



# DISCUSIÓN SOBRE LA ROBÓTICA EDUCACIONAL Y EL MOVIMIENTO MAKER EN EDUCACIÓN: PERSPECTIVAS Y RETOS

Trabajo Final de Máster

Universitat Oberta de Catalunya

Máster Universitario de Educación y TIC (eLearning)

TFM Tendencias Tecnológicas e Innovación Educativa

Especialización de docencia en línea

Profesora colaboradora: Meche Martín Perpiñá

Carlos Gabriel Juan Poveda

Brest (Francia), 1 de junio de 2020

## Índice de contenidos

Resumen .....	2
1. Introducción .....	2
2. Planteamiento del problema y justificación .....	4
3. Objetivos .....	5
4. Antecedentes y marco teórico .....	6
4.1. Estado de la cuestión.....	7
4.1.1. Robótica educativa.....	7
4.1.2. Movimiento maker en educación.....	10
4.2. Marco teórico y conceptual.....	14
5. Análisis y discusión del tema .....	18
6. Conclusiones .....	24
7. Limitaciones .....	25
8. Líneas futuras de trabajo .....	26
Referencias bibliográficas .....	27

## **Resumen**

El presente trabajo ofrece una discusión teórica sobre dos tendencias educativas de rigurosa actualidad: la robótica educacional y el movimiento *maker* en la educación. El uso de robots u otros dispositivos electrónicos similares en el aula, así como el desarrollo de los propios dispositivos, forman parte de diferentes dinámicas didácticas que se apoyan en estas tendencias. En ellas se suele contemplar tanto el diseño como la fabricación de los dispositivos. Es común que se caractericen por la presencia de diversos paradigmas de la instrucción tecnopedagógica como el aprendizaje *hands-on mind-on*, DIY, los *FabLab*, la fabricación digital o los lenguajes de programación tangibles. Estas dinámicas se pueden aplicar en todo tipo de contextos instructivos, con todo tipo de objetivos formativos, y centradas en todo tipo de contenidos. Este trabajo presenta una revisión del estado del arte de ambos conceptos con el objetivo de identificar los aspectos principales que han sido tratados y las conclusiones a las que se ha llegado. Además, tras detectar la ausencia de estudios exhaustivos sobre la relación existente entre ambos paradigmas, este documento analiza las implementaciones conjuntas, de qué manera se afectan el uno al otro, y cómo afectan a los resultados formativos. Con todo ello, el presente trabajo pretende convertirse en una lectura de referencia para todo aquel interesado en iniciarse en estas dos tendencias y conocer las diferentes posturas al respecto disponibles en la literatura científica.

Palabras clave: robótica educacional, movimiento *maker*, aprendizaje *hands-on mind-on*, DIY, *FabLab*, fabricación digital, lenguajes de programación tangibles.

### **1. Introducción**

El presente trabajo se centra en dos temas que guardan una estrecha relación entre sí: la robótica educacional y el movimiento *maker* en educación. Se trata de dos conceptos de categoría actual (Alexander et al., 2019) que merece la pena estudiar y analizar en detalle. No en vano estos conceptos han sido tratados de diferentes maneras y desde múltiples enfoques en la literatura enfocada en las ciencias de la educación, hasta tal punto que la revisión bibliográfica puede llegar a empezar a ser algo tediosa y, en ocasiones, confusa.

En este contexto, este documento se dispone a realizar un estudio del estado del arte de ambas cuestiones, reuniendo los puntos más importantes tratados hasta la fecha en los trabajos más relevantes. La finalidad de este análisis es identificar los interrogantes y cuestiones a resolver o aspectos omitidos del desarrollo científico, y tratar de estudiarlos y abordarlos desde el punto de vista teórico. Un aspecto llamativo es que, en general, han sido tratados como dos

conceptos aislados, y son muy escasos los trabajos que tratan ambos a la vez y muestran su relación. Este trabajo también reunirá las referencias que han combinado ambos conceptos y estudiará su relación y sus beneficios conjuntos o sinergias.

Todo este análisis se contextualiza en la educación secundaria primordialmente, el cual ha sido el principal contexto de aplicación, si bien algunos aspectos también serán extrapolables a la educación primaria o universitaria, en función de cada caso. Además, este trabajo también mostrará las potencialidades que tienen estos conceptos en la docencia de todas las materias, sin centrarse en un ámbito disciplinar concreto, cosa que tampoco suele ocurrir en la literatura.

Eguchi (2017) señala que, dentro de la educación formal, los estudiantes actuales son consumidores habituales de las nuevas tecnologías. Por ello, defiende la importancia de ofrecerles una correcta formación en el uso de las TIC, permitiéndoles pararse a reflexionar, cuestionar y deliberar profundamente sobre el uso de la tecnología. En este sentido, destaca el interesante papel que la robótica educacional puede tener para lograr este objetivo. Con una elegante concisión, este mismo autor define la robótica educacional como el uso de la robótica (en diferentes niveles) como herramienta de aprendizaje en el aula. De este modo, describe cómo al diseñar, construir, programar y documentar el desarrollo de proyectos basados en robótica, los alumnos no únicamente aprenden cómo funciona la tecnología, sino que también aplican las competencias y los conocimientos adquiridos en el proceso educativo de una manera activa, significativa y emocionante, alcanzando altos índices de motivación.

Por otro lado, Halverson y Sheridan (2014) definen el movimiento *maker*, en sentido amplio, como el agregado de gente interesada en la producción creativa e innovadora de todo tipo de artefactos en su vida diaria, y que se reúnen física o digitalmente para compartir sus ideas y creaciones. Este movimiento, que Anderson (2012), antiguo Editor Jefe de la popular revista *Wired*, definió como «una nueva revolución industrial», encuentra su aplicación en la educación bajo el paradigma de «aprender creando», y más concretamente con la filosofía de aprender creando conocimiento a través del acto de construir algo que pueda ser posteriormente compartido Martínez y Stager (2013).

Este Trabajo Final de Máster se organiza de la siguiente manera. El apartado 2 discute brevemente la problemática bajo estudio y justifica el interés y pertinencia del trabajo. El tercer apartado enumera los objetivos y los interrogantes a los que se pretende dar respuesta. El apartado número 4 ofrece una disertación en profundidad del estado del arte de la temática y expone el marco teórico y conceptual necesario para poder abordarla. En el quinto apartado se desarrolla el análisis sobre el cual versa el trabajo y su correspondiente discusión, para

después recoger en el sexto apartado las principales conclusiones. Finalmente, los apartados 7 y 8 muestran, respectivamente, las limitaciones y las posibles líneas futuras de trabajo.

## **2. Planteamiento del problema y justificación**

Como se verá más adelante, los dos conceptos sobre los que gira este trabajo han sido aludidos, estudiados y discutidos con frecuencia por muchos investigadores del ámbito de la pedagogía y la educación. Con todo este desarrollo de ambas tendencias en la literatura científica, el principal interés que justifica el análisis de los dos conceptos protagonistas de este trabajo radica en su innegable actualidad, como se desprende del último informe EDUCAUSE Horizon de educación superior (Alexander et al., 2019). Este informe contempla la aparición significativa de la robótica y el movimiento *maker* en educación a partir de los años 2016 y 2015, respectivamente, aunque para ambos reconoce un uso extendido y digno de estudio a partir del año 2018. Por ello, una selección bibliográfica y discusión de los trabajos más relevantes resulta pertinente para todo aquel lector que desee informarse en sentido amplio de estos nuevos paradigmas que tanta presencia están ganando en los entornos educativos.

Por otro lado, la innegable relación que existe entre estos dos ámbitos contrasta con la falta de trabajos que los aborden a ambos al mismo tiempo y con adecuada profundidad. Si bien es complicado encontrar referencias que contemplen ambos paradigmas, todavía es más difícil encontrarlas que estudien su relación, y cómo uno se ve afectado por la presencia del otro. Por ejemplo, los trabajos de Chou (2018), Chou y Su (2017) y Yudin et al. (2017) exponen posibles escenarios para la implementación conjunta de técnicas de cultura *maker* y robótica educativa, pero no llegan a analizar los beneficios holísticos o las posibles sinergias que se lleguen a producir. Alimisis, Alimisi, Loukatos, y Zouliás (2019), por su parte, sí llegan a demostrar cómo se aumenta la motivación, el interés y la implicación de los alumnos al combinar la cultura *maker* con la robótica educativa y la electrónica DIY.

Además, también resulta complicado encontrar trabajos que traten estos conceptos con un análisis crítico, identificando los puntos a mejorar, ya que la mayoría de artículos se limitan a identificar los beneficios. Pero, aunque escasos, sí los hay que sacan a relucir posibles puntos débiles y retos futuros en estas dos tendencias educativas. Eguchi (2017) hace una clara crítica al carácter marcadamente STEM que habitualmente adquieren las implementaciones de robótica educativa. También señala que estas técnicas suelen ser relegadas a la educación informal, viendo el fuerte enfoque de la educación formal hacia un currículo cerrado e inflexible. Por todo ello, presenta propuestas originales para promover la

presencia de la robótica en las aulas de la educación formal conectando las metodologías con los estándares curriculares tanto de materias STEM como de las ciencias sociales, artes y humanidades. Propuestas que, sin duda, merecen ser analizadas en detalle.

Por otro lado, Alimisis et al. (2019) critican que en educación la robótica se suele ver como una caja negra, con dispositivos y paquetes de código prefabricados, sin identificar realmente cómo funcionan por dentro, lo cual es contradictorio con las directrices de la cultura *maker*. Por ello, en su trabajo presentan un proyecto en el que la robótica es transparente y se integra adecuadamente con la fabricación digital y el movimiento *maker* tanto en la educación formal como en la informal. De nuevo, el interés del estudio de este proyecto es evidente.

Por todos estos motivos, y dado el volumen de trabajos publicados hasta la fecha, el desarrollo de un trabajo académico que reúna los más pertinentes y discuta sus principales aspectos e implicaciones puede ser de gran utilidad para todo posible lector interesado en iniciarse en estos dos conceptos. Además, la mera consideración de los dos conceptos con la suficiente profundidad, así como su relación y cómo uno condiciona el otro, es de por sí un elemento que dota al trabajo de pertinencia, vista la ausencia de este punto en la literatura disponible.

Además, también resulta adecuado estudiar los aspectos débiles y futuros retos a que se enfrentan estos paradigmas, y las propuestas que se han realizado hasta el momento. Todo ello siempre desde un enfoque teórico acorde con la modalidad de este Trabajo Final de Máster, analizando dos tendencias educativas en auge que pueden llegar a ser muy útiles para la implementación de procesos de docencia en línea, especialidad cursada en el máster. Como resultado, este trabajo pretende ofrecer a futuros lectores una aproximación adecuada al tratamiento que la literatura científica ha dado a estos dos conceptos, e identificar las pautas básicas de implementación conjunta para lograr y maximizar las posibles sinergias a nivel formativo.

### **3. Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis teórico y riguroso de los principales aspectos tratados en la literatura científica sobre la robótica educacional y el movimiento *maker* en educación. A continuación se enuncian los objetivos secundarios derivados:

- Proporcionar una aproximación a ambos conceptos.
- Estudiar el estado del arte y las diferentes perspectivas en la literatura referente a ambos conceptos.

