

Robótica educativa como herramienta para el desarrollo del pensamiento computacional. Una revisión de la literatura

Isabel C. Mejía C., Byron G. Salazar E., René F. Zúñiga M., Julio A. Hurtado

Grupo IDIS, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia
imejia@unicauca.edu.co, bgse@unicauca.edu.co, fabianmunoz@unicauca.edu.co, ahurtado@unicauca.edu.co

Resumen— El desarrollo de pensamiento computacional viene emergiendo como un área de desarrollo educativo por su relevancia en la resolución de problemas. Sin embargo, es un área que requiere aún de modelos y estrategias para formar estudiantes y evaluar la adquisición de las habilidades relacionadas. Una de esas estrategias es la robótica educativa, en la cual se ofrece una motivación adicional a los niños para la creación y desarrollo de soluciones basadas en software. En este artículo se presenta una revisión de la literatura, en un intento por profundizar en la forma en que varios investigadores perciben la relación entre la robótica educativa y el pensamiento computacional, mostrando en dónde estas dos corrientes confluyen e indagando por la manera en que la primera puede contribuir sobre el desarrollo del segundo. Además, se exponen algunos hallazgos encontrados en la literatura sobre cuáles son aquellas habilidades de pensamiento computacional que se ven afectadas por las actividades con robótica. Finalmente, se abordan algunas críticas relevantes sobre la forma en que estos dos aspectos se integran en la práctica.

Palabras clave— pensamiento computacional, robótica educativa, abstracción, descomposición, algoritmos, generalización.

Recibido: 11 de octubre 2021. Revisado: 26 de noviembre 2021. Aceptado: 21 de enero de 2022.

Educational robotics as a tool for computational thinking development. A literature review.

Abstract— The development of computational thinking has been emerging as an educational development area due to its relevance in problem solving. However, it is still an area that needs models and strategies to prepare students and assess the learning of related skills. One of such strategies is Educational Robotics, which offers additional motivation for children to create and develop software-based solutions. This article presents literature review as an attempt to get deep into the way how researchers see the relationship between Educational Robotics and Computational Thinking, showing where these currents converge and also investigating the way in which Educational Robotics can contribute to the development of the Computational Thinking. In addition, some literature findings on what Computational Thinking skills are affected by robotics activities are exposed. Finally, some relevant criticisms about the way in which these two aspects are integrated in practice are addressed.

Keywords— Computational thinking, educational robotics, abstraction, decomposition, algorithm, generalization.

1 Introducción

La presente revisión de la literatura tiene por objetivo caracterizar el papel de la Robótica Educativa (RE) en el desarrollo del Pensamiento Computacional (PC) y, particularmente, identificar aquellos trabajos que soportan alguna o algunas de las habilidades primarias del pensamiento computacional. Se pretende con este trabajo responder a los siguientes cuestionamientos:

¿Existe interés en el relacionamiento del pensamiento computacional y la robótica educativa? ¿Cómo confluyen el pensamiento computacional y la robótica educativa? ¿Qué

aportes pueden identificarse de la RE al campo del desarrollo del pensamiento computacional? ¿Qué tan eficaz es el uso de la robótica educativa en el desarrollo de las habilidades del pensamiento computacional? ¿Qué trabajos relevantes existen que presenten experiencias prácticas sobre la utilización de la RE para el desarrollo del PC? ¿Qué habilidades del Pensamiento Computacional son tenidas en cuenta en los estudios que integran la Robótica Educativa como vehículo para su desarrollo?

Para responder a estas preguntas, este artículo se estructura de la siguiente manera: la sección 2 introduce los conceptos de Pensamiento Computacional y Robótica Educativa; la sección 3 narra la manera en que fueron seleccionados los documentos revisados; la sección 4 habla de la distribución de los documentos revisados; la sección 5 indaga sobre la relación entre la Robótica Educativa y el Pensamiento Computacional; la sección 6 expone, de acuerdo con la literatura revisada, la influencia en la eficacia que tiene la Robótica Educativa en el desarrollo del Pensamiento Computacional; por último, la sección 7 recoge las recomendaciones más relevantes en las investigaciones consultadas sobre el particular.

2 Marco teórico

2.1 Pensamiento Computacional

Las raíces del pensamiento computacional pueden rastrearse hasta el trabajo de Seymour Papert en las décadas de 1980 y 1990 con el lenguaje de programación LOGO y el desarrollo del pensamiento procedimental en niños a través de la programación [1], [2]. Ya desde 2006, Jeannette Wing [3] popularizó el término pensamiento computacional, sosteniendo que éste involucra la solución de problemas, el diseño de sistemas y la comprensión del comportamiento humano con base en los conceptos fundamentales de la informática, y que comprende -pero no se limita a- la reformulación de problemas, el pensamiento recursivo, el procesamiento paralelo, la interpretación de código como información y viceversa, la abstracción, la descomposición y la modularidad, y el razonamiento heurístico. Wing se refirió al PC como una habilidad fundamental para cualquier persona y que, junto con la lectura, la escritura y la aritmética, debería hacer parte de la capacidad analítica de cada niño. A partir de esta visión originaria, han surgido diversos intentos por obtener una

definición concreta y certera de lo que es el Pensamiento Computacional, como los de Selby y Woollard [4] o Brennan y Resnick [5], sin que hasta el momento se haya llegado a un consenso al respecto [6], [4], [7].

Para no ir más lejos, la misma Wing refinaría más adelante su concepción del PC para visualizarlo como un marco para el pensamiento y, más precisamente, como “el proceso de pensamiento involucrado en la formulación de un problema y la expresión de su(s) solución(es), de tal manera que una computadora -humana o máquina- pueda ejecutarla efectivamente” [8], destacando la abstracción como su esencia y resaltando, al igual que otros investigadores, que no se trata solamente de solucionar un problema, sino también de formularlo [9], [10], [11], [12].

De acuerdo con Google for Education [12], los conceptos del PC son aquellos procesos mentales y los resultados tangibles asociados con la solución de problemas, incluyendo:

- Abstracción: identificación y extracción de información relevante para definir la(s) idea(s) principal(es).
- Diseño de algoritmos: creación de una serie ordenada de instrucciones para resolver problemas similares o para realizar una tarea.
- Automatización: hacer que computadoras u otras máquinas realicen tareas repetitivas.
- Análisis de datos: lograr que los datos tengan sentidos al encontrar patrones o indicios.
- Recolección de datos: recoger información.
- Representación de datos: representar y organizar información en gráficas, tablas, palabras o imágenes adecuadas.
- Descomposición: separar los datos, procesos o problemas en partes más pequeñas y manejables.
- Paralelismo: Procesamiento simultáneo de tareas más pequeñas a partir de una más grande para alcanzar una meta común de forma más eficiente.
- Generalización de patrones: creación de modelos, reglas, principios o teorías de patrones observados para evaluar los resultados previstos.
- Simulación: desarrollo de un modelo para imitar procesos del mundo real.

