

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
Departamento de Didáctica y Organización Escolar



TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LAS BARRERAS Y DESAFÍOS EN EDUCACIÓN STEM Y
ROBÓTICA EN DOCENTES EN FORMACIÓN: UN ENFOQUE DESDE LA
BRECHA DE GÉNERO**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

DOCTORANDA
IRENE TRAPERO GONZÁLEZ

DIRECTORES
DR. FRANCISCO JAVIER HINOJO LUCENA
DRA. MAGDALENA RAMOS NAVAS-PAREJO

Granada, 2025

UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Departamento de Didáctica y Organización Escolar



TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LAS BARRERAS Y DESAFÍOS EN EDUCACIÓN STEM Y
ROBÓTICA EN DOCENTES EN FORMACIÓN: UN ENFOQUE DESDE LA
BRECHA DE GÉNERO**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

**PRESENTADA POR
IRENE TRAPERO GONZÁLEZ**

**Para optar al Grado de Doctora en Ciencias de la Educación por la
Universidad de Granada**

**DIRECTORES
DR. FRANCISCO JAVIER HINOJO LUCENA
DRA. MAGDALENA RAMOS NAVAS-PAREJO**

Trabajo de investigación financiado por el proyecto de I+D+i Formación inicial de maestras para prevenir la brecha de género mediante educación STEM y robótica (FIMER) (Referencia: C-SEJ-009-UGR23), cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación y por la Unión Europea con cargo al Programa FEDER Andalucía 2021-2027

Granada, 2025

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Irene Trapero González
ISBN: 978-84-1195-764-9
URI: <https://hdl.handle.net/10481/103261>

Agradecimientos

En muchas ocasiones, nos llenamos de inseguridades y miedos que nos impiden ver todas las metas que podríamos alcanzar a lo largo de nuestra vida. Realizar una tesis doctoral formaba parte de una de esas metas que creía que no era para mí. Necesita constancia, conocimientos relacionados con la investigación y un proceso de aprendizaje que puede resultar complejo cuando debes complementarlo con otras actividades académicas o laborales.

Pero, toda esa complejidad y sensación de inseguridad se pierde cuando la red de personas que te rodea ve en ti la oportunidad de alcanzar cualquier meta que te propongas permitiéndote crecer tanto personal como académicamente.

Por ello, he de agradecer a esa persona llena de pedagogía y entusiasmo el momento en el que inició conmigo la conversación que encendió en mi cabeza la idea de realizar la tesis doctoral.

A cada uno de los que forman parte de este proceso que de alguna forma se cruzan en tu camino y te preguntan, se interesan o te ayudan para que todo sea más fácil. Los que sabes que están ahí como una familia académica y que te ofrecen lo mejor de ellos para que tu trabajo sea lo más excelente posible, gracias al grupo de investigación AREA por acogerme como una más del equipo.

A la familia que de igual modo hace que no te despistes preguntando cada día si sigues avanzando y que, rápidamente si lo necesitas, te bajan los pies al suelo para que pises lo más fuerte posible.

A aquellas personas que cuando ven tus logros se alegran como si fueran de ellos, porque así son los buenos amigos. También a las que, aunque no estén físicamente con nosotros, sabemos que esto hubiera supuesto una celebración llena de orgullo.

Y a quien siempre anda a mi lado dando pasos juntos y creando el mejor de los futuros. Da gusto mirar hacia atrás y ver cómo cambia la vida, como hemos ido cumpliendo nuestras metas y que fácil parece alcanzar las siguientes cuando trabajamos uno al lado del otro para ello.

Resumen

La presente tesis doctoral aborda la problemática de las desigualdades de género en la educación STEM y el uso de la robótica en la formación docente. A través de este estudio, se buscó identificar las barreras y desafíos que enfrentan los futuros docentes de Educación Infantil y Primaria a la hora de impartir educación STEM y robótica, considerando especialmente la brecha de género. Para alcanzar este objetivo, la investigación se estructuró en tres publicaciones, cada una de las cuales responde a los objetivos específicos de la tesis.

La muestra del estudio estuvo compuesta por 436 estudiantes del Grado en Educación Infantil y Primaria de la Universidad de Granada, seleccionados mediante un muestreo de conveniencia. Se empleó una metodología mixta, utilizando un enfoque cuantitativo con la escala “STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK)”, adaptada al contexto español, y un enfoque cualitativo a través de un cuestionario abierto que permitió recoger la opinión de los participantes sobre las barreras que enfrentan en la enseñanza STEM.

Los resultados mostraron que las principales barreras percibidas por los futuros docentes incluyen la falta de formación específica en STEM, la escasez de recursos en las aulas y la persistencia de actitudes negativas hacia esas habilidades STEM. En el caso de las mujeres, los estereotipos de género y la baja representación de mujeres en roles de liderazgo STEM se identificaron como factores que agravan la dificultad de impartir estas áreas de manera equitativa. Además, se obtuvieron resultados significativos sobre la influencia de los factores sociodemográficos en las competencias de los futuros docentes como las diferencias de género en el conocimiento STEM, donde los hombres mostraron puntuaciones superiores, mientras que las mujeres destacaron en las habilidades del siglo XXI, como el pensamiento crítico y el trabajo en equipo. Asimismo, la edad y la titulación cursada mostraron efectos notables: los estudiantes mayores sobresalieron en conocimiento pedagógico, mientras que los más jóvenes obtuvieron mejores resultados en conocimiento STEM. En cuanto a la exposición a familiares en el ámbito STEM se asoció con

puntuaciones más altas en estas competencias, subrayando la importancia de los referentes tempranos en la elección y desempeño en estas áreas.

Finalmente, la robótica educativa y el fortalecimiento de las competencias STEM en la formación docente pueden jugar un papel clave en la reducción de la brecha de género. La formación de los futuros docentes en habilidades STEM propicia que sirvan de modelos y de transmisión a sus estudiantes, promoviendo así un entorno inclusivo y equitativo que impulse la participación de mujeres en áreas científicas y tecnológicas.

Abstract

This doctoral thesis addresses the issue of gender inequalities in STEM education and the use of robotics in teacher education. Through this study, we sought to identify the barriers and challenges faced by future pre-school and primary school teachers when teaching STEM education and robotics, especially considering the gender gap. To achieve this objective, the research was structured in three publications, each of which responds to the specific objectives of the thesis.

The study sample consisted of 436 students of the Degree in Early Childhood and Primary Education at the University of Granada, selected by means of convenience sampling. A mixed methodology was employed, using a quantitative approach with the 'STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK)', adapted to the Spanish context, and a qualitative approach through an open-ended questionnaire that allowed us to collect the participants' opinions on the barriers they face in STEM education.

The results showed that the main barriers perceived by prospective teachers include the lack of specific training in STEM, the shortage of resources in the classroom and the persistence of negative attitudes towards STEM skills. In the case of women, gender stereotypes and the under-representation of women in STEM leadership roles were identified as factors that exacerbate the difficulty of teaching these areas in an equitable manner. Furthermore, significant results were obtained on the influence of socio-demographic factors on the competences of future teachers such as gender differences in STEM knowledge, where males showed higher scores, while females excelled in 21st century skills such as critical thinking and teamwork. Also, age and degree level showed notable effects: older students excelled in pedagogical knowledge, while younger students performed better in STEM knowledge. Exposure to family members in the STEM domain was associated with higher scores in these skills, underlining the importance of early referents in choice and performance in these areas.

