

Maker en Educación de Ingeniería Eléctrica con Tecnología Emergente: Estudio de Mapeo

Ruth Martínez-Lopez

Title—Maker in Electrical Engineering education based on emergent technology Mapping study.

Abstract—“Hands-on activities” with emergent technology is being integrated into the curriculum of Electrical Engineering education. This mapping study carry out an overview of the evidence of the Making movement using emergent technology in Electrical Engineering education. Primary studies in the literature were selected, classified and analysed according to the type of technology used and, the design-based research (DBR) intervention. 20 primary studies were identified. Making related to activities with Robotics is the application most used at the undergraduate level. The most of the studies reported an intervention focused on the instructional approach of the curriculum unit and, that students improved motivation.

Index Terms—Electrical engineering, Technology, Educational technology, Review.

I. INTRODUCCIÓN

EL uso de tecnologías emergentes en relación con el movimiento Maker en la educación en ingeniería eléctrica está sin explorar. Los métodos Maker se consideran una tendencia relevante en el campo de la educación en ingeniería [1,2], que desafían a los formadores con nuevas posibilidades pedagógicas [3]. El movimiento Maker se refiere a la producción creativa de artefactos por personas en su vida diaria que comparten sus procesos y productos con otros en foros físicos y digitales [4]. Estos espacios Maker abren la posibilidad de mejorar la transferencia entre investigación, enseñanza y práctica bajo un enfoque colaborativo [5]. Investigaciones recientes sugieren que la integración de Making en el currículo del aula ofrece un gran valor [1]. A pesar del interés en el movimiento Maker y su uso para involucrar a los estudiantes en actividades prácticas, se necesita más investigación para explorar las tendencias y las posibilidades que podría ofrecer para la educación [6]. Además, existe la necesidad de obtener más información sobre cómo se puede utilizar Making en las prácticas de aprendizaje [7] y sobre “cómo el aprendizaje en Makerspaces se relaciona con el tipo de aprendizaje” [8]. Una de las investigaciones exigidas

para comprender la promesa del movimiento Maker para la educación son las herramientas digitales que caracterizan los proyectos Making [9] y su integración con el aprendizaje formal [10].

La ingeniería electrónica, la robótica y la impresión 3D se han señalado como temas típicos de interés en el movimiento Maker [6,11]. Estas tecnologías pueden considerarse emergentes. Sin embargo, no existe consenso en la definición de “tecnologías emergentes” [12].

Para el propósito de este estudio, las tecnologías emergentes se definirán como herramientas, conceptos, innovaciones y avances utilizados en diversos entornos educativos para servir a diversas prácticas relacionadas con la educación [13]. Big data, Inteligencia Artificial (IA), robótica y los Marketplaces (habilitados por la tecnología informática) se consideran impulsores del cambio social y laboral y, en el caso de Big data, incluido en el desarrollo de las capacidades tecnológicas de los estudiantes [14]. Por ejemplo, el concepto de “factory-to-classroom” se refiere al proceso de transferencia entre la producción y la fabricación del entorno de la fábrica al espacio de aprendizaje [5]. Debido a la característica omnipresente de estas tecnologías, como la impresión 3D y la robótica, se requiere un nuevo enfoque educativo para integrarlas de manera efectiva [15]. Además, estas tecnologías emergentes, como Internet de las cosas (IoT) y la industria 4.0, requieren “pensar en cómo preparar a los estudiantes para este nuevo paradigma” [16]. De hecho, se ha identificado un nuevo tipo de graduado que se caracteriza por comprender cómo trabajar con tecnologías digitales también como Maker [14]. Sin embargo, existe la necesidad de un análisis más profundo del Making dentro de la educación [6] para comprender cómo se utiliza en el proceso de educación formal y, por parte de profesores y estudiantes [17]. Además, es importante analizar la integración del enfoque Making en la educación evitando una perspectiva centrada en la herramienta [9]. Se ha recomendado centrar la investigación en tecnologías utilizadas en algunos estudios pero con un gran potencial [6]. Dado que la ingeniería adopta un enfoque académico para la enseñanza y el aprendizaje y la adopción de prácticas basadas en la evidencia se han establecido como criterios para acreditar programas de ingeniería [18], las revisiones de investigación son relevantes para contribuir a este propósito. Además, existe la “necesidad de más revisiones que identifiquen lagunas y oportunidades en áreas específicas del dominio” [19]. El objetivo de este estudio es examinar el alcance del interés en el movimiento Maker basado en tecnología emergente en educación en ingeniería eléctrica y

su validación empírica en investigación. Este trabajo lleva a cabo un enfoque de estudio de mapeo sistemático [20, 21] para encontrar investigación basada en diseño (DBR) [22, 23] sobre la aplicación del movimiento Maker en la educación de ingeniería eléctrica con tecnología emergente. La búsqueda de estudios terciarios realizados por otros autores no ofreció ningún resultado significativo.

El documento se estructura de la siguiente manera: la revisión de la literatura se presenta en la sección 2. La sección 3 describe la planificación utilizada en este estudio de mapeo sistemático. Los resultados se presentan en la sección 4. La sección 5 incluye la discusión de los resultados. Las conclusiones y la identificación de futuras investigaciones se resumen en la sección 6.

II. ANTECEDENTES

Debido al rápido cambio tecnológico, la intersección de la ciencia y la ingeniería en el desarrollo de la educación en ingeniería eléctrica e informática se considera relevante [24]. Por ejemplo, se ha sugerido que la integración de la tecnología emergente en la educación Making, como las impresoras 3D, tiene el propósito pedagógico de involucrar a los estudiantes en actividades de diseño y construcción [1]. Sin embargo, se reclama que la tecnología educativa vaya más allá de la fase de demostración [25].

El estudio de la educación en ingeniería eléctrica con tecnologías emergentes ha sido abordado [26] pero, de manera genérica, sin considerar las evidencias. De hecho, se ha señalado la necesidad de evidencia científica en sus aplicaciones actuales [27]. Además, la influencia del movimiento Maker para la ingeniería y la tecnología educativa exige más investigación para ilustrar sus enfoques prácticos [10]. Making, definido como la “producción práctica de artefactos tecnológicamente mejorados” asociados con el “hágalo usted mismo” [28], es importante en la educación porque se considera que “alienta a los estudiantes a participar en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM)” [29]. El papel emergente del Making en la educación formal e informal ha sido abordado en una revisión general de las herramientas utilizadas y los tipos de actividades de Making en experiencias de aprendizaje [6]. Además, se han propuesto diferentes marcos. Por ejemplo, se ha sugerido que Making se puede estudiar a partir de 3 enfoques: Making relacionado con actividades; comunidades de práctica llamadas Makerspaces; y Makers como identidades de interacción [4]. Además, se ha descrito un proceso integrado para actividades relacionadas con el Making en un marco adaptado del aprendizaje basado en el diseño [30]. Y, se ha desarrollado un marco específico para la educación STEM que incluye una rúbrica para evaluar los elementos esenciales instruccionales [31]. En esta investigación se utiliza el marco de Halverson y Sheridan [4]. Un estudio de mapeo sistemático [20,21] ofrece un estado preliminar del arte para analizar en qué medida los resultados se basan en la evidencia empírica de estudios primarios. Y, en consecuencia, determinar la conveniencia de una mayor investigación o no [32].

III. MÉTODO

El objetivo de este estudio es estructurar y caracterizar el estado del arte del uso de tecnología emergente en el

movimiento Maker de educación en ingeniería eléctrica, analizando el DBR e identificando posibles lagunas en las investigaciones. La metodología DBR [23] se recomienda en entornos de aprendizaje complejos [22]. La pregunta principal de investigación fue:

¿Qué evidencias existen del uso de tecnología emergente en el movimiento Maker sobre educación en ingeniería eléctrica?

Se desarrolló un estudio de mapeo sistemático [20] para identificar si existe evidencia de investigación sobre el tema de interés y clasificar los documentos de investigación relevantes. Este estudio de mapeo sistemático siguió un enfoque mixto, la metodología propuesta por Kitchenham y Charters [32] y la propuesta del proceso de mapeo sistemático de Petersen et al [20] con la guía actualizada para mejorar y apoyar el proceso [21]. Además, el análisis de co-palabras [33] se realizó con VOSviewer versión 1.6.10 [34] para detectar las tendencias [35]. Las diferentes etapas del estudio de mapeo sistemático se presentan en las siguientes sub-secciones: identificación de preguntas de investigación, realización de la búsqueda de estudios primarios, trabajos de selección basados en criterios de inclusión / exclusión, clasificación de los trabajos, extracción de datos e integración.

A. Cuestiones de investigación

Este estudio explora el uso de tecnologías emergentes en relación con el movimiento Maker en la educación en ingeniería eléctrica. Se identifican la cantidad, el tipo de investigación y los resultados disponibles. Las preguntas de investigación específicas fueron: (RQ1) ¿Cuál es la distribución temporal de los estudios publicados? (RQ2) ¿Cuáles son las tendencias en las tecnologías investigadas en el área? (RQ3) ¿Qué tecnologías emergentes se están utilizando en la educación en ingeniería eléctrica en relación con el movimiento Maker? (RQ4) ¿Cuáles son las características que surgen de las *hands-on practices* y la tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica? (RQ5) ¿Cuáles son los principales resultados en la aplicación del movimiento Maker en la educación de ingeniería eléctrica con tecnología emergente?

B. Proceso de búsqueda

La estrategia de búsqueda se centró en: “Maker”, “tecnología emergente” e “ingeniería eléctrica”. “Tecnología emergente” sigue la definición proporcionada por Veletsianos [13] y se delimitó siguiendo investigaciones previas [14, 16]: AI, AR / VI, Big Data, robótica, impresión 3D e IoT. El movimiento Maker abarcó: “making by myself”, “hands-on practices”, “do it yourself”, “hands-on activities”, “hands-on experiences” or “design-build activities” [1].

Según lo recomendado por Petersen et al [21], en una primera fase se seleccionó una estrategia de búsqueda y se realizó una búsqueda inicial limitada a la base de datos electrónica IEEE/IEE Electronic Library Online (IEL) (Tabla I). Además, las estrategias de búsqueda siguieron un proceso revisado [36] y, la estrategia de búsqueda inicial (Tabla I) se definió para cada base de datos (Tabla II).

En una segunda fase, se realizaron búsquedas sistemáticas, durante un período que abarcó hasta el 12 de julio de 2018, en las siguientes bases de datos electrónicas: SCOPUS, la base de datos de citas de la Colección Core de Web of Science

TABLA I
ESTRATEGIA INICIAL DE BÚSQUEDA

Area	Estrategia
The IEEE/IEE Electronic Library Online (IEL) (n=1290) (Full Text & Metadata) in Command Search	(.QT.Maker.QT. OR .QT.making by myself.QT. OR .QT.hands-on practices.QT.) AND (.QT.emerg* technolog*.QT. OR .QT.artificial intelligence.QT. OR .QT.Augmented Reality.QT. OR .QT.Virtual Reality.QT. OR .QT.Big Data.QT. OR .QT.robotic*.QT. OR .QT.3D printing.QT. OR .QT.Internet of Things.QT.) AND (.QT.electrical engineering.QT. OR .QT.electronic engineering.QT.)
Search within results (n=163)	student*
Document type (DT)	Conferences (180), Journals & Magazines (157), Early Access Articles (12), Books (26), Standards (4)
Publication year (PY)	All years
Subject category (SC)	All

(WoS) de Thomson Reuters, los Recursos Educativos Base de datos electrónica del Centro de información (ERIC), motor de búsqueda JSTOR, Biblioteca digital IEEE Xplore, Biblioteca digital de la Asociación de Maquinaria de Computación (ACM), Guía ACM para Literatura Informática, Síntesis (Biblioteca Digital de Ingeniería y Ciencias de la Computación, Conferencias sobre ingeniería eléctrica, Conferencias sobre tecnologías de ingeniería emergentes) y la base de datos Open Gray. La fuente de la investigación de la literatura en este estudio se basa en estas bases de datos porque se centran principalmente en Ingeniería e Informática y también, en el caso de WoS, se considera que garantizan la recuperación de evidencia empírica. De la búsqueda inicial (Tabla I) solo se seleccionaron Conferencias, Artículos y Revistas para buscar “estudiante*” dentro de los resultados (n = 163). En un segundo paso, la búsqueda se mejoró iterativamente adaptando las palabras clave a cada base de datos (Tabla II). La estrategia de búsqueda se limitó a publicaciones académicas (revistas de revisión por pares y conferencias académicas) para asegurar los resultados de calidad en el análisis DBR. Los artículos no escritos en inglés se excluyeron para evitar el coste de la traducción. Los criterios de inclusión fueron:

- Investigación primaria revisada por pares.
 - Uso de tecnología emergente en educación en ingeniería eléctrica, en relación con el movimiento Maker.
 - Publicado en inglés.
 - Publicado entre 1975 y julio de 2018.
 - Investigación basada en el diseño.
- Los criterios de exclusión que se establecieron fueron:
- Estudios no revisados por pares (revistas y actas de congresos).
 - Artículos sin una práctica clara basada en el diseño del uso de tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica.
 - Artículos no relacionados con el movimiento Maker.

Los indicadores de criterios de calidad se basaron en la contribución a la evidencia y la coherencia con respecto al enfoque DBR. La selección de estudios incluyó criterios

TABLA II
ESTRATEGIA DE BUSQUEDA COMPLETA POR CADA BASE DE DATOS

Área	Estrategia
Synthesis Digital Library of Engineering and Computer Science (n=14)	((("Maker" OR "making by myself" OR "hands-on practices") AND ("emerg* technolog*" OR "artificial intelligence" OR "Augmented Reality" OR "Virtual Reality" OR "Big Data" OR "robotic*" OR "3D printing" OR "Internet of Things")) AND ("electrical engineering" OR "electronic engineering"))
The ACM Guide to Computing Literature (n=30)	
The ACM Full-Text Collection (n=25)	
SCOPUS (n=10)	(TITLE-ABS-KEY (((("Maker" OR "making by myself" OR "hands-one practices") AND "emerg* technolog*" OR "artificial intelligence" OR "Augmented Reality" OR "Virtual Reality" OR "Big Data" OR "robotic*" OR "3D printing" OR "Internet of Things"))) AND TITLE-ABS-KEY (("electrical engineering" OR "electronic engineering"))))
JSTOR (n=1)	((("Maker" OR "making by myself" OR "hands-on practices") AND ("electrical engineering" OR "electronic engineering")) AND ("emergent technology"))
OpenGrey (n=2)	("Maker" OR "making by myself" OR "hands-on practices") AND ("emerg* technolog*" OR "artificial intelligence" OR "AI" OR "Augmented Reality" OR "AR" OR "Virtual Reality" OR "VR" OR "Big Data" OR "robotics" OR "3D printing" OR "IoT" OR "Internet of Things") AND ("electrical engineering")
Web of Science Core Collection (n=306)	TOPIC: ("Maker" OR "making by myself" OR "hands-on practices") AND TOPIC: ("emerg* technolog*" OR "artificial intelligence" OR "Augmented Reality" OR "Virtual Reality" OR "Big Data" OR "robotic*" OR "3D printing" OR "internet of things")
Refined by: TOPIC: (n=78)	(educ* OR student* OR learn* OR teach*)

de inclusión y exclusión post hoc y siguió un proceso iterativo. En una primera revisión, se seleccionaron títulos, resúmenes y palabras clave y se conservaron los artículos que utilizan tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica. Luego, se seleccionaron los trabajos académicos que mencionan específicamente el movimiento Maker. Finalmente, se identificaron los estudios que siguieron el DBR. En este último caso, fue necesario leer el texto completo para decidir la inclusión o exclusión del estudio. La técnica de “bola de nieve” [37] se aplicó en esta última fase: se revisaron las referencias de todos los artículos de texto completo para decidir si incluirlo o no. Estos estudios se clasificaron por tecnología emergente y se realizó otra ronda de detección. Los estudios que siguieron una intervención se describieron cualitativamente y se incluyeron en el formulario de registro de datos.

C. Estrategia de extracción de datos

El formulario se diseñó en la hoja de cálculo de LibreOffice Calc para extraer datos de cada estudio. Se aplicó un método

analítico descriptivo: Autoría, año de publicación, título del trabajo, título de la fuente, resumen, autor e índice de palabras clave, tecnología emergente, tipo de documento, número de citas. Para el resto de las preguntas se adaptó el paradigma utilizado en Kitchenham y Charters [32], el marco de Making [4] y el DBR [22, 23], para clasificar datos con respecto a: muestra, entorno de investigación, tipo de intervención, resultados e iteración.

D. Clasificación

La clasificación siguió la metodología DBR para comprender cómo, cuándo y por qué las intervenciones educativas son efectivas en la práctica. Se adaptó el código de revisiones sistemáticas anteriores [38]. Muestra: (1) estudiante en general o (2) licenciado, (3) graduado o (4) postgrado. Entornos de investigación: (1) aula presencial, (2) on-line, (3) mixta, (4) de laboratorio y (5) no reportado. Tecnología emergente: se indicó la frecuencia de acuerdo con la variable definida. Como no existe una taxonomía definida de la tecnología emergente, en una primera etapa se utilizaron las identificadas en el análisis de investigaciones previas [14, 16]: AI, Realidad Aumentada/Realidad Virtual (AR/ VR), Big Data, robótica, impresión 3D, IoT. A medida que avanzaba el proceso de análisis de los documentos, se añadieron otras tecnologías identificadas. Además, se analizó el año de publicación de los estudios para medir la evolución del interés de la comunidad de investigación académica sobre el movimiento Maker en la educación en ingeniería eléctrica con tecnología emergente.

E. Análisis de investigación basado en DBR.

Para analizar las características de la intervención, se identificaron: tipo de intervención, resultados, iteración y revisión de la intervención. El tipo de intervención se clasificó como (1) enfoque educativo, centrado en el método (1.1), el modelo (1.2) o la estrategia (1.3). La estrategia podría estar relacionada con una (1.3.1) tarea auténtica, (1.3.2) unidad curricular, (1.3.3) progresión de aprendizaje, (1.3.4) andamiaje o (1.3.5) modelos de enseñanza integrados. El tipo de intervención podría ser también un (2) tipo de evaluación, o (3) actividad de aprendizaje, o (4) intervención tecnológica, a saber (4.1) utilizando un paquete de software educativo, (4.2) probando la efectividad de un aprendizaje particular entorno o herramienta, o relacionado con (4.3) actividades respaldadas por la tecnología [22].

F. Movimiento Maker

Para explorar el movimiento Maker en el ámbito de estudio, se siguió el marco de Halverson y Sheridan [4]. Este marco incluye: Making como actividades de aprendizaje, Makers como identidades de interacción entre uno mismo y el aprendizaje y, Makerspaces, es decir, comunidades de práctica o entornos de aprendizaje.

G. Análisis de Datos

Para identificar las tendencias en tecnologías, se realizó un análisis de coincidencia de la base de datos completa en formato .ris con VOSviewer versión 1.6.10, con la unidad de análisis establecida en palabras clave y, el método de conteo completo. Además, se analizaron los estudios

primarios obtenidos siguiendo los criterios de clasificación y las preguntas de investigación indicadas anteriormente. El marco analítico de Halverson y Sheridan [4] y el análisis DBR [22, 23] se utilizaron para proporcionar una visión general de la literatura. Después se analizaron los resultados incluyendo un resumen numérico y descripción de sus características. Se reportó la frecuencia de los estudios según la “tecnología emergente”. Se identificaron las características de la intervención DBR. Se presentaron análisis temáticos y numéricos del alcance y la naturaleza de los estudios utilizando tablas y gráficos.

H. Validez de la evaluación

Se siguió una adaptación de la clasificación de ingeniería del software [39]. Dado que el análisis se realizó por una única persona, los tipos de validez se limitaron a la descriptiva y la reproducibilidad [21]. Para reducir la amenaza de sesgo, el proceso de extracción de datos se realizó en un formulario y se detalló y reportó el proceso de investigación seguido.

IV. RESULTADOS

A. Resultados de la búsqueda

Se seleccionaron un total de 323 artículos (Tabla I y Tabla II), siguiendo los criterios de inclusión y exclusión definidos. En algunos casos, la consulta se filtró por tema como “estudiante*”. La Tabla III muestra el número de estudios seleccionados. 58 de los documentos seleccionados se refieren a la educación en ingeniería eléctrica, en general, para su clasificación (RQ1, RQ2 y RQ3). Sólo se reportaron estudios relacionados con la educación en ingeniería eléctrica del movimiento Making basados en una intervención DBR (n = 20) en RQ4 y RQ5.

B. Preguntas de investigación

En base al análisis realizado en los estudios primarios seleccionados, las respuestas a las preguntas de investigación son:

RQ1. ¿Cuál es la distribución temporal de los estudios publicados?

El análisis de distribución de los años de publicación de la educación en ingeniería eléctrica en general (n = 58) y el movimiento Maker en ingeniería eléctrica en base a la intervención DBR (n = 20) para medir el interés de la comunidad sobre el uso de tecnologías emergentes se muestra en la Fig. 1.

TABLA III
NÚMERO DE ESTUDIOS INCLUIDOS DURANTE EL PROCESO DE SELECCIÓN.

Proceso	Resultados
Búsqueda en bases de datos	323
Criterios de inclusión / exclusión	146
Duplicados	-16
Lectura de texto completo	58
Muestra bola de nieve	+1
Sólo ingeniería eléctrica aplicando investigación basada en diseño	20

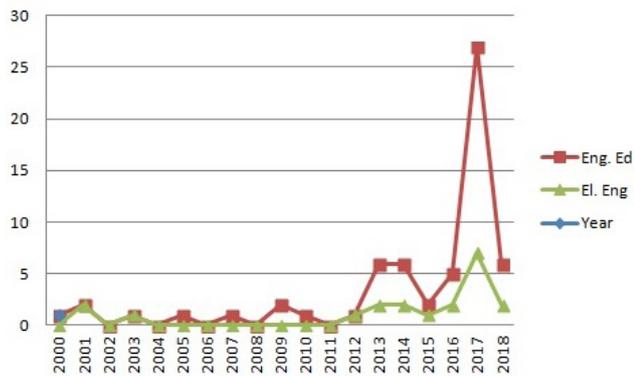


Fig. 1. Número de artículos publicados por año.

El interés de la comunidad académica en el tema ha aumentado moderadamente desde 2012. A pesar de la disminución en el número de artículos publicados en 2015, hubo un aumento significativo de estudios publicados en 2017.

RQ2. ¿Cuáles son las tecnologías emergentes investigadas en el campo?

Con el número mínimo determinado de ocurrencias de una palabra clave ($n = 10$), de las 5247 palabras clave, 64 alcanzan el umbral. Para cada una de esas 64 palabras clave, se calculó la fuerza total de los enlaces de coincidencia con otras palabras clave. Se seleccionaron las palabras clave con la mayor fuerza de enlace total ($n = 64$). Elementos: 64, grupos: 4, enlaces: 919, fuerza total del enlace: 1832. El análisis se realizó con el método de fraccionamiento. El análisis de conglomerados se enriqueció con la visualización del conjunto de datos de co-palabras (Fig. 2) para identificar las tecnologías emergentes asociadas con los temas de tendencia:

El grupo 1 (2008-2010) con 19 artículos incluye los términos de Inteligencia Artificial, modelado computacional, aprendizaje asistido por ordenador, informática, educación en informática, educación, cursos educativos, instituciones educativas, educación en ingeniería electrónica, educación en ingeniería, hardware, humanos, internet, laboratorios, monitoreo, sensores, software, enseñanza, realidad virtual.

Clúster 2 (18 ítems): diseño y análisis de algoritmos, Inteligencia Artificial, contexto, toma de decisiones, teoría de juegos, juegos, humanos, aprendizaje (Inteligencia Artificial), programación lineal, aprendizaje automático, procesos de Markov, modelo matemático, optimización, optimización pareto, aprendizaje por refuerzo, robustez, procesos estocásticos. Este clúster se encuentra en el período 2010-2014.

El grupo 3 con 15 ítems está relacionado con los términos costes, generación de energía distribuida, industria de suministro de electricidad, consumo de energía, administración de energía, sistemas de múltiples agentes, computación de ingeniería de energía, economía de generación de energía, mercados de energía, economía de sistemas de energía, precios, seguridad, Redes inteligentes, redes eléctricas inteligentes, incertidumbre.

El clúster 4 (2016-) con 12 elementos Big Data, radio celular, computación en la nube, radio cognitiva, arquitectura informática, minería de datos, Internet de las cosas, comunicación móvil, informática móvil, gestión de recursos, servidores, comunicación inalámbrica.

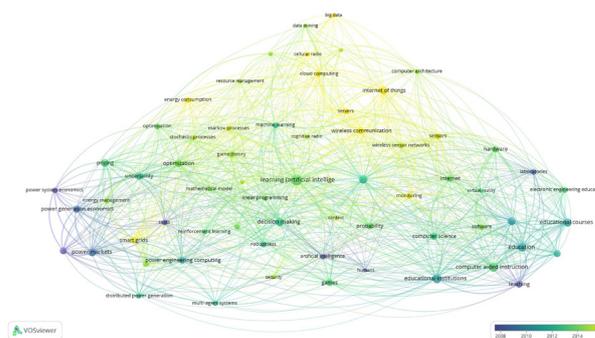


Fig. 2. Visualización del análisis de co-palabras. (DOI 10.6084/m9.figshare.9452306) https://figshare.com/articles/Overlay_10_tiff/9452306

Un análisis de co-palabras con una serie de ocurrencias establecidas en 5 mostró la inclusión de los términos relacionados con la robótica: Clúster 1 (sistemas multi-robot, robot), Clúster 2 (robots educativos, robots móviles, sistemas de detección de robots) y, Clúster 4 (cinemática de robots, robótica) entre 2012-2014.

RQ3. ¿Qué tecnologías emergentes se están utilizando en la educación en ingeniería eléctrica en relación con el movimiento Maker?

El primer paso para clasificar los estudios primarios seleccionados como educación en ingeniería eléctrica en general ($n = 58$) fue la tecnología emergente que utilizaron (RQ3). Se decidió incluir tecnologías emergentes no consideradas inicialmente en la clasificación referida al proceso de búsqueda 3.2. Por ejemplo, la tecnología 3D se refería al uso del sensor Kinect para Xbox 360 o los juegos serios/ gamificación. Se excluyeron los estudios primarios centrados en una tecnología emergente pero no relacionados con la educación. La Tabla III proporciona detalles de la distribución de los estudios primarios en términos de la tecnología emergente que están utilizando. La suma de las distribuciones que se muestran en la Tabla IV puede ser mayor que la cantidad de estudios primarios debido a que un estudio primario particular puede usar más de una tecnología emergente. El propósito de esta Tabla IV es proporcionar un enfoque comparativo sobre la distribución de los estudios primarios clasificándolos entre educación en ingeniería eléctrica y el DBR del movimiento Making en la educación en ingeniería eléctrica. Esta tabla ofrece una idea de cuál de las tecnologías emergentes en el movimiento Making en educación en ingeniería eléctrica se ha utilizado en los estudios de investigación.

Como se puede observar en la clasificación de la Tabla IV, la tecnología emergente en el área de educación en ingeniería eléctrica (intervención DBR) de mayor interés para los investigadores es la robótica ($n = 7$), similar a la de los resultados generales de ingeniería eléctrica ($n = 20$). Sin embargo, se identificaron 3 estudios como intervención DBR en IoT contra 2, en impresión 3D.

RQ4. ¿Cuáles son las características que surgen de las hands-on practices y la tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica?

Para analizar en qué medida los resultados se basan en evidencia empírica, los estudios primarios seleccionados se clasificaron según la intervención DBR [22, 23] que reportaban (ver Anexo). La difusión generalizada del *do-it-yourself* (DIY) experimentada incluso en aplicaciones

TABLA IV
TECNOLOGÍA EMERGENTE

Tecnología emergente	Educación ingeniería eléctrica	(Intervención DBR)
Robotics	20	7
Internet of Things (IoT)	9	3
Virtual Reality	4	1
Artificial Intelligence	4	2
Augmented Reality	2	0
Big Data	1	0
3D printing	9	2
3D modeling	1	0
3D technology (Kinect sensor for the Xbox 360 video game console)	1	1
3D Virtual worlds	1	0
Others:		
Serious games/ gamification	4	2
Simulation	4	0
Virtual Reality	4	1
2D symbolic circuit diagram	1	1
Computer biometrics	1	0
iPad apps	1	0
Computer aided design (CAD)	1	0

basadas en micro-controladores [40] está respaldada por estos hallazgos que indican que las actividades en el Making es la mayor aplicación del movimiento Maker utilizando tecnología emergente en la educación de la ingeniería eléctrica. La estrategia del enfoque instruccional y específicamente la “unidad curricular” (n = 7) es la intervención más utilizada a nivel de pregrado. El primer artículo apareció en 2001 [41] y está relacionado con una intervención tecnológica con Realidad Virtual (tecnología 3D) en un laboratorio de microelectrónica para enseñar los conceptos de integración de procesos. Esta práctica real concluyó que el uso de un laboratorio virtual es menos costoso, consume menos tiempo y es más seguro. La práctica docente con el software indicó que mejora la interacción del estudiante y su participación activa. El siguiente estudio que probó la efectividad de la Realidad Virtual apareció en 2013 [42], específicamente el Sensor Kinect de Xbox 360 que demostró ser “una herramienta eficaz para la divulgación”. Sin embargo, no se proporcionan datos sobre el análisis de los beneficios que se perciben.

Los estudios referidos a Inteligencia Artificial (n = 2) se ubican en el clúster 1 (2008-2010). En ambos casos de los estudios relacionados con la Inteligencia Artificial [43, 44], el enfoque instruccional seguido se basa en la estrategia y específicamente, en la unidad curricular. Por ejemplo, Peña, Jota y Seixas-Filho [44] propusieron el tema de Inteligencia Artificial en el plan de estudios para

la licenciatura en Ingeniería de Control y Automatización. Como etapa preliminar, el estudio de Pena et al [44] no reportó resultados. El estudio de King y Rughooputh [43] propuso tres aplicaciones específicas de las técnicas de Inteligencia Artificial como un soporte complementario para la enseñanza de los sistemas energéticos a nivel de pregrado.

Como una de las tecnologías emergentes, el IoT (clúster 3) se ha identificado en tres de los estudios seleccionados según la intervención DBR. Todos ellos [45, 46, 47] aplicaron el enfoque instruccional basado en el método del aula invertida [47] en la que la tarea dada a los estudiantes era diseñar los dispositivos IoT por sí mismos. Del mismo modo, el estudio en curso de Shayesteh et al [46], reportó un enfoque instruccional basado en la estrategia de la unidad curricular del módulo IoT del curso combinado con el uso de la experiencia práctica ya que los estudiantes diseñaron sistemas portátiles e IoT. El estudio piloto de Charlton y Poslad [45] se centró en “aprender haciendo que el dispositivo micro: bit de la BBC interactúe como parte de una aplicación IoT”. De acuerdo con esto, el uso de dispositivos IoT es uno de los elementos de un Buen Proyecto IoT [48].

Cuatro de los estudios identificados utilizando la tecnología emergente de la robótica (n = 7) siguieron la estrategia instruccional basada en la unidad curricular [49, 50, 51, 52]. La mayoría de ellos combinó este tipo de intervención con otros. Por ejemplo, la investigación de McLurkin et al [51] diseñó un plan de estudios de aprendizaje basado en problemas que fomenta el trabajo en equipo colaborativo en tareas de robots móviles. En sus resultados, los autores destacaron que el uso del robot y los planes de estudio ofrecían la posibilidad de realizar tareas robóticas complejas. Del mismo modo, la naturaleza práctica del *hands on* del plan curricular diseñado en el estudio de Tewolde [52] se integró con las actividades de programación de robótica móvil. Una mención aparte merece la experiencia en la Universidad de Nápoles Federico II que utilizó los FabLabs (Laboratorios de Fabricación) académicos con la estrategia de la unidad curricular diseñada desde un enfoque práctico para mejorar las habilidades de los estudiantes en robótica, Inteligencia Artificial e, IoT, entre otros [50]. Solo en dos de los estudios relacionados con la robótica se identificó la actividad de aprendizaje como tipo de intervención [53, 54]. La investigación preliminar de Chou y Su [53] indicó que las actividades fueron diseñadas para proporcionar a los estudiantes una oportunidad de aprendizaje para vincular sus conocimientos previos en STEM. Por ejemplo, los resultados preliminares indicaron que “el lenguaje de programación (Scratch) ayudó a los estudiantes a desarrollar habilidades de pensamiento lógico”. Molins-Ruano et al [54] combinaron diferentes tecnologías como “Python, Arduino e impresión 3D en un robot de bajo coste”, con el objetivo de introducir conceptos fundamentales de programación.

En relación con la tecnología de impresión 3D [55,56], solo puede considerarse el curso del proyecto descrito en Eberhardt et al [55], ya que la propuesta de Jovanovic et al [56] se encuentra en una etapa preliminar. El curso se enfoca en entrenar las habilidades prácticas para permitir a los estudiantes construir sus propios prototipos de dispositivos que contienen componentes estructurales y eléctricos [55].

RQ5. ¿Cuáles son los principales resultados de la aplicación del movimiento Maker en la educación en ingeniería eléctrica con tecnología emergente?

El resultado principal que se reporta en los estudios analizados es que “los estudiantes mejoraron la motivación” (n = 9). Cinco de los estudios utilizaron la robótica como tecnología emergente y, señalan que los estudiantes aprendieron sobre el diseño eléctrico del robot mediante un proyecto práctico [51]. Por ejemplo, el uso del robot por parte de estudiantes con discapacidades físicas, cognitivas o intelectuales concluyó que su motivación mejoraba en la actividad de aprendizaje diseñada de forma accesible para enseñarles cómo usar y cómo crear algunos programas complejos [54]. Solo 3 de los 20 estudios identificados como Makerspace en el movimiento Maker estaban relacionados con la robótica [50, 53, 57] y utilizaron la unidad curricular en la estrategia del enfoque instruccional. Los resultados analíticos preliminares del enfoque de estudio de caso cualitativo de Chou y Su [53] indicaron que la robótica educativa era una herramienta de aprendizaje efectiva para enseñar conceptos de ingeniería en estudiantes de primaria. La investigación empírica más completa de los estudios generales seleccionados con respecto a la tecnología robótica fue la realizada por Eberhardt et al [55]: la encuesta de evaluación previa y posterior se utilizó para evaluar la autoeficacia del estudiante en cada actividad de Maker revisada. Además, los resultados de la evaluación de los resultados del programa sugirieron que los objetivos de aprendizaje se lograron y se consideraron valiosos por los estudiantes. Chou y Su [53] basaron su enfoque de estudio de caso cualitativo sobre el aumento del aprendizaje de los estudiantes a través de una actividad de aprendizaje. El estudio en curso de Mclurkin, Rykowski, John, Kaseman y Lynch [51] que, realizó una encuesta a nivel universitario cada semestre en todas las clases utilizando robots, destacó el potencial para mejorar el aprendizaje. También presenta los datos de evaluación para la satisfacción de los estudiantes. Sergeev y Alaraje [49] reportaron el uso de un cuestionario anónimo para recopilar los comentarios de los estudiantes sobre la efectividad de la versión del curso combinada. Por su parte, Tewolde [52] reconoció las limitaciones de los comentarios obtenidos de los estudiantes e indicó la intención de realizar una evaluación formal para mejorar el programa.

La tecnología 3D se ha utilizado principalmente para involucrar a los estudiantes en el aprendizaje práctico y la resolución de problemas [58, 59]. La mayoría de los estudios carece de evidencias [43, 44]. Por ejemplo, King y Rughooputh [43] destacaron una mejor comprensión del tema de análisis del sistema de energía con el uso de técnicas de Inteligencia Artificial para resolver problemas sin reportar ninguna evidencia con respecto a este resultado. Miller [41] indicó dos resultados inesperados: un aumento de la interacción entre estudiantes y docentes debido a las preguntas relacionadas con el uso de la tecnología (simulación) y la reducción del tiempo requerido en el proceso de aprendizaje.

Todos los estudios que utilizan IoT coinciden en que los estudiantes mejoraron su motivación [45,47,46]. Pocos estudios indicaron algún tipo de evaluación empírica. Mita y Kawahara [47] destaron que el formato del aula invertida fue un éxito, pero basan la validación empírica en un cuestionario online que no se describe y que no reporta su validación. De

la misma manera, Shayesteh et al [46] señalaron la mejora de la comprensión de los estudiantes y presentaron los datos de evaluación de la satisfacción de los estudiantes del plan de estudios diseñado sin una descripción del cuestionario utilizado. Charlton y Poslad [45] indicaron que los datos se recopilaron en forma de encuestas, observaciones, contenido de video, entrevistas y discusiones informales. También especificaron que se siguieron los procedimientos de análisis de contenido cualitativo de teoría fundamentada. El diseño de crear una aplicación de IoT portátil supuso, según este estudio, un aumento de la identidad e implicación entre compañeros.

V. DISCUSIONES

Este estudio de mapeo sistemático ofrece una visión general del uso de la tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica a través del uso pedagógico del Making y, la identificación de investigaciones basadas en la evidencia. De acuerdo a la revisión de la literatura de estudios empíricos sobre el movimiento Maker [6], el Making destaca en su integración en el aula de ingeniería eléctrica. Este estudio de mapeo sistemático sugiere que la aplicación del movimiento Maker y la tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica a nivel de pregrado aún se encuentra en una etapa muy inicial. El número de estudios que proporcionan algún tipo de intervención (DBR) es aún pequeño (n = 20). Aunque el número de espacios universitarios Makerspaces ha aumentado desde 2016 [60], los hallazgos de este estudio sugieren que el tiempo de adopción requerirá más de los dos o tres años que indicaba el Informe Horizon del Consorcio de Nuevos Medios (NMC): Edición de educación superior 2016 [61]. Sin embargo, el análisis de las características reportadas de la metodología DBR insinúa que el potencial del movimiento Maker en relación con la tecnología emergente en la educación en ingeniería eléctrica es alto. El tipo de intervención de los estudios que se centran en el enfoque instruccional sugiere que la relevancia de los estudios radica en las ventajas pedagógicas más que en el uso de la tecnología emergente *per se*. El estudio actual contrasta con investigaciones anteriores que critican “una excesiva dependencia de las herramientas de Maker, frente a la pedagogía” [1].

La muestra de investigación de los estudios analizados se centró principalmente en el nivel de pregrado, lo que confirma evidencias previas que indican que los estudiantes del contexto educativo superior son el grupo objetivo del uso de tecnología emergente en la educación [62]. Además, este hallazgo se ve reforzado por investigaciones anteriores que destacan que DBR se centra principalmente en este mismo contexto educativo [38].

El significado y la importancia de los resultados de las preguntas de investigación son:

RQ1) Aumento significativo de estudios publicados en 2017. Este aumento podría deberse a las varias conferencias internacionales que tuvieron lugar en 2017. Por ejemplo, la 40a Convención Internacional sobre Tecnología de Información y Comunicación, Electrónica y Microelectrónica (MIPRO), la 6ta Conferencia Internacional sobre aplicaciones informáticas en ingeniería eléctrica - Avances recientes (CERA) y, la Conferencia Internacional de IEEE sobre Tecnología de Información Eléctrica (EIT), entre otras más generales, como

la Conferencia de Fronteras en Educación de IEEE (FIE) y la Conferencia de Educación Integrada STEM de IEEE (ISEC).

RQ2) Los análisis realizados sugieren que el Big data, el Cloud computing y el IoT son tendencia en el uso de las tecnologías emergentes en el área. Sin embargo, un amplio número de análisis de co-palabras ($n = 5$) permitió identificar los términos relacionados con la robótica. No obstante, dado que el análisis se basa solo en una visualización del mapa, los resultados deben interpretarse con precaución [33]. La Fig. 2 revela que la investigación del área en relación con la tecnología emergente ha evolucionado desde la Inteligencia Artificial en general y la educación en Ciencias de la Computación (2008-2010) hasta la Realidad Virtual, el aprendizaje automático, la Inteligencia Artificial aplicada al aprendizaje y la informática móvil (2010-2014). Los estudios de Miller [41] y, Blair y Davis [42] representantes del clúster 1, pueden analizarse desde el enfoque que aporta la visualización del mapa (Fig. 2) que apunta una evolución del uso de la RV en el movimiento Making de la educación de la ingeniería eléctrica desde el primer período (2008-2010) hasta el segundo período (2010-2014). Finalmente, la Fig. 2 también muestra que las tendencias (2016-) en tecnología emergente en esta área se han dirigido a Big data, IoT y computación en la nube. Claramente, el clúster 4 se encuentra en este período. De hecho, la literatura reciente refleja el gran interés de la computación en la nube para la educación entre los investigadores [63]. Lo mismo puede argumentarse en relación al Big Data, que está ganando interés en el proceso y la generación de información para apoyar el aprendizaje de los estudiantes [64]. La evolución que se observa del IoT desde 2016, podría explicarse debido a la convergencia de diferentes tecnologías [65].

RQ3) La robótica ha sido identificada como la tecnología emergente más utilizada en el área de educación en ingeniería eléctrica (intervención DBR), seguida de la impresión 3D y el IoT. La impresión 3D se considera una de las tecnologías Maker más populares en las escuelas [17, 66] y también, una revisión reciente de la literatura destaca su adopción más madura en las universidades [67].

RQ4) El uso de dispositivos IoT, como en el estudio de Charlton y Poslad [45] centrado en el aprendizaje a través del Making, se considera uno de los elementos de un buen proyecto IoT [48], en el Modelo del Currículo de IoT Transdisciplinario.

Los únicos estudios identificados como Makerspace en el movimiento Maker estaban relacionados con la robótica [50, 53]. Y, sólo Angrisani et al [50] utilizaron la unidad curricular en la estrategia del enfoque instruccional. En este sentido, los resultados de este estudio de mapeo difieren de las investigaciones anteriores que indican que “muchas instituciones de educación superior han incluido nuevos elementos en sus planes de estudio y han creado Makerspaces” [3].

RQ5) Los resultados de este estudio respaldan investigaciones anteriores que destacan que la robótica es una tecnología que aumenta la atención en el campo de la educación en ingeniería [68, 3, 69]. Sin embargo, la falta de evidencia empírica encontrada en este estudio de mapeo no permite confirmar que el uso de la robótica sea adecuado para promover la motivación de los estudiantes universitarios de ingeniería [70]. Altin y Pedaste [71] también se hacen eco

de la falta de evidencia empírica en las investigaciones. Sólo dos estudios [55,45] señalaron el tipo de intervención (DBR) seguido en la metodología de aprendizaje basada en problemas del enfoque instruccional de IoT. Este hallazgo indica una brecha en la investigación del área, con respecto a estudios previos que sugieren que el aprendizaje de ingeniería basado en problemas mejora las habilidades de los ingenieros [24]. A pesar de que investigaciones previas destacan que el uso de Makerspaces involucra el pensamiento activo y el aprendizaje práctico de los estudiantes, al tiempo que promueve la creatividad, la resolución de problemas y las habilidades de colaboración [72], la falta de evidencia empírica de las intervenciones DBR identificadas en este estudio no permite el contraste o el apoyo de esta afirmación. De manera similar investigaciones previas en el tema específico de la computación en la nube para la educación [63], señalan que la falta de información del tipo de intervención (DBR) de los resultados publicados es notable.

Algunas limitaciones podrían haber influido en los hallazgos obtenidos. En primer lugar, el sesgo de idioma porque los artículos no publicados en inglés se excluyeron de la búsqueda y, el sesgo potencial debido a las bases de datos consultadas. La investigación adicional podría incluir la estrategia de búsqueda en otras bases de datos como Google Scholar, plataformas especializadas de libros electrónicos (O'Reilly for Higher Education, New Safari, Springer) y las actas de conferencias de IEEE Xplorer, entre otras. En segundo lugar, las conclusiones del análisis deben leerse con precaución dado que la selección del estudio, la extracción de datos y la clasificación del conjunto de datos fueron realizadas por un autor individual. Por lo tanto, la validez teórica, la generalización y la validez interpretativa no se llevaron a cabo [21]. En consecuencia, la clasificación del análisis DBR podría haberse malinterpretado o no haberse completado en su totalidad. Además, esta amenaza puede incrementarse ya que este estudio corroboró que todavía existe una tendencia entre los investigadores a no proporcionar los detalles de diseño e intervención [38]. A pesar de las limitaciones mencionadas y de que el conjunto de datos puede resultar pequeño, una buena muestra se considera más relevante que una mayor [21].

VI. CONCLUSIONES

Este estudio de mapeo contribuye al campo de investigación mediante la identificación de prácticas empíricas en el uso de tecnologías emergentes en la educación en ingeniería eléctrica a partir de las posibilidades pedagógicas del movimiento Making. La realización de actividades relacionadas con la robótica es la aplicación más utilizada en la educación en ingeniería eléctrica a nivel de pregrado por los 20 estudios primarios seleccionados. El alcance del interés de intervención en la literatura se centra principalmente en el enfoque instruccional de la unidad curricular y, los resultados destacaron que los estudiantes mejoraron la motivación.

