio accesible, lo que lo convierte en una opción atractiva para su implementación en actividades educativas de diversos niveles.

El uso de robots en el ámbito educativo abarca desde preescolar (Dash and Dot) hasta nivel universitario (FOSSBot), ofreciendo un amplio rango de habilidades y conocimientos, en la Tabla 3 se muestra una comparación de las experiencias de aula documentadas para cada uno de los robots estudiados. Robots como Edison, mBot y Ozobot emplean programación gráfica o por bloques, facilitando un aprendizaje progresivo de la programación. FOSSBot, por su parte, admite programación avanzada y exploración en inteligencia artificial e internet de las cosas. Kit Bee Bot y Lego Spike se enfocan en el diseño y construcción modular, mientras que Cubit y FOSSBot, al ser de código abierto, permiten personalizaciones y modificaciones profundas. Dash and Dot y Bee Bot adoptan un enfoque lúdico y pedagógico para los más pequeños, por su parte FOSSBot brinda a los estudiantes universitarios la oportunidad de profundizar en áreas técnicas avanzadas.

Los robots analizados, gracias a su variedad de componentes, permiten actividades escolares prácticas que fortalecen el aprendizaje STEM y desarrollan el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo en equipo. Los estudiantes pueden aprender programación básica controlando los movimientos del robot, resolviendo laberintos o siguiendo líneas, desarrollando así habilidades de geometría y cálculo. Además, pueden explorar conceptos de física como velocidad y aceleración y aplicar matemáticas para ajustar movimientos. La construcción y ensamblaje del robot fomenta el aprendizaje de diseño estructural y mecánico. En niveles avanzados, los robots pueden utilizar algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para desafíos de navegación y clasificación, mientras el trabajo en equipo promueve la colaboración y gestión de roles.

En general, existen opciones de robots con capacidades de adaptación y uso en la educación tanto para los más pequeños como para los más experimentados, versátiles en cuanto a funcionalidades, componentes disponibles, formas de programación y con posibles colaboraciones o adaptaciones para el caso de los de código abierto. El mejor dependerá de las necesidades, limitaciones, recursos y experiencia de los usuarios.

Conclusiones

La aplicación de robots en la educación ha demostrado ser una estrategia efectiva para motivar a los estudiantes y facilitar el aprendizaje en el aula. Las investigaciones expuestas en este trabajo sugieren que la innovación tecnológica, generada por los robots, crea un ambiente de aprendizaje más atractivo y estimulante para los estudiantes.

Al comparar diferentes robots educativos, se observa que aquellos con más funcionalidades tienden a tener un costo más elevado. Por lo tanto, para las instituciones educativas, es importante buscar un equilibrio entre funcionalidad y precio al seleccionar un robot para sus actividades. Aunque robots como los de LEGO ofrecen una amplia gama de funcionalidades, su alto precio puede ser una barrera para su adquisición.

Por otro lado, robots como Edison representan una alternativa atractiva debido a su equilibrio entre funcionalidad y precio. Sin embargo, una limitación común a todos los robots analizados es que su uso está sujeto a una licencia privada, lo que limita la flexibilidad y adaptabilidad del software y hardware a las necesidades específicas de cada institución educativa. Por lo tanto, se destaca la necesidad de desarrollar robots educativos de código abierto que permitan una mayor personalización y adaptación a diferentes contextos educativos.

Los robots educativos Edison, Dash and Dot, Kit Bee Bot, Lego Spike, mBot, Ozobot, FOSSBot y Cubit cubren una amplia gama de niveles educativos y habilidades, desde conceptos básicos en preescolar hasta tecnología avanzada en el ámbito universitario. Cada uno presenta funcionalidades y características particulares que los hacen ideales para diferentes etapas del aprendizaje STEM, permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas en programación, robótica y ciencias computacionales de forma progresiva.

Se observa que la integración de robots en la enseñanza a menudo se centra exclusivamente en la enseñanza de la lógica computacional, dejando de lado la integración de otras disciplinas STEM. Esto resulta en un enfoque limitado y artificial que no aprovecha todo el potencial educativo de los robots.

Se destaca la importancia de desarrollar propuestas educativas integrales que abarquen aspectos desde la construcción del robot hasta su implementación en actividades diseñadas para enseñar y desarrollar

habilidades matemáticas, tecnológicas y científicas de una manera integral.

Agradecimientos

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, del Instituto Tecnológico de Costa Rica (VIE-ITCR), por su apoyo y soporte al proyecto Atta-Bot STEM: Impulsando la educación pública mediante una plataforma robótica desarrollada por el TEC (código 1440049).