Finally, educational robotics and the strengthening of STEM skills in teacher education can play a key role in reducing the gender gap. Training future teachers in STEM skills enables them to serve as role models and to pass them on to their students, thus promoting an inclusive and equitable environment that encourages the participation of women in scientific and technological fields.

Índice

1. Introducción	1
2. Marco teórico	4
2.1 La brecha de género en STEM	9
2.2 Robótica educativa	11
3. Justificación y objetivos	16
4. Metodología	18
4.1 Selección y tamaño de la muestra	19
4.2 Instrumentos de recogida de datos	20
4.2.1 STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK)	20
4.2.1.1 Validez y fiabilidad de la escala STEMPCK al contexto español	24
4.2.2 Cuestionario abierto	27
4.3 Tratamiento y análisis de datos	27
5. Resultados	29
5.1 Barreras STEM	29
5.2 Agrupación de publicaciones relacionadas con los objetivos de la tesis	31
Artículo 1	31
Artículo 2	45
Artículo 3	80
6. Indicios de calidad de las publicaciones	96
7. Conclusiones	99
7.1 Objetivo general	99
7.2 Objetivo específico 1	100
7.3 Objetivo específico 2	100
7.4 Objetivo específico 3	101
7.5 Objetivo específico 4	102
7.6 Limitaciones	102
7.7 Futuras líneas de investigación	104
8. Propuesta formativa	106
9. Referencias	108

1. INTRODUCCIÓN



1. Introducción

En los últimos años, han surgido distintas investigaciones que han analizado las desigualdades de género que suceden en los estudios y profesiones STEM (De Gioannis et al., 2023). Estas investigaciones revelan que la brecha de género es persistente en diferentes niveles del ámbito educativo y laboral.

Esto ha llevado a que otras investigaciones hayan puesto el foco de atención en desarrollar habilidades STEM en la población femenina (Sun et al., 2021), con el fin de despertar esa vocación desde edades tempranas y no limitar a las mujeres que quieren dedicarse a este ámbito fomentando estrategias efectivas bajo un entorno inclusivo y equitativo. En esta segunda tipología de estudios sobre STEM y género, se ubica la presente tesis doctoral, puesto que la marginalidad de lo femenino en los estudios STEM requiere de medidas vinculadas a impulsar la formación de los docentes en STEM (Cabero-Almenara y Valencia, 2021).

En esta línea, la robótica educativa se ha convertido en una herramienta efectiva para contribuir a despertar vocaciones en el ámbito STEM (Pujol et al., 2020), ya que la programación informática aúna los cuatro tipos de conocimiento. Esto se une al hecho de que, en Andalucía, a partir del curso 2019/2020, la Instrucción 12/2019 de 27 de junio por la que se establecen aspectos de organización y funcionamiento para los centros que imparten Educación Primaria, recogió que en 5º y 6º de Primaria se ha de incluir media hora de robótica a la semana para trabajar el razonamiento matemático. Por lo que, en primera instancia, los docentes deben estar capacitados y formados en el uso e implementación de la robótica, siendo fundamental el desarrollo de estos conocimientos durante su formación universitaria.

Así pues, la robótica incide en la adquisición de la competencia STEM, siendo oportuna su inclusión en la formación inicial docente para despertar vocaciones e inquietudes STEM en los futuros docentes, con la finalidad de que puedan transmitir posteriormente estos conocimientos a las nuevas generaciones

durante el ejercicio de su profesión incluyéndolo en los contenidos curriculares que se imparten en el aula.

Centrándose en este contexto, el soporte de robots para la educación STEM ha tenido éxito en diferentes escenarios educativos (Méndez-Porras et al., 2021; Romero-Rodríguez et al., 2023). A través de su uso en el aula, el alumnado se muestra más motivado y se fomenta de ese modo una metodología más activa en la que los estudiantes forman parte de ese proceso de enseñanza y aprendizaje.

En esta línea, el objetivo principal de la tesis doctoral se vinculó a identificar las barreras y desafíos que enfrentan los docentes en formación a la hora de impartir educación STEM y robótica, en relación con la brecha de género. Para su elaboración, se ha optado por un formato de tesis que consiste en la agrupación de tres publicaciones. Del mismo modo, los tres artículos dan respuesta a los objetivos que se plantean en la tesis doctoral.

El primero, muestra una revisión sistemática de la literatura basada en The Campbell Collaboration, analizando un total de 15 artículos científicos donde se evaluaron las investigaciones sobre robótica educativa como un recurso que permite desarrollar las competencias STEM de una forma práctica y motivadora en la etapa de educación infantil. A partir de estos estudios se muestran diferentes programas significativos entre los que se presentan recursos robóticos, destacando el robot Bee-Bot. Tras esta revisión, se confirmó que el uso de la robótica educativa mejora las competencias STEM, por lo que es recomendable su uso en las aulas desde edades tempranas.

El segundo, se centró en el impacto didáctico de la robótica educativa en el desarrollo de la competencia STEM mediante una revisión sistemática con meta-análisis en la etapa de educación primaria. En consecuencia, el objetivo principal del estudio fue analizar la evolución en el tiempo de la mediación didáctica robótica en la etapa educativa. Los resultados dan a conocer que la robótica educativa ha tenido un interés creciente a nivel global, implementando una

variedad de recursos robóticos con los que se obtienen beneficios en la adquisición de competencias STEM.

El tercero, se basó en identificar la influencia de los factores sociodemográficos en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación. Para ello, se utilizó un diseño de estudio transversal mediante una encuesta en línea como herramienta de recolección de los datos de 436 estudiantes con edades entre los 18 y 31 años. En los resultados se obtuvieron diferencias significativas entre género respecto al conocimiento STEM. Además, se analizaron las posibles direcciones para futuras investigaciones debido al valor de los datos recopilados con los que se puede profundizar en el conocimiento sobre las competencias STEM.

Por último, se presentan las conclusiones de la tesis doctoral relacionadas con cada uno de los objetivos de la investigación, así como las limitaciones y futuras líneas de investigación. Finalmente, se recoge una propuesta formativa para seguir indagando y reforzando el desarrollo de la competencia y conocimiento STEM en las futuras maestras.

2. MARCO TEÓRICO



2. Marco teórico

Las competencias STEM se refieren a un conjunto de habilidades y conocimientos en las áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (Chiliquinga et al., 2024; Fuertes y Fernández, 2022). El enfoque en estas competencias ha cobrado gran relevancia en el contexto educativo actual.

Considerando esto, informes de evaluación internacionales pertenecientes a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) revela que los estudiantes españoles se encuentran por debajo de la media en las áreas STEM (Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes, 2024), siendo estas competencias fundamentales para la resolución de problemas, fomentar la innovación y preparar al estudiantado a un mercado laboral que se presenta cada vez más tecnológico.

Este hecho se muestra preocupante ya que el Instituto Nacional de Evaluación Educativa (INEE, 2024), hace mención sobre el informe PISA 2025 el cual tendrá como objetivo principal las ciencias, incluyendo el aprendizaje en el mundo digital en el que se valorará la capacidad del estudiantado para resolver problemas con herramientas digitales.

La aparición de los recursos tecnológicos en nuestro entorno y, en concreto, en las aulas ha necesitado de un mayor enfoque en el desarrollo de las competencias STEM, generando un desafío en la práctica docente. Específicamente, la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE, 2020) insiste en la necesidad de ese cambio digital que afecta a la práctica educativa afirmando que “con ese objetivo, se incluye la atención al desarrollo de la competencia digital de los estudiantes de todas las etapas educativas, tanto a través de contenidos específicos como en una perspectiva transversal” (p. 19).

En esa misma línea, el Ministerio de Educación y Formación Profesional ofrece un marco de referencia de competencia digital docente que orienta la formación permanente del profesorado. Con ese fin, se realizan informes en los que se valoran diferentes áreas relacionadas con la competencia digital que alcanza cada docente y en relación también al alumnado.

En un primer lugar, el Área 1 representa el compromiso profesional relacionado con el uso que hace el docente de herramientas digitales para la comunicación, colaboración y participación, la práctica reflexiva que hace el docente sobre el empleo de esas herramientas, la realización de actividades formativas sobre esas herramientas digitales, su utilización de forma segura respetando la privacidad de los datos personales y el uso responsable y saludable al utilizar los dispositivos (León y Contreras, 2021).

Un Área 2 de contenidos digitales que se enlaza con la selección de esos contenidos para el aula, la creación y adaptación de materiales y el intercambio de contenidos.

Un Área 3 en la que se engloba la enseñanza y el aprendizaje del uso de ese entorno virtual, de los recursos digitales que hay en el aula y el uso de las tecnologías que puedan servir como apoyo y orientación a ciertas dificultades.

Un Área 4 de evaluación y retroalimentación que se enfoca en el uso de herramientas digitales para la evaluación como pueden ser rúbricas o cuestionarios y la utilización de esas tecnologías para analizar pruebas referentes a cálculos de notas o la interpretación de datos.

Un Área 5 de empoderamiento del alumnado que se centra en el uso de las herramientas digitales para atender a la diversidad presente en el aula y la integración de estos elementos como fuente de motivación y participación.

Y, por último, un Área 6 de desarrollo de la Competencia Digital del Alumnado en las que se realicen actividades que permitan la ampliación y mejora de las destrezas de los alumnos.

Estas áreas son una adaptación del DigCompEDU de la Unión Europea, donde se recogen específicamente cinco bloques principales dentro del área de desarrollo de la competencia digital del estudiante (Vourikari et al., 2022): información digital, comunicación digital, creación de contenidos digitales, seguridad digital y resolución digital de problemas.

Por ello, el desarrollo de cada una de estas competencias permitirá al estudiante múltiples beneficios además de aumentar su motivación e interés en las áreas científicas y tecnológicas. Pero estas áreas relacionadas con las ciencias no siempre han despertado actitudes positivas en los estudiantes puesto que siempre han tenido esa connotación exigente y de dificultad en el proceso de aprendizaje (Santiago-Gutiérrez et al., 2018). Esta nueva visión de entender el proceso de aprendizaje de los estudiantes involucrándolos en proyectos prácticos y relevantes, ha despertado su curiosidad y se fomenta un aprendizaje más profundo y significativo. Esto es particularmente importante en un mundo donde la tecnología avanza a pasos agigantados y se requiere una fuerza laboral capacitada y adaptable a la tecnología (Ferrada, Díaz-Levicoy y Puraivan, 2022).

Sin embargo, desarrollar las competencias STEM del alumnado requiere que los docentes adopten una actitud proactiva y comprometida. Con ese fin, la disciplina, comunicación, didáctica, TIC y habilidades especiales como la innovación y creación de recursos deben formar parte de la praxis del docente (Reyes Ramos y Ramírez Moyano, 2021). Esto implica trabajar en ellos mismos estas competencias, utilizar recursos adecuados, emplear técnicas efectivas y realizar una planificación previa basada en los objetivos curriculares que se planteen a nivel legislativo (Moriarty y Fragueiro, 2024).

En este sentido, los docentes son agentes clave en la formación de las nuevas generaciones, y su propia comprensión y habilidades en STEM influirán directamente en la calidad de la educación que ofrecen (González y Fernández, 2024; Medina y Quiroga, 2021). Pero los docentes no solo necesitan dominar las herramientas tecnológicas, sino también aprender a diseñar experiencias de aprendizaje que incentiven el pensamiento crítico, la colaboración y la creatividad de sus estudiantes. Asimismo, es importante que tengan acceso a recursos didácticos actualizados y a redes de colaboración que les permitan compartir buenas prácticas y aprender de las experiencias de otros docentes.

En relación con ese diseño de nuevas vías de aprendizaje, se han ido abandonando metodologías más tradicionales para dar paso a metodologías activas en las cuales el centro del proceso de aprendizaje es el propio estudiante, fomentando así su participación y el desarrollo de sus habilidades de una forma más práctica (Bernal et al., 2024).

Entre estas metodologías en las que las competencias STEM se ven beneficiadas se pueden citar tales como:

- Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), en el cual el alumnado trabaja en proyectos a largo plazo abordando problemas del mundo real, permitiéndoles aplicar conceptos de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas en situaciones prácticas.
- Gamificación que emplea el uso de juegos en el proceso de aprendizaje con los que se pueden utilizar retos, recompensas y sistemas de puntos que implican habilidades matemáticas o de programación.
- Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), es otra muestra de metodología en la que el alumnado se enfrenta a un problema concreto que debe resolver a través de la investigación y la aplicación de conocimientos. A lo largo del proceso, se utiliza el análisis de datos, la formulación de hipótesis y el diseño de soluciones.

Todos estos ejemplos de metodologías que trabajan el desarrollo de las habilidades STEM también impulsan contenidos transversales como la colaboración, el pensamiento crítico, la comunicación o romper contra los estereotipos de género (Álvarez, 2022; Pulido, 2024).

2.1. La brecha de género en STEM

A pesar de los beneficios de la educación STEM, uno de los grandes desafíos es la persistente brecha de género que existe en estas áreas. Esta se conoce como la falta de presencia femenina dentro de las carreras asociadas a STEM (Hernández y Espuny, 2022). Las mujeres siguen sin estar representadas en carreras relacionadas con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, tanto en la educación superior como una vez llegadas al mercado laboral.

En concreto, el Instituto General de Estadística (INE, 2023) recoge la tasa de graduados en ciencias, matemáticas, informática, ingeniería, industria y construcción en España donde el 32% son hombres y solo un 13% representa la figura de la mujer. En contra posición a estos datos, otros países de la Unión Europea (UE) como Francia (30%), Irlanda (29%) y Grecia (18%) tienen las tasas más altas de mujeres graduadas en estudios relacionados con STEM.

Esta falta de representación no se debe a rasgos biológicos de la mujer que las diferencien del hombre sino a construcciones sociales y culturales que se han ido solidificando a lo largo de la historia (Verdugo, 2022).

En relación con esto, esta misma autora presenta dos tipos de factores que condicionan la elección de estudios relacionados con STEM:

- a) Factores extrínsecos: influencia de la familia en la elección de los tipos de estudios según el género; propuestas educativas; representación de la mujer en el mundo laboral y la influencia social y cultural en la que se vive.
- b) Factores intrínsecos: gestión emocional y capacidad personal.

En base a esta problemática, en muchos países se están implementando iniciativas para abordar este desequilibrio: programas como “Girls Who Code” en Estados Unidos o “Mujer e Ingeniería” en España, que buscan inspirar y apoyar

a las niñas y jóvenes a seguir carreras STEM, promoviendo modelos de rol femeninos y proporcionando nuevas oportunidades en estas competencias.

Sin embargo, estos esfuerzos deben complementarse con cambios a nivel institucional, como el fomento de políticas que promuevan la igualdad de género en los entornos educativos y laborales relacionados con STEM como, ligeramente, se ve reflejado en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, en la cual se incluye la igualdad de género en el Objetivo de Desarrollo Sostenible nº 5.

Por su parte, autores como Domínguez et al. (2023) señalan la importancia de la creación de proyectos como W-STEM que proporcionan nuevas estrategias ante las políticas de género, con la especial intención de atraer y orientar al género femenino en carreras STEM. Para ello, a través de este tipo de proyectos que anexionan a Europa con América Latina se plantean objetivos como:

- Medir la igualdad de género en las tasas de inscripción en programas STEM.
- Implementar políticas de atracción, acceso y orientación en estos programas.
- Promover la vocación STEM en niñas y mujeres desde edades tempranas.
- Desarrollar formación en línea para las diferentes instituciones educativas.

A la misma vez, la creación de iniciativas que visibilicen el papel de la mujer en las competencias y profesiones STEM son de gran importancia para educar a las nuevas generaciones (Botella et al., 2020; Rodríguez et al., 2024). Entre ellas se pueden destacar:

- Blogs como el de Mujeres Divulgadoras: ciencias con voz de mujer (2017) en los que recogen datos como que en España las mujeres suman el 39% del total de la comunidad científica, pero solo un 20% de los catedráticos son mujeres.

- Actividades en días efemérides como el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia (11 de febrero).
- Talleres en los que se visibilice el trabajo de la mujer en la ciencia.
- Programas de formación para la búsqueda de talento relacionado con las habilidades STEM.
- Charlas presentadas por mujeres profesionales en la ciencia.
- Concursos para fomentar la vocación en las ramas tecnológicas.

Mientras tanto, la incorporación de herramientas digitales en las aulas permite que tanto los alumnos como las alumnas tengan un acceso igualitario a experiencias de aprendizaje tecnológico desde sus primeros años escolares. Este acceso temprano a la tecnología contribuye a evitar que se creen estereotipos relacionados con las disciplinas STEM. Aun así, se ha de seguir trabajando de forma transversal contra el constructo social en el que se aleja al género femenino de todo aquello relacionado con las competencias STEM. En este sentido, la visibilización de modelos femeninos en STEM permite que las alumnas se identifiquen con figuras femeninas en estos campos (Gutiérrez, 2024; Sáinz, 2020), lo cual es crucial para desafiar estereotipos y fomentar la confianza en sus propias capacidades.

2.2. Robótica educativa

Fomentar las habilidades STEM ha supuesto diferentes debates en los que se plantea la forma en la que impulsar este aprendizaje. Autores como López, Couso y Simarro (2020) proponen que aprender estas habilidades no solo se trata de recibir los contenidos construidos en estas áreas, sino que se trata de buscar una parte práctica e implicarse en las actividades.

Centrándonos en la tecnología educativa esta se basa en el uso de herramientas tecnológicas para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Su uso no solo se ciñe al uso de dispositivos digitales como ordenadores, tabletas o pizarras interactivas, sino que abarca un enfoque más amplio que incluye el diseño de actividades pedagógicas, la integración de

recursos tecnológicos y la mejora de las metodologías didácticas con el fin de facilitar un aprendizaje más eficaz, personalizado e interactivo (Plaza et al., 2018).

La integración de la tecnología educativa en el aula ofrece numerosos beneficios como: (i) la personalización del aprendizaje, ya que permite adaptar el ritmo y contenido a las necesidades individuales de cada estudiante; (ii) motivación y compromiso mediante juegos educativos o recursos multimedia que hacen que el aprendizaje sea más atractivo y motivador; (iii) acceso a información y recursos con Internet y las diversas plataformas educativas; (iv) desarrollo de habilidades tecnológicas o la colaboración y comunicación que fomenta el trabajo en equipo permitiendo interactuar entre ellos y los docentes de manera más dinámica (Gómez, 2020).

No obstante, su uso también presenta algunos inconvenientes como: (i) resistencia al cambio, la introducción de la robótica educativa puede encontrarse con la resistencia del personal docente ya que requiere el abandono de metodologías más tradicionales; (ii) un currículo limitado ya que los programas educativos no están completamente adaptados a la inclusión de estos recursos como una herramienta de aprendizaje; (iii) coste elevado lo que puede significar una barrera para escuelas con recursos limitados; (iv) mantenimiento y actualización, los equipos de robótica necesitan de un mantenimiento regular que puede no estar previsto en el presupuesto educativo.

Aun así, las herramientas tecnológicas en forma de robots educativos han ganado popularidad en las aulas de educación infantil y primaria (López, 2020). Estas herramientas permiten desarrollar competencias digitales desde edades tempranas y entre ellas destacan algunas como:

- KIBO, robot diseñado especialmente para el alumnado de educación infantil ya que no requiere de pantallas para su programación. Los niños crean programas utilizando bloques físicos que se conectan entre sí y luego son escaneados por el robot, permitiendo el aprendizaje de los conceptos de programación de una manera tangible.

- Cubetto, robot de madera dirigido también a esa primera etapa educativa que se programa a través de un tablero físico y bloques de colores. Ayuda a aprender los fundamentos de la programación sin necesidad de leer o escribir.
- Bee-Bot que es un robot programable en forma de abeja y se utiliza para enseñar nociones básicas de programación y secuenciación. El alumnado programa los movimientos del robot mediante comandos sencillos, ayudando a desarrollar habilidades como la lógica o la orientación espacial.
- Blue-Bot es similar al anterior, pero con funciones avanzadas ya que se puede controlar a través de dispositivos móviles, lo que permite trabajar con conceptos de programación en niveles superiores.
- Kit de robótica Lego Education para estudiantes de primaria, donde pueden construir sus propios robots utilizando bloques de LEGO y después programarlos para que realicen tareas específicas.

La implementación de estos elementos en el proceso educativo requiere un enfoque estratégico que considere tanto los aspectos técnicos como pedagógicos (Hervás, Ballesteros y Corujo, 2017; Prado et al., 2024). Para su integración efectiva se necesita de: (i) capacitación docente de forma continua; (ii) infraestructura adecuada teniendo en cuenta no solo los dispositivos o Internet, sino también sistemas de soporte técnico y plataformas educativas estables que faciliten su uso en las aulas; selección de herramientas apropiadas valorando el nivel educativo y los objetivos que se establezcan en los planes de centro; (iii) integración curricular y; (iv) evaluación de su eficacia puesto que la implementación de la tecnología educativa debe ir acompañada de un seguimiento y evaluación constante para medir su impacto a través de proyectos o actividades que se promuevan en los centros educativos.

La puesta en marcha de todas estas claves de implementación y estos elementos educativos en el aula reflejan un gran potencial (Pech de la Portilla et al., 2024; Romero et al., 2023). Ponen en valor el desarrollo de las competencias

STEM y permite la reducción de la brecha de género que se produce en las áreas relacionadas con la programación, la ingeniería y la tecnología.

Considerando lo expuesto, existen ejemplos de investigaciones o proyectos de aplicación de la robótica para combatir con la brecha de género y mejorar las habilidades STEM como la realizada por González-Cervera, Santaolalla y González-Arechavala (2021), los cuales realizaron un proyecto en educación STEM con robótica para edades tempranas donde se incluyeron dos actividades enmarcadas en proyectos sobre animales a través de los rincones de aprendizaje establecidos en el aula de educación infantil. Los resultados de este proyecto indicaban el aumento de la motivación por parte del alumnado y la participación activa de los mismo. La incorporación de la robótica en el proyecto ha facilitado el desarrollo del pensamiento computacional, la incorporación de uso de las TIC, manejar nociones básicas de orientación y desarrollar habilidades de trabajo cooperativo.

En la misma línea, el estudio de Hurtado y Santamaría (2019), tenía como finalidad averiguar si el uso de los robots educativos como Bee-Bot favorecía en el proceso de enseñanza-aprendizaje en estudiantes de 2º curso de Educación Primaria en la asignatura de Ciencias Naturales. Los resultados de la investigación demostraron que la incorporación de este recurso robótico favorecía el interés del alumnado mejorando su aprendizaje sobre los contenidos de la materia en la que se empleó el robot educativo.

Por último, se presenta un trabajo en el que se fomenta el uso de robótica por parte del docente y sus beneficios en el alumnado a partir del proyecto de Méndez, Alfaro y Rojas (2020), en el que se propuso la creación de un videojuego para niños de la etapa de Educación Infantil utilizando robótica y realidad aumentada. Los resultados demuestran que es posible la creación de este tipo de proyectos y de recursos funcionales como pueden ser los videojuegos para fomentar el aprendizaje desde edades tempranas.

En conclusión, la robótica educativa emerge como una herramienta clave para fortalecer las áreas STEM y, al mismo tiempo, contribuir a la reducción de la brecha de género en docentes en formación. Al integrar la robótica en la enseñanza, se promueve el desarrollo de habilidades STEM, la motivación e interés en el alumnado y el cambio en todos esos estereotipos que se han ido instaurando durante muchos años. Esta integración no solo aumenta la competencia de los futuros docentes en áreas tradicionalmente masculinizadas, sino que también pueden inspirar a nuevas generaciones a participar activamente en este ámbito.

Así, el impacto de una formación docente inclusiva y tecnológicamente avanzada va más allá de las aulas puesto que contribuye a un cambio en la sociedad y en las creencias sociales y culturales sobre las ramas más científicas y tecnológicas.

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS



3. Justificación y objetivos

Tal y como se concreta en el marco teórico, la temática abordada se presenta como una problemática actual que tiene una gran relevancia ya que queda evidenciada en los informes, recomendaciones y objetivos de instituciones con un alcance global, como son la ONU (Organización de las Naciones Unidas), UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y la OEI (Organización de Estados Iberoamericanos).

Asimismo, la justificación de la tesis doctoral se ubica en las líneas principales que destacan estos organismos, donde la ONU en su Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, incluye entre sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el ODS5. Igualdad de género y el ODS10. Reducción de las desigualdades, lo cual se relaciona con la brecha de género notoria en el desarrollo de las competencias STEM. Por su parte, la UNESCO también se plantea como objetivo principal, la igualdad de género en el ámbito de las STEM.

A su vez, la OCDE ha publicado una serie de recomendaciones para fomentar una mayor equidad de género en educación, empleo y emprendimiento, entre la que destaca facilitar que más mujeres prosigan su vida laboral en profesiones vinculadas a STEM.

Mientras, según la OEI, Iberoamérica sigue siendo una de las regiones del mundo más afectadas por la brecha de género. En esta línea, algunos datos recientes recogen que las mujeres representan el 36% del estudiantado en las titulaciones del ámbito STEM (Europa press, 2023).

A todo ello se suma la problemática de que la profesión docente en la etapa de Educación Infantil y Educación Primaria es mayormente femenina, por lo que si no hay pasión y vocación por los conocimientos STEM será difícil transmitirlos a las nuevas generaciones, con especial interés en las alumnas que tienen a sus maestras como figuras de referencia (Sen, 2019). Se genera, por tanto, un efecto en cadena donde las futuras maestras deben estar formadas y despertar la

inquietud por la educación STEM para poder transmitirla a las generaciones venideras y así, poder estrechar las diferencias de género en este ámbito.

Partiendo de esta problemática, a partir de esta tesis doctoral se plantea la pregunta principal que gira en torno a: ¿Cuáles son las barreras y desafíos que enfrentan los docentes en formación a la hora de poder impartir educación STEM y robótica, especialmente en relación con la brecha de género?

De acuerdo con lo establecido previamente, el objetivo general que se recoge en la tesis doctoral se vincula a “identificar las barreras y desafíos que enfrentan los docentes en formación a la hora de impartir educación STEM y robótica, especialmente en relación con la brecha de género”, a través de los futuros docentes del Grado de Educación Infantil y Educación Primaria en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada.

Partiendo del objetivo general, los objetivos específicos (OE) que se han concretado para guiar la investigación son los siguientes:

OE1. Analizar el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación.

OE2. Determinar las barreras específicas que enfrentan los docentes en formación al impartir educación STEM y robótica.

OE3. Validar el instrumento “STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK)” (Yıldırım & Şahin, 2019) al contexto español.

OE4. Identificar la influencia de los factores sociodemográficos y de las barreras específicas en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación.

4. METODOLOGÍA



4. Metodología

La metodología siguió un método mixto (Johnson & Onwuegbuzie, 2004), por la necesidad de complementar los datos cuantitativos con otro tipo de estrategias cualitativas que enriquecieran y dieran mayor profundidad a los datos numéricos (Corbin & Strauss, 1990).

En concreto, se aplicó un estudio de corte transversal (Hernández et al., 2016), puesto que se recopilaron los datos en un único momento durante el mes de septiembre de 2024.

El instrumento de corte cuantitativo empleado fue una escala estandarizada, que tuvo el objetivo de evaluar el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI. La escala fue autoadministrada entre una muestra de estudiantes del Grado en Educación Infantil y el Grado en Educación Primaria de la Universidad de Granada matriculados en el curso académico 2024/2025.

Por su parte, como instrumento cualitativo se utilizó el cuestionario abierto (Wester, 1995). Se optó por este instrumento para poder ampliar la muestra y no limitar a un número determinado y abarcable de estudiantes. En este sentido, se pretendió conocer la opinión de todos los participantes del estudio. Ambos instrumentos se configuraron a través de la herramienta “Google Forms”.

Los datos recabados fueron tratados de acuerdo a la legislación vigente (Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y Garantías de Derechos Digitales). Antes de contestar a los instrumentos, los participantes escucharon y comprendieron los objetivos de la investigación y el manejo anónimo de los datos, como resultado se contó con el consentimiento informado de cada uno de ellos. Cabe destacar que la investigación presenta la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Granada (nº registro: 3168/CEIH/2023).

La confección de la muestra se extrajo a partir de un muestreo de conveniencia (Cochran & Díaz, 1980). En consideración, se invitó a los grupos de estudiantes a los que se tuvo acceso asegurando un número óptimo para lograr la representatividad de la población. Finalmente, la muestra se estableció por los estudiantes que decidieron participar de manera voluntaria.

4.1. Selección y tamaño de la muestra

La población de estudio se concretó en los estudiantes matriculados en los Grados de Educación Infantil y Educación Primaria de la Universidad de Granada durante el curso académico 2024/2025. En total, según los datos de la Memoria Académica de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada del curso 2022/2023, recogen una población de 1299 estudiantes del Grado en Educación Infantil y 2026 estudiantes en el Grado en Educación Primaria. Basándonos en estos datos aproximados, el tamaño muestral significativo se estableció en 345 sujetos de ambos grados. Para su cálculo, el índice de confianza fue del 95% y el margen de error del 5%, utilizando la formula general para poblaciones finitas (Aguilar-Barojas, 2005).

En consecuencia, se administró el cuestionario a varios grupos del Grado en Educación Infantil y el Grado en Educación Primaria, atendiendo al muestreo por conveniencia y en particular a los criterios de accesibilidad y disponibilidad de los participantes. Del total de la población, finalmente participaron 436 estudiantes, alcanzando un tamaño muestral significativo de la población.

En suma, la muestra se sintetizó en 352 mujeres y 84 hombres, con edades comprendidas entre los 18 y 31 años ($M = 20.27$; $DT = 2.88$). La disparidad en la composición por género de la muestra se explica por las diferencias en la matriculación de hombres y mujeres en los grados de Magisterio en España (Ministerio de Universidades, 2024).

Los datos sociodemográficos que se extrajeron de la muestra fueron el sexo, la edad, la titulación en la que se encontraban matriculados y si algún familiar cercano se dedica al sector STEM, es decir, su ocupación laboral se vincula con las Ciencias, Tecnología, Ingeniería o Matemáticas (Tabla 1).

Tabla 1

Datos sociodemográficos

	<i>n</i>	%
Sexo		
Hombre	84	19,3
Mujer	352	80,7
Edad		
18-19	222	50,9
20-35	214	49,1
Titulación		
Educación infantil	182	41,7
Educación primaria	254	58,3
Familia vinculada al STEM		
Sí	64	14,7
No	372	85,3

4.2. Instrumentos de recogida de datos

4.2.1. STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK)

Como instrumento cuantitativo, se empleó la STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK) desarrollada por Yıldırım y Şahin (2019). Esta escala se compuso por 56 ítems con un modo de respuesta tipo Likert de cinco niveles, siendo 5 “Totalmente en desacuerdo” y 1 “Totalmente de acuerdo”. Para la validación al contexto español se optó por invertir los puntajes, siendo 5 “Totalmente de acuerdo” y 1 “Totalmente en desacuerdo”. También se modificó sustancialmente la subdimensión “tecnología”, añadiendo específicamente el término de robótica, objeto de esta tesis.

En concreto, las dimensiones de la escala e ítems, fueron:

a) Conocimiento pedagógico

1. Puedo utilizar más de una estrategia, método y técnica de enseñanza en una lección.
2. Puedo guiar a los estudiantes en todos los aspectos.
3. Puedo ayudar a los estudiantes en sus estudios de investigación.
4. Puedo utilizar enfoques alternativos de medición y evaluación.
5. Puedo crear un ambiente de aprendizaje efectivo en el aula.
6. Puedo comunicarme efectivamente con los estudiantes.
7. Puedo motivar a los estudiantes para que aprendan.
8. Puedo determinar si los estudiantes han alcanzado sus objetivos.
9. Puedo dar a los estudiantes retroalimentación y corrección durante un curso escolar.
10. Estoy suficientemente cualificado sobre cómo evaluar a los estudiantes.
11. Puedo enseñar lecciones eficientes y de calidad.
12. Puedo enseñar lecciones de acuerdo al nivel de la clase.

b) Conocimiento STEM

Ciencias

13. Tengo suficiente conocimiento para enseñar ciencias.
14. Sigo los desarrollos y tendencias actuales en el campo de la ciencia.
15. Puedo captar la atención de los estudiantes hacia el tema del curso haciendo preguntas de ciencia.
16. Puedo enseñar conceptos, conocimientos, teorías y leyes de la ciencia.
17. Creo que seré efectivo en la educación científica.
18. Puedo realizar estudios avanzados en ciencia.
19. Animo a los estudiantes a utilizar conceptos científicos.
20. Creo que estoy interesado en un curso de ciencia.

Tecnología – adaptado a robótica

- 21. Tengo suficiente conocimiento para enseñar robótica.
- 22. Puedo usar recursos de robótica en clase.
- 23. Tengo suficiente conocimiento para integrar la robótica en diferentes cursos.
- 24. Sigo los desarrollos actuales en tecnología.
- 25. Puedo encontrar nuevas y diferentes soluciones a problemas tecnológicos.
- 26. Conozco sobre diferentes tecnologías.
- 27. Puedo vincular diferentes disciplinas con la robótica.

Ingeniería

- 28. Creo que la ingeniería se basa en ciencia y matemáticas.
- 29. Creo que podría ayudar a los estudiantes en la educación en ingeniería.
- 30. Sigo los desarrollos actuales en ingeniería.
- 31. Creo que la tecnología es el área de aplicación de la ingeniería.
- 32. Las actividades laborales relacionadas con la ingeniería me hacen sentir bien.
- 33. Creo que la ingeniería es divertida.
- 34. Puedo combinar mis cursos en la educación en ingeniería.

