

E-textiles para la educación STEAM en educación primaria: una revisión sistemática

E-textiles for STEAM education in primary and middle school: a systematic review



- Paola Guimeráns-Sánchez - *Universidad de Vigo (España)*
- Almudena Alonso-Ferreiro - *Universidad de Vigo (España)*
- María-Ainoa Zabalza-Cerdeiriña - *Universidad de Vigo (España)*
- Inés María Monreal-Guerrero - *Universidad de Valladolid (España)*

RESUMEN

El creciente interés por implementar la educación *maker* ha puesto de relieve que los textiles electrónicos (e-textiles) ofrecen numerosas posibilidades en el ámbito educativo. El artículo se basa en la metodología de revisión sistemática con el objetivo de caracterizar la producción científica relacionada con el uso educativo de los e-textiles en educación primaria¹ como elemento de acción en actividades que buscan despertar diversos conocimientos, habilidades y destrezas en el aprendizaje competencial de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas (STEAM). La revisión se realiza entre los años 2006 al 2021 siguiendo los estándares PRISMA. Se consultaron cuatro bases de datos de reconocido prestigio internacional (Scopus, ERIC, WoS y ACM), encontrando, tras el cribado, 483 artículos, de los cuales se seleccionaron los 35 que cumplieran con los criterios de elegibilidad establecidos. Los resultados y discusión arrojan que la mayoría de los estudios se desarrollan en la educación no formal, siendo el kit LilyPad la herramienta de uso predominante. Se evidencian datos de la eficacia del uso de e-textiles para el aprendizaje de computación, circuitos, el pensamiento computacional. Existen numerosos estudios que determinan que los e-textiles promueven el fomento de la equidad y el aprendizaje competencial STEAM, siendo un campo dominado por la autoría femenina. Nuestro estudio concluye que el uso de los e-textiles en actividades educativas para estudiantes de 6 a 13 años, promueve habilidades en todas las áreas STEAM, en contextos formales y no formales, utilizando metodologías que fomentan la participación entre el alumnado y el aprendizaje competencial.

Palabras clave: e-textiles; STEAM; cultura *maker*; educación primaria; revisión sistemática de literatura.

ABSTRACT

The growing interest in implementing maker education has highlighted the potential of electronic textiles (e-textiles) in the field of education. This article employs a systematic review methodology to characterize the scientific literature related to the educational use of e-textiles in primary education, focusing on their role in activities that stimulate diverse knowledge, abilities, and skills within the framework of Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics (STEAM) competencies. The review covers the period from 2006 to 2021, adhering to the PRISMA standards. Four prestigious international databases (Scopus, ERIC, WoS, and ACM) were consulted, resulting in the identification of 483 articles. After screening, 35 articles that met the predefined eligibility criteria were selected for analysis. The results and discussions elucidate that the majority of studies were conducted in non-formal educational settings, predominantly utilizing the LilyPad kit as the primary tool. The findings provide data supporting the effectiveness of e-textiles in facilitating learning related to computing, circuits and computational thinking. Numerous studies suggest that the use of e-textiles contributes to equity in STEAM competency acquisition, particularly notable due to the prevalence of female authorship in this field. In conclusion, our study demonstrates that the integration of e-textiles into educational activities for students aged 6 to 13 promotes STEAM skills across all domains. This impact extends to both formal and non-formal contexts, with methodologies designed to encourage student participation and competency-based learning.

Keywords: e-textiles; STEAM; *maker* culture; primary and middle school; systematic review.

INTRODUCCIÓN

La educación STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Maths) es un nuevo modelo educativo competencial que destaca por favorecer la teorización e integración de las artes en las ramas de aprendizaje de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, aglutinadas comúnmente bajo el acrónimo de STEM (Aguilera y Ortiz-Revilla, 2021). Este modelo destaca porque apuesta por procesos de enseñanza y aprendizaje a través de la transdisciplinariedad (White y Delaney, 2021). Al estar estrechamente enraizado con la educación *maker* (Jia et al., 2021), busca garantizar la adquisición de un conocimiento transversal, en el que los contenidos de cada una de estas ramas no se trabajen de manera aislada, sino de forma interdisciplinar para garantizar un aprendizaje competencial, funcional, contextualizado y significativo. La apuesta por este enfoque ha traído consigo la incorporación de nuevos recursos didácticos como los e-textiles, que, similar a la robótica educativa por su carácter multidisciplinar, resultan eficaces para preparar a los docentes a integrar las ciencias de la computación y el pensamiento computacional en el currículum (Fields et al., 2019). Es por esto, que consideramos fundamental incorporar habilidades *maker* en la formación inicial y permanente del profesorado (Valente y Blikstein, 2019). Como se demuestra en el programa E-STITCH, los e-textiles se proponen como una de las piezas clave para que las materias STEAM puedan funcionar al mismo nivel (Tofel-Grehl et al., 2021; Tofel-Grehl et al., 2022). Dicho programa liderado por profesoras americanas como la Dr. Colby Tofel-Grehl o la Dr. Kristin Searle (2023), referentes en el ámbito universitario de los e-textiles aplicados a la educación, determina una tendencia al alza para incorporar dicha metodología en las aulas universitarias.

Los e-textiles son tejidos que tienen incorporados componentes digitales y electrónicos (Buechley et al., 2008). Investigadoras como Buechley et al. (2013) o Jayathirtha y Kafai (2020) señalan que la realización de proyectos de e-textiles es una forma efectiva de educar en STEAM y adquirir desenvolvimiento competencial desde una edad temprana. Estas últimas autoras, en los resultados de su metasíntesis de 64 artículos sobre una década de e-textiles, de los cuales 8 artículos se incluyen dentro de nuestro objeto de estudio, afirman que éstos son un campo motivador y prometedor para la participación equitativa y ampliación al acceso a la educación informática, concluyendo que es necesario profundizar en estas investigaciones para determinar las oportunidades que representan de cara a que el alumnado pueda acceder al campo de las ciencias de la computación. Por su parte, Buechley et al. (2013) recogen evidencias empíricas que profundizan en los beneficios del uso de los e-textiles en la educación y cómo los kits de construcción de e-textiles están remodelando la educación tecnológica.

Por ello, en este momento de expansión de la educación *maker*, resulta de interés interrogarse sobre la efectividad de los e-textiles para despertar la curiosidad por las materias científicas y tecnológicas a edades tempranas. Por tanto, se propone una

revisión sistemática de literatura para conocer el uso de los e-textiles como recurso educativo de apoyo para el aprendizaje STEAM en estudiantes de entre 6 y 13 años. Para dar respuesta a este objetivo, se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué áreas STEAM se trabajan a través de los e-textiles y con qué tecnologías?
- ¿Qué enfoques metodológicos se emplean para integrar los e-textiles en educación primaria?
- ¿En qué contextos se aborda el aprendizaje de e-textiles con estudiantes de 6 a 13 años?

ANTECEDENTES

E-textiles en el contexto del movimiento *maker*

Se denominan textiles electrónicos o e-textiles a los “artefactos de tela que incluyen computadoras integradas y otros dispositivos electrónicos” (Peppler, 2013, p. 38). La creación de estos artefactos está asociada al área de las tecnologías vestibles que tradicionalmente ha estado reservada para científicos, ingenieros textiles, profesionales de la salud y pioneros en las artes y el diseño de moda (Ryan, 2014). Este campo multidisciplinar surge de las investigaciones realizadas en la década de los noventa en el ámbito del diseño de interacción aplicado a lo vestible, y se caracteriza por utilizar novedosos materiales flexibles, conductores e inteligentes, con los cuales se pueden conseguir resultados muy visuales y estéticos (Berzowska, 2005; Orth et al., 1998). En la creación de estos artefactos se une la ingeniería y la computación para crear computadoras que sean “suaves, coloridas, accesibles y hermosas” (Buechley et al., 2013, p. 1), permitiendo la posibilidad de combinar el arte y la expresión creativa con la ingeniería, adentrándonos en dominios de conocimiento como la programación, el trabajo manual y la electrónica (Kafai et al., 2019).

Dicho campo era complejo e inaccesible hasta finales de los años 90, pero alrededor del 2006 la eclosión del movimiento *maker* y la filosofía *Do it Yourself* (DIY) permitió su democratización (Posch y Fitzpatrick, 2021; Perner-Wilson y Buechley, 2013). La cultura *maker* surge en los Estados Unidos y se populariza a nivel global a través de las *Maker Faires* (Dougherty, 2013). Los *makers* (Hatch, 2014) realizan actividades que consisten en construir cosas en espacios de aprendizaje colaborativo tanto físicos como digitales, y sus proyectos están asociados con el uso de las impresoras 3D, la robótica o los e-textiles, entre otros (Anderson, 2012). La educación *maker* defiende el hacer (o crear/construir) como una forma de aprender (Peppler y Bender, 2013) y destaca por contribuir a las denominadas habilidades del siglo XXI (González-Pérez y Ramírez-Montoya, 2022). Las raíces de este movimiento

se asocian con la teoría constructivista de Papert (1980), y a su vez, con las teorías constructivistas del aprendizaje (de clásicos como Piaget, Vygotsky o Dewey).

En el desarrollo y construcción de los e-textiles se crean artefactos electrónicos que pueden ser vestibles o que incluyen circuitos u ordenadores programables, lo que favorece el aprendizaje, puesto que se crea un artefacto personalmente significativo (Papert y Harel, 1991).

En los últimos años, la construcción de medios digitales y el aprendizaje de la electrónica se han vuelto accesibles para todos los públicos (Spina y Lane, 2020), favoreciendo que los e-textiles aplicados a la educación se conviertan en un interesante recurso didáctico para trabajar la educación STEAM.

Educación STEAM con e-textiles

La educación STEM parte de un modelo integrador que facilita el aprendizaje desde la propia experiencia y que da respuesta a las exigencias propias del nuevo milenio (Tytler, 2020; Sanders, 2009). Gradualmente, y con el fin de añadir una perspectiva más creativa e innovadora, se integra el Arte, surgiendo así el término STEAM (Perignat y Katz-Buonincontro, 2019; Maeda, 2013; Yakman 2008). Entre las diferentes iniciativas propuestas que responden a este enfoque educativo destaca el aprendizaje basado en proyectos en el contexto de los e-textiles. Al considerarse el enfoque constructivista en el campo del STEAM, los e-textiles prometen ser un importante recurso didáctico que ofrece numerosas posibilidades para el desarrollo de una educación centrada en estas áreas (Kara y Cagiltay, 2023; Hughes y Morrison, 2018). En este sentido, entre otros aspectos, varios autores han demostrado que la creación de artefactos de e-textiles beneficia el desarrollo del pensamiento creativo y crítico (Lui et al., 2019; Peppler y Wohlwend, 2018) y favorece que el alumnado aprenda de manera novedosa sobre conceptos de circuitos eléctricos (Tofel-Grehl et al., 2017). Dadas sus características, diferentes autoras argumentan que representan una oportunidad para la expansión del aprendizaje de las ciencias de la computación (Jayathirtha y Kafai, 2019), incluyendo elementos de circuitos, el *design thinking* y las artes, desdibujando de esta forma los límites tradicionales entre disciplinas (Kafai et al., 2014). En esta línea, se señala este campo y sus aplicaciones a la educación como pieza clave para trabajar las materias STEAM (Fields y Kafai, 2023; Peppler, 2013) y fomentar el pensamiento computacional (Wing, 2006). En particular, porque la incorporación del diseño iterativo (Fields et al., 2019) ofrece el escenario de aprendizaje para que los estudiantes adquieran competencias en la asunción de riesgos que determinen el manejo del pensamiento computacional desde la base crítica.

Siguiendo a Papert (1980), los ámbitos de las ciencias del aprendizaje y la tecnología educativa se han centrado en que los estudiantes aprenden manipulando y creando objetos digitales. Esto se refleja en el uso de plataformas como, por ejemplo, TurtleStitch, que permite bordar lo que programas y crear proyectos en textiles.

Los proyectos realizados por la comunidad representada, entre otros, por Margaret Low, han demostrado su potencial para que el alumnado adquiera competencias en diseño, matemáticas, arte y composición (Klimczak y Solomon, 2022). En esta línea, en el campo de los e-textiles han emergido numerosos kits de construcción que ofrecen diferentes enfoques para iniciarse en la programación, la electrónica y las STEAM. El uso de estos kits en el aula ofrece una mayor transparencia sobre el aprendizaje que los kits de construcción de robótica (Kafai et al., 2014). Buechley (2006) diseñó el kit LilyPad con el objetivo de ampliar la participación en las ciencias de la computación.

El kit LilyPad fue diseñado de manera similar al kit LEGO Mindstorms (Resnick et al., 1988) e incluye una placa programable de bajo coste y código abierto basada en Arduino (Banzi, 2008), hilo conductor y diferentes sensores y actuadores adaptados para ser fácilmente cosibles al textil, lo que permite a los usuarios diseñar y crear sus propios e-textiles (Buechley et al., 2008). Existen otros kits similares como Flora, LilyTiny o EduWear que, al igual que LilyPad, enfatizan el acto de coser los circuitos y hacerlos visibles con la finalidad de que el usuario tenga una comprensión de la programación, la electrónica y los circuitos (Lovell et al., 2023; Schelhowe et al., 2013; Stern y Cooper, 2015). Otros kits pre-fabricados como i*CATch o Make Wear ofrecen un sistema de *plug-and-play* y son más amigables (Kazemitabaar et al., 2017; Ngai et al., 2013). Quilt Snaps y TeeBoard (Buechley et al., 2005; Ngai et al., 2009b) tienen como objetivo principal que el alumnado profundice en la experiencia computacional. Todos estos kits de construcción ofrecen una interesante nueva gama de herramientas y materiales, tanto para el profesorado como para el propio alumnado. Al demostrarse su valor educativo, los e-textiles se han convertido en una práctica competencial que está ganando importancia, constituyéndose como un campo potencialmente emergente de investigación educativa, la elaboración de materiales curriculares similares a los de la robótica educativa (Fields y Kafai, 2023; Hébert y Jenson, 2020) y aparición de libros con actividades adaptadas a los Estándares de Ciencias de la Próxima Generación (NGSS) americanos, pensados para que el profesorado lleve los e-textiles al aula (Peppler, Gresalfi et al., 2014; Peppler, Salen Tekinbas et al., 2014). Tras la reciente implementación en el aula del modelo STEAM y con el fin de mejorar el aprendizaje del alumnado, el uso de los e-textiles se ha ido integrando gradualmente en los contextos educativos a través de la creación de espacios de aprendizaje (Peppler, 2022; Martínez y Stager, 2013). Como indican Halverson y Sheridan “la gran promesa del movimiento *maker* en la educación es democratizar el acceso a los discursos de poder, para que los usuarios puedan convertirse en productores de sus propios artefactos, especialmente si estos artefactos están contruidos con las tecnologías del siglo XXI” (2014, p. 502). Por todo ello, y pensando en los beneficios que este recurso educativo representa de cara a una formación científica y tecnológica a temprana edad, resulta necesaria la investigación de su uso en educación con estudiantes de 6 a 13 años.

MÉTODO

Para dar respuesta a las preguntas de investigación, se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura (RSL) científica específica (Newman y Gough, 2020) que aborda los e-textiles aplicados a la educación en el campo STEAM. Se emplearon bases de datos propias de la investigación en ciencias sociales, centrándonos en educación (Scopus, ERIC, WoS) y una especializada en ciencias de la computación (ACM Digital Library), ya que resulta de gran interés como una de las fuentes de referencia para estudios que se encuentran en la intersección de la Informática con las Ciencias Sociales y las Humanidades. Se han seguido las pautas marcadas por la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis protocols) (Page et al., 2021).

Revisión sistemática de literatura

La estrategia de búsqueda se inició con la selección de las palabras clave en los tres ejes conceptuales que configuran la RSL realizada (Tabla 1).

Tabla 1

Bases de datos, ecuaciones de búsqueda y resultados

Base de datos	Ecuaciones de búsqueda	Número de artículos encontrados
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((“e-textiles” OR “electronic textiles” OR lilypad OR wearable*) AND (steam OR stem OR math OR science* OR technolog* OR engineering OR art*) AND (“middle school” OR “K-12” OR “primary education” OR “primary school” OR “elementary school” OR “elementary education” OR “compulsory education”))	139
WoS	TS=((“e-textiles” OR “electronic textiles” OR wearable* OR LilyPad) AND (STEAM OR STEM OR math* OR science* OR technolog* OR engineering OR art*) AND (“K-12” OR “elementary school” OR “elementary education” OR “middle school” OR “primary school” OR “primary education” OR “compulsory education”))	86
ERIC	(“e-textiles” OR “electronic textiles” OR lilypad OR wearable*) AND (steam OR stem OR math* OR science* OR technolog* OR engineering OR art*) AND (“middle school” OR “K-12” OR “primary education” OR “primary school” OR “elementary school” OR “elementary education” OR “compulsory education”)	36

Base de datos	Ecuaciones de búsqueda	Número de artículos encontrados
ACM Digital Library	[[All: “e-textiles”] OR [All: “electronic textiles”] OR [All: wearabl*] OR [All: lilypad]] AND [[All: steam] OR [All: stem] OR [All: math*] OR [All: science*] OR [All: technolog*] OR [All: engineering] OR [All: art*]] AND [[All: “compulsory education”] OR [All: “middle school”] OR [All: “primary school”] OR [All: “elementary school”]]	448

Se emplearon bases de datos de reconocido prestigio, que albergan publicaciones de impacto, con el fin de garantizar que los estudios cumplan con los estándares de la comunidad científica, centrándonos en publicaciones con disponibilidad de texto completo. Consideramos el año 2006 como año de inicio de la revisión sistemática atendiendo a la publicación del artículo de Buechley et al. (2006) que hace referencia al potencial de los e-textiles en la educación. Los idiomas de publicación incluidos fueron el inglés y el español, dos de las lenguas mayoritarias en la Academia.

Los registros bibliográficos resultado de las búsquedas de cada base de datos se exportaron a un documento Excel. Desde este *software* se gestionó el listado de artículos, con una pestaña para el registro de cada una de las bases de datos y una pestaña con el global de publicaciones, donde se eliminaron manualmente los duplicados, obteniendo un total de 641 registros. El proceso de selección partió de la revisión de títulos y resúmenes de los documentos registrados. Atendiendo a los criterios de elegibilidad (Tabla 2), se incluyeron investigaciones en inglés que abordan el uso de los e-textiles para el aprendizaje STEAM en nuestro rango de estudio; excluyéndose artículos publicados fuera del período establecido (2006-2021). Posteriormente se comprobó si el texto completo era accesible. En este punto se excluyeron 17 documentos (Figura 1).

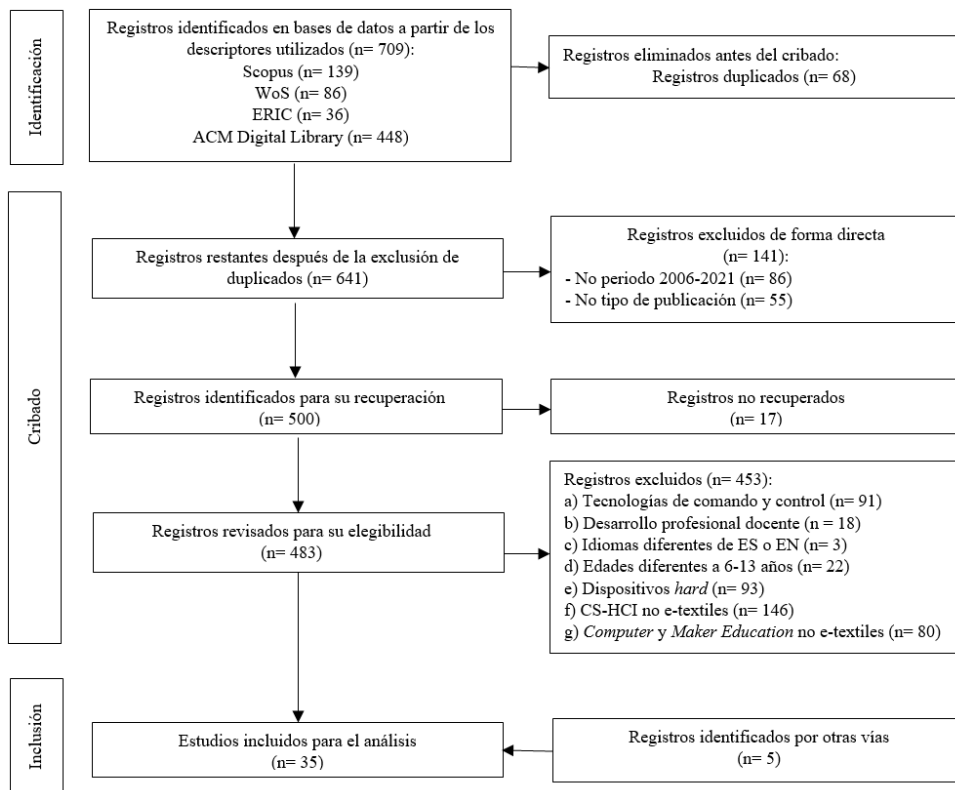
Tabla 2
Criterios de inclusión/exclusión de la RSL

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
(a) Publicados entre 2006-2021. (b) Disponible texto completo. (c) Artículos publicados en las bases de datos Scopus, WoS, ERIC y ACM. (d) Artículo de revista, conferencia o capítulo de libro.	(a) Publicaciones en el que el término “e-textiles” o “wearable” se mencionan como dispositivos de comando y control, para la monitorización del usuario, no como medios o contextos de aprendizaje. (b) Se utilizan en la formación profesional o formación continua de profesionales (por ejemplo, la formación de profesorado). (c) Idiomas diferentes de inglés o español. (d) Trabajos que no incluyen edades de 6 a 13 años. (e) Estudios en los que los términos “wearable” hacen referencia a dispositivos hard. (f) Estudios del campo del Computer Science (CS) -HCI- que no se centra en “e-textiles” o “wearables”. (g) Estudios sobre <i>computer or maker education</i> que no se centran “e-textiles” o “wearables”.

Los documentos seleccionados en función de los criterios de elegibilidad pasaron a la segunda fase de cribado, en los que se eliminaron publicaciones en las que los e-textiles se emplean como tecnologías de comando y control (p.ej. relojes inteligentes, lectores cerebrales etc.), investigaciones centradas en el desarrollo profesional del profesorado y aquellas relacionadas con los e-textiles que no centran su foco en esta tecnología. Se excluyeron trabajos que no abordaban los e-textiles en el aprendizaje de estudiantes en el rango de edad establecido. En esta fase se excluyeron 453 documentos, arrojando 30 publicaciones que cumplen los criterios de inclusión/exclusión definidos previamente. A ellas se incorporan, como literatura gris, 5 artículos incluidos en un libro-compilación de los referentes del campo de los e-textiles (Buechley et al., 2013), lo que resultó en 35 trabajos seleccionados para realizar el análisis de contenido (Figura 1). Los artículos encontrados fueron revisados por dos investigadoras: la primera autora revisó todos los resultados, mientras que el resto de las autoras revisaron, de forma independiente, un tercio de los artículos cada una de ellas, poniendo en común, posteriormente, todas las valoraciones de cada miembro del equipo de investigación. En aquellos documentos que plantearon dudas entre las investigadoras, se repitió el proceso de análisis.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA 2020 (Haddaway et al., 2022)



Extracción de datos y análisis de contenido

Los documentos seleccionados se analizaron atendiendo a los tres ejes del estudio: la tecnología digital (los e-textiles como recurso), el enfoque metodológico y el contexto educativo, a través del método de análisis crítico de contenido (Newman y Gough, 2020). En un primer momento se realizó un análisis bibliométrico de la producción científica recogida en la RSL. Este análisis muestra la relación de autorías, la distribución geográfica, los años de producción y las características de la investigación en el campo de los e-textiles para el aprendizaje en educación primaria. En una segunda fase, las preguntas de investigación generaron una serie de categorías de análisis, incluyendo información sobre *hardware*, *software*, metodología, proyecto, contexto educativo y edades involucradas. Dos investigadoras, de manera

individual, codificaron manualmente todos los estudios atendiendo a las categorías de análisis. En caso de discrepancia entre las investigadoras, la codificación se resolvió mediante el doble análisis del resto de investigadoras.

RESULTADOS

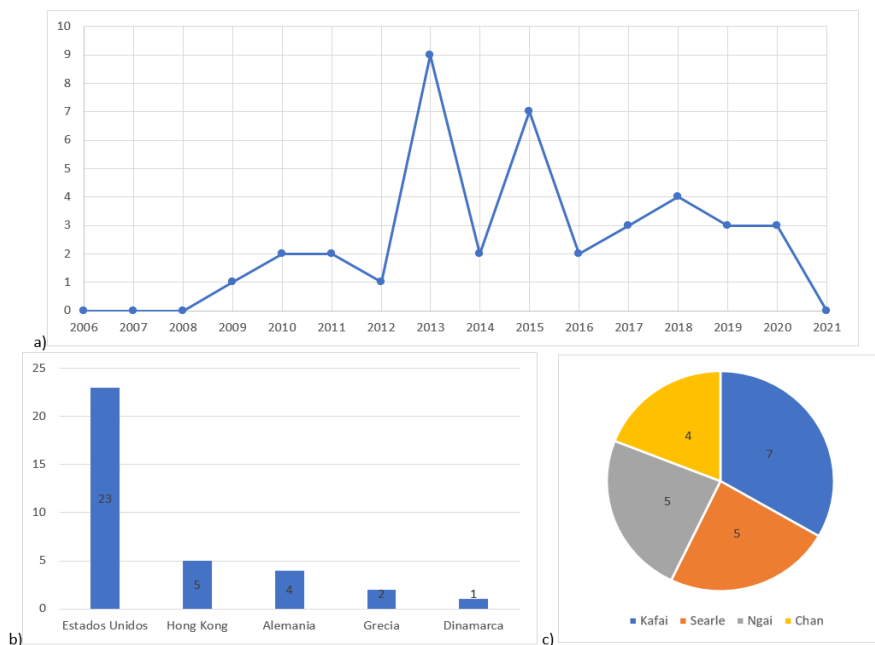
En esta sección se presentan, organizados en relación a las preguntas de investigación planteadas, los resultados obtenidos tras el análisis en profundidad de los 35 documentos incluidos en la RSL.

Análisis bibliométrico

Las 35 producciones científicas que conforman la muestra de estudios de la revisión sistemática apuntan al año 2013 como momento de eclosión de la literatura sobre e-textiles en el ámbito educativo (Figura 2a). Encontramos un primer artículo en el año 2009, pero es a partir de 2013 cuando se evidencia una publicación anual con mayor regularidad sobre esta temática. Los datos revelan que Estados Unidos es el país con mayor producción (Figura 2b), siendo Kafai, Searle y Ngai las autoras con mayor producción (Figura 2c). En el cómputo total referido a la autoría dominan las mujeres (55,1%), teniendo firma femenina como primera autora 29 de los 35 trabajos, lo que evidencia que la temática es un área de crecimiento en donde los estudios están conformados por equipos liderados por mujeres.

Figura 2

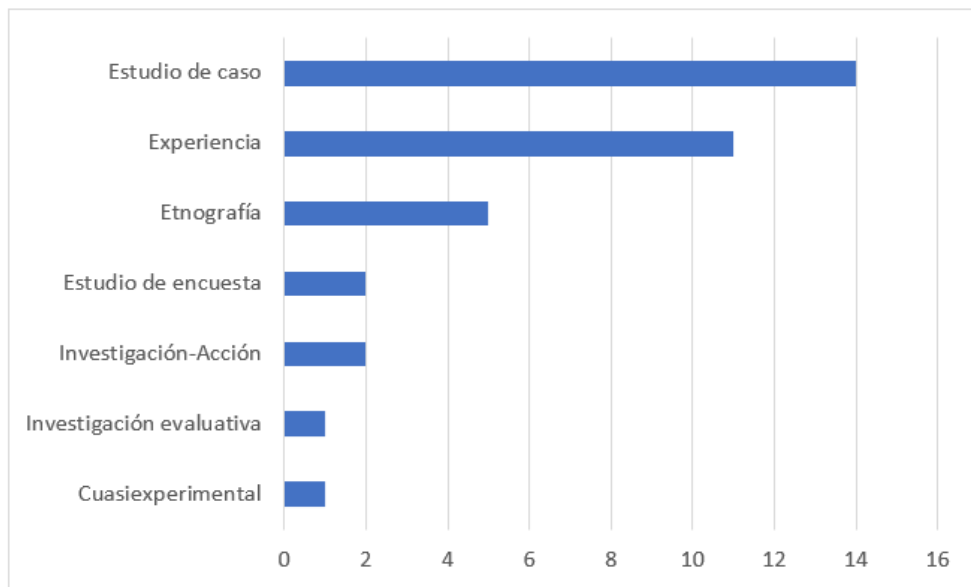
a) Años de publicación. b) Países de referencia de las propuestas educativas con e-textiles. c) Autoras más representativas



En lo que respecta al diseño metodológico, la investigación sobre e-textiles en educación se aborda principalmente a través de diseños cualitativos (61,8%), destacando el estudio de caso (Figura 3). Cabe señalar la alta producción de experiencias compartidas en congresos.

Figura 3

Diseño metodológico de investigación de la producción sobre e-textiles para el aprendizaje



Áreas STEAM y Tecnologías para trabajar con e-textiles en educación primaria

La RSL pone de manifiesto que el 75 % de los proyectos que se abordan en las publicaciones revisadas se crean con un kit de e-textiles utilizando una placa programable (Tabla 3). De ellos, el kit LilyPad es el preferido en las experiencias en este campo (77,8 %). Con base en el cruce de datos derivados de la metasíntesis, dicho kit se presenta como una alternativa a la enseñanza de la robótica educativa y rompe con los estereotipos de género o etnia en torno a las herramientas y el diseño de artefactos digitales (Jayathirtha y Kafai, 2020). Diferentes estudios analizados concluyen que ayuda a reducir la brecha de género (Buechley 2010; Buechley et al., 2013; Erete et al., 2016; Keshwani et al., 2016; Lau et al., 2009; Nugent et al., 2019; Rigden et al., 2019; Kafai et al., 2014; Searle y Kafai, 2015b; Weibert et al., 2014) y a disminuir la representación de minorías (Richard et al., 2018; Searle y Kafai, 2015a) en los ámbitos científico y tecnológico. Los estudios revelan que el trabajo con e-textiles en la etapa de educación primaria privilegia el lenguaje de programación por bloques, presente en dos tercios de las publicaciones revisadas; especialmente en los últimos niveles de educación primaria, involucrando, mayoritariamente, a alumnado de entre 11 y 13 años (Tabla 3). Este resultado coincide con la mayoría de

los estudios revisados en la metátesis (87 %) en los que se involucra a estudiantes de entre 11 y 18 años.

Tabla 3

Relación de tecnología empleada, recursos electrónicos y franja de edad

Autores y año de Publicación	Placa	Software	Lenguaje	Materiales y componentes electrónicos	Edades
Ananthanarayan y Boll (2020)	Calliope	calliope.cc	bloques	Actuadores y batería	8-9
Ball et al. (2017)	LilyPad	Arduino	bloques	Adhesivo de cobre, hilo conductor, batería, sensores y actuadores	11-18
Buechley (2010)	LilyPad	Arduino	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	11-18
Buechley (2013)	LilyPad	Arduino	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	10-19
Del Valle-Morales et al. (2020)	-	-	-	Tela e hilo conductor, plastilina conductora, batería, actuadores	10-13
Erete et al. (2016)	-	-	-	Prototipos en papel (diseño de circuitos)	11-13
Guler y Rule (2013)	-	-	-	Hilo conductor, actuadores, batería, textil termocrómico, cinta que brilla en la oscuridad	10-13
Kafai et al. (2011)	LilyPad	Arduino	bloques	Tela e hilo conductor, batería sensores y actuadores	12 y 14
Kafai et al. (2014)	LilyPad	Modkit	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	12-15
Kafai y Vasudevan (2015)	Makey Makey	Scratch	bloques	Tela conductora y pinzas cocodrilo	11-14
Keshwani et al. (2016)	LilyPad	Arduino	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	9-12
Koushik et al. (2017)	LilyPad	Arduino	código	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	11-13
Kuznetsov et al. (2011)	LilyPad	Arduino	código	Hilos conductores, batería, sensores y actuadores	10-12

Autores y año de Publicación	Placa	Software	Lenguaje	Materiales y componentes electrónicos	Edades
Lau et al. (2009)	LilyPad (Teaboard)	Bricklayer	bloques	Tela conductora, batería, sensores y actuadores	11-16
Lo et al. (2013)	-	i*Chameleon	bloques	Actuadores	10
Markvicka et al. (2018)	Arduino Leonardo	Arduino	código	Cinta y tela conductora	12-15
Merkouris et al. (2017)	LilyPad	Modkit	bloques	Hilo conductor, batería	11-12
Ngai et al. (2009a)	LilyPad (Teeboard)	Bricklayer	bloques	Tela conductora, batería, sensores y actuadores	10-16
Ngai, Chan, Leong et al. (2013)	Arduino (i*CATch)	i*CATch	bloques y código	Batería, sensores y actuadores	11-16
Ngai, Chan y Ng (2013)	Arduino (i*CATch)	i*CATch	bloques y código	Batería, sensores y actuadores	6-16
Norooz et al. (2015)	LilyPad (Body Vis)	-	-	Camiseta interactiva	4-11
Nugent et al. (2019)	LilyPad/LilyTiny	Arduino	código	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	9-12
Palaigeorgiou et al. (2019)	-	Arduino		El-wires	11-12
Pedersen et al. (2020)	CPX	Make Code	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	10-12
Peppler y Glosson (2013)	LilyPad	Arduino	código	Hilo conductor, batería y actuadores	7-12
Peppler y Danish (2013)	LilyPad (BeeSim)	-	-	Mascota interactiva	6-8
Richard et al. (2018)	LilyPad y Makey Makey	Modkit y Scratch	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	10-13
Rigden et al. (2019)	Flora	Arduino	código	Hilo, conductor, batería, sensores y actuadores	11-17
Rode et al. (2015)	LilyPad	Ardublock	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	8-10

Autores y año de Publicación	Placa	Software	Lenguaje	Materiales y componentes electrónicos	Edades
Searle y Kafai (2015a)	LilyPad	Arduino y Modkit	bloques y código	Hilo y tela conductores, batería, sensores y actuadores	12-14
Searle y Kafai (2015b)	LilyPad	Arduino y Modkit	bloques y código	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	12-14
Schelhowe et al. (2013)	LilyPad (Eduwear)	Amici	bloques	Hilo conductor, batería, sensores y actuadores	9-15
Trappe (2012)	Arduino	GUI-prototipo	bloques	Batería, actuadores y sensores	9-10
Vasudevan et al. (2015)	Makey Makey	Scratch	bloques	Tela conductora y pinzas cocodrilo	11-13
Weibert et al. (2014)	LilyPad	Arduino	bloques	Tela e hilo conductor, batería, actuadores y sensores	8-12

También se recogen varios estudios que abordan el potencial de otras plataformas, tanto comerciales como no comerciales, para la creación de e-textiles. Guler y Rule (2013), exploran el potencial del kit de Invent-abling que permiten construir circuitos analógicos con el fin de abordar la desigualdad de género en las herramientas de aprendizaje STEM. Ananthanarayan y Boll (2020) concluyen que el uso de Calliope posibilita la creación de situaciones de aprendizaje que permiten fomentar el proceso creativo a la vez que iniciarse en entornos de programación. Además, diferentes autores exploran el uso educativo de kits de estilo *plug-and-play* que no requieren de costura. Este tipo de kits están diseñados para la creación rápida de prototipos de e-textiles y favorecen el aprendizaje iterativo y exploratorio. Koushik et al. (2017) exploran el potencial educativo del kit Snappable Sensors que permite acercarse a la aritmética y al análisis de datos. Ngai et al. (2009a) diseñan el kit i*CATch con el objetivo de que los estudiantes puedan explorar conceptos computacionales en menos tiempo y concluye que este kit se puede usar en una amplia gama de niveles académicos. Por su parte, Schelhowe et al. (2013) presentan el kit de construcción de e-textiles EduWear que demostró ser válido para que el alumnado adquiriera más confianza al tratar con la tecnología, pudiendo vincular sus propias creaciones y las tecnologías presentes en su entorno.

Se destaca, asimismo, el uso de kits que permiten incorporar materiales flexibles y conductores con el objetivo de diseñar videojuegos y mandos vestibles. Kafai y Vasudevan (2015) y Vasudevan et al. (2015) investigan el uso del kit Makey Makey concluyendo que ofrece nuevas oportunidades de aprendizaje sobre conceptos computacionales y desarrolla habilidades de creación y expresión personal. Markvicka et al. (2018) examinan un kit de bajo coste creado a partir de materiales

comerciales y concluyen que permite a los estudiantes iniciarse en el campo de los e-textiles, a la vez que ofrece la oportunidad de utilizar su creatividad artística dentro de un contexto técnico. En esta línea también destacamos las investigaciones de Lo et al. (2013) que analizan el uso del *software* educativo I*Chameleon como interfaz multimodal para crear proyectos de e-textiles, especialmente interesante para el rango de edad contemplado en esta RSL. También se observa el uso de los e-textiles como una tecnología para crear nuevos recursos para el aprendizaje. Recursos educativos con los que el alumnado puede interactuar para favorecer la comprensión de conceptos complejos (Norooz et al., 2015; Pepler y Danish, 2013).

Para concluir este apartado, consideramos necesario dirigir la mirada a los retos del s. XXI que enlazan con los desafíos a los que se van a enfrentar los estudiantes en nuestro rango de edad. Los estudios analizados evidencian que el trabajo con e-textiles utilizando el lenguaje de programación por bloques, aplicando principios de ingeniería, circuitos o diseño, potencian la dimensión competencial del aprendizaje. Las áreas STEAM facilitan el compromiso entre situaciones de equidad, el aprovechamiento crítico y responsable de la cultura digital y la valoración de la diversidad cultural desde los procesos creativos inherentes en los e-textiles.

Enfoques metodológicos para integrar los e-textiles en educación primaria

Los trabajos revisados evidencian tres enfoques con relación a la metodología educativa empleada en el proceso de enseñanza y aprendizaje con e-textiles (Tabla 4). Por un lado, las publicaciones con experiencias innovadoras que despierten los intereses del alumnado en materias científicas y tecnológicas o talleres centrados en seguir instrucciones o guías paso a paso propias del aprendizaje *Do it Yourself*, donde el resultado son proyectos iguales, o similares por estar customizados por los integrantes de dichas formaciones (44 %), que son la tendencia mayoritaria.

En algunos casos se favorece el uso de plantillas tipo ficha (Searle y Kafai, 2015a, 2015b) para motivar e iniciar al alumnado consiguiendo que este se interese por realizar proyectos personalmente relevantes. Por otro lado, encontramos propuestas que se abordan con metodologías activas (36 %). Finalmente, se muestran trabajos que se hallan en un punto intermedio del continuum, que apuntan que a través de la metodología mixta, en la que en una primera fase se propone una actividad con instrucciones paso a paso, prototipos, modelos, tutoriales y plantillas que guían el proceso, en algunos casos incluso se presentan módulos pre-fabricados (Ngai, et al., 2009a; Ngai, Chan, Leong et al., 2013; Ngai, Chan y Ng, 2013), para, posteriormente, en una segunda fase de la formación, ofrecer espacios para desarrollar la creación libre y personalización de artefactos.