Referencias

- [1] R. Hernandez, "Impacto de las TIC en la educación: Retos y Perspectivas," *Propósitos y Representaciones. Revista de Psicología Educativa Propósitos y Representaciones*, vol. 5, no. 1, pp. 325-347, 2017, <http://doi.org/10.20511/pyr2017.v5n1.149>.
- [2] N. Barrera Lombana, "Uso de la robótica educativa como estrategia didáctica en el aula," *Prax. saber*, vol. 6, n.º 11, pp. 215-234, 2015, <https://doi.org/10.19053/22160159.3582>.
- [3] E. Lopez-Caudana, M.S. Ramirez-Montoya, S. Martínez-Pérez, and G. Rodríguez-Abitia, "Using Robotics to Enhance Active Learning in Mathematics: A Multi-Scenario Study," *Mathematics*, vol. 8, no. 12, p. 2163, 2020, <https://doi.org/10.3390/math8122163>.
- [4] J.-Y. Chao, C.-H. Liu, and H.-C. Kao, "Science, Technology, Engineering, and Mathematics Curriculum Design for Teaching Mathematical Concept of Perspective at Indigenous Elementary School Using Robots," *Sens. Mater.*, vol. 35, no. 5, pp. 1547-1556, 2023, <https://doi.org/10.18494/sam4051>.
- [5] E. Ospennikova, M. Ershov, and I. Iljin, "Educational robotics as an innovative educational technology," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 214, pp. 18-26, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.588>.
- [6] V. PrietoDíaz, I. Quiñones La Rosa, G. Ramírez Durán, Z. Fuentes Gil, T. Labrada Pavón, O. Pérez Hechavarría, and M. Montero Valdés, "Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación y nuevos paradigmas del enfoque educativo," *Educación Médica Superior*, vol. 25, no. 1, pp. 95-102, 2011.
- [7] Meet Edison, "The Edison robot's inputs, outputs and sensors," 2024, [Online] <https://meetedison.com/edison-robots-sensors/>.
- [8] J. Leoste and M. Heidmets, "The Role of Educational Technologist in Robot Supported Math Lessons," in *Robot 2019: Fourth Iberian Robotics Conference*, M. Silva et al., Eds. Cham: Springer, 2020, vol. 1092, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 367-377. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35990-4_38.

- [9] Wonder Workshop, "Get ready to roll," 2024, [Online] <https://www.makewonder.com/en/dash/>.
- [10] K. Heljakka, P. Ihamäki, P. Tuomi, and P. Saarikoski, "Gamified Coding: Toy Robots and Playful Learning in Early Education," 2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 800-805, <https://doi.org/10.1109/CSCI49370.2019.00152>.
- [11] TTS, "Bee-Bot® Programmable Floor Robot," 2024, [Online] <https://www.tts-group.co.uk/bee-bot-programmable-floor-robot/1015268.html>.
- [12] M. J. Seckel, C. Salinas, V. Font, and G. Sala-Sebastia, "Guidelines to develop computational thinking using the Bee-bot robot from the literature," *Education and Information Technologies*, vol. 28, no. 12, pp. 16127-16151, 2023, <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11843-0>.
- [13] M. F. Torrejón and N. Ventura-Campos, "Enseñanza-aprendizaje músico-matemático utilizando robótica educativa," *3C TIC: cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, vol. 8, no. 3, pp. 12-37, 2019, <https://doi.org/10.17993/3ctic.2019.83.12-37>.
- [14] A. Prakash, D. A. Dingus, and M. S. B. Siddiq, "LEGO: Leading Innovation Strategically," *History & Technology*, vol. 24, no. 3, pp. 221-237, 2017.
- [15] K. Pribilova and D. Gabriska, "Use of Lego Mindstorms EV3 MATLAB/Simulink with a focus on technical education," in 2021 19th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), pp. 307-312, IEEE, 2021, <https://doi.org/10.1109/ICETA54173.2021.9726583>.
- [16] S. L. Casler-Failing, "Robotics and math: using action research to study growth problems," *The Canadian Journal of Action Research*, vol. 19, no. 2, pp. 4-25, 2018, <https://doi.org/10.33524/cjar.v19i2.383>.
- [17] P. Ponce, A. Molina, O. Mata, and G. Baltazar, "LEGO® EV3 Platform for STEM Education in Elementary School," in Proceedings of the 2019 8th International Conference on Educational and Information Technology, pp. 177-184, 2019, <https://doi.org/10.1145/3318396.3318426>.
- [18] I. Matyushchenko, E. Zvereva and T. Lavina, "Development of Algorithmic Thinking by Means of Lego Mindstorms Ev3 on Robotics," 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), Yekaterinburg, Russia, 2020, pp. 444-447, <https://doi.org/10.1109/USBREIT48449.2020.9117764>.
- [19] E. Anastasaki and K. Vassilakis, "Experimental commands development for LEGO WeDo 2.0 in Python language for STEAM robotics advanced classes," *Advances in Mobile Learning Educational Research*, vol. 2, no. 2, pp. 443-454, 2022, <https://doi.org/10.25082/AMLER.2022.02.013>.
- [20] M. A. L. Araujo, M. Chacón-Castro, J. M. G. Goitia, and H. Arias-Flores, "Wedo 2.0 and Lego Education for the Logical Development of Elementary School Children," in *Information Technology and Systems. ICITS 2024.*, Á. Rocha et al., Eds. Cham: Springer, 2024, vol. 933, Lecture Notes in Networks and Systems, https://doi.org/10.1007/978-3-031-54256-5_37.
- [21] L. Usengül and F. Bahçeci, "The Effect of LEGO WeDo 2.0 Education on Academic Achievement and Attitudes and Computational Thinking Skills of Learners toward Science," *World Journal of Education*, vol. 10, no. 4, pp. 83-93, 2020, <https://doi.org/10.5430/wje.v10n4p83>.
- [22] P. N. Chou and R. C. Shih, "Engineering Design Thinking in LEGO Robot Projects: An Experimental Study," in *Innovative Technologies and Learning, ICITL 2022*, Y. M. Huang et al., Eds. Cham: Springer, 2022, vol. 13449, Lecture Notes in Computer Science, pp. 324-333, https://doi.org/10.1007/978-3-031-15273-3_36.
- [23] Makeblock, "Mbot Robot Kit," 2024, [Online] <https://www.makeblock.com/>.
- [24] H. Gómez Rodríguez, "Robótica educativa utilizando el mBot en estudiantes de educación básica," *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, vol. 13, no. 25, 2022, <https://doi.org/10.23913/ride.v13i25.1274>.
- [25] J. M. Sáez-López, M. L. Sevillano-García, and E. Vazquez-Cano, "The effect of programming on primary school students' mathematical and scientific understanding: educational use of mBot," *Education Tech Research Dev*, vol. 67, pp. 1405-1425, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09648-5>.
- [26] Ozobot, "About us," 2024, [Online] <https://ozobot-homepage.appspot.com/about-us>.
- [27] N. Körber, L. Bailey, L. Greifenstein, G. Fraser, B. Sabitzer, and M. Rottenhofer, "An Experience of Introducing Primary School Children to Programming using Ozobots (Practical Report)," in Proceedings of the 16th Workshop in Primary and Secondary Computing Education, October 2021, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1145/3481312.3481347>.
- [28] R. Fojtik, "The Ozobot and education of programming," *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, vol. 4, no. 5, 2017, <https://doi.org/10.18844/prosoc.v4i5.2666>.
- [29] L. Greifenstein, I. Graßl, U. Heuer, and G. Fraser, "Common problems and effects of feedback on fun when programming ozobots in primary school," in Proceedings of the 17th Workshop in Primary and Secondary Computing Education, October 2022, pp. 1-10, <https://doi.org/10.1145/3556787.3556860>.