Este estudio ofrece una revisión de DBR para capitalizar los avances y abordar los desafíos relacionados con el uso del movimiento Making en la educación en ingeniería eléctrica. Futuras investigaciones podrían determinar si el Big Data, el Cloud Computing y el IoT son la tendencia en tecnología emergente con respecto al movimiento Maker en

la educación en ingeniería eléctrica. Por ejemplo, el análisis de clúster realizado podría mejorarse mediante un enfoque a nivel micro, con medidas de centralidad de frecuencias de nodos (BC). Los resultados de este estudio permiten sugerir las principales brechas en la educación en ingeniería eléctrica basada en el movimiento Maker con tecnología emergente. La investigación adicional podría considerar la inclusión de tecnologías Web 2.0 en el área, ya que se ha señalado como la tecnología más utilizada en educación [62]. En un nivel más amplio, se podrían analizar las intervenciones DBR que mejoran la transferencia entre la investigación, la enseñanza y la práctica bajo un enfoque colaborativo en los espacios Maker o a través de actividades Making.

ANEXO

Dataset y clasificación DBR (DOI 10.6084/m9.figshare.9455015)

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Educación y Ciencia de la Federación de Rusia y el Proyecto de Excelencia Académica de Rusia '5-100'. El autor agradece al Profesor Sergeev Vladislav Viktorovich, Director del Instituto de Informática, Matemáticas y Electrónica y al Profesor Valeriy Dmitrievich Elenev, Director del Instituto de Tecnología de Aviación en la Universidad Nacional de Investigación de Samara (Rusia) por su inestimable apoyo. Además, gracias especiales a Ekaterina y Viktor por darme tiempo para realizar este estudio. Gracias a los revisores anónimos por sus valiosos comentarios, que han contribuido significativamente a mejorar este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] B. Bevan, "The promise and the promises of Making in science education," *Stud. Sci. Educ.*, vol. 53, no. 1, pp. 75–103, 2017.
- [2] A. M. Thomas and D. Besser, "The Maker movement and engineering," *Bridge*, vol. 47, no. 3, pp. 32–36, 2017.
- [3] M. J. W. Lee, "Guest Editorial Special Issue on Maker Learning in Computer Science and Engineering Education," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 60, no. 1, pp. 38–39, 2017.
- [4] E. R. Halverson and K. Sheridan, "The Maker Movement in Education," *Harv. Educ. Rev.*, vol. 84, no. 4, pp. 495–504, 2014.
- [5] G. Chryssolouris, D. Mavrikios, and L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm," *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 44–48, 2016.
- [6] S. Papavlasopoulou, M. N. Giannakos, and L. Jaccheri, "Empirical studies on the Maker Movement, a promising approach to learning: A literature review," *Entertain. Comput.*, vol. 18, pp. 57–78, 2017.
- [7] M. N. Giannakos, M. Divitini, and O. S. Iversen, "Entertainment, engagement, and education: Foundations and developments in digital and physical spaces to support learning through making," *Entertain. Comput.*, vol. 21, pp. 77–81, Jun. 2017.
- [8] D. Lindstrom, A. D. Thompson, and D. A. Schmidt-Crawford, "The Maker Movement: Democratizing STEM Education and Empowering Learners to Shape Their World," *J. Digit. Learn. Teach. Educ.*, vol. 33, no. 3, pp. 89–90, 2017.
- [9] L. Martin, "The Promise of the Maker Movement for Education," *J. Pre-College Eng. Educ. Res.*, vol. 5, no. 1, 2015.
- [10] M. Tan, Y. Yang, and P. Yu, "The influence of the Maker movement on engineering and technology education," *World Trans. Eng. Technol. Educ.*, vol. 14, no. 1, pp. 89–94, 2016.
- [11] P. Tuomi, J. Multisilta, P. Saarikoski, and J. Suominen, "Coding skills

- as a success factor for a society," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 23, no. 1, pp. 419–434, Jan. 2018.
- [12] M. Halaweh, "Emerging Technology: What is it?," *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 8, no. 3, pp. 108–115, 2013.
- [13] G. Veletsianos, "A definition of emerging technologies for education," *Emerg. Technol. Distance Educ.*, vol. 1, no. August, pp. 3–22, 2010.
- [14] W. Brookes, "Transdisciplinary learning in technology degrees," in *2017 16th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 2017, pp. 1–6.
- [15] J. M. Hughes, "Digital making with 'At-Risk' youth," *Int. J. Inf. Learn. Technol.*, vol. 34, no. 2, SI, pp. 102–113, 2017.
- [16] R. F. Maia, A. A. Massote, and F. Lima, "Innovative laboratory model based on partnerships and active learning," *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE*, vol. 2017–October, pp. 1–5, 2017.
- [17] S. Nemorin, "The frustrations of digital fabrication: an auto/ethnographic exploration of '3D Making' in school," *Int. J. Technol. Des. Educ.*, vol. 27, no. 4, pp. 517–535, Dec. 2017.
- [18] Abet.org., "Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2016 – 2017," 2018. [Online]. Available: www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2016-2017/. [Accessed: 25-Jul-2018].
- [19] H.-T. Hung, J. C. Yang, G.-J. Hwang, H.-C. Chu, and C.-C. Wang, "A scoping review of research on digital game-based language learning," *Comput. Educ.*, vol. 126, pp. 89–104, 2018.
- [20] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering," *EASE*, pp. 68–77, 2008.
- [21] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, "Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18, 2015.
- [22] T. Anderson and J. Shattuck, "Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research?," *Educ. Res.*, vol. 41, no. 1, pp. 16–25, 2012.
- [23] The Design-Based Research Collective, "Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry," *Educ. Res.*, vol. 32, no. 1, pp. 5–8, 2003.
- [24] F. C. Berry, P. S. DiPiazza, and S. L. Sauer, "The Future of Electrical and Computer Engineering Education," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 46, no. 4, pp. 467–476, 2003.
- [25] P. Blikstein, "Maker Movement in Education: History and Prospects," in *Handbook of Technology Education*, M. J. de Vries, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 419–437.
- [26] H. Pandey, "Education in electrical engineering and emerging technologies," *International Journal on Emerging Technologies (Special Issue NCETST-2017)* 8(1): 82-87(2017)
- [27] R. Klaassen, P. de Vries, and A. Kamp, "Emerging technologies in engineering education: can we make it work?," *Proc. 13th Int. CDIO Conf. 2017*, pp. 1–12, 2017.
- [28] S. L. Chu, G. Angello, F. Quek, and M. Suarez, "A Systemic Analysis of Making in Elementary Schools Understanding Making for Children through Activity Theory," *Proc. - IEEE 16th Int. Conf. Adv. Learn. Technol. ICALT 2016*, pp. 478–482, 2016.
- [29] Y. C. Hsu, S. Baldwin, and Y. H. Ching, "Learning through Making and Maker Education," *TechTrends*, vol. 61, no. 6, pp. 589–594, 2017.
- [30] T. Bekker, S. Bakker, I. Douma, J. van der Poel, and K. Scheltenaar, "Teaching children digital literacy through design-based learning with digital toolkits in schools," *Int. J. Child-Computer Interact.*, vol. 5, pp. 29–38, 2015.
- [31] J. A. Marshall and J. R. Harron, "Making learners: A framework for evaluating making in STEM education," *Interdiscip. J. Probl. Learn.*, vol. 12, no. 2, 2018.
- [32] B. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering Version 2.3," *Engineering*, vol. 45, no. 4ve, p. 1051, 2007.
- [33] L. Leydesdorff and A. Nerghe, "Co-word maps and topic modeling: A comparison using small and medium-sized corpora (N < 1,000)," *J. Assoc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 68, no. 4, pp. 1–30, 2017.
- [34] N. J. van Eck and L. Waltman, "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping," *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp. 523–538, 2010.
- [35] S. Cozzens, S. Gatchair, J. Kang, K. S. Kim, H. J. Lee, G. Ordóñez, and A. Porter, "Emerging technologies: Quantitative identification and measurement," *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, vol. 22, no. 3, pp. 361–376, 2010.