- Analizar los beneficios formativos de las técnicas de robótica educacional y movimiento *maker*.
- Identificar los elementos que deben contemplar las implementaciones eficientes de ambas tendencias.
- Estudiar la relación existente entre ambos conceptos y describir cómo se afectan el uno al otro en implementaciones conjuntas.
- Identificar los beneficios de las implementaciones conjuntas y la manera de maximizarlos.
- Analizar los puntos débiles y retos futuros de estas tendencias, así como las propuestas al respecto.
- Proporcionar al lector que desee iniciarse en estos conceptos un documento de síntesis que recopile y discuta los aspectos más importantes tratados hasta la fecha.

¿Cómo debe iniciarse el estudio de estas tendencias? ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta? ¿Qué se ha destacado en la literatura científica a lo largo de su desarrollo? ¿Es buena idea diseñar dinámicas que combinen las técnicas de la robótica educacional y el movimiento *maker*? ¿Qué relación hay entre ambas? ¿Cómo se afectan la una a la otra? ¿De qué manera se pueden maximizar las ventajas cognitivas y formativas de las implementaciones conjuntas? ¿Hacia qué aspectos debería enfocarse la investigación científica para poder mejorar los resultados de aprendizaje con estas técnicas? ¿Son aptas para la educación formal? ¿Cómo se pueden integrar eficientemente en la educación formal? Estos son algunos de los principales interrogantes a los que ha llevado la evolución de la problemática por parte de la comunidad científica. El presente trabajo los analizará con detalle e intentará ofrecer respuestas satisfactorias basándose en el estado actual de la cuestión.

#### **4. Antecedentes y marco teórico**

Este apartado realizará un riguroso estudio y análisis del estado de la cuestión de la robótica educacional y el movimiento *maker* en educación. El estudio buceará en los fundamentos de ambas tendencias para dar a conocer cómo se desarrollaron. Se expondrán los inicios de los dos conceptos y sus concepciones originales para entender por qué surgieron y a qué necesidades dieron respuesta. Partiendo de esa base, se sintetizará su evolución y las diferentes visiones con las que se han estudiado, hasta llegar a comprender cómo se ha configurado la situación actual respecto a ellos. Tras este análisis, la siguiente subsección describirá con precisión y de manera conjunta el marco teórico y los conceptos principales

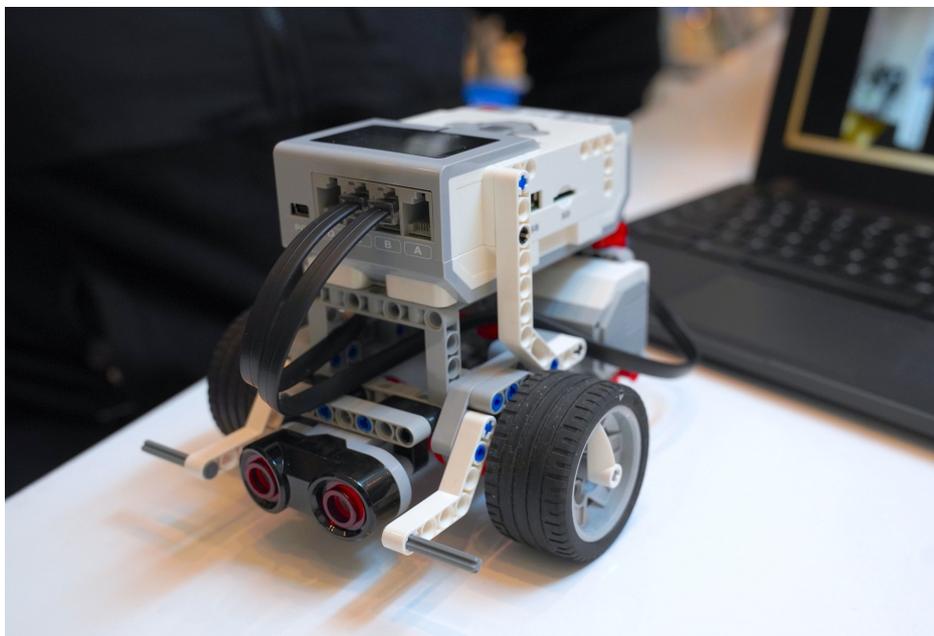
en estos ámbitos, de manera que se facilite la base teórica y conceptual necesaria para comprender la discusión posterior.

#### **4.1. Estado de la cuestión**

Dado el carácter multidisciplinar del presente trabajo, el cual engloba dos focos temáticos principales, el estudio del estado de la cuestión se dividirá en dos secciones atendiendo a los conceptos estudiados: la robótica educativa y el movimiento *maker* en educación. A continuación se analiza de manera retrospectiva la evolución que estas temáticas han sufrido en la literatura científica.

##### **4.1.1. Robótica educativa**

De entre todos los desarrollos tecnológicos que ha experimentado el ser humano durante el último siglo, la robótica probablemente sea uno de los que más ha llamado la atención. Desde la aparición de este concepto, la sociedad ha dejado volar su imaginación y su ilusión por idear todo tipo de desarrollos. Tanto es así que se ha producido una considerable gama de obras escritas y cinematográficas alrededor de estos dispositivos, narrando todo tipo de historias futuristas protagonizadas por el eje robótico. De hecho, los robots se han convertido en un símbolo del futuro por antonomasia, siendo elementos abrumadoramente habituales en todas las representaciones que se hacen de él.



*Figura 1.* Ejemplo de kit LEGO® MINDSTORMS® (de <https://pixabay.com>).

Siendo los sistemas educativos un reflejo claro de la sociedad, no es de extrañar que este concepto también haya sido aplicado a la instrucción. Desde que se desarrollase el lenguaje de programación Logo en 1967, la robótica educativa se fue introduciendo paulatinamente

en las acciones formativas de todo el mundo, con un creciente interés. Si bien fue una tendencia lineal en sus inicios, su presencia en las aulas ha protagonizado un aumento exponencial durante las dos últimas décadas (Alexander et al., 2019), especialmente desde que la colaboración entre la compañía danesa Lego Systems A/S (LEGO®) e investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts resultase en el lanzamiento al mercado en 1998 de LEGO® MINDSTORMS®, una completa línea de equipamiento para robótica educativa de fácil adquisición y uso (Figura 1). Desde entonces, el uso de técnicas de robótica educativa en la educación tanto formal como informal se ha disparado, y su estudio en la literatura científica ha aumentado proporcionalmente. Prueba de ello es el reciente trabajo de revisión de Anwar, Bascou, Menekse, y Kardgar (2019) que ha conseguido identificar 635 estudios sobre robótica educativa entre los años 2000 y 2018, si bien este trabajo los ha filtrado atendiendo a diversos criterios para acabar analizando una selección de 147 estudios.

La robótica educativa ha sido enmarcada históricamente dentro de la teoría constructivista (Bruner, 1997; Piaget, 1970). Este enfoque destaca que el aprendizaje se produce a través de interactuar con el entorno para resolver nuevas situaciones a partir de los conocimientos previos, construyendo el nuevo conocimiento. Papert (1993) apuntó que la robótica potencia este proceso al hacer trabajar al alumno sobre problemas reales que requieren idear nuevas soluciones aplicando la tecnología, creando aprendizajes activos y significativos. Otros trabajos han estudiado la robótica educativa desde el prisma del constructivismo (Papert, 1980), compartiendo los paralelismos con el constructivismo y remarcando el aprendizaje centrado en el alumno y el aprendizaje por descubrimiento con objetos tangibles y conectando los conocimientos previos con la nueva información del mundo real (Alimisis y Kynigos, 2009).

Con este marco teórico, el matemático sudafricano (posteriormente nacionalizado estadounidense) Seymour Papert fue uno de los primeros estudiosos en analizar y aplicar formalmente los fundamentos de la robótica educativa actual durante la década de los 80. Papert consiguió probar que los alumnos jóvenes podían aprender a utilizar determinados lenguajes de programación simplificados para resolver problemas relativamente complejos. Esto permitía reducir considerablemente la edad de iniciación en la instrucción de aspectos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, según la nomenclatura inglesa). Sus trabajos le llevaron al desarrollo del lenguaje de programación Logo, especialmente diseñado para la educación no técnica o de iniciación bajo las premisas constructivistas (Papert, 1986; Papert y Harel, 1991), sentando una sólida base para la robótica educativa, basada en el logro de aprendizajes y adquisición de aptitudes a través de construir la solución adecuada a un determinado problema. La relevancia e impacto de sus trabajos fue tal que fue uno de los

protagonistas del anteriormente citado desarrollo de LEGO® MINDSTORMS®, siendo este producto nombrado en honor a uno de sus libros más afamados (Papert, 1980).

Las bases sentadas por Papert y la disponibilidad de kits comerciales para la implementación de dinámicas de robótica educativa animaron a numerosos docentes e investigadores a abordar el tema desde todo tipo de perspectivas, comenzando el desarrollo de la robótica educativa moderna. Con un enfoque inicial a la docencia de la programación informática, los estudios han ido evolucionando hacia una perspectiva que engloba un conjunto mayor de conceptos de la informática y la computación bajo el apelativo de «pensamiento computacional» (Bers, Flannery, Kazakoff, y Sullivan, 2014).

Ampliando aún más el foco, hay numerosos trabajos que han analizado el potencial de la robótica educativa para trabajar conceptos y aptitudes relacionadas en general con las disciplinas STEM, no solo con la informática. Estos trabajos han demostrado con creces las ventajas de estas técnicas a la hora de potenciar el pensamiento crítico y las habilidades de resolución de problemas de los discentes (Okita, 2014). Entre otras conclusiones interesantes, este enfoque ha llegado a señalar cómo la robótica educativa puede aumentar notablemente la implicación del alumnado en materias STEM en general (Kim et al., 2015), y específicamente en matemáticas (Hussain, Lindh, y Shukur, 2006), física (Williams, Ma, Prejean, Ford, y Lai, 2007) y método científico (Sullivan, 2008). También es cierto que algunos autores se mostraron críticos sobre el beneficio efectivo en el aprendizaje de los alumnos (Barker y Ansoorge, 2007) y sobre su efecto en determinados grupos de estudiantes (Lindh y Holgersson, 2007).

El carácter multidisciplinar de la robótica educativa y su conveniencia a la hora de integrar en una acción formativa diferentes disciplinas también ha sido analizado con detalle (Grubbs, 2013; Johnson, 2003). Otros enfoques han prestado atención a la percepción de las ventajas que tiene el profesorado con respecto a la inclusión de la robótica en sus aulas (Khanlari y Kiaie, 2015). En este estudio sorprende comprobar que la muestra analizada destaca el potencial de este paradigma para la docencia de ciencia y tecnología, pero no para las matemáticas.