2.2 Robótica Educativa

Aunque a primera vista pudiera parecer lo contrario, los conceptos del PC no se encuentran ligados exclusivamente al código y pueden, por tanto, impulsarse mediante otras herramientas y actividades [13], [14]. Así por ejemplo, a pesar de que gran parte de las aplicaciones de la tecnología robótica en la educación se ha enfocado en apoyar la enseñanza de áreas íntimamente relacionadas con aquella, tales como la construcción y programación de robots, la robótica tiene un impacto potencial en el aprendizaje de las áreas STEM [15], en el desarrollo cognitivo y también de habilidades de investigación, pensamiento creativo, toma de decisiones, resolución de problemas, comunicación y habilidades de trabajo en equipo [16], todas ellas muy en sintonía con los lineamientos del pensamiento computacional. Concretamente, se ha postulado que las actividades de robótica programable en

la educación STEM tienen un impacto positivo en el desarrollo del PC [17], [1]. La robótica educativa puede facilitar el aprendizaje activo, promover el razonamiento y el pensamiento crítico, y también mejorar el interés y motivación del estudiante para abordar temas a menudo complejos o abstractos [18]. El hecho de que éste pueda manipular y experimentar con estas herramientas robóticas en un ambiente de aprendizaje hace que pueda trabajar con problemas del mundo real y centrar sus percepciones y observaciones en la actividad que está realizando [19].

No se puede discutir que la Robótica Educativa está cada vez más presente en los centros educativos de todo el mundo [15], [16] pero, a pesar de su creciente uso, no existe un concepto común de aquello que representa. Existe acuerdo, eso sí, en que el valor de la RE no está en enseñar robótica a los estudiantes, sino en aprovechar su carácter multidisciplinar para la construcción de un objeto tecnológico que tiene un fin concreto y que desarrolla habilidades claves para el alumnado del siglo XXI [19], habilidades entre las cuales, por supuesto, sobresale el Pensamiento Computacional ya que, cuando se habla de programación y de robótica, se habla inherentemente del PC.

3 Materiales y métodos

Esta revisión se concentró en buscar artículos que utilizan o proponen aplicar la Robótica Educativa como medio para el desarrollo de habilidades de Pensamiento Computacional, y tuvo como insumos publicaciones que incluyeran en alguna parte de su contenido los términos “Educational Robotics” y “Computational thinking”, o sus equivalentes en español, encontrados en las bases SpringerOpen [20], SpringerLink [21], ResearchGate [22], ACM Digital Library [23], IEEE Xplore [24], ERIC [25] y ASEE PEER [26], además de tres publicaciones seleccionadas bajo el mismo criterio con el buscador de Google. La búsqueda se llevó a cabo entre el 19 y el 23 de agosto de 2020, empleando la cadena de búsqueda “(“educational robotics” OR “educational robots” OR “robótica educativa” OR “robots educativos”) AND (“computational thinking” OR “pensamiento computacional”)”, habiéndose obtenido 395 resultados.

Sobre esas 395 publicaciones se aplicaron los criterios de exclusión que se indican a continuación:

Criterio de Exclusión 1 (CE1): Documentos que no fueron revisados. Los artículos encontrados no pudieron revisarse, sea porque el documento no se encontraba en idioma inglés o español, estaba incompleto o no estaba disponible en el momento de la consulta.

Criterio de Exclusión 2 (CE2): Documentos duplicados. Los artículos ya aparecen en alguna de las otras bases consultadas y, por tanto, se trata de documentos duplicados.

Criterio de Exclusión 3 (CE3): Documentos no relacionados con el objeto de estudio. Aunque las expresiones referentes a Robótica Educativa y Pensamiento Computacional aparecen en el documento, el artículo no se trata de RE o no se trata de PC; es decir, al menos uno de ellos no es parte principal del mismo. En ocasiones, estas expresiones aparecen tan solo en la bibliografía.

Criterio de Exclusión 4 (CE4): Documentos fuera del alcance de este proyecto. La relación entre RE y PC, es decir, la forma en que la RE influye en el desarrollo de las habilidades de PC, no es el tema central, no se establece o no se explica. Bajo este criterio también se agrupan artículos en los que los conceptos de PC divergen considerablemente de aquellos

considerados en el presente estudio, en algunos casos porque no se derivan de alguna definición conocida y concreta de él.

La Fig. 1 ilustra el proceso de selección de las publicaciones estudiadas, partiendo de los resultados de la búsqueda inicial y siguiendo con la posterior aplicación de los criterios de exclusión ya explicados.

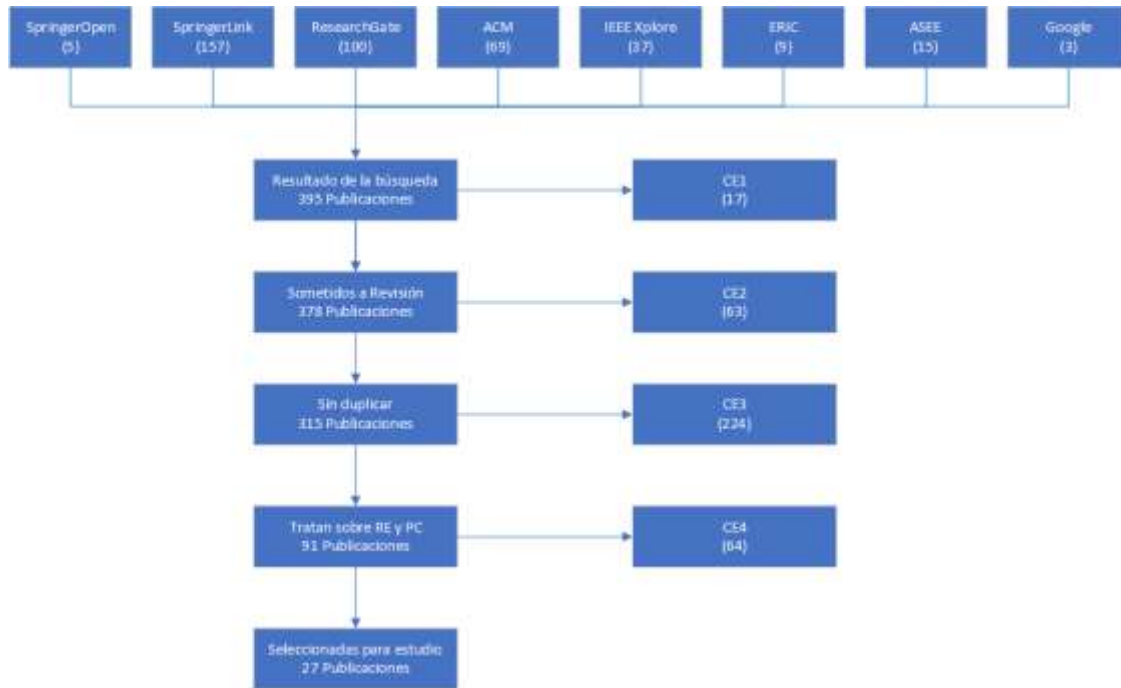


Figura 1. Proceso de selección de las publicaciones, de acuerdo con la aplicación sucesiva de los criterios de exclusión. Fuente: Los autores.

Tras ejecutar la búsqueda con la cadena indicada se obtuvieron 395 publicaciones. De ellas, 17 cayeron en el primer criterio de exclusión, quedando 378 publicaciones sometidas a revisión. El segundo criterio de exclusión cubrió a 63 publicaciones, obteniéndose 315 publicaciones únicas. El tercer criterio de exclusión abarcó 224 publicaciones, por lo que 91 tratan sobre RE y PC. De estas últimas, 64 fueron eliminadas por el cuarto criterio de exclusión, por lo que, finalmente, 27 fueron seleccionadas para este estudio. En el anexo A se presenta una lista completa de éstas.

4 Distribución de los documentos seleccionados

En general, y tras aplicar los criterios de exclusión anteriormente expuestos, las publicaciones consideradas pueden clasificarse en dos grandes grupos: aquellas que tratan asuntos netamente teóricos, como las dedicadas a la revisión de literatura o la presentación de modelos, y aquellas que, solamente o en adición a lo anterior, reportan el resultado de experiencias prácticas.



Figura 2. Distribución a) por cantidad y b) por porcentaje de los documentos seleccionados para revisión. Fuente: Los autores.

En el primer grupo se encontraron 9 publicaciones, correspondientes a un 33,33% del total, mientras que, en el segundo, las 18 publicaciones restantes, para un 66,67%. La distribución de los documentos seleccionados se observa en la Fig. 2.

5 La robótica educativa y el pensamiento computacional

Como había sido anticipado por Catlin y Woollard [6], varios autores, como Atmatzidou y Demetriadis [27], Ioannou [28] o Istikomah y Budiyanto [29], señalan un incremento reciente durante la última década en el interés de la comunidad investigativa por la contribución de la robótica en el desarrollo de la solución de problemas y las habilidades de pensamiento computacional. De hecho, citando a [30], la comunidad internacional promueve el uso de programación tangible, a través de RE, para alcanzar el desarrollo del PC. El desarrollo de nuevas tecnologías y su adaptación al contexto escolar han permitido que se establezcan iniciativas y proyectos con el propósito de fortalecer nuevas habilidades y competencias en los participantes. Estos proyectos son posibles con el uso de la robótica y de las interfaces de programación gráfica [31], [32].

5.1 Confluencia entre la robótica educativa y el pensamiento computacional

En general, existe coincidencia entre los artículos consultados al ubicar al construccionismo, una extensión del constructivismo, como la teoría dominante en la intersección entre la Robótica Educativa y el Pensamiento Computacional, estrechamente relacionado con la programación, pero haciendo énfasis en que PC no es programación [6]. El constructivismo de Piaget indica que los humanos aprenden no solamente mediante la transmisión del saber, sino también involucrándose en actividades o conocimientos basados en su propia experiencia, de forma que la teoría es muy bien interpretada por los alumnos cuando se aplica a cuestiones o problemas de la vida real, a través de la creación y la innovación. La teoría construccionista de Papert agrega que el conocimiento será más efectivo si los aprendices, además, construyen productos relacionados con él a través de sus propias experiencias [33], convirtiéndose en aprendices activos mientras interactúan con artefactos físicos y empleando tecnología; dicho de otra forma, que el aprendizaje es verdaderamente significativo, duradero y exitoso cuando los estudiantes participan activamente en la construcción de su propio conocimiento, de forma que lo interiorizan mejor y lo manifiestan tangiblemente en el mundo real a través de sus creaciones [31], [34], trátase un robot, un castillo de arena, una historia o un programa de computadora, y luego reflexionan cuidadosamente sobre el proceso. El construccionismo, por sí mismo, incluye involucrar activamente al aprendiz, de forma que éste construye un entendimiento o significado de lo que ha hecho. En síntesis, coincidiendo con González, “la robótica educativa se presenta como una herramienta propicia para el aprendizaje mediante la filosofía construccionista ya que permite trasladar la experiencia obtenida mediante la interacción de la herramienta con el entorno en un determinado contexto, en ideas que transforman las percepciones y conocimientos previos” [35].

5.2 Aportes de la robótica educativa al pensamiento computacional

Partiendo de lo anterior, en concordancia con las aproximaciones constructivistas y construccionistas, la importancia de la RE para el desarrollo del PC, radica en su capacidad de involucrar el uso de computadoras y el diseño, construcción y operación de robots, que son empleados a manera de controles, sensores y procesadores de información, a través de los cuales los estudiantes pueden lograr un valioso aprendizaje, pasando de los conceptos abstractos y poco familiares a la robótica como objeto tangible [29], [31] o, dicho de otra forma, uniendo la abstracción y la realidad de una manera concreta, pasando de lo abstracto a lo tangible [27], [30]. Las actividades de RE necesarias para ello, que incluyen montaje, programación y pruebas, resaltan las habilidades del PC [33], ya que, los estudiantes pueden pensar, diseñar, crear y manipular objetos, mientras reflexionan y colaboran entre ellos [36], además de que motivan y animan a los estudiantes a resolver problemas auténticos que son significativos para ellos, brindándoles la oportunidad de ver directa y visualmente el resultado de su solución [27]. Tratar con RE, por medio de la programación de un robot, puede dar a los estudiantes el beneficio adicional de interactuar con un objeto concreto en la construcción del conocimiento, al tiempo que los alienta a pensar activamente, analizar situaciones y aplicar pensamiento crítico y solución de problemas en el mundo real [28]. Los robots programables son considerados como una herramienta cognitiva de gran valor, gracias a las características físicas y tangibles del recurso que se convierte en un factor motivador que favorece el interés de los niños [31], [32] y les ofrece la oportunidad de interesarse y desarrollar habilidades de PC [29], [37]. El uso de robots permite a los estudiantes ver el resultado de su programación, recibir realimentación visual, ya que pueden observar con mayor facilidad el comportamiento del programa y los errores a depurar, los motiva a resolver inconvenientes de programación e implementación, ofreciendo una forma concreta de engancharse con el PC [6] y facilitando el aprendizaje de sus conceptos; entonces, además de ser una oportunidad para aprender sobre sensores y programación, la RE también permite aprender sobre secuenciación, depuración y bucles de programación [38].

La robótica es uno de los recursos de tecnología educativa que actualmente se están utilizando para fomentar el desarrollo de actividades educativas que faciliten el aprendizaje del pensamiento computacional y las habilidades de programación [39]. La integración de las actividades con robótica en el proceso de enseñanza-aprendizaje es posible, entre otras formas, al vincular las primeras con la construcción y programación de robots, empleando engranes, sensores, actuadores y lenguajes de programación, por mencionar algunas: [31], [32]. Además, la RE ha sido empleada para actuar como herramienta de construcción y programación para promover la solución de problemas y el desarrollo del PC, la codificación y la ingeniería. Por esto, la RE no solamente ofrece una plataforma apropiada para el desarrollo de habilidades en forma divertida y significativa, sino que también proporciona oportunidades para lidiar con un rango de disciplinas como

ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), alfabetización, estudios sociales, danza, música y arte [28].

Además de los beneficios aportados directamente por la RE al PC, Isaini y Budiayanto, agregan que el uso de robots motiva el aprendizaje de los estudiantes [37] y que puede incrementar la confianza durante el aprendizaje [40], así como también, según otros estudios, produce una mejora significativa en la comunicación, el trabajo colaborativo, la creatividad, la autonomía, el liderazgo [30], [41], el interés y la motivación [42].

Resumiendo, la RE es un camino que ha sido probado en múltiples ocasiones para acercar el PC a los estudiantes. La RE proporciona un conjunto de materiales que satisfacen la necesidad de recursos del PC, al tiempo que las actividades robóticas aportan una madurez experimental que puede ayudar a que la teoría del PC se transforme en práctica exitosa [6].

6 Eficacia de la robótica educativa en el desarrollo del pensamiento computacional

Algunas de las publicaciones teóricas seleccionadas, como [29], [37] y [40] afirman haber encontrado evidencia de que la RE no sólo facilita el desarrollo de las habilidades de PC de los estudiantes, sino que produce un impacto positivo en ellas. En forma más cautelosa, en [43] Anwar y colaboradores sugieren que tal evidencia no es suficiente para llegar a una conclusión sobre la efectividad de los robots educativos en la respuesta de aprendizaje y habilidades de los estudiantes [43]. En forma similar, Para Ioannou y Makridou [28], el intento de apoyar el desarrollo del PC a través de la robótica educativa parece haber resultado en el desarrollo de habilidades relevantes del siglo XXI; sin embargo, la mejora del PC como una habilidad más compleja que incluye descomposición, abstracción, algoritmos y depuración no estaba del todo clara; ellos encontraron un número cada vez mayor de investigadores argumentando que es posible mejorar varias habilidades del PC a través de la robótica educativa, particularmente algunas como descomposición, abstracción, algoritmos y depuración; creen, sin embargo, que aún hay muy poca evidencia empírica para confirmar o rechazar estos resultados.

Pasando a hablar de las 18 publicaciones que reportan 15 diferentes experiencias de aplicación de la RE para el desarrollo de habilidades del PC, puede decirse que han estudiado un amplio rango de ellas, recordando que no existe una definición única y estandarizada ni del PC, ni mucho menos de las habilidades que la componen. En el Anexo B se muestra una tabla indicando los estudios de este tipo que se revisaron, relacionándolos con la edad o grado de escolaridad de los participantes, el robot (hardware) y el entorno o lenguaje de programación (software) empleados, las habilidades de PC y otros conceptos que se busca desarrollar o reforzar, así como el tipo de evaluación aplicado y la existencia o no de un grupo de control.

Las habilidades de PC referidas en estos estudios son secuenciación, descomposición, modularidad, algoritmos, abstracción, generalización de patrones, depuración y otras como correspondencia instrucción-acción o pensamiento lógico que, no siendo menos importantes, no se encuentran cubiertas

por alguna de las definiciones trabajadas en el presente proyecto.

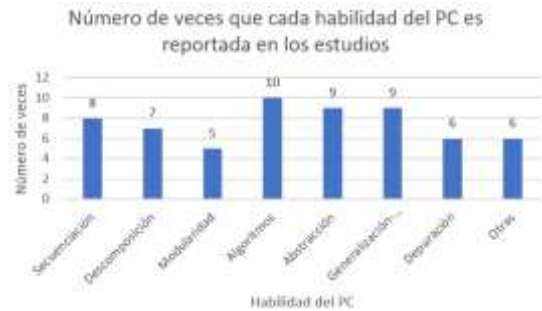


Figura 3. Relación entre las habilidades del PC y el número de veces estudiada en los estudios prácticos.

Fuente: Los autores.

Como puede apreciarse en la Fig. 3, los algoritmos son la habilidad que más se estudia, en 10 de los 15 estudios, seguida por abstracción y generalización de patrones, ambas en 9 estudios. Entre otros conceptos que los investigadores persiguen desarrollar con este tipo de estudios están la colaboración, interés, motivación, autoconfianza, creatividad, autonomía, liderazgo y comunicación.

Desafortunadamente, la edad de los participantes no aparece en todos los estudios en forma explícita y, en varios casos, solamente puede inferirse aproximadamente a partir de su escolaridad; puede decirse, eso sí, que no es uniforme y que cubre desde los 3 años hasta estudiantes en edad universitaria.

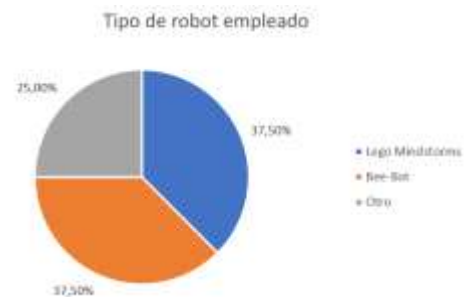


Figura 4. Tipo de robot empleado en los estudios.

Fuente: Los autores.

En la Fig. 4 se observa el tipo de robot utilizado, siendo los más populares Lego Mindstorms, en cualquiera de sus variantes, y Bee-Bot, ambos con un 37,50%. Es justo mencionar aquí la existencia de otras herramientas de este tipo, como las incluidas por González en [35], destacando KIBO, Blue-Bot y el mismo Bee-Bot, Roamer, Cubetto y Code a Pillar, a los que se pueden añadir mBot, Makey Makey y muchos otros. Puede verse también que el tipo de robot a utilizar guarda una fuerte relación con la edad de la población objeto del estudio, estando Bee-Bot dirigido a los más jóvenes, a partir de los 3 años, y Lego Mindstorm en edades mayores.

La forma de evaluar los resultados también es bastante variada, y abarca técnicas como entrevistas, cuestionarios, tests (antes y después), quizzes, rúbricas, “think-aloud”, etc.

Es importante resaltar que tan sólo 6 de los 15 estudios, equivalente a un 40%, utilizan un grupo de control como medio para contrastar los resultados, contra 9 que no lo hacen y que corresponden al 60%. En cuanto a los resultados particulares de

los estudios en cuestión, Phetsrikran y otros [44] dicen haber conseguido un claro patrón de mejoramiento del PC (lógica, descomposición, algoritmos, abstracción, patrones y evaluación). Atmatzidou y Demetriadis sostienen que los estudiantes se familiarizan con los conceptos de PC y los integran satisfactoriamente al solucionar problemas en actividades de RE [1]. En su investigación, los estudiantes desarrollaron con bastante éxito las habilidades de PC, siendo algoritmos, modularidad y descomposición aquellas con que se familiarizaron más y en menor tiempo, y abstracción y generalización con las que tuvieron mayor dificultad. Vallance y Towndrow [45], apoyados en este trabajo previo de Atmatzidou y Demetriadis, confirmaron estos mismos hallazgos. En [33] se reporta que los participantes en su estudio mostraron variados grados de habilidades de PC.

Más adelante, Atmatzidou y Demetriadis retoman su trabajo en [46], sugiriendo con su investigación que ni la edad ni el género son impedimento para que los estudiantes alcancen, eventualmente, el mismo nivel de desarrollo de habilidades de PC y que éstas, en la mayoría de los casos, requieren tiempo para desarrollarse completamente. Es importante traer a colación aquí, como aporte para esta revisión, su modelo para el desarrollo de algunas habilidades de PC y que se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Modelo para el desarrollo de habilidades de pensamiento computacional propuesto por Atmatzidou y Demetriadis.

Habilidad de PC	Definición	Guía para su desarrollo
Abstracción	Es el proceso de crear algo simple a partir de algo complicado, omitiendo los detalles irrelevantes, encontrando los patrones relevantes y separando ideas de los detalles tangibles.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Separar la información importante de la redundante. 2. Analizar y especificar comportamientos comunes o estructuras de programación entre scripts diferentes. 3. Identificación de abstracciones entre ambientes de programación diferentes.
Generalización	Es transferir un proceso de solución de un problema a una amplia variedad de problemas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expandir una solución existente en un problema dado para cubrir más posibilidades / casos.
Algoritmos	Es la práctica de escribir, paso a paso, instrucciones específicas y explícitas, para llevar a cabo un proceso.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Describir explícitamente los pasos del algoritmo. 2. Posibilidad de diferentes algoritmos para el mismo problema. 3. Esfuerzo para encontrar el algoritmo más efectivo.
Modularidad	Es el desarrollo de procesos autónomos que encapsulan un conjunto de órdenes usadas con frecuencia que ejecutan una función específica y que podrían utilizarse en el mismo o en diferentes problemas.	<p>Desarrollar secciones de código autónomas para ser utilizadas para el mismo o para diferentes problemas.</p>
Descomposición	Es el proceso de separar los problemas en partes más pequeñas que pueden resolverse con mayor facilidad.	<p>Separar problemas en partes más pequeñas / sencillas que son más fáciles de resolver.</p>

Fuente: Los autores condensado de [46] y [27].

Los resultados reportados en varios estudios sucesivos de Caballero, junto con otros autores [30], [41], [47], [34], [39], [31] y [32] muestran un avance significativo en el pensamiento computacional (abstracción, secuenciación, algoritmos, patrones y depuración), encontrando diferencias significativas entre los miembros del grupo experimental y el de control que apoyan su argumento. Dicen demostrar, por tanto, que es posible desarrollar cada una de las habilidades de PC analizadas, así como la comunicación y la colaboración, a través de actividades de RE.

Para Liu y Rojas [48], la realimentación conseguida de los niños indicó que la robótica fue una herramienta motivante para aprender conceptos de PC, en comparación con trabajar solamente con pantallas, debido a que los estudiantes pueden controlar directamente un robot físico cuando lo programan, lo que captura la atención de la mayoría de ellos. En [42] Haut y colaboradores afirman haber notado muestras de interés y motivación en los estudiantes, al igual que de signos de pensamiento computacional como abstracción, descomposición y desarrollo de algoritmos; del pensamiento computacional, eso sí, concuerdan con Atmatzidou y Demetriadis en que su adquisición debe ser el resultado de un proceso continuo en el tiempo.

En otro tipo de estudio, Huang y colaboradores comparan el efecto de emplear Dash & Dot contra un grupo de control que utiliza LEGO NXT en cuanto a desempeño y actitud sobre las actividades de aprendizaje, teniendo en cuenta el género de los estudiantes [38]. Su conclusión es que el aprendizaje no se ve afectado por el robot empleado.

A modo de observación, entre los estudios revisados, se halló que solamente en [1] y [46] se habla de la asignación de roles entre los participantes, siendo estos el de analista, diseñador de algoritmos y programador o depurador / evaluador.

7 Recomendaciones de los investigadores

A pesar de la importancia que recientemente ha cobrado, la RE, por sí sola no afecta directamente el aprendizaje de los estudiantes; se requiere de una filosofía educacional, un ambiente de aprendizaje y una metodología de enseñanza apropiadas para su incorporación exitosa en la enseñanza. No está oculta la necesidad de más investigación sobre los beneficios de la RE en el desarrollo de habilidades específicas, tales como el pensamiento computacional y la solución de problemas [27]. La mayoría de estudios carece de un diseño experimental o cuasiexperimental y, aun habiendo suficiente literatura sobre PC y RE, hay muy poco trabajo conectando sus bases teóricas con su implementación [28], [43], siendo notoria la necesidad de continuar investigando sobre la efectividad de la RE para el desarrollo del PC [40], pues el impacto de la primera en el segundo necesita ser validada a través de evidencia investigativa. A pesar del reclamo de Atmatzidou y Demetriadis, entre muchos, para quienes existe una carencia empírica al definir los límites explícitos del PC [1], otros como Liu y Rojas [48] subrayan que varios estudios se enfocan en conceptos del PC ligeramente diferentes, discutiendo repetidamente sobre su definición e importancia, pero pasando por alto la

investigación del desarrollo del PC. Finalmente, Ioannou [28] pone de manifiesto la exigencia de un marco práctico para el desarrollo del PC a través de la robótica, de modo que los diseñadores instruccionales y los educadores puedan implementarlo de manera consistente y a escala.

Referencias

- [1] S. Atmatzidou y S. Demetriadis, «How to Support Students' Computational Thinking Skills in Educational Robotics Activities,» de *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education*, Padova (Italia), 2014.
- [2] T. Djambong y V. Freiman, «Task-Based Assessment of Students' Computational Thinking Skills Developed Through Visual Programming or Tangible Coding Environments,» de *13th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2016)*, 2016.
- [3] J. M. Wing, «Computational Thinking,» *Communications on the ACM*, vol. 49, n° 3, pp. 33-35, Marzo 2006.
- [4] C. C. Selby y J. Woollard, «Computational Thinking: The Developing Definition,» 2013.
- [5] K. Brennan y M. Resnick, «New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking,» de *American Educational Research Association (AERA) 2012*, Vancouver, Canadá, 2012.
- [6] D. Catlin y J. Woollard, «Educational Robots and Computational Thinking,» de *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education*, Padova (Italia), 2014.
- [7] E. Segredo, G. Miranda y L. Coromoto, «Towards the Education of the Future: Computational Thinking as a Generative Learning Mechanism,» *Education in the Knowledge Society*, vol. 18, n° 2, pp. 33-58, 2017.
- [8] J. Wing, «Computational Thinking Benefits Society,» 10 01 2014. [En línea]. Available: <http://socialissues.cs.toronto.edu/2014/01/computational-thinking/>. [Último acceso: 07 02 2018].
- [9] J. M. Wing, «Computational thinking's influence on research and education for all,» *Italian Journal of Educational Technology*, vol. 25, n° 2, pp. 7-14, 2017.
- [10] International Society for Technology in Education (ISTE) y Computer Science Teachers Association (CSTA), «Operational Definition of Computational Thinking for K-12 Education,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.iste.org/docs/ct-documents/computational-thinking-operational-definition-flyer.pdf?sfvrsn=2>. [Último acceso: 12 04 2018].
- [11] C. Mohtadi, M. Kim y J. Schlosser, «Why integrate computational thinking into a 21st century engineering curriculum?,» de *41st SEFI Conference*, Leuven (Bélgica), 2013.
- [12] «Exploring Computational Thinking,» [En línea]. Available: <https://edu.google.com/resources/programs/exploring-computational-thinking/#!ct-overview>. [Último acceso: 30 03 2018].
- [13] I. Fronza, N. El Ioini y L. Corral, «Leveraging Robot Programming to Foster Computational Thinking,» de *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2017)*, Porto, Portugal, 2017.
- [14] S. Ghosh, «Children should be taught computer science - not programming,» 27 02 2014. [En línea]. Available: <http://www.alphr.com/news/education/387319/children-should-be-taught-computer-science-not-programming>. [Último acceso: 08 03 2018].
- [15] F. Benitti, «Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review,» *Computers & Education*, pp. 978-988, 2012.
- [16] D. Alimisis, «Educational robotics: Open questions and new challenges,» *Themes in Science & Technology Education*, vol. 6, n° 1, pp. 63-71, 2013.
- [17] S.-C. Kong y C.-C. Lao, «Computational Thinking Development through Programmable Robotics Activities in STEM Education in Primary Schools,» de *Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education*, 2017.
- [18] C. Saygin, T. Yuen, H. Shipley, H.-d. Wan y D. Akopian, «Design, Development, and Implementation of Educational Robotics Activities for K-12 Students,» *American Society for Engineering Education*, 2012.
- [19] P. Román Graván, C. Hervás Gómez y J. L. Guisado Lizar, «Experiencia de innovación educativa con robótica en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla (España),» de *Innovación docente y uso de las TIC en educación*, Málaga (España), UMA Editorial, 2017.
- [20] «SpringerOpen,» [En línea]. Available: <https://www.springeropen.com/>. [Último acceso: 19 Agosto 2020].
- [21] «SpringerLink,» [En línea]. Available: <https://link.springer.com/>. [Último acceso: 19 Agosto 2020].
- [22] «ResearchGate,» [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/>. [Último acceso: 19 Agosto 2020].
- [23] «ACM Digital Library,» [En línea]. Available: <https://dl.acm.org/>. [Último acceso: 21 Agosto 2020].
- [24] «IEEE Xplore,» [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. [Último acceso: 21 Agosto 2020].
- [25] Institute of Education Sciences, «ERIC,» [En línea]. Available: <https://eric.ed.gov/>. [Último acceso: 22 Agosto 2020].
- [26] American Society for Engineering Education, «ASEE PEER,» [En línea]. Available: <https://peer.asee.org/>. [Último acceso: 23 Agosto 2020].
- [27] S. Atmatzidou y S. Demetriadis, «A Didactical Model for Educational Robotics Activities: A Study on Improving Skills Through Strong or Minimal Guidance,» de *Educational Robotics in the Makers Era*, D. Alimisis, M. Moro y E. Menegatti, Edits., Springer International Publishing, 2017, pp. 58-72.
- [28] A. Ioannou y E. Makridou, «Exploring the potentials of educational robotics in the development of computational thinking: A summary of current research and practical proposal for future work,» *Education and Information Technologies*, vol. 23, n° 1, 2018.
- [29] Istikomah y C. Budiyo, «The Contribution of Educational Robotics and Constructivist Approach to Computational Thinking in the 21st Century,» de *ICCSET 2018. The 1st International Conference on Computer Science and Engineering*, Kudus, Indonesia, 2018.
- [30] Y. A. Caballero González, A. García Valcárcel y A. García Holgado, «Learning computational thinking and social skills development in young children through problem solving with educational robotics,» de *TEEM'19: Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing*, 2019.
- [31] Y. A. Caballero González y A. García Valcárcel, «A robotics-based approach to foster programming skills and computational thinking: Pilot experience in the classroom of early childhood education,» de *TEEM'18: Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturalism*, Salamanca, España, 2018.
- [32] Y. Caballero González y A. García Valcárcel, «Robótica como Recurso Educativo para la Formación del Pensamiento Computacional en Educación Inicial,» de *Simposio Conectando redes. La relación entre la investigación y la práctica educativa. REUNI+D y RILME*, Santiago de Compostela, España, 2018.
- [33] F. A. Aristawati, C. Budiyo y R. A. Yuana, «Adopting Educational Robotics to Enhance Undergraduate Students' Self-Efficacy Levels of Computational Thinking,» *Journal of Turkish Science Education*, vol. 15, pp. 42-50, 2018.
- [34] Y.-A. Caballero González y A. García Valcárcel, «Fortaleciendo el pensamiento computacional y habilidades sociales mediante actividades de aprendizaje con robótica educativa en niveles escolares iniciales,» *Píxel-BIT Revista de Medios y Educación*, n° 58, pp. 117-142, 2020.
- [35] C. S. González González, «Estado del arte en la enseñanza del pensamiento computacional y la programación en la etapa infantil,»