- [30] C. Chronis I. Varlamis. "FOSSBot: An Open Source and Open Design Educational Robot," *Electronics*, vol. 11, no. 16, 2606, 2022. <https://doi.org/10.3390/electronics11162606>
- [31] G. Kazazis, C. Chronis, C. Diou, and I. Varlamis. "Development and evaluation of Reinforcement Learning models for the FOSSBot Open-Source educational robot," In *Proceedings of the 27th Pan-Hellenic Conference on Progress in Computing and Informatics (PCI '23)*. Association for Computing Machinery, New York, 2024, pp. 26–35. <https://doi.org/10.1145/3635059.3635064>
- [32] Z. Mamatnabiyev, C. Chronis, I. Varlamis, Y. Himeur and M. Zhaparov. "A Holistic Approach to Use Educational Robots for Supporting Computer Science Courses," *Computers*, vol. 13 no. 4, 102, 2024. <https://doi.org/10.3390/computers13040102>
- [33] Cubi: un robot simple et bas coût. EirLab: High-Tech FabLab, 2024 [Online] <https://www.eirlab.net/2021/07/19/cubi/>

Información de Contacto de los Autores:

Cindy Calderón-Arce

Agua Caliente
Cartago
Costa Rica

ccalderon@itcr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-0077-225X>

Rebeca Solís-Ortega

Dulce Nombre
Cartago
Costa Rica
rsolis@itcr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-3065-8386>

Juan Carlos Brenes-Torres

Occidental
Cartago
Costa Rica

juanbrenes@itcr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-6323-2173>

Cristhian Chavez-Montoya

Oriental
Cartago
Costa Rica

acrismontoya@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-2090-8247>

Kenneth Mejía-Luna

Oriental
Cartago
Costa Rica

kennethluna16k@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-8485-995X>

José Pablo Calderón Gairaud

Oriental
Cartago
Costa Rica

jose03pcg@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-7381-5134>

Rebeca Solís-Ortega

Máster en Computación con énfasis en Ciencias de la Computación. Licenciada en Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora. Profesora de la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cindy Calderón-Arce

Doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis de Tecnologías Electrónicas Aplicadas. Máster en Matemática Aplicada. Profesora de la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Juan Carlos Brenes-Torres

Máster en Automática e Informática Industrial. Estudiante doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España. Licenciado en Ingeniería Electrónica. Profesor de la Escuela de Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cristhian Chavez-Montoya

Bachiller en Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos. Estudiante de la licenciatura en Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Kenneth Mejía Luna

Bachiller en Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos. Estudiante de la licenciatura en Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

José Pablo Calderón Gairaud

Bachiller en Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos. Estudiante de la licenciatura en Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica.