
DESARROLLO DE HABILIDADES STEM MEDIANTE EL USO DE PROTOTIPOS TECNOLÓGICOS EN EDUCACIÓN SECUNDARIA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

MARÍA D. ARAVENA-DÍAZ, NOEMÍ CÁRCAMO-MANSILLA, DANILO DÍAZ-LEVICOY, ANDREA VERGARA-GÓMEZ Y MARCELO RODRÍGUEZ

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo describir el estado actual de la literatura científica sobre el trabajo con habilidades STEM mediante el uso de prototipos tecnológicos en la Educación Secundaria. Para alcanzar este objetivo, se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos más relevantes a nivel internacional (Scopus y WoS) e iberoamericano (SciELO y Dialnet), siguiendo los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA. Se utilizaron palabras clave extraídas

del Tesauro de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y del Institute of Electrical and Electronics Engineers. La búsqueda inicial arrojó un total de 314 documentos, de los cuales se seleccionaron 14 tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión. Entre los resultados, se destacan las habilidades en resolución de problemas, trabajo en equipo, comunicación, programación y creatividad. Además, se observó que el trabajo con prototipos tecnológicos mejora el aprendizaje de los estudiantes.

Introducción

En la actualidad, la sociedad demanda ciudadanos alfabetizados en diferentes ámbitos del conocimiento (Díaz y García, 2011), para enfrentar con éxito los

constantemente cambios que suceden en los ámbitos educativos, tecnológicos, laborales, personales, entre otros. Por ejemplo, en el ámbito laboral, se habla sobre la necesidad de desarrollar ciertas habilidades o competencias que permitan a las personas desempeñarse con éxito en sus trabajos (Escobar, 2005). En este sentido,

diversos autores (e.g., Dirksen, 2019; Weller *et al.*, 2019) han dejado de manifiesto los desafíos y la incertidumbre en este ámbito, no por la falta de oportunidades, sino por las habilidades que serán requeridas en empleos que aún no existen, producto del avance de la tecnología, la globalización, la automatización de

PALABRAS CLAVE / Educación Secundaria / Habilidad / Prototipos Tecnológicos / STEM /

Recibido: 18/03/2024. Modificado: 12/08/2024. Aceptado: 17/08/2024.

María D. Aravena-Díaz. Profesora de Matemática, Licenciada en Matemática, Magíster en Educación y Doctora en Filosofía y Ciencias de la Educación. Profesora Titular, Centro de Investigación en Educación Matemática y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6796-6366>. e-mail: maravena@ucm.cl

Noemí Cárcamo-Mansilla. Profesora de Educación Media en Matemática, Magíster en Matemática Aplicada y Doctora en Didáctica de la Matemática. Profesora, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile. Integrante del Centro de Investigación en Educación Matemática y Estadística, Universidad Católica del Maule, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9271-6000>. e-mail: ncarcamomansilla@gmail.com

Danilo Díaz-Levicoy (Autor de correspondencia). Profesor de Educación Media en Matemática y Computación, Máster en Didáctica de la Matemática y Doctor en Ciencias de la Educación. Profesor auxiliar, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile. Dirección: Universidad Católica del Maule. Ave. San Miguel, 3605, Talca. Región del Maule, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8371-7899>. e-mail: ddiaz01@hotmail.com

Andrea Vergara-Gómez. Profesora de Matemática, Magíster en Didáctica de la Matemática y Doctora en Didáctica de la Matemática. Profesora auxiliar, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6388-8412>. Contacto: avergarag@ucm.cl

Marcelo Rodríguez. Ingeniero en Estadística. Magíster en Estadística y Doctor en Estadística. Profesor adjunto, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile. e-mail: ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0576-5179>. Contacto: mrodriguez@ucm.cl.

procesos, los cambios globales y los cambios demográficos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2019; Randstad Research, 2020; Weller *et al.*, 2019; *World Economic Forum* [WEF], 2020). En este contexto, diversos reportes mencionan que el 65% de los niños de educación Infantil y primaria trabajarán en puestos laborales que aún no existen (e.g., *Randstad Research*, 2020; WEF, 2016) e incluso un 85% (e.g., Auerbach, 2021; *Institute for the Future* [IFTF], 2017).

De acuerdo con De-la-Calle-Durán *et al.* (2022), la sociedad actual se encuentra en la cuarta Revolución Industrial (4RI) o Industria 4.0, dado por la existencia de un nuevo paradigma basado en la tecnología, donde los sistemas de información y comunicación son utilizados para mejorar la productividad. En este contexto, Fitsilis *et al.* (2018) destacan que las labores rutinarias y automatizadas serán realizadas por máquinas, mientras que aquellas que requieren experiencia, creatividad o toma de decisiones seguirán requiriendo personas. Como resultado, disminuye la demanda de puestos laborales de baja cualificación (De-la-Calle-Durán *et al.*, 2022; Saniuk *et al.*, 2023).

Por su parte, Aravena-Díaz (2021) y Aravena-Díaz *et al.* (2022), basado en investigaciones previas (Fadzil y Saat, 2014; Hallström y Schönborn, 2019), indican que los avances en la sociedad están relacionados con el progreso científico, tecnológico e ingenieril, apoyado con las herramientas analíticas de la matemática. Esta situación plantea desafíos importantes en el ámbito educativo, como una forma de brindar las habilidades de los futuros ciudadanos para adaptarse a los cambios del presente y del futuro (Aravena-Díaz *et al.*, 2022; Castillo-Sarabia y Villalpando-Cadena, 2019; Comisión Económica para América Latina y el Caribe y Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura [CEPAL y OEI], 2020; De-la-Calle-Durán *et al.*, 2022; Dirksen, 2019; Nahum-Lajud *et al.*, 2021; Randstad Research, 2020; Weller *et al.*, 2019). Pese a esta relevancia, en el contexto latinoamericano, las instituciones educativas “no califican adecuadamente, no estimulan suficientemente la creatividad, la capacidad de resolver problemas y otras capacidades que van ganando importancia en el nuevo mundo del trabajo” (Dirksen, 2019, p. 66).

Una forma de abordar esta problemática, de acuerdo con Aravena-Díaz *et al.* (2022), es el trabajar las áreas del currículo desde un enfoque multidisciplinario, con el propósito de

enfrentar los desafíos globales y locales, como la crisis climática, la salud, la producción agrícola, los problemas de agua, entre otros. Una propuesta concreta, que ha tenido consenso internacional, es la integración de ciencia, tecnología, ingeniería y matemática, (STEM, por sus siglas en inglés, *Science, Technology, Engineering y Mathematics*) (Aravena-Díaz, 2021; Borda, 2021; Hallström y Schönborn, 2019; Le *et al.*, 2023; López-Simó *et al.*, 2020; Montés *et al.*, 2023; Rojas-Montemayor y Gras-Marín, 2023; Vázquez *et al.*, 2013).

A pesar de la relevancia de esta integración, según Bybee (2013), los sistemas educativos han fallado en el intento de formar ciudadanos capaces de resolver problemas del mundo real mediante el uso de conocimientos de diversas disciplinas. Esto se puede explicar, en parte, por lo mencionado por Wang *et al.* (2020) quienes indican que los profesores, en su mayoría, están capacitados solo para enseñar un área de conocimiento específico.

La relevancia de este tema en el ámbito de la enseñanza, ha dado lugar al concepto de Educación STEM, sobre el cual no existe un consenso respecto a su definición (Li *et al.*, 2020). Sin embargo, de acuerdo con Kennedy y Odell (2014) la Educación STEM “*has evolved into a meta-discipline, an integrated effort that removes the traditional barriers between these subjects, and instead focuses on innovation and the applied process of designing solution to complex contextual problems using current tools and technologies*” (p. 246).

La educación STEM permite a los ciudadanos contribuir, en gran medida, a su desarrollo personal y al de sus países, así como adquirir conocimientos en las disciplinas STEM (Li *et al.*, 2020). Además, contribuye a la integración de la tecnología o la ingeniería en contextos de aplicación para resolver problemas del mundo real (Becker y Park, 2011).

Un aspecto relevante de la Educación STEM son las habilidades que se promueven al trabajar conjuntamente estas cuatro disciplinas. En este sentido, diversos autores reconocen diferentes habilidades asociadas a esta integración (e.g., Aravena *et al.*, 2020, 2022; Martín *et al.*, 2016), entre las que se encuentran: creatividad, pensamiento sistemático, resolución de problemas, trabajo en equipo, modelado, representación, argumentación, comunicación, formulación de hipótesis, desarrollo de procesos de investigación, uso medios tecnológicos, entre otras.

Un recurso novedoso y relevante en la Educación STEM y el desarrollo de habilidades relacionadas con estas disciplinas es el uso de prototipos tecnológicos, que se entienden como modelos (representaciones, demostraciones o simulaciones) ampliables y modificables de ciertos productos o herramientas que permiten probarlos antes de que estén disponibles; es decir, se trata de utilizar el modelo (Floría, 2001). La integración de los prototipos tecnológicos en los ámbitos educativos proporciona a los estudiantes herramientas interactivas y experiencias prácticas que fortalecen su comprensión de conceptos abstractos (Li *et al.*, 2020; Timotheou *et al.*, 2023). Estos prototipos, ya sean robots, dispositivos físicos diseñados con impresoras 3D, aplicaciones móviles o simuladores virtuales, permiten a los estudiantes explorar, experimentar y visualizar diversas situaciones de manera intuitiva y dinámica (Lin *et al.*, 2023; Radu *et al.*, 2023). Además, fomenta el desarrollo del pensamiento crítico, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. Los enfoques de enseñanza innovadores que integran tecnologías no solo motivan el interés de los estudiantes, sino que también preparan a la próxima generación de profesionales.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, este trabajo busca describir el estado actual de la literatura científica sobre el trabajo con habilidades STEM mediante el uso de prototipos tecnológicos en educación secundaria.

Metodología

Para cumplir el objetivo de este trabajo, se realizó una investigación documental de tipo revisión sistemática de la literatura, siguiendo las directrices establecidas por la Declaración PRISMA (Moher y Liberati, 2009), de acuerdo con su diagrama de flujo y lista de verificación. Esta revisión sistemática se llevó a cabo en las bases de datos Scopus, WoS, SciELO y Dialnet. Se eligieron estas bases de datos por su relevancia internacional e iberoamericana (Gajardo-Villacura *et al.*, 2023) en general y en la investigación educativa en particular (Maldonado-Díaz y Núñez-Díaz, 2023; Vázquez *et al.*, 2019).

Para llevar a cabo la búsqueda en las bases de datos, se emplearon las palabras clave extraídas del Tesoro de la *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) y del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE): habilidades (*skill*), STEM, Educación Secundaria (*Secondary Education*), prototipo tecnológico

(*prototype, technological prototype, technology*), de acuerdo con las siguientes ecuaciones de búsqueda: 1) *Scopus*: TITLE-ABS-KEY (skill* AND STEM AND “Secondary education” AND (prototype* OR “technological prototype” OR technology)); 2) *WoS*: ALL = (skill* AND STEM AND Secondary education AND (prototype* OR technological prototype OR technology)); 3) *SciELO*: (skill*) AND (STEM) AND (Secondary education) AND ((prototype*) OR (technological prototype) OR (technology)); 4) *Dialnet*: (skill*) AND (STEM) AND (Secondary education) AND ((prototype*) OR (technological prototype) OR (technology)).

La búsqueda inicial reveló un conjunto de 314 artículos, de los cuales 78 pertenecían a Scopus, 208 a WoS y 28 a Dialnet. No se encontraron artículos que coincidieran con la ecuación de búsqueda aplicada en la base de datos de SciELO. En una primera etapa, se ingresaron los datos principales de cada artículo (autores, año de publicación, tipo de documento, tipo de fuente) a una base de datos en Excel. Seguidamente, se identificaron los documentos duplicados (28), quedando 286 artículos. Luego, se leyeron los 286 artículos, excluyéndose según el tipo de documento (se incluyeron solo artículos científicos, excluyendo capítulo de libros, tesis y editoriales), el tipo de artículo (se incluyeron documentos que abordaran estudios empíricos o experiencias de aula, excluyendo artículos teóricos, metodológicos, ensayos y revisiones sistemáticas), la disciplina (artículos que incluyan la matemática y otras disciplinas STEM), el idioma (se consideraron los documentos escritos en español, inglés y portugués) y el tipo de participante (solo estudiantes de Educación Secundaria) resultando 14 artículos que fueron los seleccionados para esta investigación. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo de la revisión sistemática realizada.

Resultados

Artículos analizados

La Tabla I muestra el listado de los 14 artículos científicos que se han seleccionado para la revisión sistemática tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión. En ella se especifican los autores, el año de publicación, el título del artículo y el código para su identificación a lo largo del escrito. Respecto de los autores, el número varía entre dos y cinco, con un promedio de 2,7 y una moda de 2 (50%), sin que alguno de ellos haya participado en más de un

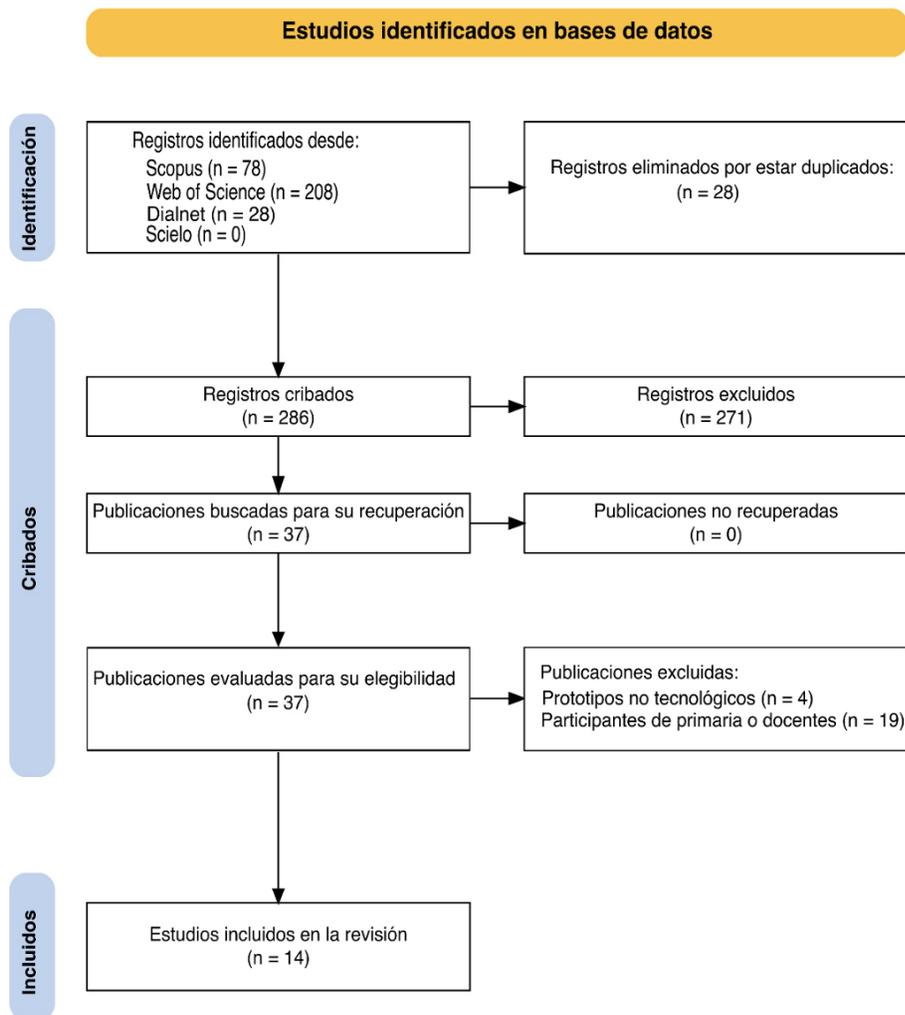


Figura 1. Diagrama de flujo de la revisión sistemática.

trabajo. En cuanto a los años de publicación, estos van desde el 2015 hasta 2023, siendo 2020 el año con el mayor número de artículos (28,6%). Además, la mayoría de los artículos analizados están escritos en inglés (85,7%) y, en menor medida, en español (14,3%). La revisión no arrojó artículos en portugués.

Análisis bibliométrico

La Tabla II presenta información bibliométrica de los artículos analizados. En primer lugar, se observa la participación de autores de 11 países, con predominio de España, con presencia en cuatro artículos (A2, A8, A9 y A14), seguido de Estados Unidos (A1, A3 y A4) y Malasia (A6, A11 y A13) con tres documentos cada uno. También, se observa que 11 artículos son firmados por autores de un solo país, por el contrario, solo un

documento cuenta con la participación de autores de tres países diferentes (Estados Unidos, India, Colombia) (A3). En segundo lugar, en cuanto a las fuentes en que se han publicado los trabajos, se identifican 12 revistas, de las cuales solo *International Journal of Technology and Design Education* (A11 y A12) y *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (A2 y A10) concentran dos trabajos cada una. Por consiguiente, las editoriales de estas revistas son las más frecuentes, Springer y Universidad de Cádiz, con dos publicaciones asociadas cada una. En tercer lugar, en cuanto a las bases de datos en las que están indexadas las revistas, se observa que dos de ellas están indexadas en WoS, Scopus y Dialnet (A2 y A9), nueve en WoS y Scopus (A1, A3, A5, A8, A10, A11, A12, A13 y A14), dos pertenecen a una sola base de datos (A4: Scopus; A6: WoS) y

TABLA I
DATOS DE BÁSICOS DE LOS ARTÍCULOS

Código	Autores	Año	Título
A1	Bugallo, Kelly y Ha	2015	Impact of a University-Based electrical and computer engineering summer program for high school students
A2	Benjumbeda y Romero	2017	Ciudad Sostenible: un proyecto para integrar las materias científico-tecnológicas en Secundaria
A3	Dasgupta, Magana y Vieira	2019	Investigating the affordances of a CAD enabled learning environment for promoting integrated STEM learning
A4	Walsh, Fenech, Tucker, Riegle-Crumb y La Cour	2020	Piloting a full-year, optics-based high school course on quantum computing
A5	Wang y Chiang	2020	Integrating novel engineering strategies into STEM education: APP design and an assessment of engineering-related attitudes
A6	Saleh, Muhammad y Abdullah	2020	STEM project-based approach in enhancing conceptual understanding and inventive thinking skills among secondary school students
A7	Salica y Abad	2020	Habilidades y actitudes para la comprensión de la ciencia y la tecnología en estudiantes de Física de la educación secundaria
A8	Del Cerro y Méndez	2021	Application in augmented reality for learning mathematical functions: a study for the development of spatial intelligence in secondary education students
A9	García-Piqueras y Sotos-Serrano	2021	Regeneración forestal tras un incendio: complejidad y protocolos en una aproximación STEM transversal
A10	Üçgül y Altıok	2022	You are an astronereer: the effects of robotics camps on secondary school students' perceptions and attitudes towards STEM
A11	Simeon, Samsudin y Yakob	2022	Effect of design thinking approach on students' achievement in some selected physics concepts in the context of STEM learning
A12	Veenman, Tolboom y van Beekum	2022	The relation between computational thinking and logical thinking in the context of robotics education
A13	Karpudewan y Huri	2023	Interdisciplinary electrochemistry STEM-Lab activities replacing the single disciplinary electrochemistry curriculum for secondary schools
A14	Naya-Varela, Guerreiro-Santalla, Baamonde y Bellas	2023	Robobo SmartCity: an autonomous driving model for computational intelligence learning through educational robotics

una está en las bases WoS y Dialnet (A7). Por otro lado, 13 artículos se han publicado en revistas WoS, 12 a Scopus y 3 a Dialnet. En cuanto al número de documentos citados en cada artículo, estos van desde 18 (A2, A4) a 100 (A3) referencias, con una media de 51,8 y una mediana de 43,5 escritos. En quinto lugar, respecto al impacto de los trabajos analizados, se recurrió a Google Académico, por ser el buscador común entre las bases de datos consideradas en esta investigación. Esta búsqueda, realizada el 17 de febrero de 2024, arrojó que todos los trabajos han recibido citas, que van desde 2 (A12, A13 y A14) a 75 (A3), con una mediana de 15 y un promedio de 23,5 citas. Finalmente, en sexto lugar, se analizan las palabras/frases clave declaradas por los autores en los artículos. Los artículos analizados declaran un total de 81 palabras clave, las que van desde 4 (A1 y A4) hasta 10 (A14), como mínimo y máximo, respectivamente, con una media de 5,8 y una moda y mediana de 5. Entre ellas, se observa la mayor presencia de las siguientes palabras clave: STEM (9), *education/educational* (7), *secondary education* (6), *engineering* (5), *technology/technologies* (5), *mathematics* (4), *science* (4), *learning* (4), *thinking* (4), *computational /computer / computing* (4).

Aspectos metodológicos

La Tabla III resume los aspectos metodológicos especificados en los artículos que abordan el uso de prototipos tecnológicos para el trabajo con STEM. En primer lugar, se observa que la mayoría de estos artículos describen el uso de un diseño de investigación cuasiexperimental (A5, A6, A8, A10, A11) de tipo pre y postest (A3, A5, A6, A8, A10, A11, A13), mientras que otros reportan el uso exclusivo de cuestionarios (A12 y A14) o su complemento con entrevistas (A1 y A2). En segundo lugar, en cuanto a la muestra o participantes de los estudios, la mayoría oscila entre 24 y 89 estudiantes, con una media de 54,3 y una mediana de 52,5 personas, excepto el artículo A3 (n=408), que supera considerablemente estas cantidades. En tercer lugar, en cuanto al contexto en que se realizaron las investigaciones, se observa un predominio del contexto extracurricular (50%), es decir, se llevan a cabo fuera del horario formal de las clases mediante talleres, campeonatos o cursos. En cuarto lugar, se describen los prototipos tecnológicos relacionados con el desarrollo de habilidades STEM. Se han clasificado en físicos y digitales, según requieran la manipulación de recursos tangibles (materiales, legos, robots, etc.) o

permitan su uso sin la manipulación física, como en el caso de recursos tecnológicos (realidad aumentada, diseños computacionales 3D, etc.), respectivamente. En este caso, la mayoría de los artículos (A1, A2, A5, A6, A7, A10, A11, A12, A14) trabajan con la construcción de prototipos físicos. Por ejemplo, en A5, basado en un software que crea un escenario de problema real para los estudiantes a través de la historia de Robinson Crusoe, se deben construir y probar prototipos, como el de una casa y un purificador de agua de acuerdo con las condiciones y contexto de la historia. En el artículo A12, los estudiantes siguen un curso de robótica donde obtienen las instrucciones para construir y programar su propio robot Simple Walker. La implementación del curso confirmó que los participantes mejoraron su pensamiento crítico, computacional, la actitud hacia la robótica y las tecnologías. Por otro lado, entre los artículos que reportan el uso de prototipos digitales está el A8, donde se trabaja con Geogebra AR, permitiendo explorar las diferentes características de un tipo de función.

Habilidades e impacto de los estudios

La Tabla IV resume las habilidades STEM que mencionadas y

TABLA II
DATOS BIBLIOMÉTRICOS

Código	Países	Revista (editorial)	Bases de datos	Referencias	Citas	Palabras clave
A1	Estados Unidos Korea	International Journal of Engineering Education (Tempus Publications)	WoS y Scopus	27	18	Engineering education; hands-on activities; K-12 education; summer camp
A2	España	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (Universidad de Cádiz)	WoS, Scopus y Dialnet	18	29	Project-Based Learning; STEM; IBSE; Energy sustainability; Secondary school
A3	Estados Unidos India, Colombia	Computers and Education (Elsevier)	WoS y Scopus	100	75	Computer aided design; integrated STEM; interdisciplinary projects; pedagogical issues; secondary education
A4	Estados Unidos	Physics Education (IOP Publishing)	Scopus	18	10	Optics; quantum computing; quantum mechanics; secondary education
A5	China	British Journal of Educational Technology (Wiley-Blackwell Publishing)	WoS y Scopus	40	20	Novel engineering; STEM software; STEM education; STEM learning interest; flow experience
A6	Malasia	Journal of Nusantara Studies-Jonus (Sultan Zainal Abidin University)	WoS	57	17	Conceptual understanding; inventive thinking skills; Newtonian physics; physics education; secondary school students
A7	Argentina	Virtualidad, Educación y Ciencia (Universidad Nacional de Córdoba)	WoS y Dialnet	28	6	Attitudes; abilities; science; technology; engineering and mathematics; science; technology; society education; learning and knowledge technologies
A8	España	Mathematics (MDPI)	WoS y Scopus	78	72	Augmented reality; Geogebra AR; mathematics; secondary education; spatial intelligence; STEM
A9	España	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (Universidad de Cádiz)	WoS, Scopus y Dialnet	44	9	Forest regeneration; climate change; modelization; Project Based Learning; teamwork
A10	Turquía	International Journal of Technology and Design Education (Springer)	WoS y Scopus	86	13	Robotics camp; STEM; perception; attitude; secondary school students
A11	Nigeria, Malasia	International Journal of Technology and Design Education (Springer)	WoS y Scopus	78	54	Achievement; physics; STEM-design thinking; male; female
A12	Holanda	Frontiers in Education (Frontiers)	WoS y Scopus	43	2	Computational thinking test (CTT); robotics; test of logical thinking test (TOLT); measure and analysis; science technology engineering mathematics (STEM)
A13	Malasia	Journal of Chemical Education (American Chemical Society)	WoS y Scopus	41	2	High school; introductory chemistry; curriculum; interdisciplinary; hands-on learning; pedagogy; electrochemistry; electrolytic
A14	España	IEEE Transactions on Learning Technologies (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	WoS y Scopus	67	2	Computational intelligence (CI); educational robots; educational simulations; machine learning; mobile and personal devices; robot programming; science; technology; engineering; and mathematics (STEM)

abordadas en los artículos analizados en esta revisión sistemática, así como el impacto o resultados derivados del trabajo. En primer lugar, se observa el predominio de las habilidades STEM de pensamiento crítico (A1, A4, A5, A7, A9 y A11), resolución de problemas (A3, A4, A5, A7, A9 y A12), trabajo en equipo/colaborativo (A2, A4, A9, A11, A13 y A14), comunicación (A5, A7, A9, A11 y

A13), programación (A1, A4, A10 y A14), creatividad (A6, A9 y A12) e iniciativa (A2, A9 y A11). En segundo lugar, respecto al impacto de los estudios, la mayoría de los artículos reportan resultados positivos en los aprendizajes de los estudiantes.

Respecto al impacto de las investigaciones reportadas, se destacan tres categorías predominantes:

1) Mejora en la comprensión de los contenidos implicados en las investigaciones (A1, A2, A4, A6, A8, A9, A11, A12 y A14).

2) Mejora en las habilidades y competencias STEM y del Siglo XXI (A6, A7, A8, A9 y A13).

3) mejora de la actitud y motivación hacia las áreas STEM y habilidades del Siglo XXI (A2, A5, A6, A7, A12 y A13).

TABLA III
ASPECTOS METODOLÓGICOS

Código	Metodología	Muestra	Contexto	Prototipo tecnológico
A1	Se aplica cuestionario y entrevistas.	38 estudiantes	Extracurricular: Campamento de verano de ingeniería eléctrica	Construcción de radio AM de un chip con radiofrecuencia sintonizada a partir de un kit. Además, construyeron un robot seguidor de líneas con: el sistema de detección, el sistema de accionamiento y el microcontrolador. Se probó el circuito usando un multímetro digital y modificaron el algoritmo de control para ajustar el rendimiento del robot.
A2	Se aplica cuestionario y entrevistas	81 estudiantes de 2° de ESO (12-13 años)	Formal	Diseño 3D de casa, usando material didáctico del Proyecto PSE-ARFRISOL3. Además, una maqueta con pared intercambiable entre ventanas de varios tamaños y muros de diversos materiales, y un termómetro digital para medir la temperatura interior.
A3	Estudio de caso exploratorio, con diseño de pre y post-test	408 estudiantes (141 de 6° grado, 146 de 7° y 121 de 8°)	Formal	Herramienta educativa de diseño asistido por computadora, Energy 3D. Se pide a estudiantes que diseñen una casa energéticamente eficiente de bajo costo dentro de un presupuesto determinado utilizando la herramienta CAD Energy3D
A4	No declara	No declara	Extracurricular: Curso de computación cuántica	Plataformas gratuitas web como Virtual Quantum Optics Lab (VQOL) e IBM Compositor Cuántico
A5	Cuasiexperimental, con pre y postest. Se aplicaron tres cuestionarios y entrevista	72 estudiantes de 7° de Educación Secundaria	Formal	Se trabaja con un software que crea un escenario de problema a través de la historia de R. Crusoe: construcción de una casa, descubrimiento de arroz y cebada, contagio y tratamiento de malaria, y purificación de agua. Los estudiantes producen modelos similares a objetos reales para responder a estos problemas.
A6	Cuasiexperimental, con grupo de control y experimental, con pre y postest	70 estudiantes	Extracurricular	Prototipo de nave espacial para proteger un huevo que representa una sonda robótica
A7	Estudio de caso aplicado a un grupo único. La metodología de investigación mixta –cualitativa y cuantitativa	25 estudiantes de 4° de Educación, con un promedio de 16 años	Formal	Prototipo de juegos de encastre y sistema de potencia para el diseño del automóvil. En la indagación, los estudiantes, utilizan el sistema de laboratorio inalámbrico IOLab, donde se obtiene información para el rediseño del automóvil.
A8	Cuasiexperimental, con grupo de control y experimental y aplicación de pre y postest	48 estudiantes de 4° de la ESO	Formal	Se trabajó con hojas de trabajo y la aplicación Geogebra AR a través de dispositivos móviles para interactuar directamente con el objeto de estudio (funciones).
A9	Evaluación (formativa y formadora)	24 estudiantes, dividido en dos grupos de 12 y 13 años.	No se menciona	Se trabajó con el sistema de información Google Earth para generar mapas asociados a índices espectrales de la zona afectada por un incendio (perímetros), se apoyan del cálculo de índices espectrales en Sentinel-2 y Landsat. Se realiza análisis del tipo de suelo, según parcelas de resistencia regenerativa.
A10	Cuasiexperimental, sin grupo control, con pre y postest	48 estudiantes (24 por campeonato)	Extracurricular: Campamento de robótica	Utilizan Legos mindstorm education EV3
A11	Cuasiexperimental, de grupo único, con aplicación de pre y postest	89 estudiantes (2 escuelas), con una edad promedio de 16 años	Extracurricular	Se trabaja en el diseño de prototipos de tirolesas y puentes de armadura, basado en las etapas del proceso de pensamiento de diseño.
A12	Cuestionarios	35 estudiantes	Extracurricular	Utilizan un robot SimpleWalker y las instrucciones de un curso de robótica de Leaply
A13	Aplicación de pre y postest	57 estudiantes de dos escuelas (16 años)	Formal	Construyen el prototipo de celdas electrolíticas y el prototipo de purificador de agua potable. Uso de plataformas de redes sociales para la discusión.
A14	Cuestionarios	65 estudiantes de entre 15 y 19 años.	Extracurricular. Taller en contexto de proyecto ERASMUS	Trabajan con un Robot Robobo y sistema de conducción autónoma llamado Robobo Smartcity. Usa como herramienta de programación a Scratch.

TABLA IV
HABILIDADES E IMPACTO DE LOS ESTUDIOS

Código	Habilidades	Impacto del estudio
A1	Soldadura, programación y pensamiento crítico	Mejora los conocimientos sobre ingeniería eléctrica e informática. El campamento beneficia en la mejora de conocimientos tanto a hombres como a mujeres, sin observar diferencias estadísticamente significativas.
A2	Autonomía, iniciativa, trabajo colaborativo, trabajo en equipo, trabajo con unidades de medición, construir y analizar e interpretar gráficas para explicar fenómenos científicos, utilizar e interpretar datos extraídos de tablas, gráficos u otros.	Mejora en la comprensión de lo estudiado. Los estudiantes reconocen lo beneficioso de la integración de ciencia, matemática y tecnología.
A3	Comportamiento de diseñador, comprensión científica, toma de decisiones, resolución de problemas, evaluación de soluciones.	Aprenden a participar en el proceso de diseño y demostraron prácticas de fluidez de ideas y experimentación sistemática.
A4	Habilidades técnicas en física, ciberseguridad, matemática. Habilidades tecnológicas como Programación en Python o Programación de algoritmos cuánticos. Habilidades sociales en el pensamiento crítico, resolución de problemas. Trabajo en equipo.	Comprensión de los sistemas de ecuaciones matriciales en el contexto de la computación cuántica. Aprenden una base para la comprensión posterior del formalismo matemático.
A5	pensamiento crítico; comunicación compleja; la resolución de problemas; autogestión.	El software de ingeniería STEM mejora significativamente la actitud hacia la matemática y las habilidades del siglo XXI, brindando una experiencia de fluidez mejor y duradera.
A6	Curiosidad, habilidades tecnológicas, creatividad, innovación, autogestión y autorregulación.	Mejoran las habilidades de orden superior como el razonamiento y la capacidad de inventar. Motiva al estudiante hacia nuevas formas de pensar y gestionar un proyecto, mejora el aprendizaje de las leyes de Newton y los conceptos subyacentes.
A7	Habilidades metacognitivas (integrar, supervisar y recuperar aprendizajes), comunicación de resultados, registro, control y análisis de variables físicas. Resolución de problemas, pensamiento crítico, científicas y tecnológicas.	Mejora la resolución de problemas y las actitudes sobre la relación ciencia y tecnología. Favorece el desarrollo de las habilidades del pensamiento crítico, científico y tecnológico, la gestión del tiempo, indagación y regulación de emociones. Actitud activa para resolver el problema y diseñar una propuesta de solución.
A8	Visualización espacial, rotación mental, percepción espacial, relación espacial y orientación espacial	Existe diferencia significativa en el nivel de logro de los estudiantes del grupo experimental respecto a los del grupo control. Además, obtuvieron mejores resultados tanto en el nivel de aprendizaje sobre funciones como en sus habilidades de visualización y rotación espacial.
A9	Investigación científica, resolución de problemas, pensamiento crítico y creativo, iniciativa empresarial, colaboración, trabajo en equipo, comunicación y la actitud positiva ante el error.	Desarrollo de competencias STEM clave relacionadas con las asignaturas implicadas (Matemática, Biología y Geología, Física y Química, Geografía e Historia y Tecnología), así como habilidades y metodologías típicas de la investigación científica; el trabajo en equipo permitió comprender que el avance del conocimiento depende de la colaboración entre iguales, así como desarrollar algunas dinámicas sobre resolución de conflictos mediante consensos; la temática del proyecto mejoró el nivel de conciencia medioambiental del alumnado.
A10	Habilidades de programación, construcción de robots.	No hay impacto estadísticamente significativo luego del campamento de robótica en ninguna área STEM.
A11	Pensamiento crítico, innovación, colaboración, comunicación responsable, iniciativa y flexibilidad.	El rendimiento de los estudiantes masculinos y femeninos mejoraron significativamente al aprender conceptos de física en el contexto STEM. Pese a que los hombres obtuvieron un rendimiento más altas que las mujeres, estas diferencias no son significativas.
A12	Resolución de problemas (pensamiento creativo para resolver un problema) y pensamiento computacional (procesamiento de datos, pensamiento algorítmico, modularidad, descomposición, generalización, abstracción, secuenciación), habilidades relacionadas estrechamente con las habilidades tecnológicas.	Mejora del pensamiento lógico y computacional, así como de la actitud hacia la robótica o las TIC.
A13	Investigar, explorar, planificar y realizar experimentos, trabajo colaborativo, comunicación.	Mejora de la actitud de los estudiantes. En todas las actividades, los estudiantes comunicaron, argumentaron y confrontaron sus ideas, utilizando diversas representaciones.
A14	Habilidad de programación, habilidad computacional, trabajo en equipo.	Adquirieron una formación técnica en los temas tratados en un corto período de tiempo, sentando las bases para un conocimiento previo en inteligencia computacional. Los talleres dan ideas básicas de cómo opera la robótica autónoma en un entorno real y la problemática que deben enfrentar.

Discusión y Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran que el uso de prototipos tecnológicos para desarrollar habilidades STEM es una línea de investigación de interés mundial, reflejada en la diversidad de países a los que pertenecen los autores de los artículos firmantes y en la variedad de revistas en las que han sido publicados. En cuanto a la metodología de investigación, la mayoría, los artículos abordan el trabajo con experimentos que se desarrollan en contextos grupales, tratando problemáticas comunes, fomentando la discusión y comunicación basada en datos y el contexto del problema. Sin duda, uno de los desafíos importantes que esto conlleva, es la reformulación del currículo de las escuelas, ya que, por lo general, las escuelas ofrecen poca flexibilidad para los cambios debido a la variedad de contenidos que se deben trabajar (García y García, 2020). Además, las muestras con las que se trabaja suelen ser reducidas y no probabilísticas, lo que dificulta la generalización de los resultados y plantea desafíos para los investigadores en estos temas.

En cuanto a los prototipos tecnológicos utilizados en las investigaciones, estos son diversos e incluyen desde robots, aplicaciones móviles, simuladores virtuales hasta impresoras 3D. Esto plantea desafíos importantes en la formación inicial y continua de los profesores, ya que, por lo general, los profesores están capacitados solo para enseñar un área de conocimiento específico (Wang *et al.*, 2020). En relación con las habilidades que se buscan trabajar en los estudios, los autores mencionan, además de los conocimientos propios de las disciplinas STEM, la resolución de problemas y las 4C para el aprendizaje del Siglo XXI (pensamiento crítico, comunicación, colaboración y creatividad), que se desarrollan positivamente bajo metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos (Firda y Sunarti, 2022). Finalmente, los resultados de los artículos indican un efecto positivo en los conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales de los estudiantes participantes en las experiencias con prototipos tecnológicos.

Este trabajo proporciona lineamientos tanto para futuras revisiones sistemáticas, que se indaguen sobre las habilidades STEM trabajadas en la formación de profesores de matemáticas y ciencias, dada su relevancia en el cambio de enfoques de enseñanza, como para replicar el uso de los prototipos tecnológicos identificados en los documentos para el trabajo con estudiante y en la formación de profesores.

AGRADECIMIENTOS

Estudio financiado por ANID - Proyecto FONDECYT Regular 1230865.

REFERENCIAS

- Aravena-Díaz M (2021) Modelización y STEM. Una propuesta de intervención en la formación inicial de profesores de matemática y su validación en el sistema escolar de secundaria. En R Borromeo-Ferri, J Mena-Lorca, A Mena-Lorca (Eds.), *Fomento de la Educación-STEM y la Modelización Matemática para profesores. Fundamentos, ejemplos y experiencias*. Kassel University Press. Kassel, Alemania. pp. 43-81.
- Aravena-Díaz M, Díaz-Levicoy D, Rodríguez-Alvear F, Cárcamo-Mansilla N (2022) Estudio de caso y modelado matemático en la formación de ingenieros. Caracterización de habilidades STEM. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 30: 37-56.
- Aravena-Díaz M, Rodríguez M, Barría, L (2020) Caracterización de las habilidades STEM en procesos de etnomodelado con alumnos/as trabajadores/as migrantes haitianos/as de la ciudad de Talca. *Estudios Pedagógicos* 46: 397-419.
- Auerbach A (2021) *Flexibilidad. Organiza tu trabajo para una vida más inteligente y feliz*. HarperCollins Ibérica. Madrid, España. 172 pp.
- Becker K, Park K (2011) Effect of integrative approaches among Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) subjects on students' learning: a preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education: Innovations and Research* 12: 23-37.
- Borda A (2021) *El Desarrollo de Competencias del Sistema Educativo STEM con estudiantes de Educación Básica Secundaria. Un estudio de caso*. Tesis de maestría, Universidad Católica de Manizales. Colombia. 254 pp.
- Bybee RW (2013) *The case for STEM education: challenges and opportunities*. National Science Teachers Association (NSTA). Arlington, EE.UU. 130 pp.
- Castillo-Sarabia JC, Villalpando-Cadena P (2019) El papel de las competencias laborales en el ámbito educativo: una perspectiva de reflexión e importancia. *Daena* 14: 30-51.
- CEPAL y OEI (2020) *Educación, juventud y trabajo: habilidades y competencias necesarias en un contexto cambiante*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 115 pp.
- De-la-Calle-Durán M-C, Rodríguez-Sánchez J-L, González-Torres T (2022) Las competencias del talento en la Industria 4.0, demanda vs oferta: caso de estudio de la Universidad Rey Juan Carlos, España. *Formación Universitaria* 15: 19-32.
- Díaz I, García M (2011) Más allá del paradigma de la alfabetización: la adquisición de cultura científica como reto educativo. *Formación Universitaria* 4: 3-14.
- Dirksen U (2019) Trabajo del futuro y futuro del trabajo. *Nueva Sociedad* 279: 62-72.
- Escobar M (2005) Las competencias laborales: ¿La estrategia laboral para la competitividad de las organizaciones? *Estudios Gerenciales* 21: 31-55.
- Fadzil HM, Saat RM (2014) Enhancing STEM education during school transition: bridging the gap in science manipulative skills. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 10: 209-218.
- Firda S, Sunarti T (2022) The learning implementation of project based learning (PjBL) to analyze students' 4C skills ability. *Prisma Sains* 10: 567-576.
- Fitsilis P, Tsoutsas P, Gerogiannis V (2018) Industry 4.0: Required personnel competences. *International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0"* 3: 130-133.
- Floría, A. (2001). *Manual de técnicas para el diseño participativo de interfaces de usuario de sistemas basados en Software y Hardware*. Universidad de Zaragoza. España. 173 pp.
- Gajardo-Villacura C, Garrido-Cheuquante Y, Herrera-González C, Díaz-Levicoy D (2023) Análisis de libros de texto de matemática en educación secundaria: una revisión sistemática. *Revista Chilena de Educación Científica* 24: 1-13.
- García R, García C (2020) Metodología STEAM y su uso en matemáticas para estudiantes de bachillerato en tiempos de pandemia Covid-19. *Dominio de las Ciencias* 6: 163-180.
- Hallström J, Schönborn KJ (2019) Models and modelling for authentic STEM education: reinforcing the argument. *International Journal of STEM Education* 6: 22.
- IFTF (2017) *The next era of human-machine partnerships. Emerging technologies' impact on society & work in 2030*. Institute for the Future. California, EE.UU. 23 pp.
- Kennedy TJ, Odel LM (2014) Engaging Students in STEM Education. *Science Education International* 25: 246-258.
- Le HC, Nguyen VH, Nguyen TL (2023) Integrated STEM approaches and associated outcomes of k-12 student learning: a systematic review. *Education Sciences* 13: 297.
- Li Y, Wang K, Xiao Y, Froyd, JE (2020) Research and trends in STEM education: a systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education* 7: 11.
- Lin KY, Lu SC, Hsiao HH, Kao CP, Williams PJ (2023) Developing student imagination and career interest through a STEM project using 3D printing with repetitive modeling. *Interactive Learning Environments* 31: 2884-2898.
- López-Simó V, Couso-Lagarón D, Simarro-Rodríguez C (2020). Educación STEM en y para el mundo digital: El papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *Revista de Educación a Distancia* 20: 1-29.
- Maldonado-Díaz C, Núñez-Díaz C (2023) Formación inicial docente y prácticas de co-enseñanza: ¿qué dice la investigación internacional de los últimos 20 años? *Pensamiento Educativo* 60: 1-16.
- Martín J, Martínez P, Fernández G, Bravo C (2016). Analizando el desarrollo de las habilidades STEM a través de un proyecto ABP con arduino y su relación con el rendimiento académico. *Actas XVII Encuentro Internacional Virtual Educa*. Virtual Educa. Madrid, España. pp: 1-11.
- Moher D, Liberati A (2009). Revisiones sistemáticas y meta-análisis: La responsabilidad de los autores, revisores, editores y patrocinadores. *Medicina Clínica* 135: 505-506.

- Montés N, Hilario L, Rivera J, López Á, Ferrer T, Verdejo P, Juan I, Ábalos A (2023) The equilibrium challenge, a new way to teach engineering mechanics in architecture degrees. *Education Sciences* 13: 398.
- Nahum-Lajud P, Domínguez-Chenge MP, García-Panes LM (2021) Competencias Profesionales requeridas por los empleadores a partir del confinamiento. *Revista Gestión de las Personas y Tecnología* 14: 68-84.
- OCDE (2019) *Perspectivas de empleo de la OCDE 2019*. El futuro del trabajo. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. 394 pp.
- Radu I, Yuan J, Huang X, Schneider B (2023) Charting opportunities and guidelines for augmented reality in makerspaces through prototyping and co-design research. *Computers & Education* 2: 100008.
- Randstad Research (2020) *El futuro del trabajo*. Randstad Research. 68 pp.
- Rojas-Montemayor G, Gras-Marín M (2023) *Educación STEM y su aplicación. Una estrategia inclusiva, sostenible y universal para preescolar y primaria*. Movimiento STEM. 259 pp.
- Saniuk S, Caganova D, Saniuk A (2023) Knowledge and skills of industrial employees and managerial staff for the Industry 4.0 implementation. *Mobile Networks and Applications* 28: 220-230.
- Silva-Hormazábal M, Alsina Á (2023) exploring the impact of integrated STEAM Education in early childhood and primary education teachers. *Education Sciences* 13: 842.
- Timotheou S, Miliou O, Dimitriadis Y, Sobrino SV, Giannoutsou N, Cachia R, Ioannou A (2023) Impacts of digital technologies on education and factors influencing schools' digital capacity and transformation: a literature review. *Education and Information Technologies* 28: 6695-6726.
- Vásquez J, Sneider C, Comer M (2013) *STEM lesson essentials, grades 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann. NH EE.UU. 192 pp.
- Vázquez Á, Vázquez-Cano E, Montoro M, Meneses E (2019) Análisis bibliométrico del impacto de la investigación educativa en diversidad funcional y competencia digital: Web of Science y Scopus. *Aula Abierta* 48: 147-156.
- Wang H-H, Charoenmuang M, Knobloch NA, Tormoehlen RL (2020) Defining interdisciplinary collaboration based on high school teachers' beliefs and practices of STEM integration using a complex designed system. *International Journal of STEM Education* 7: 3.
- WEF (2016) *The future of jobs: employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. World Economic Forum. 167 pp.
- WEF (2020) *The future of jobs report 2020*. World Economic Forum. 163 pp.
- Weller J, Gontero S, Campbell S (2019) *Cambio tecnológico y empleo: una perspectiva latino-americana riesgos de la sustitución tecnológica del trabajo humano y desafíos de la generación de nuevos puestos de trabajo*. CEPAL. 75 pp.

STEM SKILLS DEVELOPMENT THROUGH THE USE OF TECHNOLOGY PROTOTYPES IN SECONDARY EDUCATION: A SYSTEMATIC REVIEW

María D. Aravena-Díaz, Noemí Cárcamo-Mansilla, Danilo Díaz-Levicoy, Andrea Vergara-Gómez and Marcelo Rodríguez

SUMMARY

This research aims to describe the current state of the scientific literature on working with STEM skills through the use of technological prototypes in secondary education. To achieve this objective, a systematic review of the literature was conducted in the most relevant international (Scopus and WoS) and Ibero-American (SciELO and Dialnet) databases, following the guidelines established by the PRISMA declaration and using keywords extracted from the Thesaurus of the United

Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and the Institute of Electrical and Electronics Engineers. The initial search yielded a total of 314 documents, of which 14 were selected after applying the inclusion and exclusion criteria. Among the results, the emphasis is on problem-solving skills, teamwork, communication, programming, and creativity. Additionally, working with technological prototypes was found to improve student learning.

DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES STEM POR MEIO DO USO DE PROTÓTIPOS TECNOLÓGICOS NO ENSINO MÉDIO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

María D. Aravena-Díaz, Noemí Cárcamo-Mansilla, Danilo Díaz-Levicoy, Andrea Vergara-Gómez e Marcelo Rodríguez

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo descrever o estado atual da literatura científica sobre o trabalho com habilidades STEM por meio do uso de protótipos tecnológicos no Ensino Médio. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura nas bases de dados internacionais (Scopus e WoS) e ibero-americanas (SciELO e Dialnet) mais relevantes, seguindo as diretrizes estabelecidas pela declaração PRISMA e usando palavras-chave extraídas do Thesaurus da Organiza-

ção das Nações Unidas para a Educação e do Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos. A pesquisa inicial produziu um total de 314 documentos, dos quais 14 foram selecionados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Entre os resultados, destacam-se os trabalhos sobre habilidades de resolução de problemas, trabalho em equipe, comunicação, programação e criatividade. Além disso, o trabalho com protótipos tecnológicos melhora o aprendizado dos alunos.