De este modo, una rápida búsqueda bibliográfica permite tomar consciencia sobre la cantidad de trabajos y perspectivas que se han presentado sobre la temática, especialmente durante la última década (Anwar et al., 2019; Eguchi, 2014). Sin embargo, pese a la variedad de visiones y conclusiones ofrecidas, hay una clara visión mayoritaria que aboga por unas claras ventajas formativas en el entorno STEM en cuanto al desarrollo del pensamiento analítico, la motivación e implicación, las habilidades de resolución de problemas y el trabajo

colaborativo (Alimisis y Kynigos, 2009; Atmatzidou, Markelis, y Demetriadis, 2008; Carbonaro, Rex, y Chambers, 2004; Kim, y otros, 2015; Merdan, Lepuschitz, Koppensteiner, y Balogh, 2017).

Además de la perspectiva cognitiva, la robótica educacional también ha sido estudiada atendiendo al entorno de aplicación. Diversos estudios han analizado este paradigma en entornos escolares generales (Bers y Urrea, 2000; Dias, Mills-Tetty, y Nanayakkara, 2005), en escuelas técnicas especializadas (Alimisis, Karatrantou, y Tachos, 2005), en entornos extraescolares (Barker y Ansorge, 2007; Rusk, Resnick, Berg, y Pezalla-Granlund, 2008), en campamentos de verano (Balaguer, 2017; van Delden y Yang, 2014) o en programas formativos basados en proyectos (Carbonaro, Rex, y Chambers, 2004), entre otros contextos STEM (Hussain et al., 2006; Nugent, Barker, Grandgenett, y Adamchuk, 2010).

Los estudios más recientes (Menekse, Higashi, Schunn, y Baehr, 2017; Xia y Zhong, 2018) no han hecho sino remarcar cómo la robótica educacional potencia el desarrollo de las habilidades sociales y académicas de los niños. Esto es posible al despertarles una conveniente motivación por desarrollar capacidades de pensamiento crítico y resolución de problemas a través del diseño, montaje, programación, manejo y modificación o corrección de los sistemas robóticos realizados para dar solución a una determinada situación. Todo esto produce un efecto aún más notable si se realiza a través de la participación en grupos o equipos de desarrollo de robótica (Menekse et al., 2017).

#### **4.1.2. Movimiento *maker* en educación**

El movimiento *maker* en la educación es un concepto ligeramente más moderno que la robótica, si bien ambos nacieron de raíces muy similares. En este caso, como apuntan Martínez y Stager (2013), el movimiento germina en los trabajos de Dewey (1929), Montessori y George (1964) y Piaget (1970), evolucionando en el seno de un marco teórico protagonizado por el aprendizaje activo y el constructivismo. En el plano pragmático, cualquier lector que decida adentrarse en los orígenes tanto de la robótica como del movimiento *maker* en educación enseguida comprobará todo lo que deben ambas tendencias a Seymour Papert. No sin falta de argumentos Martínez y Stager (2013) se refirieron a Papert como el padre del movimiento *maker*. El papel de este investigador ha sido fundamental para extender el enfoque instructivo basado en motivar al alumno a hacer uso de la tecnología para inventar sus propias creaciones (Gershenfeld, 2005).

Los inicios del movimiento *maker* en la educación están anclados a la inclusión de las destrezas de programación informática en las aulas, lo cual permitía a los alumnos elaborar creaciones digitales que dieran respuesta a los problemas presentados. De nuevo, la creación

del lenguaje de programación Logo (Papert, 1980) propició que esta nueva visión ganase presencia en las aulas de todo el mundo. Las dinámicas basadas en Logo, además de potenciar el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje a través de la tecnología, daban un protagonismo absoluto al discente y le ayudaban a comprender el funcionamiento de la tecnología (Santo, 2013).

Dado el auge del uso de la tecnología, este enfoque permitía formar a los alumnos para que dejase de ser usuarios pasivos y comprendiesen cómo realmente funcionan los dispositivos que utilizan y cómo los pueden utilizar para todo tipo de elaboraciones y soluciones creativas. La llegada de modernos lenguajes de programación orientados a la docencia bajo la misma filosofía que Logo, como son NetLogo (Wilensky, 1999), Alice (Cooper, Dann, y Pausch, 2000) o Scratch (Resnick et al., 2009) ha potenciado y popularizado notablemente este enfoque durante las últimas décadas, acercando el uso y comprensión de la tecnología a estudiantes de todas las edades.

El movimiento *maker* nace, pues, de la combinación de dos factores. Por un lado, esta inclusión de las habilidades de programación en la instrucción atendiendo a sus beneficios pedagógicos y cognitivos. Por el otro, la consideración de competencias relacionadas con el desarrollo tecnológico en los currículos, la cual realmente atiende a una adecuación de los contenidos de la educación a las demandas de la sociedad actual. A finales del siglo pasado, el gobierno de Estados Unidos hizo un claro guiño al movimiento *maker* en sus reformas educativas con la intención de dinamizar la capacidad de producción, innovación y emprendimiento de sus ciudadanos a través de diversos programas formativos especializados. Los estamentos nacionales sugirieron priorizar la formación basada en las competencias tecnológicas generalizadas por encima de la formación teórica y especializada tradicional (Committee on Information Technology Literacy, National Research Council of the United States of America, 1999).

Estas recomendaciones atendían al propósito de convertir las habilidades con la tecnología en algo cotidiano, en una característica general de cualquier ciudadano, apartándose del carácter exclusivamente profesional que tenían estas habilidades hasta la fecha. De hecho, los currículos comenzaron a dar más protagonismo a la matemática aplicada y la ciencia, y se crearon eventos nacionales destinados a potenciar la cultura *maker* en la sociedad, como la Semana Nacional del *Making* (The White House, 2014) o la Feria *Maker* de la Casa Blanca (The White House, 2016). Cabe destacar que estas reformas iban en consonancia con las teorías de instrucción de Papert y Harel (1991) y diSessa (2000). El resto de estados desarrollados ha ido tomando medidas similares en mayor o menor medida durante los inicios

del siglo XXI, llegando al panorama actual de educación STEM basada en metodologías activas, como por ejemplo la cultura *maker*.

A lo largo de su evolución, el movimiento *maker* en la educación ha sido estudiado desde multitud de perspectivas, si bien son las publicaciones más recientes (de unos 5 o 6 años atrás) las que más profundizan en esta tendencia. En general, se ha tendido a destacar, apoyándose en claras evidencias, su carácter multidisciplinar, integrando conocimientos de todo tipo de fenómenos y conceptos físicos, matemáticos y tecnológicos, como balances, fuerzas, movimiento, luz, electricidad, electrónica, magnetismo, resonancias, simetría, etc. (Bevan, Gutwill, Petrich, y Wilkinson, 2015). Estos estudios apuntan que las dinámicas *maker* facilitan que los estudiantes experimenten diferentes roles, actuando como matemáticos, científicos, diseñadores, ingenieros o creadores, de manera que puedan trazar la hoja de ruta que guíe su formación y aprendizaje a largo plazo en función de sus verdaderos intereses y destrezas (Martin, 2015).

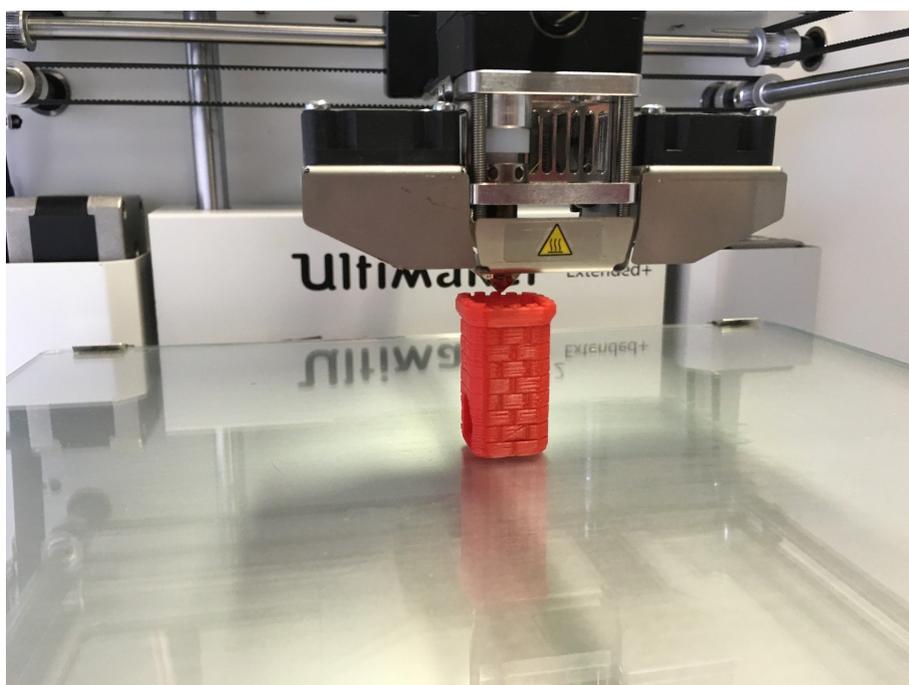


Figura 2. Ejemplo de impresora 3D (de <https://pixabay.com>).

Otro enfoque generalizado es el uso de diferentes herramientas tecnológicas para las implementaciones, entre las que destaca especialmente las modernas impresoras 3D (Brown, 2015; Kostakis, Niaros, y Giotitsas, 2015), como la que se muestra en la Figura 2. La posibilidad de crear un producto tangible real, poder probarlo, ajustarlo, modificarlo y mejorarlo gracias a estas impresoras (u otras herramientas) aumenta mucho la implicación y motivación del alumnado y sus ganas de adquirir mayores competencias tecnológicas (Kafai, Fields, y Searle, 2014; Kafai y Pepler, 2014). Como se verá más adelante, el término

*makerspaces* hace referencia a los espacios donde se encuentran estas herramientas y que permiten implementar las dinámicas *maker* bajo todo tipo de enfoques, facilitando a su vez el trabajo colaborativo (Oliver, 2016). Estos enfoques están orientados a conseguir aprendizajes significativos basados en la experimentación, la creación, la innovación y la personalización (Schrock, 2014).

Bevan et al. (2015) destacaron que estas dinámicas deben incidir en que los alumnos propongan y negocien constante y activamente entre ellos las diferentes ideas que les vayan surgiendo para dar respuesta las situaciones planteadas. Estos autores también aconsejan que los discentes pongan en común sus comprensiones sobre los diferentes fenómenos físicos involucrados, y reflexionen sobre las limitaciones de sus creaciones. Kafai et al. (2014) hacen hincapié en la necesidad de apoyarse en los intereses de los alumnos para plantear retos que permitan desarrollar su creatividad, aspecto que, a su vez, según Martin (2015), puede estimular su autonomía y control.

Apoyándose en la visión de que la cultura *maker* motiva a los estudiantes a compartir sus ideas, proyectos y creaciones, Martin (2015) hace una elegante reflexión en la que destaca que estas dinámicas ayudan a celebrar los fracasos y fallos al ser estos entendidos como una etapa necesaria e incluso positiva del progreso. Este autor entiende el *making* como un potenciador de aprendizajes realmente significativos y más relevantes al estar basado en un sistema de aprendizaje por demanda o necesidad. Esto se produce por la necesidad de crear una solución práctica y funcional a las situaciones presentadas. Este sistema se contrapone al sistema tradicional de aprendizaje basado en el «por si acaso», en el que los alumnos estudian currículums fijos que cubren aspectos que, quizá, podrían llegar a ser útiles en hipotéticas situaciones futuras (Gershenfeld, 2005). Esta reflexión ayuda a comprender el aumento en la motivación e implicación característico de las dinámicas *maker*.

Los trabajos más actuales en esta temática tienden a señalar el impacto positivo que tiene el enfoque *maker* para las materias STEM, y estudian de qué maneras se pueden maximizar los beneficios formativos en este ámbito (Burton, Ogden, Walker, Bledsoe, y Hardage, 2018; Litts, Kafai, Lui, Walker, y Widman, 2017; Tofel-Grehl et al., 2017; Wright, Shaw, Gaidos, Lyman, y Sorey, 2018). En este sentido, destacan los esfuerzos actuales por definir las correctas pautas de diseño y organización de los *makerspaces* según las intenciones formativas (Bers, Strawhacker, y Vizner, 2018), siendo conscientes que la gestión de este espacio debe atender a la flexibilidad y capacidad de adaptación que requiere la vertiginosa velocidad del desarrollo tecnológico contemporáneo (Burton et al., 2018).

Un nuevo enfoque que comienza a ganar fuerza es el desarrollo de narrativas que contextualicen la acción formativa que requerirá de la actividad *maker*, construyendo el producto final para un determinado propósito o necesidad creada en una historia ficticia o no (Burton et al., 2018; Wright et al., 2018). Incluso hay propuestas basadas en el uso de la tecnología *maker* en sí misma para contar la historia a través de las creaciones elaboradas, cambiando el *storytelling* por *storymaking* (Bull, Schmidt-Crawford, McKenna, y Cohoon, 2017). En definitiva, el panorama científico actual del movimiento *maker* en educación lo relaciona casi exclusivamente con las materias STEM y trata de analizar las mejores líneas de implementación según los recursos disponibles principalmente en la educación informal, si bien se trata de abordar su inclusión en la educación formal (Schad y Jones, 2019).

#### **4.2. Marco teórico y conceptual**

Al tratarse de dos vertientes con un elevado componente técnico, el estudio de estas tendencias educativas requiere la definición y comprensión de una serie de conceptos clave. A diferencia del apartado anterior, en esta ocasión no se realizará una diferenciación delimitada de los conceptos para cada tendencia, pues muchos de ellos comparten determinados nexos comunes que conviene destacar, sin atribuirlos en exclusiva a un ámbito concreto. Los párrafos venideros ofrecerán una definición de los principales conceptos así como una discusión de sus implicaciones.

Con el término «robótica educacional» se describe el uso de la robótica como una herramienta de aprendizaje en los procesos educativos (Eguchi, 2017). Es importante destacar que esta tendencia trasciende la docencia de la robótica como disciplina, sino que se trata de proporcionar aprendizajes multidisciplinares y multicompetenciales a través de la robótica. No se trata, pues, de aprender únicamente robótica, sino de aprender todo tipo de contenidos (principalmente ligados a las materias STEM) mediante el desarrollo de aplicaciones robóticas. Además, no se trata de un concepto reservado a la educación técnica superior, sino que hoy en día es una herramienta ampliamente empleada en todas las etapas de la docencia, usándose con alumnos de edades cada vez más tempranas (Cruz-Martín et al., 2012).

Por otro lado, «el movimiento o la cultura *maker*» es un concepto muy amplio que define a una colectividad con intereses comunes enfocados al autodidactismo de la ciencia y la tecnología con un claro enfoque pragmático. Se trata, por lo tanto, de gente interesada en desarrollar integralmente pequeñas creaciones tecnológicas por su cuenta, y compartir tanto los métodos como las impresiones con el resto de la comunidad (Schön, Ebner, y Kumar, 2014). La extensión del movimiento llegó a la educación y caló hondo en determinados casos, llegando a crearse una tendencia instructiva con gran aceptación en la actualidad (Halverson

y Sheridan, 2014). Así, esta tendencia educativa se aleja del aprendizaje a través de la demostración para abrazar el «aprender haciendo». Los aprendizajes se consiguen de una manera activa mientras el alumno elabora un determinado proyecto orientado a la producción de un producto tangible y basado en la tecnología.

El «aprendizaje *hands-on mind-on*» en ocasiones referenciado de manera simplificada como «aprendizaje *hands-on*» (término de la literatura anglosajona que podríamos traducir como «aprendizaje mediante el uso de las manos»), se refiere al aprendizaje activo que se produce mediante la implicación directa del alumno en tareas de creación manual. Apartándose de la docencia tradicional caracterizada por alumnos escuchando pasivamente a la instrucción de sus profesores de manera disciplinada y estructurada, este enfoque aboga por un aprendizaje activo en el que los alumnos diseñen, manipulen, monten, modifiquen y vuelvan a montar por ellos mismos los productos buscados (Eguchi, 2017). Este enfoque está basado en el trabajo por proyectos, la resolución de problemas y el ensayo y error, facilitando aprendizaje activo, centrado en el alumno y constructorista en el que el foco se pone en el proceso de aprendizaje, y no en el producto final. Es un concepto especialmente interesante cuando los alumnos trabajan en grupos colaborativos y reducidos (Eguchi, 2015). Este concepto está igualmente presente en la robótica educativa y en el movimiento *maker* en educación.

Dirigiendo ahora nuestra atención hacia los «lenguajes de programación tangible», se puede decir que este concepto es una de las claves que permiten entender la amplia difusión de la robótica educativa y el movimiento *maker* en educación, siendo un resultado directo del trabajo iniciado por Papert (1980). Se trata de lenguajes de programación reales, que implementan secuencias de código funcionales, pero que cuentan con una interfaz de usuario tangible o TUI (por sus siglas en inglés), según Sapounidis y Demetriadis (2017). Esta interfaz permite asignar iconos gráficos o elementos tangibles a fragmentos de código, de manera que cada programa pueda ser construido como una combinación modular de estos elementos gráficos, que se combinan de manera parecida a como lo hace un puzle (Marshall, 2007). Esto permite el aprendizaje de elementos que requieren cierto nivel de abstracción, como los fundamentos de la ingeniería del *software*, en edades muy tempranas con herramientas adaptadas a las circunstancias de cada grupo de alumnos, generando aprendizajes activos y significativos basados en la experiencia personal (Horn, Solovey, Crouser, y Jacob, 2009). El resultado de estas actividades permite «dar vida» a las creaciones físicas, programando las funciones y el funcionamiento de los productos desarrollados, por lo que es un proceso muy motivador para el alumnado. Este concepto está ligeramente más ligado a la robótica educativa, que no puede existir sin la programación, si bien también es importante en la cultura *maker*.

Desde un punto de vista más psicopedagógico, estas tendencias invitan a hablar de «pensamiento computacional». Esta es una de las principales habilidades que se potencia tanto con la robótica educacional como con las dinámicas *maker* (Atmatzidou y Demetriadis, 2017; Yadav, Zhou, Mayfield, Hambruch, y Korb, 2011), también arraigada en las teorías de Papert. Se trata de la habilidad de pensamiento y análisis de los problemas que permite descomponer los problemas o procesos en subprocesos de menor nivel o complejidad que permitan abordarlos de una manera estructurada ideando una concatenación de tareas (comúnmente denominada «algoritmo») que resolverá eventualmente la situación planteada (Wing, 2006). Este pensamiento potencia el pensamiento crítico y las habilidades de desarrollo tecnológico, y es considerado como fundamental para que el alumno logre el control y la gestión efectiva de sus actividades cognitivas en todas las materias (Wing, 2006).

Un concepto que también merece especial atención es el de «*makerspaces*». Estrechamente ligado al movimiento *maker* (si bien también guarda cierta relación con la robótica educacional), este concepto designa de manera general los espacios en los que se llevan a cabo las actividades *maker*. Es muy importante destacar que pueden ser espacios físicos o no, habiendo multitud de *makerspaces* virtuales en los que las comunidades de aprendizaje pueden compartir recursos e impresiones e incluso desarrollar creaciones virtuales. Así, se deben entender estos conceptos como espacios sociales en los que el debate y el intercambio son dos máximas fundamentales (Sheridan et al., 2014). Un ejemplo paradigmático fue TechShop (Universitat Politècnica de València, 2015), gestionado por el estadounidense Mark Hatch. En él, los usuarios intercambiaban ayuda y conocimientos sobre todo tipo de creaciones tecnológicas atendiendo al «*Maker Movement Manifesto*» basándose en 9 ideas básicas (Hatch, 2014): hacer, compartir, dar, aprender, equipar (facilitar el acceso a las herramientas necesarias), jugar, participar, ayudar y cambiar. En el caso de la educación, las actividades desarrolladas en los *makerspaces* deben responder a unas intenciones formativas concretas. En cuanto a los *makerspaces* físicos, deben ser lugares equipados con todo el material, espacio y herramientas necesarias para favorecer la implementación de dinámicas *maker*.

Otro concepto relacionado nos lleva a hablar de los «*FabLabs*», un concepto que guarda una estrecha similitud con el punto anterior, si bien en esta ocasión hace referencia exclusivamente a espacios físicos. Por ello, todo *FabLab* será un *makerspace*, aunque no se pueda aseverar la afirmación contraria. El acrónimo de laboratorio de fabricación (según su denominación inglesa) nace en 2001 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (Schön et al., 2014) bajo el lema de «si se le da la gente ordinaria las herramientas correctas, diseñarán y crearán las cosas más extraordinarias» (Gershenfeld, 2005). Más ligados al movimiento

*maker* que a la robótica educativa (aunque presentes en ambos ámbitos), los *FabLabs* son los *makerspaces* físicos que proporcionan al alumno el equipamiento adecuado para implementar y probar sus creaciones.

En este contexto también es conveniente introducir el concepto de «fabricación digital». Si bien los dos conceptos anteriores hacían referencia al espacio donde se fabrican las creaciones en el movimiento *maker* y la robótica educativa, este concepto alude a la fabricación en sí. Si se tiende a producir productos y piezas que se alejan de las tradicionales, es lógico que los sistemas de fabricación también cambien. La fabricación digital se basa en el modelado 3D o CAD (*Computer-Aided Design*, o diseño a través de ordenador) de los objetos a fabricar (como pueden ser las piezas del robot o producto tecnológico de cada actividad) y la implementación física de los modelos desarrollados (Blikstein, 2013). La fabricación se puede realizar principalmente con dos técnicas: fabricación aditiva, añadiendo material adecuadamente hasta formar la pieza (como lo hacen las impresoras 3D) o fabricación subtractiva, partiendo de un bloque de material el cual es fresa hasta obtener la pieza lograda, si bien existen otras técnicas más avanzadas.

Un enfoque que goza de relativa popularidad es el del «DIY». De la lengua anglosajona *Do-It-Yourself*, «hazlo tú mismo» en el sentido de «hazlo por tus propios medios», es uno de los principales pilares del movimiento *maker*. Esta tendencia propone las elaboraciones propias de productos tecnológicos, descomponiendo el proceso de creación en tareas localmente sencillas y delimitadas que darán como resultado el producto final (nótese la filosofía de pensamiento computacional). En un sentido muy estricto su relación con la educación sería a través del autodidactismo y bajo un enfoque individualista. Sin embargo, las posibilidades de investigación y aprendizaje de las creaciones DIY hace que a menudo se escojan como base para el diseño de dinámicas *maker* o incluso de robótica educativa extrapolándolas a la creación guiada y colectiva, llegando a producir combinaciones de probada eficacia didáctica (Alimisis et al., 2019).

Por último, también conviene hacer mención a los «*hackerspaces*», concepto análogo al de *makerspaces* aplicado al *software*. Si los *makerspaces* se destinan a la elaboración de creaciones *hardware* (físicas, tangibles), los *hackerspaces* son los espacios (físicos o virtuales) destinados a la elaboración de *software* (código computacional). En otras palabras, si el *makerspace* fuese la imprenta donde se elabora el libro, el *hackerspace* (también denominado *HackLab* o *hackspace*) podría ser el escritorio del poeta. Estos espacios, por lo tanto, sirven para el intercambio de ideas, información, materiales y creaciones *software*, así como la creación de comunidades de desarrolladores (Schön et al., 2014). Algunos

*hackerspaces* populares son el C-based Space Station en Berlín (Alemania) o el NYC Resistor en Nueva York, NY (EE. UU.). Aunque este último concepto no guarde una relación tan estrecha como los anteriores con la robótica y el movimiento *maker* en educación, sí puede llegar a ser interesante para dinámicas que requieran un cierto desarrollo de código.

En resumen, es sencillo comprobar cómo el marco teórico tanto de la robótica educacional como del movimiento *maker* en educación comparten una considerable cantidad de conceptos y enfoques. Bajo esta premisa resulta, cuanto menos, chocante la poca cantidad de referencias que aborden ambas tendencias a la vez, las relacionen o, lo que es más conveniente, las combinen en busca de sinergias formativas y cognitivas. Por otro lado, también en ambas tendencias se identifica una postura categóricamente mayoritaria hacia su aplicación únicamente en las materias STEM. También es llamativo ver cómo cierta cantidad de publicaciones relegan estas tendencias al ámbito de la educación no formal, sin las restricciones de los currículums educativos. Vistos los beneficios formativos de ambas, tampoco parece lo más lógico que el panorama educativo limite su aplicación, y sería deseable encontrar trabajos que analicen su implementación en entornos no STEM y fomenten su inclusión en la educación formal.

Así pues, esta disertación adopta una postura mixta que intenta considerar las dos tendencias al mismo tiempo y con la misma prioridad. Este enfoque aspira a buscar las pautas correctas de aplicación conjunta que permitan maximizar los efectos agregados, en busca del beneficio de la experiencia del alumno y, por tanto, de sus resultados de aprendizaje. También se analizan las posibilidades de aplicación en entornos no STEM con la intención de interpolar las ventajas cognitivas y educativas a estos ámbitos, o incluso encontrar nuevas. Por otro lado, se pretende identificar las maneras de implementar estas dinámicas en la educación formal, adaptándolas a los contenidos de los currículums.

## **5. Análisis y discusión del tema**

Partiendo de la definición de la robótica educacional, Eguchi (2017) introduce el concepto de «aprendizaje *hands-on mind-on*», el cual se basa en la propia experiencia del estudiante durante la fabricación en primera persona de sus propias creaciones. Este concepto defiende un aprendizaje activo y significativo basado en la máxima implicación del alumno al sentirse una pieza fundamental del proceso de aprendizaje, sin el cual el producto final jamás sería alcanzado. Esto permite despertar más eficientemente los procesos cognitivos que favorecen el aprendizaje significativo. Todo esto es fácilmente alcanzable a través de la robótica educacional.

Bajo este panorama, surge la necesidad de estudiar las técnicas y metodologías correctas para la adecuada aplicación de este paradigma educativo en los procesos formativos. Es lógico, por tanto, que se publiquen distintos trabajos en este aspecto, con diferentes propuestas. Atmatzidou y Demetriadis (2017), por ejemplo, presentan un modelo didáctico para organizar actividades de robótica educativa destinadas a potenciar el pensamiento computacional y las habilidades de resolución de problemas. Este trabajo demuestra que la robótica educativa consigue el desarrollo de habilidades de mayor nivel.

Un enfoque también interesante es el estudio de Sapounidis y Demetriadis (2017) sobre los diferentes lenguajes de programación tangibles aptos para su uso en robótica educativa. Como se ha descrito en la sección anterior, se trata de lenguajes de programación gráficos, no basados en texto o código, sino en iconos o elementos visuales, y por lo tanto son aptos para la iniciación en esta disciplina. Los autores comentan que estos entornos permiten reducir la edad de iniciación de los discentes y despertarles el interés por este ámbito a edades más tempranas, con las consecuentes ventajas formativas a largo plazo.

Otras propuestas estudian su uso en la educación no formal, como la de Yudin et al. (2017) a través de un programa de robótica educativa intensiva llevado a cabo en un campamento de verano. Destaca el uso de la fabricación digital, tan relacionada con la cultura *maker*, para la fabricación del robot. Así, la literatura muestra propuestas de aplicación muy amplias, con decenas de posibles implementaciones en diferentes escenarios (Catlin, 2017; Catlin y Blamires, 2010). Una propuesta especialmente interesante, original y con grandes beneficios formativos y sociales es la que expone Alimisis (2019) con el proyecto ROBOESL. Este proyecto está enfocado a aplicar la robótica educativa con estudiantes en riesgo de fracaso académico y abandono escolar prematuro. Su objetivo es motivar a estos alumnos ayudándose de un entorno atractivo en el que se sientan integrados e implicados, de manera que pueda aumentar su deseo de continuar la escolarización y quieran obtener mejores resultados. La propuesta incluso presenta un currículo formativo que permite a los docentes dominar las habilidades técnicas y pedagógicas necesarias para aplicar satisfactoriamente la tecnología robótica en la educación.

Asimismo, para que este paradigma pueda llevarse a cabo adecuadamente, también se requieren dos aspectos fundamentales. Por un lado, son necesarias plataformas que permitan desarrollar de manera correcta y sencilla las aplicaciones requeridas. Algunos trabajos han hecho propuestas al respecto, como el de Plaza Merino, Sancristóbal Ruiz, Carro Fernández, y Castro Gil (2016), en el que se presenta una plataforma inalámbrica para robótica

educacional que se beneficia de las ventajas del Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en la literatura anglosajona), y que puede ser incluida en la docencia de las materias STEM.

Por el otro lado, se requiere una adecuada formación de los docentes para que apliquen este paradigma. Aquí también se pueden identificar diferentes propuestas con distintos enfoques. Agatolio, Pivetti, Di Battista, Menegatti, y Moro (2017) presentan los resultados de la comparación de dos cursos con diferente enfoque y duración sobre la formación de profesores para la introducción de la robótica en sus clases y su integración con sus respectivas materias. Con un enfoque diferente materializado en el proyecto TERECOP, Alimisis et al. (2010) y Alimisis, Frangou, y Papanikolaou (2009) exponen una metodología constructivista para la formación de docentes en el desarrollo innovador y la implementación de técnicas de robótica educacional, y discuten los resultados.

En lo referente al movimiento *maker* o cultura *maker* en educación, el volumen de publicaciones pertinentes disponibles es ligeramente inferior, si bien la comunidad educativa está comenzando a aumentar su atención hacia este aspecto en los últimos años. Los diferentes enfoques de este movimiento en la educación han sido revisados en alguna ocasión, con puntos de vista que los ligan únicamente a las materias STEM, principalmente destacando sus resultados de aprendizaje, potencialidades, retos y trabajo futuro (Hsu, Baldwin, y Ching, 2017). Comúnmente, se destacan tres elementos principales del movimiento *maker*: 1) los creadores, involucrados en el juego experimental; 2) el espacio de creación, un espacio colaborativo y abierto, con los suministros necesarios, enfocado a compartir ideas y creaciones; y 3) el acto de crear, incluyendo todas las actividades enfocadas a trabajar con la tecnología y aprender a través de ella (Dougherty, 2013).

Al principio de la última década, Blikstein y Krannich (2013) analizaron los orígenes de este movimiento. Su artículo también introduce el concepto de laboratorio de fabricación o *FabLab*, nombre que se le da al espacio de creación (elemento 2 de la lista anterior), y estudia la evolución que ha tenido este concepto. Con un análisis más profundo, Schön et al. (2014) analizan el impacto que tiene el movimiento *maker* en la educación y sus consecuencias, y lo relacionan con el desarrollo de diferentes elementos y paradigmas formativos asociados, como el IoT, la fabricación digital, los *FabLabs*, las dinámicas DIY o los *hackerspaces*.

Chou y Su (2017) identificaron la relación existente y se aventuraron a analizar los beneficios de un programa *maker* basado en robótica educacional a través de la herramienta «Arduino» (Arduino, 2020), ampliamente usada en este contexto. En un trabajo posterior, se compara los resultados con un grupo de control y se demuestran unos claros beneficios formativos en cuanto a habilidades de pensamiento sistemático, resolución de problemas y pensamiento

lógico, así como en conocimientos de programación y electrónica (Chou, 2018). Finalmente, en su magistral capítulo, Alimisis et al. (2019) muestran cómo las dinámicas de fabricación digital y cultura *maker*, combinadas con las metodologías de aprendizaje adecuadas, como el constructivismo y el construccionismo, pueden dar grandes resultados en cuanto a creatividad, pensamiento crítico, trabajo en equipo y habilidades de resolución de problemas.

Si bien la relación que se aprecia entre las dinámicas pedagógicas basadas en robótica educativa y aquellas que se apoyan en el movimiento *maker* es evidente, esta relación no ha sido considerada en la literatura con la suficiente profundidad. Es en este ámbito en el que se aprecia el valor de los trabajos de Chou y Su (2017) y Chou (2018), que combinaron una de las herramientas más recurridas en el paradigma *maker*, Arduino, para llevar a cabo dinámicas de robótica educativa y analizar con rigor científico su idoneidad y sus beneficios, como se describe en el párrafo anterior. Sin embargo, este estudio tan interesante se limitó al ámbito de los refuerzos extraescolares, quedando por lo tanto relegado al contexto de la educación no formal. Además, se trata de una propuesta de robótica educativa que hace uso de una herramienta más relacionada con el entorno *maker*, y por lo tanto tampoco adquiere un carácter holístico ni integrador de ambas tendencias.

Otro trabajo pertinente en este sentido es el que presentan Yudin et al. (2017). En esta propuesta presentan una dinámica de robótica educativa desarrollada durante un campamento de verano que se apoya en la fabricación digital para la implementación de los robots propuestos. Este estudio aporta una visión más social y colaborativa, pues tiene como núcleo central una competición de dos semanas de desarrollo intensivo de diversos robots en grupo. Los robots, desarrollados bajo la filosofía DIY, debían ser capaces de atravesar un tablero con un determinado camino sorteando diversos obstáculos. Si bien es una propuesta muy interesante que introduce toques competitivos y se acerca a la gamificación, desde el punto de vista científico-teórico presenta las mismas limitaciones que los trabajos de Chou y Su (2017) y Chou (2018) en cuanto a su restricción a la educación no formal y su consideración no holística.

Con un enfoque más holístico e integrador, Alimisis et al. (2019) explican en su reciente trabajo que la fabricación digital y la cultura *maker*, combinadas con metodologías de aprendizaje adecuadas como el constructivismo y el construccionismo, pueden dar grandes resultados en cuanto a creatividad, pensamiento crítico, trabajo en equipo y habilidades de resolución de problemas. En consonancia con la discusión que desarrolla el presente trabajo, estos investigadores muestran que cuando este enfoque *maker* se combina con dinámicas de robótica educativa bajo la filosofía DIY se llegan a alcanzar altos índices de motivación,

interés e implicación. Los datos que ofrecen permiten advertir el carácter sinérgico de los resultados, pues se obtienen índices de seguimiento y de consecución de los objetivos de aprendizaje superiores a los que cabría esperar en enfoques de ambas tendencias por separado. Esta es una de las pocas referencias que realmente analiza de manera holística la implementación conjunta, y sus resultados llaman al optimismo y a la profundización en este tipo de estudios. Sin embargo, todavía no se supera la limitación a la educación no formal, si bien sí hay una discusión que se acerca al contexto de la educación formal y propone algunas directrices para este entorno.

Además, también son interesantes los trabajos que tratan estos conceptos desde un punto de vista más crítico, que permite identificar sus debilidades y trazar la hoja de ruta de la investigación futura. Es el caso, por ejemplo, del capítulo de Eguchi (2017), quien critica que estos enfoques se vean relegados a la educación informal a causa del claro foro que ponen los currículums educativos generales en los tests estandarizados, así como la presión por cubrir los estándares académicos marcados por las autoridades educativas. Este autor también hace una especial crítica contra el carácter marcadamente STEM que adoptan con frecuencia las implementaciones de estas tendencias educativas, y alienta a estudiar y comprobar su utilidad en los ámbitos de las ciencias sociales, arte, danza, música y humanidades, probablemente con enfoques fundamentados en el aprendizaje basado en proyectos.

Esta crítica con ánimo constructivo va acompañada de una serie de interesantes y originales propuestas para difundir la presencia de la robótica educativa y el movimiento *maker* en el entorno de la educación formal. Para ello, el autor ofrece una serie de directrices que permiten conectar las metodologías de estos enfoques con los estándares curriculares de todo tipo de materias, ya sean STEM o no, y anima a la comunidad educativa a idear nuevas y adaptarlas a todo tipo de contextos. Sin duda alguna se trata de una iniciativa loable, y el lector que desee documentarse sobre cómo realizar una implementación conjunta de robótica educativa y movimiento *maker* en educación formal y de manera sinérgica encontrará en el capítulo de Eguchi (2017) un excelente aliado. Sin pretender ser exhaustivos, a continuación se recogen algunos de los aspectos que propone este autor para el trabajo de asignaturas de lengua e idiomas en educación formal con robótica educativa y enfoque *maker* (el documento original recoge muchos más), y que pueden ser tenidos en cuenta para el diseño de dinámicas en este ámbito:

- Interpretar palabras y frases en el modo en el que están formuladas en el texto con las instrucciones a desarrollar, incluyendo la comprensión del significado técnico,

connotativo y figurativo, y analizar cómo la elección de una palabra concreta puede cambiar el significado del texto y las indicaciones ofrecidas.

- Integrar y evaluar el contenido presentado en diversos formatos y medios, incluyendo el contenido visual y cuantitativo, así como el textual.
- Desarrollar textos informativos y explicativos que examinen y transmitan ideas complejas, así como información clara y precisa a través de la selección efectiva, organización y análisis del contenido.
- Usar la tecnología, incluyendo internet, para producir y publicar escritos e interactuar y colaborar con otros usuarios.
- Reunir el contenido relevante y seleccionarlo desde múltiples fuentes impresas y digitales, valorar y comprobar la credibilidad de cada una, e integrar toda la información en una nueva composición mientras se evita el plagio.
- Desarrollar hábitos de escritura adecuados para la descripción de procesos tanto a largo plazo (investigaciones, reflexiones y revisiones) como a corto plazo (resúmenes del trabajo diario, anotaciones sobre pruebas o resultados concretos), adaptados a diferentes contextos, tareas o audiencias.
- Participar de manera efectiva en distintos ámbitos conversacionales y colaborativos con diferentes compañeros, analizando ideas y posibilidades de implementación, llegando a conclusiones grupales consensuadas.
- Evaluar el punto de vista de cada orador, sus razonamientos y su uso de la evidencia y la retórica.
- Demostrar la comprensión del lenguaje técnico y el lenguaje figurativo, las relaciones entre determinados términos y los matices en el uso de algunas frases o expresiones.

Por último, otro aspecto que ha sido criticado es el hecho de que la robótica educativa se suele ver con un enfoque de «caja negra» (Alimisis et al., 2019), limitándose a combinar dispositivos, componentes y paquetes de código prefabricados o preparados para ser directamente conectados o ejecutados. Esto limita notablemente el desarrollo tecnológico por parte del alumno, quien se limita a seguir unas instrucciones y unir piezas, como si de un puzle se tratase, sin realmente entender el proceso que está desarrollando, sin comprender el funcionamiento interno, sin dejar espacio para la creatividad y el desarrollo individual, lo cual resulta contradictorio con la filosofía *maker*. Por ello, precisamente proponen la combinación de técnicas *maker* en las dinámicas de robótica educativa, como el diseño de componentes de fabricación digital, para llevar a cabo proyectos de robótica «transparente» con desarrollos integrales por parte del alumno. En otras palabras, y todo esto siempre dependiendo del nivel al que se dirija la acción formativa, proponen una reducción de la

sofisticación de la aplicación final en beneficio del incremento del desarrollo propio por parte del alumnado. O lo que es lo mismo: ser ambiciosos en los objetivos de aprendizaje, y no tanto en el resultado o producto final. Un enfoque, sin ningún lugar a dudas, digno de atenta consideración para el diseño de estas dinámicas.

## 6. Conclusiones

A lo largo de este documento se ha ofrecido una discusión en profundidad sobre la robótica educativa y el movimiento *maker* en educación. Esta discusión puede ayudar al posible lector principiante a comprender los fundamentos de estas tendencias, su desarrollo hasta las líneas actuales y sus técnicas y directrices, así como sus ventajas e inconvenientes. El presente trabajo también puede servir de base para entender las diferentes posturas con las que se estudian e implementan estos paradigmas educativos, y ayudar a posicionarse y adquirir un criterio propio. Todo esto ha sido desarrollado desde un punto de vista teórico-analítico y tratando de mantener la más estricta imparcialidad.

Desde los magistrales y pioneros trabajos de Papert hasta los pertinentes enfoques crítico-constructivos actuales de Eguchi o Alimisis, se ha expuesto la evolución, a veces paralela, a veces convergente, de los dos conceptos y de las diferentes concepciones sobre ellos, haciendo hincapié en el debate científico surgido. En este sentido, se ha analizado la evolución de la problemática sobre las pautas más adecuadas de implementación de cada tendencia en diferentes escenarios, poniendo un especial énfasis en las implementaciones conjuntas. Este análisis ha sido enriquecido con una exposición minuciosa del estado del arte de ambas temáticas, así como una presentación conjunta de su marco teórico y conceptual.

Sentadas las bases del estudio, el trabajo ha procedido a analizar y discutir el tema con una aproximación radial convergente, avanzando desde los aspectos más generales y ligados a una tendencia en concreto hacia los más específicos y aplicables a ambas conjuntamente. Pese a su tratamiento por separado en un gran número de referencias, los resultados de los estudios conjuntos incitan a analizar con mayor profundidad sus beneficios sinérgicos. Por ello, una de las principales conclusiones alcanzadas en este trabajo es la conveniencia de considerar al mismo tiempo y con el mismo protagonismo la robótica educativa y las directrices del movimiento *maker* en todo tipo de implementaciones.

Ambas tendencias comparten las mismas raíces y, en la mayoría de casos, responden a las mismas inquietudes y objetivos. Sin embargo, cada una tiene peculiaridades que aportan interesantes matices al proceso de aprendizaje. Por ello, parece razonable tratar de

combinarlas adecuadamente para poder obtener las ventajas de cada vertiente, y conseguir mejores resultados de aprendizaje. Por ejemplo, sería bueno un proyecto de desarrollo de un dispositivo robótico en el que se trabajen diversas competencias y disciplinas y que adopte un enfoque social, orientado a la creación de una microcomunidad de desarrolladores y constructores bajo el influjo del movimiento *maker*.

Otro aspecto importante, y poco discutido en la literatura científica, es la puesta en práctica de este tipo de implementaciones en la educación formal, para poder aprovechar en este entorno las ventajas de las que hacen gala. Este no es un aspecto trivial, pues requiere adaptar las dinámicas a unos currículums y unas circunstancias acotadas y limitadas, pero no por ello deben ser desaconsejables estas tendencias. Para afrontar estas implementaciones es, sin ningún lugar a dudas, interesante estudiar las recomendaciones de Eguchi (2017) y tratar de adaptarlas a cada situación concreta. También sería deseable que la investigación continuara esta línea derivando nuevas metodologías de diseño y adaptación para un mayor número de contextos. Además, el enfoque de Alimisis et al. (2019) sobre la comprensión integral del proceso desarrollado, evitando las «cajas negras» y la conexión inconsciente de elementos entre sí siguiendo pasivamente un hilo de instrucciones, también debería ser tenido en cuenta.

En definitiva, las reflexiones que se recogen en este apartado a modo de conclusión se fundamentan en todo el análisis previo desarrollado. Estas reflexiones cumplen con los objetivos propuestos y dan respuesta a los interrogantes planteados en el apartado 3. A modo de síntesis, se debe promover la integración de la robótica educativa y el movimiento *maker* en las implementaciones propuestas, y se deben acercar estas tendencias pedagógicas a la educación formal. Para ello, quizá sea interesante desde el proceso de diseño ser más ambiciosos con los objetivos de aprendizaje y las competencias a adquirir, y no tanto con los resultados o productos finales.

## **7. Limitaciones**

El presente trabajo ha adoptado un enfoque puramente teórico, en consonancia con la modalidad de este Trabajo Final de Máster. De ello se deriva su principal limitación: el análisis, discusión y conclusiones expuestas carecen de la correspondiente comprobación práctica. Si bien la mayoría de los trabajos analizados y revisados han fundamentado sus reflexiones en conclusiones en experimentaciones prácticas, este aspecto ha quedado fuera del alcance de este trabajo. Por ello, todos los datos ofrecidos han sido obtenidos de fuentes de terceros (debidamente referenciados), y todas las reflexiones ofrecidas se basan en la más estricta revisión teórica de los trabajos estudiados, sin comprobación experimental.