Matemáticas

- 35. Tengo suficientes conocimientos en matemáticas.
- 36. Creo que puedo enseñar conceptos, teoremas y teorías en las clases de matemáticas de manera efectiva.
- 37. Animo a los estudiantes a utilizar conceptos matemáticos.
- 38. Puedo realizar estudios avanzados en matemáticas.
- 39. Creo que las matemáticas son una disciplina con términos y teorías.
- 40. Tengo las habilidades y calificaciones necesarias para enseñar matemáticas.
- 41. Sé cómo utilizar conjuntamente las matemáticas y la ciencia.
- 42. Sigo los avances en matemáticas.

c) Conocimiento de las habilidades del siglo XXI

- 43. Puedo mejorar las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes.
- 44. Ayudaré a los estudiantes a desarrollar las habilidades de resolución de problemas necesarias en su vida cotidiana.
- 45. Puedo comunicarme efectivamente con mis amigos.
- 46. Puedo ponerme en el lugar de alguien y empatizar.
- 47. Puedo hacer trabajo en grupo con mis amigos.
- 48. Puedo hacer nuevos y diferentes diseños.
- 49. Respeto las opiniones de mis amigos.
- 50. Puedo liderar a mis amigos.
- 51. Soy tolerante con la crítica.
- 52. Estoy seguro de que consideraré las opiniones de los demás al tomar decisiones.
- 53. Puedo ayudar a mis amigos a mejorar su imaginación.
- 54. Creo que puedo establecer mis propios objetivos de aprendizaje.
- 55. Estoy confiado de que puedo gestionar mi tiempo sabiamente mientras trabajo solo.
- 56. Creo que los problemas tienen más de una solución.

La puntuación total de la escala osciló entre 56 y 280 puntos (CP = 12-60; STEM = 30-150; C. Habilidades siglo XXI = 14-70), una mayor puntuación indicó un mayor grado de conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI.

La STEMPCK ha sido utilizada en diversos estudios, demostrando propiedades psicométricas sólidas y una alta consistencia interna (Gözüm et al., 2022; Rahman et al., 2022). Para este contexto específico, se procedió a realizar una validación de la escala STEMPCK al contexto español.

4.2.1.1. Validez y fiabilidad de la escala STEMPCK al contexto español

La validez y fiabilidad del instrumento adaptado al contexto español obtuvo unas propiedades psicométricas adecuadas (Tabla 2). En concreto, se calculó la validez convergente, donde el valor AVE (Average Variance Extracted) presentó valores adecuados en la mayoría de los ítems (AVE >0.5) (Hair et al., 2006), solo tres dimensiones estuvieron por debajo del valor adecuado, aunque próximo a él (CP = .40; ENGI = .47; XXI = .384). No obstante, los valores CR (Composite Reliability) de los ítems fueron adecuados, recogiendo unos valores superiores a lo indicado (CR >0.8).

Por otro lado, la fiabilidad de la escala fue excelente para todas las dimensiones y en general, la cual se calculó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach.

Tabla 2

Medidas de validez convergente y fiabilidad

Dimensión	Ítem	Carga factorial	CR	AVE	α	Total α
Conocimiento pedagógico	CP1	.507	.88	.40	.885	.943
	CP2	.556				
	CP3	.639				
	CP4	.608				
	CP5	.713				
	CP6	.632				
	CP7	.633				
	CP8	.600				
	CP9	.691				
	CP10	.570				
	CP11	.700				
	CP12	.708				
Conocimiento STEM	SCI13	.715	.892	.513	.889	
	SCI14	.713				
	SCI15	.791				

	SCI16	.814			
	SCI17	.736			
	SCI18	.696			
	SCI19	.714			
	SCI20	.512			
	TECH21	.773	.904	.576	.905
	TECH22	.729			
	TECH23	.822			
	TECH24	.72			
	TECH25	.769			
	TECH26	.674			
	TECH27	.817			
	ENGI28	.303	.853	.47	.847
	ENGI29	.801			
	ENGI30	.779			
	ENGI31	.515			
	ENGI32	.789			
	ENGI33	.701			
	ENGI34	.759			
	MAT35	.829	.931	.631	.916
	MAT36	.865			
	MAT37	.747			
	MAT38	.826			
	MAT39	.740			
	MAT40	.837			
	MAT41	.815			
	MAT42	.681			
Conocimiento	XXI43	.349	.893	.384	.883
de las	XXI44	.507			
habilidades	XXI45	.647			
del siglo XXI	XXI46	.681			
	XXI47	.758			
	XXI48	.606			
	XXI49	.723			
	XXI50	.371			

XXI51	.588
XXI52	.709
XXI53	.606
XXI54	.727
XXI55	.657
XXI56	.591

Nota: CP = Conocimiento Pedagógico; STEM = Conocimiento STEM; SCI = Ciencias; TECH = Tecnología; ENGI = Ingeniería; MAT = Matemáticas; XXI = Conocimiento de las habilidades del siglo XXI.

Por su parte, la validez discriminante recogió los valores relativos a la raíz cuadrada del AVE para correlacionar los constructos latentes (Tabla 3). De este modo, se verificó la discriminación de cada factor, donde cada uno representó una dimensión diferente (Ratchford, 1987).

Tabla 3

Medidas de validez discriminante

	CP	SCI	TECH	ENGI	MAT	XXI
CP	.632					
SCI	.390	.716				
TECH	.334	.721	.759			
ENGI	.186	.701	.790	.686		
MAT	.205	.674	.592	.632	.794	
XXI	.488	.069	.041	-.094	.063	.620

Nota: las diagonales representan la varianza media extraída, mientras que las demás entradas de la matriz representan las correlaciones al cuadrado.

4.2.2. Cuestionario abierto

El cuestionario abierto tuvo como finalidad la recogida de datos en base a una serie de preguntas en las que los encuestados tuvieron libertad total para responder de manera detallada y con sus propias palabras. A diferencia de los cuestionarios cerrados, que limitan las respuestas a opciones predeterminadas (como elección múltiple o escalas). Este cuestionario abierto no ofreció opciones de respuesta, permitiendo que los participantes expresen sus ideas y pensamientos de manera libre y extensa, con el fin de detectar las barreras específicas que enfrentan los docentes en formación a la hora de impartir educación STEM y robótica.

Las preguntas que se plantearon fueron:

- 1- ¿Qué hechos crees que influyen directamente y pueden ser una barrera a la hora de impartir educación STEM y robótica por parte de los maestros y maestras?
- 2- En relación a la brecha de género, ¿Qué factores crees que influyen directamente y pueden ser una barrera a la hora de impartir educación STEM y robótica por parte de las maestras?

4.3. Tratamiento y análisis de datos

El análisis de datos se llevó a cabo con distintos programas estadísticos en función de la naturaleza de los datos. En concreto, se utilizó el software SPSS y AMOS de IBM (versión 25), Jamovi (versión 2.3) y Atlas.ti. Los gráficos se realizaron con ayuda del programa PowerPoint y la categorización a través de Excel.

Por su parte, las técnicas de análisis de datos incluyeron:

Revisiones sistemáticas de la literatura con meta-análisis: se realizaron dos revisiones sistemáticas en base al modelo PRISMA 2020, una enfocada a Educación Infantil y otra a Educación Primaria sobre el efecto de los programas STEM en estas etapas educativas. La revisión sistemática con meta-análisis implicó la recopilación, cotejo y posterior análisis, organizado y gestionado en base a unos objetivos preestablecidos, de la evidencia existente en torno a una temática determinada, siguiendo un protocolo que garantice el rigor, la fidelidad, la validez y la replicabilidad del proceso de investigación detallado. Así como la medición del tamaño del efecto global de las investigaciones revisadas.