Tabla 4*Enfoques metodológicos de las propuestas con e-textiles*

Metodología educativa		Publicaciones
Aprendizaje guiado	Instrucciones. Ejercicios	Ball et al. (2017); Nugent et al. (2019); Richard et al. (2018); Rode et al. (2015); Weibert et al. (2014)
	Guía paso a paso	Del Valle-Morales et al. (2020); Erete et al. (2016); Markvicka et al. (2018); Pedersen et al. (2020); Peppler y Glosson (2013); Searle y Kafai (2015a); Searle y Kafai (2015b)
Mixto	Instrucciones y creación propia	Guler y Rule (2013); Kuznetsov et al. (2011); Lau et al. (2009); Ngai et al. (2009a); Ngai et al. (2009b); Ngai, Chan, Leong et al. (2013); Ngai, Chan y Ng (2013)
Metodologías activas	Aprendizaje Basado en el Diseño	Buechley et al. (2013); Buechley (2010); Schelhowe et al. (2013); Kafai et al. (2011); Kafai et al. (2014); Kafai y Vasudevann (2015); Vasudevan et al. (2015)
	Aprendizaje por descubrimiento	Ananthanarayan y Boll (2020); Lo et al. (2013); Trappe (2012)

Atendiendo a los artefactos construidos por el alumnado analizado desde el enfoque metodológico, observamos que desde las propuestas dirigidas la mayoría de las creaciones se centran en brazaletes luminosos (Ball et al., 2017; Del Valle-Morales et al., 2020; Erete et al., 2016; Nugent et al., 2019; Peppler y Glosson, 2013) y peluches interactivos (Kuznetsov et al., 2011; Pedersen et al., 2020; Rode et al., 2015; Weibert et al., 2014). Mientras que las propuestas que se basan en metodologías activas son más diversas, incluyendo, principalmente, mandos de videojuego textiles (Kafai y Vasudevan, 2015; Lo et al., 2013; Vasudevan et al., 2015) y múltiples diseños de vestibles con sensores, musicales y luminosas (Ananthanarayan y Boll, 2020; Buechley, 2013; Kafai et al., 2014; Schelhowe et al., 2013; Trappe, 2012).

Contexto educativo desde el que se aborda el aprendizaje de e-textiles en educación primaria

Los resultados muestran una variedad de ecosistemas educativos (Tabla 5), siendo la educación no formal la más recurrente en las propuestas analizadas (71,4 %). Observamos una gran cantidad de estudios de educación no formal que, si bien son intencionados y planificados, se realizan fuera del ámbito de la escolaridad obligatoria, siendo las actividades extraescolares o clubs de computación (44 %) y los talleres (40 %), los contextos privilegiados para desarrollar espacios formativos, no formales, que aborden los e-textiles con estudiantes de 6 a 13 años.

Si analizamos los artículos seleccionados que se refieren al ámbito formal, existen diferentes perspectivas para su inclusión en la escuela. Desde quienes proponen adaptar los e-textiles a los estándares educativos americanos (Ball et al., 2017), ya que apoyan el aprendizaje significativo y facilitan la comprensión de conceptos complejos y abstractos de ciencias; a quienes apuestan por incluirlos en asignaturas optativas o asignaturas de historia y cultura, de manera transdisciplinar, para favorecer la inclusión y participación de minorías con menor interés en las ciencias de la computación. Este enfoque interdisciplinario ayuda a fomentar en el alumnado una visión más integral del mundo que los rodea. (Kafai et al., 2014; Nugent et al., 2019; Rigden et al., 2019; Searle y Kafai, 2015a, 2015b). En esta línea, Rigden et al. (2019) con el programa Femineer™ y Nugent et al. (2019) con el programa Nebraska WearTec proponen los e-textiles como recursos didácticos como alternativa o complemento a la robótica educativa para inspirar y empoderar al alumnado, y en particular a niñas y minorías, para que sigan una carrera STEM.

Tabla 5
Contexto de aprendizaje de prácticas con e-textiles

Educación	Contexto	Investigación
No formal	Extraescolares/ Club de computación	Ananthanarayan y Boll (2020); Erete et al. (2016); Merkouris et al. (2017); Palaigeorgiou et al. (2019); Richard et al. (2018); Trappe (2012); Pedersen et al. (2020); Rode et al. (2015); Peppler y Glosson (2013); Weibert et al. (2014)
	Taller	Buechley (2010); Buechley (2013); Kafai et al. (2011); Kafai et al. (2014); Koushik et al. (2017); Kuznetsov et al. (2011); Markvicka et al. (2018); Ngai, Chan, Leong et al. (2013); Ngai, Chan y Ng (2013); No-rooz et al. (2015); Schelhowe et al. (2013)
	Museo/Galería arte	Guler y Rule (2013)
	Espacio maker Campamento de verano/ Curso	Del Valle-Morales et al. (2020) Lau et al. (2009); Ngai et al. (2009a)
Formal	Aula	Ball et al. (2017); Kafai y Vasudevan (2015); Peppler y Danish (2013); Rigden et al. (2019); Searle y Kafai (2015a); Searle y Kafai (2015b); Vasudevan et al. (2015)
Formal y No formal	Aula/Taller Aula /Extraescolar	Kafai et al. (2014) Nugent et al. (2019)

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este documento aporta información específica sobre el trabajo desarrollado con estudiantes de 6 a 13 años que emplean los e-textiles como elemento de acción en actividades que buscan despertar diversos conocimientos, habilidades y destrezas STEAM. El estudio pone de manifiesto que las prácticas con e-textiles para educación primaria se han desarrollado con mayor incidencia en Estados Unidos (63,9 %), donde surge el movimiento *maker* y el concepto de la educación STEAM. Los resultados muestran que las prácticas con e-textiles se han integrado en el ámbito educativo, en contextos formales, pero particularmente en no formales, lo que como apuntan Halverson y Sheridan (2014) supone un gran potencial y abre nuevas oportunidades para la investigación educativa. Las publicaciones sobre el tema advierten de la consideración de alumnado diverso, especialmente en lo que respecta al género y etnia y se han incorporado alternativas accesibles, tanto en términos económicos, como éticos, privilegiando la tecnología de código abierto.

En respuesta a la primera pregunta de investigación que examina cuáles son las áreas STEAM que se trabajan a través de los e-textiles y con qué tecnologías, los resultados de la revisión evidencian que se han utilizado con eficacia en todas las áreas STEAM, ya que la creación de estos proyectos involucra las múltiples disciplinas de la informática, la ingeniería y las artes. En la mayoría de los estudios, el alumnado explora en estos tres dominios que se entrelazan: codificación, elaboración y circuitos, siendo esto, al igual que ocurre con la robótica educativa, beneficioso para el desarrollo del pensamiento computacional (Rich et al., 2022). En cualquier caso, los e-textiles presentan ejemplos particularmente convincentes de herramientas de aprendizaje transparentes y de alta calidad, ya que hacen que la tecnología sea visible para el alumnado (Kafai y Peppler, 2014). El análisis de las publicaciones seleccionadas determina que se trabajan todas las áreas STEAM, siendo el kit LilyPad el preferido en las experiencias en este campo (77,8 %). Al respecto añadir, que la importancia de este kit también se ha demostrado en el ámbito de las bellas artes, donde igualmente existen estudios prometedores que demuestran que es una herramienta que permite a los artistas y diseñadores explorar nuevas formas de expresión artística a través de esta fusión entre arte y tecnología (Peppler et al., 2013).

Con respecto a la segunda pregunta de investigación que analiza los enfoques metodológicos que se emplean para integrar los e-textiles en educación primaria, se concluye que predominan los estudios que emplean el aprendizaje guiado. El objetivo de los estudios analizados se centra, principalmente, en que el alumnado, a través de la instrucción y/o del descubrimiento, diseñe y construya un proyecto textil en el que incluye un circuito, que, en ocasiones, lo programe, y que este funcione. Recordamos que uno de los aspectos más desafiantes de la enseñanza de la computación es la interacción de la multiplicidad de elementos que conectan entre sí para hacer que un sistema funcione. Esto advierte de la necesidad de implementar el diseño de nuevas estrategias y potenciar la formación permanente del profesorado, tanto

a nivel pedagógico como tecnológico en su dimensión instrumental y metodológica, desde enfoques competenciales que permitan la integración de los e-textiles en las aulas de educación primaria a través del fomento de la participación del alumnado y el aprendizaje desde la práctica (Valente y Blikstein, 2019). Al respecto indicar, que la situación de aprendizaje predominante si bien se apuesta por el uso de guías, permite el uso de materiales y recursos inusuales y desconocidos como el hilo conductor de electricidad, favoreciendo el *tinkering* (Timotheou y Ioannou, 2019). Todo ello garantiza que la actividad innovadora se desarrolle en un ambiente motivador y lúdico en el que se fomenta la colaboración, el aprendizaje por ensayo-error, la creatividad o la expresión artística. En palabras de Resnick y Rosenbaum (2013), el sólo hecho de la transparencia que ofrecen los e-textiles y trabajar con este tipo de materiales permiten al alumnado “ver el proceso” y “ver el resultado” de su trabajo y tener “retroalimentación inmediata” de lo que están haciendo, lo que facilita el aprendizaje significativo.

En respuesta a la tercera pregunta de investigación que analiza en qué contextos se aborda el aprendizaje de e-textiles, los resultados muestran que predominan los entornos de aprendizaje no formales. Estos resultados se pueden justificar argumentando que el proceso de aprendizaje que se desarrolla al fabricar un e-textil, se centra en el proceso de creación, diseño y construcción de objetos físicos electrónicos o programables, y esto va más allá del proceso de aprendizaje que propone el modelo más extendido de enseñanza (Halverson y Sheridan, 2014). Ahora bien, los estudios que sí abordan el contexto formal muestran resultados alentadores para el uso de los e-textiles como recurso didáctico con el objetivo de favorecer la educación competencial integrada, el desarrollo de habilidades en áreas curriculares y el fomento de una educación inclusiva y equitativa en STEAM.