Una segunda limitación se encuentra en la metodología de desarrollo del trabajo, concretamente en la revisión bibliográfica que ha supuesto la base de todo el análisis posterior. Debido a la popularidad de la que gozan los conceptos tratados, el volumen de referencias disponibles resulta en ocasiones demasiado elevado, y una categóricamente exhaustiva lectura, documentación y reflexión de todas ellas requeriría una cantidad de tiempo ingente. Este enfoque, por descontado, es poco práctico, y por ello se ha optado por realizar una selección bibliográfica según la pertinencia percibida para cada fuente. Este método suele resultar estadísticamente correcto, pero de todos modos sigue existiendo una remota posibilidad de que algún documento interesante haya quedado fuera del marco de este estudio.

## **8. Líneas futuras de trabajo**

Del trabajo desarrollado se desprenden dos ámbitos de trabajo futuro tanto a nivel individual como a nivel de comunidad científica, los cuales guardan una estrecha relación entre sí. Por un lado, desde el punto de vista de la investigación científica, los orígenes comunes de ambas tendencias y la convergencia de las conclusiones de los eruditos actuales como Eguchi o Alimisis propugnando el desarrollo de estrategias de implementación conjunta señalan este ámbito como una de las líneas que sería deseable desarrollar a corto plazo. Por ello, estas conclusiones animan a la comunidad científica a continuar el estudio de las implementaciones conjuntas de ambas tendencias en todo tipo de escenarios. En especial, sería interesante conducir estudios de implementación de dinámicas de robótica *maker* en entornos de educación formal centrados tanto en materias STEM como en el resto de materias, y poder definir las estrategias adecuadas para maximizar los resultados de aprendizaje en todos los ámbitos.

Por el otro lado, en consonancia con el avance científico y metodológico, sería igual de interesante poder aplicar estas tendencias al entorno real de la educación formal, teniendo en cuenta las directrices discutidas, así como las nuevas que puedan resultar del desarrollo de la investigación. La comunidad docente debería apreciar los beneficios de estas tendencias, sobre todo en la implementación conjunta, y su conveniencia para ser integradas con otros enfoques, como la gamificación, el aprendizaje basado en proyectos o el *flipped classroom*. Por ello, esta segunda línea de trabajo futuro llama a las iniciativas que implementen la robótica *maker* de manera holística en las aulas reales de la educación formal, fuera del formalismo académico y científico (pero fundamentándose en él), para su integración real en el sistema educativo.

## Referencias bibliográficas

- Agatolio, F., Pivetti, M., Di Battista, S., Menegatti, E., y Moro, M. (2017). A training course in educational robotics for learning support teachers. En D. Alimisis, M. Moro, y E. Menegatti (Eds.) *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 560 (pp. 43–57). Springer, Cham.
- Alexander, B., Ashford-Rowe, K., Barajas-Murphy, N., Dobbin, G., Knott, J., McCormack, et al. (2019). *EDUCAUSE Horizon Report: 2019 Higher Education Edition*. Louisville, CO (EE. UU.): EDUCAUSE.
- Alimisis, D. (2019). Teacher training in educational robotics: The ROBOESL project paradigm. *Technology, Knowledge and Learning*, 24, 279–290. DOI:10.1007/s10758-018-9357-0
- Alimisis, D., Alimisi, R., Loukatos, D., y Zoulias, E. (2019). Introducing maker movement in educational robotics: beyond prefabricated robots and “black boxes”. En L. Daniela (Ed.) *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 93–115). Springer, Cham.
- Alimisis, D., Arlegui, J., Fava, N., Frangou, S., Ionita, S., Menegatti, et al. (2010). Introducing robotics to teachers and schools: experiences from the TERECoP project. En *Constructionism 2010* (pp. 1–13). París (Francia).
- Alimisis, D., Frangou, S., y Papanikolaou, K. (2009). A constructivist methodology for teacher training in educational robotics: the terecop course in greece through trainees’ eyes. En *2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 24–28). Riga (Letonia): IEEE.
- Alimisis, D., Karatrantou, A., y Tachos, N. (2005). Technical school students design and develop robotic gear-based constructions for the transmission of motion. En *Eurologo 2005* (pp. 76–86). Varsovia (Polonia).
- Alimisis, D., y Kynigos, C. (2009). Constructionism and robotics in education. En D. Alimisis, (Ed.) *Teacher Education on Robotic-Enhanced Constructivist Pedagogical Methods* (pp. 11–26). Atenas (Grecia): School of Pedagogical and Technological Education (ASPETE).
- Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. Nueva York, NY (EE. UU.): Crown.
- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., y Kardgar, A. (2019). A Systematic Review of Studies on Educational Robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 9(2), 19–42, DOI: 10.7771/2157-9288.1223
- Arduino. (2020). *Arduino Store* [página web corporativa]. Recuperado de <https://www.arduino.cc>
- Atmatzidou, S., y Demetriadis, S. (2017). A didactical model for educational robotics activities: A study on improving skills through strong or minimal guidance. En D. Alimisis, M. Moro, y E. Menegatti (Eds.) *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 560 (pp. 58–72). Springer, Cham.
- Atmatzidou, S., Markelis, I., y Demetriadis, S. (2008). The use of LEGO Mindstorms in elementary and secondary education: Game as a way of triggering learning. En *Workshop Proceedings of International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN)* (pp. 22–30). Venecia (Italia).
- Balaguer, I. A. (2017). Introduction to robotics: Importance of a summer camp as a recruiting tool for future university students. *IEEE Revista Iberoamericana De Tecnologías Del Aprendizaje*, 12(2), 71–75. DOI: 10.1109/RITA.2017.2697739

- Barker, B. S., y Ansoorge, J. (2007). Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(3), 29–243. DOI: 10.1080/15391523.2007.10782481
- Bers, M. U., y Urrea, C. (2000). Technological prayers: Parents and children exploring robotics and values. En A. Druin y J. Hendler (Eds.) *Robots for Kids: Exploring New Technologies for Learning* (pp. 193–217). San Francisco, CA (EE. UU.): Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., y Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145–157. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.10.020
- Bers, M. U., Strawhacker, A., y Vizner, M. (2018). The design of early childhood makerspaces to support positive technological development. *Library Hi Tech*, 36(1), 75–96. DOI: 10.1108/LHT-06-2017-0112
- Bevan, B., Gutwill, J. P., Petrich, M., y Wilkinson, K. (2015). Learning through STEM-rich tinkering: Findings from a jointly negotiated research project taken up in practice. *Science Education*, 99(1), 98–120. DOI: 10.1002/sci.21151
- Blikstein, P. (2013). Digital fabrication and ‘making’ in education: The democratization of invention. En J. Walter-Herrmann y C. Büching (Eds.) *FabLabs: Of machines, makers and inventors* (pp. 203–221). Bielefeld (Alemania): Transcript Publishers.
- Blikstein, P., y Krannich, D. (2013). The makers’ movement and FabLabs in education: Experiences, technologies, and research. En *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '13* (pp. 613–616). Nueva York, NY (EEUU): Association for Computing Machinery (ACM).
- Brown, A. (2015). 3D printing in instructional settings: Identifying a curricular hierarchy of activities. *TechTrends*, 59(5), 16–24. DOI: 10.1007/s11528-015-0887-1
- Bruner, J. (1997). Celebrating divergence: Piaget and Vygotsky. *Human Development*, 40(2), 63–73. DOI: 10.1159/000278705
- Bull, G., Schmidt-Crawford, D. A., McKenna, M. C., y Cohoon, J. (2017). Storymaking: Combining making and storytelling in a school makerspace. *Theory into Practice*, 56(4), 271–281. DOI: 10.1080/00405841.2017.1348114
- Burton, B., Ogden, K., Walker, B., Bledsoe, L., y Hardage, L. (2018). Mars mission specialist: An integrated payload design challenge provides an authentic maker experience. *Science & Children*, 55(7), 46–54. Recuperado de: [https://www.thelamplighterschool.org/uploaded/2014\\_New\\_Site/Campus\\_Life/New\\_s\\_Publications/Lamplighter\\_in\\_the\\_News/2017-2018\\_media\\_coverage/MarsMissionSpecialist-Final.pdf](https://www.thelamplighterschool.org/uploaded/2014_New_Site/Campus_Life/New_s_Publications/Lamplighter_in_the_News/2017-2018_media_coverage/MarsMissionSpecialist-Final.pdf)
- Carbonaro, M., Rex, M., y Chambers, J. (2004). Using LEGO robotics in a project-based learning environment. *The Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*, 6(1). Recuperado de: <http://www.imej.wfu.edu/articles/2004/1/02/printver.asp>
- Catlin, D. (2017). 29 effective ways you can use robots in the classroom: An explanation of ERA pedagogical principle. En D. Alimisis, M. Moro, y E. Menegatti (Eds.) *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 560 (pp. 135–148). Springer, Cham.
- Catlin, D., y Blamires, M. (2010). The principles of Educational Robotics Applications (ERA): a framework for understanding and developing educational robots and their activities. En *Proceedings of Constructionism Paris*. París (Francia).
- Chou, P.-N. (2018). Skill development and knowledge acquisition cultivated by maker education: Evidence from Arduino-based educational robotics. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(10). DOI: 10.29333/EJMSTE/93483

- Chou, P.-N., y Su, Y.-N. (2017). Using educational robotics to support elementary school students' electrical engineering knowledge: A preliminary analysis. En T. C. Huang, R. Lau, Y. M. Huang, M. Spaniol, y C. H. Yuen (Eds.) *Emerging Technologies for Education. SETE 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10676 (pp. 409–412). Springer, Cham.
- Committee on Information Technology Literacy, National Research Council of the United States of America. (1999). *Being fluent with information technology*. Washington, D.C. (EE. UU.): The National Academies Press.
- Cooper, S., Dann, W., y Pausch, R. (2000). Alice: A 3-D tool for introductory programming concepts. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 15(5), 107–116.
- Cruz-Martín, A., Fernández-Madriral, J. A., Galindo, C., González-Jiménez, J., Stockmans-Daou, C., y Blanco-Claraco, J. L. (2012). A LEGO Mindstorms NXT approach for teaching at data acquisition, control systems engineering and real-time systems undergraduate courses. *Computers & Education*, 59(3), 974–988. DOI: 10.1016/j.compedu.2012.03.026
- Dewey, J. (1929). My pedagogic creed. En D. J. Flinders y S. J. Thornton (Eds.) *The Curriculum Studies Reader* (4ª ed., pp. 79–93). Nueva York, NY, (EE. UU.): Taylor & Francis.
- Dias, M. B., Mills-Tetty, G. A., y Nanayakkara, T. (2005). Robotics, education, and sustainable development. En *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 4248–4253). Barcelona (España): IEEE.
- diSessa, A. A. (2000). *Changing Minds: Computers, Learning, and Literacy*. Cambridge, MA (EE. UU.): MIT Press.
- Dougherty, D. (2013). The maker mindset. En M. Honey y D. E. Kanter (Eds.), *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators* (pp. 7–11). Nueva York, NY (EE. UU.): Routledge.
- Eguchi, A. (2014). Educational robotics theories and practice: Tips for how to do it right. En Information Resources Management Association (IRMA) (Ed.) *Robotics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 193–223). IGI Global.
- Eguchi, A. (2015). Educational robotics as a learning tool for promoting rich environments for active learning (REALs). En J. Keengwe (Ed.) *Handbook of Research on Educational Technology Integration and Active Learning* (pp. 19–47). Hershey, PA (EE. UU.): Information Science Reference (IGI Global).
- Eguchi, A. (2017). Bringing robotics in classrooms. En M. Khine (Ed.) *Robotics in STEM Education* (pp. 3–31). Springer, Cham.
- Gershenfeld, N. (2005). *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop—from Personal Computers to Personal Fabrication*. Nueva York, NY (EE. UU.): Basic Books.
- Grubbs, M. E. (2013). Robotics intrigue middle school students and build stem skills. *Technology and Engineering Teacher*, 72(6), 12–16.
- Halverson, E. R., y Sheridan, K. M. (2014). The maker movement in education. *Harvard Educational Review*, 84(4), 495–505. DOI: 10.17763/HAER.84.4.34j1g68140382063
- Hatch, M. (2014). *The Maker Movement Manifesto*. Nueva York, NY (EE. UU.): McGraw-Hill.
- Horn, M., Solovey, S., Crouser, R., y Jacob, R. (2009). Comparing the use of tangible and graphical programming languages for informal science education. En *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 975–984). Boston, MA (EE. UU.): ACM Press.
- Hsu, Y.-C., Baldwin, S., y Ching, Y.-H. (2017). Learning through making and maker education. *TechTrends*, 61, 589–594. DOI: 10.1007/s11528-017-0172-6