Education in the Knowledge Society (EKS), vol. 20, pp. 15-28, 25 07 2019.

- [36] D. Alimisis, «Educational robotics: Open questions and new challenges,» *Science & Technology Education*, vol. 6, n° 1, pp. 63-71, 2013.
- [37] R. Isnaini y W. B. Cucuk, «The Influence of Educational Robotics to Computational Thinking Skill in Early Childhood Education,» de *ICCSET. The 1st International Conference on Computer Science and Engineering Technology Universitas Muria Kudus*, Kudus, Indonesia, 2018.
- [38] W.-Y. Huang, C.-F. Hu y C.-C. Wu, «The Use of Different Kinds of Robots to Spark Student Interest in Learning Computational Thinking,» de *International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTICE)*, 2018.
- [39] Y. A. Caballero-González y A. García Valcárcel, «Learning with Robotics in Primary Education: A Means of Stimulating Computational Thinking,» *Education in the Knowledge Society (EKS)*, n° 21, 2020.
- [40] R. Isnaini, C. Budiayanto y I. Widiastuti, «Robotics-based learning to support computational thinking skills in early childhood,» *AIP Conference Proceedings*, vol. 2194, n° 1, 2019.
- [41] A. García-Valcárcel y Y. A. Caballero-González, «Robótica para desarrollar el pensamiento computacional en educación infantil,» *Comunicar*, vol. 27, n° 59, pp. 63-72, 2019.
- [42] J. Haut, P. Bustos, M. Paoletti y N. Perales, «Code2Bot, a social robot for the classroom,» de *Actas de la XVI Conferencia CAEPIA*, Albacete, 2015.
- [43] S. Anwar, N. A. Bascou y M. Menekse, «A Systematic Review of Studies on Educational Robotics,» *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, vol. 9, n° 2, 2019.
- [44] T. Phetsrikran, W. Massagram, T. Phoka y A. Harfield, «A Feasibility Study of Arduaction Bot: An Educational Robotics and Mobile Application Kit for Computational Thinking Skills,» *22nd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, pp. 1-6, 2018.
- [45] M. Vallance y P. Towndrow, «Mapping Computational Thinking for a Transformative Pedagogy,» de *Computational Thinking in the STEM Disciplines*, Springer, 2018, pp. 301-325.
- [46] S. Atmatzidou y S. Demetriadis, «Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, n° B, pp. 661-670, 2016.
- [47] A. García Valcárcel y Y. A. Caballero González, «Robotics to Develop Computational Thinking in Early Childhood Education,» *Comunicar*, vol. 27, n° 59, pp. 63-72, 2019.
- [48] Y. Liu y J. Rojas, «Evaluation of the ROOT Robot System and Curriculum to Improve Computational Thinking in Chinese Children,» de *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference*, Depok, Indonesia, 2019.
- [49] Y. A. Caballero González, L. Muñoz y A. García Valcárcel, «Pilot Experience: Play and Program with Bee-Bot to Foster Computational Thinking Learning in Young Children,» de *7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)*, 2019, pp. 601-606.
- [50] Y. A. Caballero González, A. García Valcárcel y A. García Holgado, «Learning computational thinking and social skills development in young children through problem solving with educational robotics,» de *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2019)*, León, España, 2019.

J. A. Hurtado Alegría es Doctor en ciencias de la computación, Especialista en Redes y Servicios Telemáticos, Especialista en procesos para el desarrollo de Software, Ingeniero en electrónica y telecomunicaciones. Actualmente se desempeña como titular del Departamento de Sistemas de la Universidad del Cauca.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2508-0962>

R. F. Zúñiga Muñoz es Magister en Ciencias de la computación, Especialista en gerencia educativa con énfasis en gestión de proyectos, Especialización en Telemática, Ingeniero de sistema. Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Computación en la Universidad del Cauca. Actualmente se desempeña como docente de cátedra en la Universidad del Cauca.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3847-0588>