En definitiva, los resultados de la revisión sistemática muestran que el campo de los e-textiles, es un ámbito prometedor para la enseñanza integrada STEAM y ofrece nuevas direcciones en la enseñanza con la tecnología educativa desde un enfoque competencial e integrador. Frente a la necesidad de una formación científica a temprana edad, consideramos este dominio como una línea investigativa prometedora, pero encontramos limitaciones derivadas del escaso número de países que han desarrollado estas propuestas educativas e investigaciones. Otro aspecto para destacar es que si bien la tendencia en el ámbito de la investigación y experimentación con e-textiles refuerza el potencial de dichos recursos para trabajar el STEAM en el ámbito formal, hay una limitada literatura científica, a día de hoy, al respecto. Igualmente, podemos argumentar que la apertura del campo de los e-textiles a la educación es relativamente reciente. Por último, concluimos la investigación considerando que para la comunidad científica serían aportadores estudios en los que se evidenciaran temáticas vinculadas con la perspectiva de género y la equidad con los e-textiles en este rango de edad.

NOTAS

1. Para recoger todas las investigaciones realizadas en el mundo anglosajón incorporamos alumnado de entre 6 y 13 años (Primary y Middle School).

REFERENCIAS

- Aguilera, D. y Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic literature review. *Education Sciences*, 11(7), 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Anathanarayan, S. y Boll, S. (2020). Physical computing for children: shifting the pendulum back to Papertian ideals. *Interactions*, 27(3), 40-45. <https://doi.org/10.1145/3386235>
- Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. Random House.
- Ball, D., Tofel-Grehl, C. y Searle, K. A. (2017). Sustaining making in the era of accountability: Stem integration using e-textiles materials in a high school physics class. En *Proceedings of the 7th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education* (pp. 1-7). <https://doi.org/10.1145/3141798.3141801>
- Banzi, M. (2008). *Getting Started with Arduino*. O'Reilly Media, Inc.
- Berzowska, J. (2005). Electronic textiles: Wearable computers, reactive fashion, and soft computation. *Textile*, 3(1), 58-75. <https://doi.org/10.2752/147597505778052639>
- Buechley, L. (2006). A construction kit for electronic textiles. En *10th IEEE International Symposium on Wearable Computers* (pp. 83-90). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2006.286348>
- Buechley, L. (2010). LilyPad Arduino: rethinking the materials and cultures of educational technology. En *Proceedings of the 9th International Conference of the Learning Sciences-Volume 2* (pp. 127-128).
- Buechley, L. (2013). LilyPad Arduino: E-textiles for Everyone. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches From the World of E-Textiles and Education* (pp. 17-27). Peter Lang Publishing. <https://doi.org/10.3726/978-1-4539-0941-6>
- Buechley, L., Eisenberg, M., Catchen, J. y Crockett, A. (2008). The LilyPad Arduino: using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education. En *Proceedings of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, ACM, 423-432. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357123>
- Buechley, L., Elumeze, N. y Eisenberg, M. (2006). Electronic/computational textiles and children's crafts. En *Proceedings of the 2006 Conference on Interaction Design and Children* (pp. 49-56). <https://doi.org/10.1145/1139073.1139091>
- Buechley, L., Elumeze, N., Dodson, C. y Eisenberg, M. (2005). Quilt snaps: A fabric based computational construction kit. En *IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE'05)* IEEE. <https://doi.org/10.1109/WMTE.2005.55>
- Buechley, L., Peppler, K., Eisenberg, M. y Yasmin, K. (2013). *Textile Messages: Dispatches from the World of E-Textiles and Education. New Literacies and Digital Epistemologies*, 62. Peter Lang Publishing. <https://doi.org/10.3726/978-1-4539-0941-6>
- Del Valle-Morales, A., Aponte-Lugo, A., Torres-Rodríguez, J. y Ortiz-Rivera, E. I. (2020). Use of Emerging

- Conductive Materials for K-12 STEAM Outreach Activities and the Impact on Community Education Resilience. En *2020 Resilience Week (RWS)* (pp. 140-146). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RWS50334.2020.9241277>
- 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). Routledge.
- Erete, S., Pinkard, N., Martin, C. K. y Sandherr, J. (2016). Exploring the use of interactive narratives to engage inner-city girls in computational activities. En *2016 Research on Equity and Sustained Participation in Engineering, Computing, and Technology (RESPECT)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RESPECT.2016.7836168>
- Fields, D. y Kafai, Y. (2023). Supporting and Sustaining Equitable STEAM Activities in High School Classrooms: Understanding Computer Science Teachers' Needs and Practices When Implementing an E-Textiles Curriculum to Forge Connections across Communities. *Sustainability*, 15(11), 8468. <https://doi.org/10.3390/su15118468>
- Fields, D. A., Lui, D. y Kafai, Y. B. (2019). Teaching computational thinking with electronic textiles: Modeling iterative practices and supporting personal projects in exploring computer science. *Computational Thinking Education*, 279-294. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6528-7_16
- González-Pérez, L. I. y Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st century skills frameworks: systematic review. *Sustainability*, 14(3), 1493. <https://doi.org/10.3390/su14031493>
- Guler, S. D. y Rule, M. E. (2013). Invent-abling: enabling inventiveness through craft. En *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 368-371). <https://doi.org/10.1145/2485760.2485801>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C. y McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 1-12. <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- Halverson, E. y Sheridan, K. (2014). The Maker Movement in Education. *Harvard Education Review*, 84(4), 495-504. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063>
- Hatch, M. (2014). *The maker movement manifesto. Rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers*. McGraw-Hill Education.
- Hébert, C. y Jenson, J. (2020). Making in schools: Student learning through an e-textiles curriculum. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 41(5), 740-761. <https://doi.org/10.1080/01596306.2020.1769937>
- Hughes, J. y Morrison, L. (2018). The Use of E-Textiles in Ontario Education. *Canadian Journal of Education*, 41(1).
- Jayathirtha, G. y Kafai, Y. B. (2019). Electronic textiles in computer science education: a synthesis of efforts to broaden participation, increase interest, and deepen learning. En *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 713-719). <https://doi.org/10.1145/3287324.3287343>
- Jayathirtha, G. y Kafai, Y. B. (2020). Interactive Stitch Sampler: A Synthesis of a Decade of Research on Using Electronic Textiles to Answer the Who, Where, How, and What for K-12 Computer Science Education. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 20(4), 1-29. <https://doi.org/10.1145/3418299>
- Jia, Y., Zhou, B. y Zheng, X. (2021). A curriculum integrating STEAM and

- maker education promotes pupils' learning motivation, self-efficacy, and interdisciplinary knowledge acquisition. *Frontiers in Psychology*, 12, 725525. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.725525>
- Kafai, Y., Fields, D., Lui, D., Walker, J., Shaw, M., Jayathirtha, G. y Giang, M. (2019). Stitching the Loop with Electronic Textiles: Promoting Equity in High School Students' Competencies and Perceptions of Computer Science. En *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 1176-1182). <https://doi.org/10.1145/3287324.3287426>
- Kafai, Y., Fields, D. y Searle, K. (2011). Everyday creativity in novice e-textile designs. En *Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition* (pp. 353-354). <https://doi.org/10.1145/2069618.2069692>
- Kafai, Y., Fields, D. y Searle, K. (2014). Electronic textiles as disruptive designs: Supporting and challenging maker activities in schools. *Harvard Educational Review*, 84(4), 532-556. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.46m7372370214783>
- Kafai, Y. y Peppler, K., (2014). Transparency Reconsidered: Creative, Critical and Connected Making with E-textiles. En M. Ratto y M. Boler (Eds.), *DIY citizenship: Critical making and social media* (pp. 179- 188). MIT Press.
- Kafai, Y., Searle, K., Martinez, C. y Brayboy, B. (2014). Ethnocomputing with electronic textiles: Culturally responsive open design to broaden participation in computing in American Indian youth and communities. En *Proceedings of the 45th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 241-246). <https://doi.org/10.1145/2538862.2538903>
- Kafai, Y. y Vasudevan, V. (2015). Constructionist gaming beyond the screen: Middle school students' crafting and computing of touchpads, board games, and controllers. En *Proceedings of the Workshop in Primary and Secondary Computing Education* (pp.49-54). <https://doi.org/10.1145/2818314.2818334>
- Kara, E. y Cagiltay, K. (2023). Using E-textiles to Design and Develop Educational Games for Preschool-aged Children. *Educational Technology & Society*, 26(2), 19-35.
- Kazemitabaar, M., McPeak, J., Jiao, A., He, L., Outing, T. y Froehlich, J. E. (2017). MakerWear: A tangible approach to interactive wearable creation for children. En *Conference on Human Factors in Computing Systems. Proceedings* (Vol. 2017-May, pp. 133-145). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025887>
- Keshwani, J., Barker, B., Nugent, G. y Grandgenett, N. (2016). WearTec: Empowering youth to create wearable technologies. En *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 498-500). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.143>
- Klimczak, S. y Solomon, C. (2022). TurtleStitching: At least twenty things to do with a computer and a computerized embroidery machine. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 22(1). <https://citejournal.org/volume-22/issue-1-22/seminal-articles/turtlestitching-at-least-twenty-things-to-do-with-a-computer-and-a-computerized-embroidery-machine>
- Koushik, V., Gendreau, A., Ho, E., Wilson, S. y Volda, S. (2017). Snappable sensors: empowering future scientists. En *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers* (pp. 117-120). <https://doi.org/10.1145/3123024.3123159>