- [36] M. Sampson, J. McGowan, E. Cogo, J. Grimshaw, D. Moher, and C. Lefebvre, "An evidence-based practice guideline for the peer review of electronic search strategies," *J. Clin. Epidemiol.*, vol. 62, no. 9, pp. 944–952, 2009.
- [37] C. Wohlin, "Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering," in *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 2014, p. 38:1–38:10.
- [38] L. Zheng, "A systematic literature review of design-based research from 2004 to 2013," *J. Comput. Educ.*, vol. 2, no. 4, pp. 399–420, 2015.
- [39] K. Petersen and C. Gencel, "Worldviews, research methods, and their relationship to validity in empirical software engineering research," *Proc. - Jt. Conf. 23rd Int. Work. Softw. Meas. 8th Int. Conf. Softw. Process Prod. Meas. IWSM-MENSURA 2013*, pp. 81–89, 2013.
- [40] D. E. Bolanakis, A. K. Rachioti, and E. Glavas, "Nowadays trends in microcontroller education: Do we educate engineers or electronic hobbyists? Recommendation on a multi-platform method and system for lab training activities," in *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2017, pp. 73–77.
- [41] F. Miller, "Virtual-reality in microelectronics laboratory instruction," in *Proceedings of the Fourteenth Biennial University/Government/Industry Microelectronics Symposium (Cat. No.01CH37197)*, 2001, pp. 105–109.
- [42] T. B. Blair and C. E. Davis, "Innovate engineering outreach: A special application of the Xbox 360 Kinect sensor," in *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2013, pp. 1279–1283.
- [43] R. T. F. Ah King and H. C. S. Rughooputh, "Using artificial intelligence techniques for solving power systems problems at undergraduate level," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2003, vol. 1, pp. 42–47.
- [44] R. T. Pena, F. G. Jota, and C. Seixas-Filho, "A new undergraduate degree in control engineering," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 44, no. 4, pp. 399–405, 2001.
- [45] P. Charlton and S. Poslad, "A Sharable Wearable Maker Community IoT Application," in *2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, 2016, pp. 16–23.
- [46] S. Shayesteh, M. E. Rizkalla, and M. El-Sharkawy, "Curriculum innovations through advancement of MEMS/NEMS and wearable devices technologies," in *Proc. ASEE Annu. Conf. Expo., Conf.*, 2017, pp. 1–10.
- [47] Y. Mita and Y. Kawahara, "15-year educational experience on autonomous electronic information devices by flipped classroom and try-by-yourself methods," *IET Circuits, Devices Syst.*, 2017.
- [48] B. Burd, L. Barker, F. Armando, F. Pérez, I. Russell, B. Siever, L. Tudor, M. McCarthy, and I. Pollock, "The Internet of Things in undergraduate computer and information science education: Exploring curricula and pedagogy," in *Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITiCSE*, 2018, pp. 200–216.
- [49] A. Sergeev and N. Alaraje, "Effectiveness of blended teaching of electrical machinery course" in *Proc. ASEE Annu. Conf. Expo., Conf.*, 2014, pp. 24.1.1 - 24.1.13.
- [50] L. Angrisani, P. Arpaia, F. Bonavolonta, and R. S. Lo Moriello, "Academic FabLabs for industry 4.0: Experience at University of Naples Federico II," *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 21, no. 1, pp. 6–13, 2018.
- [51] J. Mclurkin, J. Rykowski, M. John, Q. Kaseman, and A. Lynch, "Using Multi-Robot Systems for Engineering Education," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 56, no. 1, 2013.
- [52] G. S. Tewolde, "Practical approaches for introducing ECE & CS to high school students," in *2017 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, 2017, pp. 373–375.
- [53] P.-N. Chou and Y.-N. Su, "Using Educational Robotics to Support Elementary School Students' Electrical Engineering Knowledge: A Preliminary Analysis." In: Huang TC., Lau R., Huang YM., Spaniol M., Yuen CH. (eds) *Emerging Technologies for Education. SETE 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10676. Springer, Cham
- [54] P. Molins-Ruano, C. Gonzalez-Sacristan, and C. Garcia-Saura, "Phogo: A low cost, free and 'Maker' revisit to Logo," *Comput. Human Behav.*, vol. 80, pp. 428–440, Mar. 2018.
- [55] A. W. Eberhardt, S. Tillman, B. Kirkland, and B. Sherrod, "A Project Course Sequence in Innovation and Commercialization of Medical Devices," *J. Biomed. Eng. ASME*, vol. 139, no. 7, Jul. 2017.
- [56] V. M. Jovanovic et al., "Integration of mechatronics design approach into teaching of modeling practices," in *Proc. ASEE Annu. Conf. Expo., Conf.*, 2015, pp. 26.1000.1 - 26.1000.12
- [57] B. Ferri, K. Pham, J. Steinberg, W. Williams, and K. Ferri, "Practical skills and design: A Maker course for ECE students," in *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2017, pp. 1–9.
- [58] A. Brown, *3D Printing in Instructional Settings: Identifying a Curricular Hierarchy of Activities*, vol. 59. 2015.
- [59] V. Kostakis, V. Niaros, and C. Giotitsas, "Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece," *Telemat. Informatics*, vol. 32, no. 1, pp. 118–128, 2015.
- [60] A. Wong and H. Partridge, *Making as Learning: Makerspaces in Universities*, vol. 47. 2016.
- [61] V. Johnson, L. A. Becker, S. Cummins, M. Estrada, C. Freeman, and A. Hall, "NMC horizon report: 2016 higher education edition" (pp. 1-50). The New Media Consortium.
- [62] E. A. S. Neira, J. Salinas, and B. de B. Crosetti, "Emerging Technologies (ETs) in education: A systematic review of the literature published between 2006 and 2016," *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 12, no. 5, pp. 128–149, 2017.
- [63] M. T. Baldassarre, D. Caivano, G. Dimauro, E. Gentile, and G. Visaggio, "Cloud Computing for Education: A Systematic Mapping Study," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 61, no. 3, pp. 234–244, 2018.
- [64] B. K. Daniel, "Big Data and data science: A critical review of issues for educational research," *Br. J. Educ. Technol.*
- [65] H. N. Saha, N. Saha, R. Ghosh, and S. Roychoudhury, "Recent trends in implementation of Internet of Things: A review," in *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 2016, pp. 1–6.
- [66] S. Nemorin and N. Selwyn, "Making the best of it? Exploring the realities of 3D printing in school," *Res. Pap. Educ.*, vol. 32, no. 5, pp. 578–595, 2017.
- [67] S. Ford and T. Minshall, "Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education," *Addit. Manuf.*, vol. 25, pp. 131–150, 2019.
- [68] F. B. V. Benitti, "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review," *Comput. Educ.*, vol. 58, no. 3, pp. 978–988, 2012.
- [69] T. Padir and S. Chernova, *Guest Editorial Special Issue on Robotics Education*, vol. 56. 2013.
- [70] X. Del Toro Garcia, M. J. Santofimia, B. G. Fernandez, S. Garcia, J. Dorado, D. Villa, and J. C. Lopez, "Learning computer structure through an ARM-based Arduino platform," in *Proceedings IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2017.
- [71] H. Altin and M. Pedaste, "Learning approaches to applying robotics in science education," *J. Balt. Sci. Educ.*, vol. 12, no. 3, pp. 365–377, 2013.
- [72] T. Trust, R. W. Maloy, and S. Edwards, "Learning through Making: Emerging and Expanding Designs for College Classes," *TECHTRENDS*, vol. 62, no. 1, pp. 19–28, Jan. 2018.



Ruth Martinez-Lopez es candidata a Doctorado en Tecnologías de la Educación en la Universidad de Sevilla (España). Sus temas de investigación incluyen el aprendizaje y la transferencia a través de la tecnología, y el análisis de redes sociales.