- Hussain, S., Lindh, J., y Shukur, G. (2006). The effect of LEGO training on pupils' school performance in mathematics, problem solving ability and attitude: Swedish data. *Journal of Educational Technology & Society*, 9(3), 182–194.
- Johnson, J. (2003). Children, robotics, and education. *Artificial Life and Robotics*, 7(1), 16–21. DOI: 10.1007/BF02480880
- Kafai, Y. B., y Pepler, K. A. (2014). Transparency reconsidered: Creative, critical and connected making with e-textiles. En M. Boaler y M. Ratto (Eds.) *DIY Citizenship: Participatory Practices of Politics, Culture and Media* (pp. 300–310). Cambridge, MA (EE. UU.): MIT Press.
- Kafai, Y. B., Fields, D., A. y Searle, K. A. (2014). Electronic textiles as disruptive designs: Supporting and challenging maker activities in schools. *Harvard Educational Review*, 84(4), 532–556. DOI: 10.17763/haer.84.4.46m7372370214783
- Khanlari, A., y Kiaie, F. M. (2015). Using robotics for STEM education in primary/elementary schools: Teachers' perceptions. En *Proceedings of 2015 10th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 3–7). Cambridge (Reino Unido): IEEE.
- Kim, C., Kim, D., Yuan, J., Hill, R. B., Doshi, P., y Thai, C. N. (2015). Robotics to promote elementary education pre-service teachers' STEM engagement, learning, and teaching. *Computers & Education*, 91(C), 14–31. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.08.005
- Kostakis, V., Niaros, V., y Giotitsas, C. (2015). 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and Informatics*, 32(1), 118–128. DOI: 10.1016/j.tele.2014.05.001
- Lindh, J., y Holgersson, T. (2007). Does LEGO training stimulate pupils' ability to solve logical problems? *Computers & Education*, 49(4), 1097–1111. DOI: 10.1016/j.compedu.2005.12.008
- Litts, B. K., Kafai, Y. B., Lui, D. A., Walker, J. T., y Widman, S. A. (2017). Stitching codeable circuits: High school students' learning about circuitry and coding with electronic textiles. *Journal of Science Education and Technology*, 26(5), 494–507. DOI: 10.1007/s10956-017-9694-0
- Marshall, P. (2007). Do tangible interfaces enhance learning? En *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (pp. 163–170). Baton Rouge, LA (EE. UU.): ACM Press.
- Martin, L. (2015). The promise of the maker movement for education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 5(1), 30–39. DOI: 10.7771/2157-9288.1099.
- Martinez, S. L., y Stager, G. (2013). *Invent to learn: Making, tinkering, and engineering in the classroom*. Constructing Modern Knowledge Press.
- Menekse, M., Higashi, R., Schunn, C. D., y Baehr, E. (2017). The role of robotics teams collaboration quality on team performance in a robotics tournament. *Journal of Engineering Education*, 106(4), 564–584. DOI: 10.1002/jee.20178
- Merdan, M., Lepuschitz, W., Koppensteiner, G., y Balogh, R. (2017). *Robotics in education: Research and practices for robotics in stem education*. Springer International Publishing.
- Montessori, M., y George, A. E. (1964). *The Montessori Method*. Nueva York, NY (EE. UU.): Schocken Books.
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., y Adamchuk, V. I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391–408. DOI: 10.1080/15391523.2010.10782557
- Okita, S. Y. (2014). The relative merits of transparency: Investigating situations that support the use of robotics in developing student learning adaptability across virtual and

- physical computing platforms. *British Journal of Educational Technology*, 45(5), 844–862. DOI: 10.1111/bjet.12101
- Oliver, K. M. (2016). Professional development considerations for makerspace leaders, part one: Addressing "what?" and "why?". *TechTrends*, 60, 160–166. DOI: 10.1007/s11528-016-0028-5
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Nueva York, NY (EE. UU.): Basic Books, Inc.
- Papert, S. (1986). Beyond the cognitive: The other face of mathematics. En *Tenth International Conference Psychology of Mathematics Education* (Plenary Lecture). Londres (Reino Unido): London Institute of Education. Recuperado de: <http://dailypapert.com/wp-content/uploads/2015/07/BeyondTheCognitive.pdf>
- Papert, S. (1993). *The children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*. Nueva York, NY (EE. UU.): Basic Books, Inc.
- Papert, S., y Harel, I. (1991). *Constructionism*. Norwood, NJ (EE. UU.): Ablex Publishing.
- Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology* (Traducido por E. Duckworth). Nueva York, NY (EE. UU.): W.W. Norton & Company.
- Plaza Merino, P., Sancristóbal Ruiz, E., Carro Fernández, G., y Castro Gil, M. (2016). A wireless robotic educational platform approach. En *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (pp. 145–152). Madrid: IEEE.
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., et al. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60–67. DOI: 10.1145/1592761.1592779
- Rusk, N., Resnick, M., Berg, R., y Pezalla-Granlund, M. (2008). New pathways into robotics: Strategies for broadening participation. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 59–69. DOI: 10.1007/s10956-007-9082-2
- Santo, R. (2013). Towards hacker literacies: What Facebook's privacy snafus can teach us about empowered technological practices. *Digital Culture & Education*, 5(1), 18–33. Recuperado de: <https://static1.squarespace.com/static/5cf15af7a259990001706378/t/5cf531668c072e000127a80f/1559572840014/Santo+%28June+2013%29.pdf>
- Sapounidis, T., y Demetriadis, S. (2017). Educational robots driven by tangible programming languages: A review on the field. En D. Alimisis, M. Moro, y E. Menegatti (Eds.) *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 560 (pp. 205–214). Springer, Cham.
- Schad, M., y Jones, W. M. (2019). The maker movement and education: A systematic review of the literature. *Journal of Research on Technology in Education*, DOI: 10.1080/15391523.2019.1688739
- Schrock, A. R. (2014). "Education in disguise": Culture of a hacker and maker space. *InterActions: UCLA Journal of Education and Information Studies*, 10(1), 1–25. Recuperado de: <https://escholarship.org/uc/item/0js1n1qg>
- Schön, S., Ebner, M., y Kumar, S. (2014). The maker movement. Implications of new digital gadgets, fabrication tools and spaces for creative learning and teaching. *eLearning Papers*, 39, 14–25.
- Sheridan, K. M., Halverson, E. R., Brahms, L., Litts, B. K., Jacobs-Priebe, L., y Owens, T. (2014). Learning in the making: A comparative case study of three makerspaces. *Harvard Educational Review*, 84(4), 505–531. DOI: 10.17763/haer.84.4.brr34733723j648u
- Sullivan, F. R. (2008). Robotics and science literacy: Thinking skills, science process skills and systems understanding. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 373–394. DOI: 10.1002/tea.20238

- The White House. (2014). *Fact sheet: President Obama to host first-ever white house maker faire*. Washington, D.C. (EE. UU.): Office of the Press Secretary. Recuperado de: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2014/06/18/fact-sheet-president-obama-host-first-ever-white-house-maker-faire>
- The White House. (2016). *Nation of makers*. Recuperado de: <https://obamawhitehouse.archives.gov/nation-of-makers>
- Tofel-Grehl, C., Fields, D., Searle, K., Maahs-Fladung, C., Feldon, D., Gu, G., et al. (2017). Electrifying engagement in middle school science class: Improving student interest through e-textiles. *Journal of Science Education & Technology*, 26(4), 406–417. DOI: 10.1007/s10956-017-9688-y
- Universitat Politècnica de València. (2015). *TechShop: una revolució industrial por 100 euros al mes*. Recuperado de: <http://www.upv.es/noticias-upv/documentos/5934.pdf>
- van Delden, S., y Yang, K.-P. (2014). Robotics summer camps as a recruiting tool: A case study. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 29(5), 14–22. Recuperado de: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2600623.2600626>
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo center for connected learning and computer-based modeling*. Recuperado de: NetLogo: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>
- Williams, D., Ma, Y., Prejean, L., Ford, M. J., y Lai, G. (2007). Acquisition of physics content knowledge and scientific inquiry skills in a robotics summer camp. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(2), 201–216. DOI: 10.1080/15391523.2007.10782505.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking: It represents a universally applicable attitude and skill set everyone, not just computer scientists, would be eager to learn and use. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. Recuperado de: <https://www.cs.cmu.edu/~15110-s13/Wing06-ct.pdf>
- Wright, L., Shaw, D., Gaidos, K., Lyman, G., y Sorey, T. (2018). 3D pit stop printing. *Science & Children*, 55(7), 55–63. Recuperado de: <https://www.questia.com/read/1G1-530964521/3d-pit-stop-printing-a-student-competition-supports>
- Xia, L., y Zhong, B. (2018). A systematic review on teaching and learning robotics content knowledge in K–12. *Computers & Education*, 127, 267–282. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.09.007.
- Yadav, A., Zhou, N., Mayfield, C., Hambruch, S., y Korb, J. T. (2011). Introducing computational thinking in education courses. En *SIGCSE '11: Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 465–470). Dallas, TX (EE. UU.): ACM Press.
- Yudin, A., Vozhdaev, A., Sukhotskiy, D., Salmina, M., Sukhotskaya, T., y Sukhotskiy, V. (2017). Intensive robotics education approach in the form of a summer camp. En D. Alimisis, M. Moro, y E. Menegatti (Eds.) *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 560 (pp. 246–250). Springer, Cham.