- Kuznetsov, S., Trutoiu, L. C., Kute, C., Howley, I., Paulos, E. y Siewiorek, D. (2011). Breaking boundaries: strategies for mentoring through textile computing workshops. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2957-2966). <https://doi.org/10.1145/1978942.1979380>
- Lau, W. W., Ngai, G., Chan, S. C. y Cheung, J. C. (2009). Learning programming through fashion and design: a pilot summer course in wearable computing for middle school students. En *Proceedings of the 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 504-508). <https://doi.org/10.1145/1539024.1509041>
- Lo, K. W., Tang, W. W., Ngai, G., Chan, A. T., Leong, H. V. y Chan, S. C. (2013). i* Chameleon: a platform for developing multimodal application with comprehensive development cycle. En *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 1103-1108). <https://doi.org/10.1145/2480362.2480570>
- Lovell, E., Buechley, L. y Davis, J. (2023). LilyTiny in the Wild: Studying the Adoption of a Low-Cost Sewable Microcontroller for Computing Education. En *Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference* (pp. 282-293). <https://doi.org/10.1145/3563657.3595994>
- Lui, D., Fields, D. y Kafai, Y. (2019). Student maker portfolios: Promoting computational communication and reflection in crafting e-textiles. En *Proceedings of FabLearn 2019* (pp. 10-17). <https://doi.org/10.1145/3311890.3311892>
- Maeda, J. (2013). Stem+ art= steam. *The STEAM Journal*, 1(1), 34. <https://doi.org/10.5642/steam.201301.34>
- Markvicka, E., Rich, S., Liao, J., Zaini, H. y Majidi, C. (2018). Low-cost wearable human-computer interface with conductive fabric for STEAM education. En *2018 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)* (pp. 161-166). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISECon.2018.8340469>
- Martinez, S. y Stager G. (2013). *Invent to Learn: Making, Tinkering and Engineering in the Classroom*. Constructing Modern Knowledge.
- Merkouris, A., Chorianopoulos, K. y Kameas, A. (2017). Teaching programming in secondary education through embodied computing platforms: Robotics and wearables. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 17(2), 1-22. <https://doi.org/10.1145/3025013>
- Newman, M. y Gough, D. (2020). Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application. En O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond y K. Buntins (Eds.). *Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application* (pp.3-22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_1
- Ngai, G., Chan, S. C., Cheung, J. C. y Lau, W. W. (2009a). Deploying a wearable computing platform for computing education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(1), 45-55. <https://doi.org/10.1109/TLT.2009.49>
- Ngai, G., Chan, S. C., Cheung, J. C. y Lau, W. W. (2009b). The teeboard: An education-friendly construction platform for e-textiles and wearable computing. En *Conference on Human Factors in Computing Systems- Proceedings* (pp. 249-258). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518742>
- Ngai, G., Chan, S. C., Leong, H. V. y Ng, V. T. (2013). Designing i* CATch: A multipurpose, education-friendly construction kit for physical and wearable computing. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 13(2), 1-30. <https://doi.org/10.1145/2483710.2483712>

- Ngai, G., Chan, S. C. y Ng, V. T. (2013). i*CATch: A Plug-n-Play Kit for Wearable Computing. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches from the World of E-Textiles and Education* (pp. 31-41). Peter Lang Publishing.
- Norooz, L., Mauriello, M. L., Jorgensen, A., McNally, B. y Froehlich, J. E. (2015). BodyVis: A new approach to body learning through wearable sensing and visualization. En *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1025-1034). <https://doi.org/10.1145/2702123.2702299>
- Nugent, G., Barker, B., Lester, H., Grandgenett, N. y Valentine, D. (2019). Wearables textiles to support student STEM learning and attitudes. *Journal of Science Education and Technology*, 28, 470-479. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09779-7>
- Orth, M., Post, R. y Cooper, E. (1998). Fabric computing interfaces. En *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems* (pp. 331-332). <https://doi.org/10.1145/286498.286800>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D. y Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Palaiogeorgiou, G., Vroikou, G., Nikoleta, C. y Bratitsis, T. (2019). Wearable E-Textile as a Narrative Mediator for Enhancing Empathy in Moral Development. En *Internet of Things, Infrastructures and Mobile Applications: Proceedings of the 13th IMCL Conference 13* (pp. 457-467). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49932-7_44
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Papert, S. y Harel, I. (1991). Situating constructionism. *MIT MediaLab*, 36(2), 1-11.
- Pedersen, B. K. M. K., Marchetti, E., Valente, A. y Nielsen, J. (2020). Fabric robotics-lessons learned introducing soft robotics in a computational thinking course for children. En *Learning and Collaboration Technologies. Human and Technology Ecosystems: 7th International Conference, LCT 2020*, Held as Part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, *Proceedings, Part II* (pp. 499-519). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50506-6_34
- Peppler, K. (2013). STEAM-powered computing education: Using e-textiles to integrate the arts and STEM. *Computer*, 46(09), 38-43. <https://doi.org/10.1109/MC.2013.257>
- Peppler, K. y Bender, S. (2013). Maker movement spreads innovation one project at a time. *Phi Delta Kappan*, 95(3), 22-27. <https://doi.org/10.1177/003172171309500306>
- Peppler, K. y Danish, J. (2013). E-textiles for educators: Participatory simulations with e-puppetry. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches from the World of E-textiles and Education*, (pp. 133-141). Peter Lang Publishing.
- Peppler, K. y Glosson, D. (2013). Learning about Circuitry with E-Textiles in After-School Settings. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches From the World of E-Textiles and Education* (pp.71-83). Peter Lang Publishing.
- Peppler, K., Gresalfi, M., Salen Tekinbas, K. y Santo, R. (2014). *Soft circuits: Crafting e-fashion with DIY electronics*.

- MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10220.001.0001>
- Peppler, K., Salen Tekinbas, K., Gresalfi, M. y Santo, R. (2014). *Short circuits: Crafting e-Puppets with DIY electronics*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9696.001.0001>
- Peppler, K., Sharpe, L. y Glosson, D. (2013). E-textiles and the new fundamentals of fine arts. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches from the World of E-textiles and Education*, (pp. 107-117). Peter Lang Publishing.
- Peppler, K. y Wohlwend, K. (2018). Theorizing the nexus of STEAM practice. *Arts Education Policy Review*, 119 (2), 88-99. <https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1316331>
- Peppler, K. (2022). Makerspaces: Supporting creativity and innovation by design. En J. A. Plucker (Ed.). *Creativity and Innovation* (pp. 265-274). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003233923-22>
- Perignat, E. y Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Perner-Wilson, H. y Buechley, L. (2013). Handcrafting textile sensors. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches from the World of E-textiles and Education* (pp. 133-141). Peter Lang Publishing.
- Posch, I. y Fitzpatrick, G. (2021). The matter of tools: designing, using and reflecting on new tools for emerging eTextile craft practices. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 28(1), 1-38 <https://doi.org/10.1145/3426776>
- Resnick, M., Ocko, S. y Papert, S. (1988). LEGO, Logo, and design. *Children's Environments Quarterly*, 5(4), 14-18.
- Resnick, M. y Rosenbaum, E. (2013). Designing for tinkability. En M. Honey (Ed.), *Design, make, play. Growing the Next Generation of STEM Innovators* (pp. 163-181). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203108352-15>
- Rich, P. J., Bartholomew, S., Daniel, D., Dinsmoor, K., Nielsen, M., Reynolds, C., Swanson, M, Winward E. y Yauney, J. (2022). Trends in tools used to teach computational thinking through elementary coding. *Journal of Research on Technology Education*. <https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2121345>
- Richard, G. T., Giri, S., McKinley, Z. y Ashley, R. W. (2018). Blended making: Multi-interface designs and E-crafting with elementary and middle school youth. En *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children* (pp. 675-680). <https://doi.org/10.1145/3202185.3210798>
- Rigden, K., Jawaharlal, M. y Gutzke, N. (2019). Femineer® Program: A Model for Engaging K-12 Girls in STEM. En *2019 ASEE Annual Conference & Exposition*
- Rode, J. A., Weibert, A., Marshall, A., Aal, K., VonRekowski, T., Elmimouni, H. y Booker, J. (2015). From computational thinking to computational making. En *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (pp. 239-250). <https://doi.org/10.1145/2750858.2804261>
- Ryan, S. E. (2014). *Garments of paradise: wearable discourse in the digital age*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8873.001.0001>
- Sanders, M. (2009). STEAM, STEM Education, STEAMmania. *Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Schelhowe, H., Katterfeldt, E. S., Dittert, N. y Reichel, M. (2013). EduWear: e-textiles in youth sports and theatre. En L. Buechley, K. Peppler, M. Eisenberg y K. Yasmin (Eds.), *Textile Messages: Dispatches from*