I. C. Mejía Córdoba es estudiante de Ingeniería electrónica y telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

B. G. Salazar España es estudiante de Ingeniería electrónica y telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

ANEXO A. RELACIÓN DE LAS PUBLICACIONES SELECCIONADAS PARA LA REVISIÓN DE LITERATURA

Año	Autor(es)	Publicación
2014	S. Atmatzidou, S. Demetriadis	How to Support Students' Computational Thinking Skills in Educational Robotic Activities
2014	D. Catlin, J. Woollard	Educational Robots and Computational Thinking
2015	S. Atmatzidou, S. Demetriadis, J.M. Hautl	Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences
2015	M.E. Paoletti, P. Bustos, N. García, J. Cross	Code2Bot, a social robot for the classroom
2016	E. Hammer, L. Zito, I. Nourbakhsh	Engineering and Computational Thinking talent in middle school students - A framework for defining and recognizing student affinities
2017	Kong, Siu-Cheng, Lao, Chan-Chio	Computational Thinking Development through Programmable Robotics Activities in STEM Education in Primary Schools
2017	S. Atmatzidou, S. Demetriadis	A Didactical Model for Educational Robotics Activities - A Study on Improving Skills Through Strong or Minimal Guidance
2018	F. A. Aristawati, C. Budiyanto	Adopting Educational Robotics to Enhance Undergraduate Students' Self-Efficacy Levels of Computational Thinking
2018	Y. A. Caballero, A. García	A robotics-based approach to foster programming skills and computational thinking - Pilot experience in the classroom of early childhood education
2018	Y. A. Caballero, A. García	Pensamiento computacional y robótica educativa - Una propuesta de trabajo para el aula de infantil
2018	Y. A. Caballero, A. García	Robótica como Recurso Educativo para la Formación del Pensamiento Computacional en Educación Inicial
2018	S. Chookaew, S. Howimanporn, P. Pratumswan, S. Hutamarn, W. sootkaneung, C. Wongwatkit, W. Huang	Enhancing High-School Students' Computational Thinking with Educational Robotics Learning
2018	C. Hu, C. Wu	The Use of Different Kinds of Robots to Spark Student Interest in Learning Computational Thinking
2018	A. Ioannou, E. Makridou, R. Isnaini, C. Budiyanto	Exploring the potentials of educational robotics in the development of computational thinking. A summary of current research and practical proposal for future work
2018	R. Isnaini, C. Budiyanto	The Influence of Educational Robotics to Computational Thinking Skill in Early Childhood Education
2018	Istikomah, C. Budiyanto, T. Phetsrikran	The Contribution of Educational Robotics and Constructivist Approach to Computational Thinking in the 21st Century
2018	W. Massagram, T. Phoka, A. Harfield	A Feasibility Study of Arducation Bot. An Educational Robotics and Mobile Application Kit for Computational Thinking Skills
2018	M. Vallance, P. Towndrow, S. Anwar	Mapping Computational Thinking for a Transformative Pedagogy
2019	N. A. Bascou, M. Menekse, Y. A. Caballero, A. García, A. García Holgado, Y. A. Caballero	A Systematic Review of Studies on Educational Robotics
2019	Y. A. Caballero, A. García	Learning computational thinking and social skills development in young children through problem solving with educational robotics
2019	L. Muñoz, A. García	Pilot Experience - Play and Program with Bee-Bot to Foster Computational Thinking Learning in Young Children
2019	A. García, Y. A. Caballero	Robotics to Develop Computational Thinking in Early Childhood Education
2019	C. S. González	Estado del arte en la enseñanza del pensamiento computacional y la programación en la etapa infantil
2019	R. Isnaini, C. Budiyanto, I. Widiastuti	Robotics-based learning to support computational thinking skills in early childhood
2019	Y. Liu, J. Rojas	Evaluation of the ROOT Robot System and Curriculum to Improve Computational Thinking in Chinese Children
2020	Y. A. Caballero, A. García	Fortaleciendo el pensamiento computacional y habilidades sociales mediante actividades de aprendizaje con robótica educativa en niveles escolares iniciales
2020	Y. A. Caballero, A. García	Learning with Robotics in Primary Education A Means of Stimulating Computational Thinking - Aprender con robótica en Educación Primaria Un medio de estimular el pensamiento computacional

ANEXO B. COMPARACIÓN DE ESTUDIOS PRÁCTICOS

Estudio – Autores / Año	Edad niños (años)	Hardware	Lenguaje de programación	Habilidades de CT consideradas	Otros conceptos	Evaluación	Grupo de control
[1] – Atmatzidou, Demetriadis / 2014	No especifica	Lego Mindstorms NXT 2.0	LEGO NXT-G	Abstracción Generalización Algoritmos Modularidad Descomposición	Solución de problemas		No
[46] – Atmatzidou, Demetriadis / 2015	15 - 18	Lego Mindstorms NXT 2.0	LEGO NXT-G	Abstracción Generalización Algoritmos Modularidad Descomposición		Pretest, quizzes, entrevistas.	No
[42] – Haut et al. / 2015	10 - 13	LearnBot	Python	Abstracción Descomposición Algoritmos	Colaboración Interés Motivación	Pretest	No
[27] – Atmatzidou, Demetriadis / 2017	Escuela primaria	Lego Mindstorms NXT 2.0	LEGO NXT-G	Abstracción Generalización Algoritmos Descomposición Modularidad Depuración		Quizes Think-aloud Entrevistas	No
[33] – Aristawati et al. / 2018	Estudiantes universitarios	LEGO Mindstorms EV3		Abstracción Modularidad Generalización Algoritmos Descomposición		Cuestionarios Entrevista	No
[31], [32], [49] - Caballero et. Al / 2018	Temprana infancia	Bee-Bot	NA	Secuenciación		Cuestionarios Entrevista Rúbrica	No
[38] Huang et al. / 2018	6° grado	Dash & Dot LEGO NXT		Pensamiento algorítmico	Interés Actitud	Test Cuestionarios (interés y actitud) No especifica	Sí
[44] Phetsrikran et al. / 2018	Grados 10° a 12°	Arducation Bot	Desarrollo propio	Lógica, Descomposicion Algoritmos Abstracción Patrones			No
[45] Vallance, Towndrow / 2018	Estudiantes universitarios	LEGO Mindstorms EV3		Generalización Modularidad Abstracción Descomposición Lógica algorítmica		Postest	No
[30] Caballero et al. / 2019	Primer grado	Bee-Bot	NA	Secuenciación Patrones Depuración	Colaboración	Pre y postest	Sí
[47] García, Caballero / 2019	3-6	Bee-Bot	NA	Secuenciación Correspondencia Acción-Instrucción Depuración		Pre y postest	Sí
[48] Liu, Rojas / 2019	4-10	ROOT	NA	Abstracción Análisis Generalización Pensamiento algorítmico Pensamiento lógico Secuenciación	Autoconfianza Autocontrol	Cuestionarios Think-aloud Pretest Postest	No
[41], [50] García et al. / 2019	3-6	Bee-Bot	NA	Secuenciación Depuración Correspondencia Acción-Instrucción	Comunicación Colaboración Creatividad Autonomía Liderazgo	Pruebas pre y postest	Sí
Caballero, García [34] / 2020	4-5	Bee-Bot	NA	Secuenciación	Colaboración Comunicación	Pre y postest	Sí

6-7	Bee-Bot	NA	Pensamiento algorítmico (secuencias) Abstracción- patrones Depuración	Pretest Postest	Sí
-----	---------	----	--	--------------------	----

Fuente: Los autores.