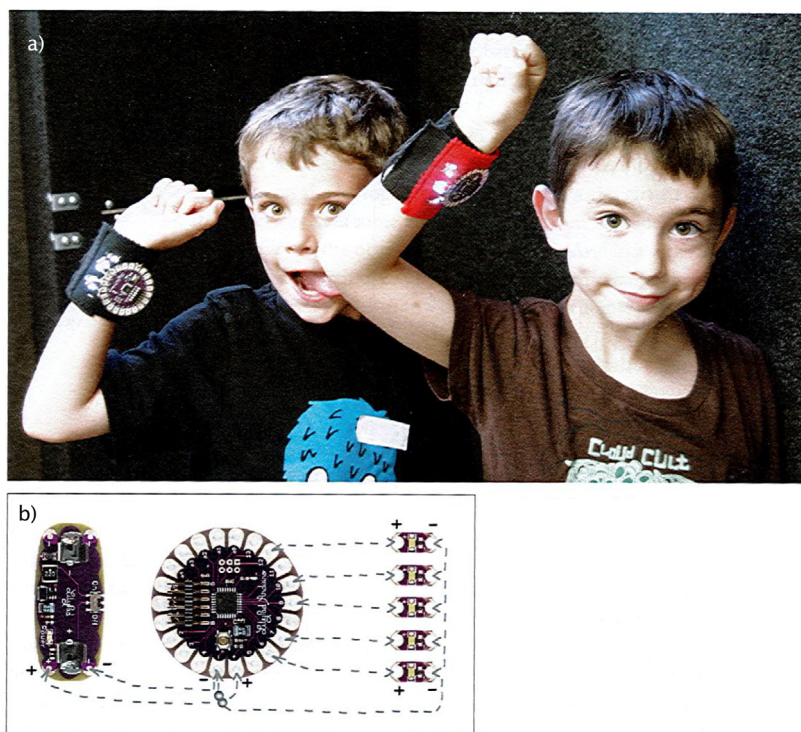
- the World of E-textiles and Education* (pp. 96-103). Peter Lang Publishing.
- Searle, K. A. y Kafai, Y. B. (2015a). Culturally responsive making with American Indian girls: Bridging the identity gap in crafting and computing with electronic textiles. *En Proceedings of the Third Conference on genderIT* (pp. 9-16). <https://doi.org/10.1145/2807565.2807707>
- Searle, K. A. y Kafai, Y. B. (2015b). Boys' Needlework: Understanding Gendered and Indigenous Perspectives on Computing and Crafting with Electronic Textiles. *En ICER* (pp. 31-39). <https://doi.org/10.1145/2787622.2787724>
- Spina, C. y Lane, H. (2020). *E-textiles in libraries: a practical guide for librarians* (Vol. 69). Rowman & Littlefield Publishers.
- Stern, B. y Cooper, T. (2015). *Getting started with Adafruit FLORA: making wearables with an Arduino compatible electronics platform*. Maker Media, Inc.
- Timotheou, S. y Ioannou, A. (2019). On making, tinkering, coding and play for learning: A review of current research. *En Human-Computer Interaction-INTERACT 2019: 17th IFIP TC 13 International Conference, Paphos, Cyprus, September 2-6, 2019, Proceedings, Part II 17* (pp. 217-232). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29384-0_14
- Tofel-Grehl, C., Fields, D., Searle, K., Maahs-Fladung, C., Feldon, D., Gu, G. y Sun, C. (2017). Electrifying engagement in middle school science class: Improving student interest through e-textiles. *Journal of Science Education and Technology*, 26, 406-417. <https://doi.org/10.1007/s10956-017-9688-y>
- Tofel-Grehl, C., Searle, K. A. y Ball, D. (2022). Thinking Thru Making: Mapping Computational Thinking Practices onto Scientific Reasoning. *Journal of Science Education and Technology*, 31, 730-746. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09989-6>
- Tofel-Grehl, C., Searle, K. A., Hawkman, A., MacDonald, B. L. y Suárez, M. I. (2021). Rural Teachers' Cultural and Epistemic Shifts in STEM Teaching and Learning. *Theory & Practice in Rural Education*, 11(2), 45-66. <https://doi.org/10.3776/tpre.2021.v11n2p45-66>
- Trappe, C. (2012). Creative access to technology: building sounding artifacts with children. *En Proceedings of the 11th International Conference on Interaction Design and Children* (pp.188-191). <https://doi.org/10.1145/2307096.2307122>
- Tytler, R. (2020). STEM education for the twenty-first century. *Integrated approaches to STEM education: An international perspective*, 21-43. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52229-2_3
- Valente, J. A. y Blikstein, P. (2019). Maker education: Where is the knowledge construction? *Constructivist Foundations*, 14(3), 252-262. <https://constructivist.info/14/3/252>
- Vasudevan, V., Kafai, Y. y Yang, L. (2015). Make, wear, play: remix designs of wearable controllers for scratch games by middle school youth. *En Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 339-342). <https://doi.org/10.1145/2771839.2771911>
- Weibert, A., Marshall, A., Aal, K., Schubert, K. y Rode, J. (2014). Sewing interest in E-textiles: analyzing making from a gendered perspective. *En Proceedings of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems* (pp. 15-24). <https://doi.org/10.1145/2598510.2600886>
- White, D. y Delaney, S. (2021). Full STEAM Ahead, but Who Has the Map for Integration? - A PRISMA Systematic Review on the Incorporation of Interdisciplinary Learning into Schools. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*,

- 9(2), 9-32. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.9.2.1387>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Yakman, G. (2008). *STEAM education: An overview of creating a model of integrative education*. STEAM Educational Theory.

ANEXO

Figura 1

a) Brazaletes luminosos creados con el kit LilyPad. b) Diagrama de conexión que muestra los distintos componentes del circuito e indica cómo conectarlos con el hilo conductor.

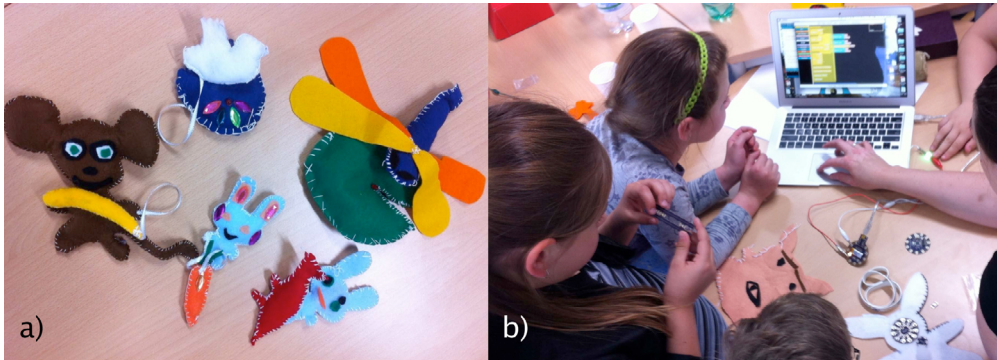


Esta imagen muestra a dos estudiantes enseñando su brazaletes luminoso con el efecto Persistencia de Visión (POV) creado con el kit LilyPad. Realizando este proyecto aprendieron conceptos básicos de la teoría de circuitos como la polaridad, el voltaje o la diferencia entre conectar un circuito en paralelo o en serie.

Nota: Tomado del libro *Textile Messages: Dispatches From the World of E-Textiles and Education*. (p.77), por Buechley et al., 2013. Peter Lang Publishing.

Figura 2

a) Ejemplos de proyectos de e-textiles b) Estudiantes colaborando y programando sus proyectos de e-textiles



En la imagen de la izquierda se muestran varios proyectos de e-textiles todos ellos creados con el kit Bright Bunny, y en la derecha a varios estudiantes colaborando y programando por bloques sus proyectos.

Nota: Tomado de *From computational thinking to computational making* (pp. 242 - 243), por Rode et al., 2015.

Figura 3

Camiseta interactiva creada con el kit LilyPad



Esta imagen muestra una camiseta que ayuda al docente a que el estudiante visualice y comprenda datos corporales que le sirvan para acompañar el aprendizaje sobre el cuerpo humano.

Nota: Tomado de *BodyVis: A new approach to body learning through wearable sensing and visualization*. (p. 6), por Norooz et al., 2015.

Figura 4

Camiseta interactiva creada con el kit pre-fabricado de bajo coste i*CATch

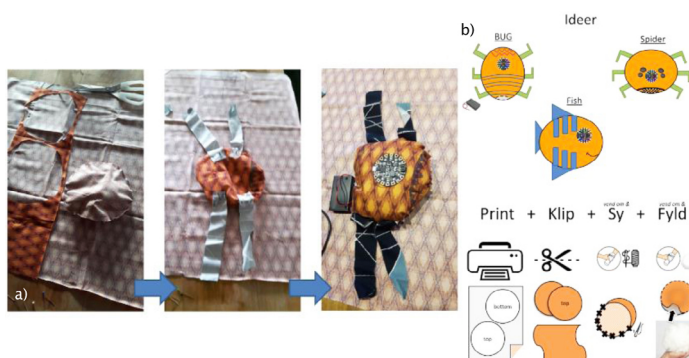


Esta imagen muestra un proyecto de e-textiles creado con un kit que ofrece un sistema de *plug-and-play* pensado para introducir al alumnado de forma amigable a conceptos computacionales.

Nota: Tomado de *Designing i* CATch: A multipurpose, education-friendly construction kit for physical and wearable computing.* (p.10), Por Ngai et al., 2013.

Figura 5

a) Documentación paso a paso para la creación de una mascota textil interactiva.
b) Tutorial DIY y ejemplos de customización del proyecto

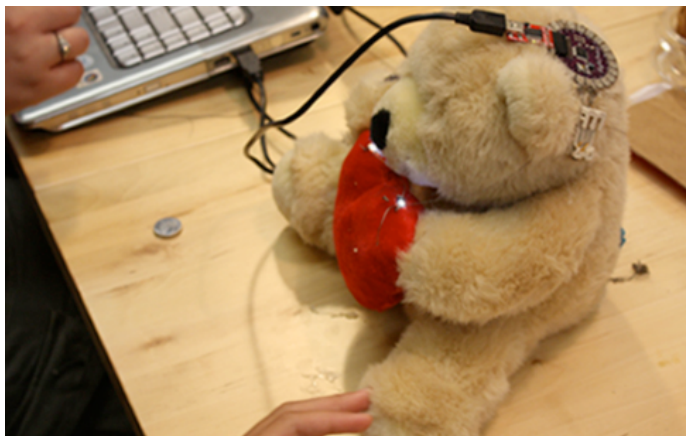


Esta imagen muestra imágenes del paso a paso y la guía utilizada por los niños y niñas para aprender a construir y customizar su proyecto de e-textiles.

Nota: Tomado de *Fabric robotics-lessons learned introducing soft robotics in a computational thinking course for children.* (p.9), por Pedersen et al., 2020.

Figura 6

Peluche luminoso creado con el kit LilyPad



Esta imagen muestra un peluche en el que el estudiante ha cosido un circuito con hilo conductor y programado varios LEDs con el objetivo de crear un proyecto personalmente significativo.

Nota: Tomado de *Breaking boundaries: strategies for mentoring through textile computing workshops*. (p. 2962), por Kuznetsov et al., 2011.

Fecha de recepción del artículo: 1 de junio de 2023

Fecha de aceptación del artículo: 31 de agosto de 2023

Fecha de aprobación para maquetación: 5 de octubre de 2023

Fecha de publicación en OnlineFirst: 18 de octubre de 2023

Fecha de publicación: 1 de enero de 2024