Análisis descriptivo: se obtuvieron estadísticas descriptivas, como las medias y las desviaciones estándar, para cada variable sociodemográfica en relación con la escala STEM-PCK.

Prueba T: para establecer si existieron diferencias significativas entre los grupos, en base a los factores sociodemográficos.

Análisis de trayectorias (path analysis): se elaboró un modelo de ecuaciones estructurales mediante el análisis de trayectorias, siguiendo la metodología sugerida por Stage et al. (2010). En el análisis de trayectorias, se vincularon las variables exógenas (como sexo, edad, titulación, curso y familia) junto a las variables endógenas (conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI).

Análisis de contenido: se utilizó para interpretar, de manera sistemática y objetiva, el contenido de las respuestas al cuestionario abierto. Consistió en descomponer la información en categorías, que fueron temas concretos en base a patrones, frecuencias, relaciones o tendencias (López, 2022). Este proceso implicó la codificación de los datos en temáticas que reflejaron significados latentes o manifiestos, lo que permitió hacer inferencias sobre el mensaje o el contexto social subyacente en los datos.

5. RESULTADOS



5. Resultados

5.1. Barreras STEM

En relación a las dos preguntas planteadas en el cuestionario abierto, se establecieron varias categorías tras el análisis de contenido (Tabla 4).

Tabla 4

Categorías y frecuencia por cada pregunta

Pregunta	Categorías	n
¿Qué hechos crees que influyen directamente y pueden ser una barrera a la hora de impartir educación STEM y robótica por parte de los maestros y maestras?	· Falta de formación y preparación adecuada	398
	· Recursos limitados	394
	· Actitudes negativas hacia las matemáticas y la ciencia	206
	· Integración del contenido de STEM y robótica en el currículo escolar	127
	· Cambio constante y rápida evolución	158
	· Diversidad en el aula	74
	· Expectativas y presiones externas	100
En relación a la brecha de género, ¿Qué factores crees que influyen directamente y pueden ser una barrera a la hora de impartir educación STEM y robótica por parte de las maestras?	· Estereotipos de género	325
	· Falta de mujeres visibles en roles de liderazgo	322
	· Sesgo y discriminación	177
	· Ambientes educativos no inclusivos	180
	· Desigualdad de acceso a recursos y oportunidades	263
	· Presión de compañeros y familia	146

La frecuencia por cada una de las categorías y preguntas se recopiló en la Figura 1. En concreto, la falta de formación y preparación adecuada junto a los recursos limitados fueron las categorías con mayor incidencia en los participantes. Por lo que fueron las principales barreras encontradas a la hora de impartir educación STEM y robótica. Curiosamente estas categorías cambian si se vinculan a la brecha de género, donde destacaron los estereotipos de género y la falta de mujeres visibles en roles de liderazgo en STEM y robótica, como las categorías más repetidas.

Figura 1

Barreras a la hora de impartir educación STEM y robótica



5.2. Agrupación de publicaciones relacionadas con los objetivos de la tesis

ARTÍCULO 1

Educational robotics and STEM competence in Early Childhood Education: Systematic review and meta-analysis of programmes and outcomes

Irene Trapero-González^{ID}

Faculty of Education Sciences
University of Granada, Granada, Spain
E-mail: irenetrapero@correo.ugr.es

José-María Romero-Rodríguez*^{ID}

Faculty of Education Sciences
University of Granada, Granada, Spain
E-mail: romejo@ugr.es

Francisco-Domingo Fernández-Martín^{ID}

Faculty of Education Sciences
University of Granada, Granada, Spain
E-mail: fdfernan@ugr.es

Santiago Alonso-García^{ID}

Faculty of Education Sciences
University of Granada, Granada, Spain
E-mail: salonsog@ugr.es

*Corresponding author

Abstract: Educational robotics is presented as a resource increasingly present in the early childhood education stage, allowing the development of STEM competences in a practical and motivating way. Due to the evolution of its use in the classroom, the aim of this paper was to analyse and evaluate research on robotics applied to early childhood education. To do so, we used a systematic literature review methodology based on The Campbell Collaboration, analysing a total of 15 scientific papers that met the inclusion and exclusion criteria. Among the results, different robotics resources are shown, among which Bee-Bot stands out, most STEM competences are worked on, except engineering, and almost all the results of the programmes are significant, with gains in the experimental groups. For its part, the meta-analysis collected 13 papers and showed significant results in STEM competences by the experimental group versus the control group. Finally, the use of educational robotics improves STEM competences, which is why it is necessary to use it in classrooms from an early age, as it will help to promote their comprehensive development from an early age through a more practical and motivating education for students.

Keywords: Early Childhood Education; Meta-analysis; Robotics; STEM; Systematic Review.

Biographical notes: Irene Trapero-González is a doctoral candidate of Faculty of Education Sciences at the University of Granada. Her research interests include educational robotics and STEM competence in initial teacher education. She works as an early childhood education teacher in the municipal school of Molvízar (Granada, Spain).

Dr. José-María Romero-Rodríguez is teaching and research staff attached to the Department of Didactics and School Organisation at the University of Granada (Spain). He carries out his research work within the AREA research group. Author of more than 100 scientific articles of impact (JCR

and Scopus) on the use of Information and Communication Technologies (ICT) for the improvement of teaching and learning and on the risks associated with the problematic use of the Internet.

Dr. Francisco-Domingo Fernández-Martín is Full university lecturer, attached to the Department of Developmental and Educational Psychology at the University of Granada. He has been teaching in Higher Education at the same time implementing several innovation and research projects tied to the improvement the quality of Education. He has a large experience on implementing public program evaluations, research studies and assessments in the education field with particular focus on topics of keywords.

Dr. Santiago Alonso-García is Full university lecturer in the Department of Didactics and School Organisation and Vicedean of Students, Employment and Employability in the Faculty of Education Sciences at the University of Granada. His lines of research are linked to learning with technology. He is director of the research group Laboratorio de Innovación en Educación (LabInEd).

1. Introduction

Educational robotics is a discipline that combines concepts of robotics and education, using robots as pedagogical tools to engage students in hands-on, collaborative activities that helps develop STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) competences in a tangible and concrete way (Sun & Zhou, 2023; Wu et al., 2023). In doing so, they can construct meaningful knowledge, allowing them to apply it to real-life situations (García et al., 2022), in a practical and playful way unlike traditional education (Casado-Fernández & Checa-Romero, 2020; Ferrada et al., 2020; Theodoropoulou et al., 2023). In this sense, robotics involves the study and application of scientific principles in the creation and programming of robots, develops technical skills through the design and construction of robots, and programming develops mathematical, logical and problem-solving skills.

Regarding the use of robotics in early childhood education, in recent years there has been an increase in the use of robotics kits that allow experimentation with mechanics, electronics and programming. These robotics projects in the classroom are based on projects that in most cases arise from the pupils' own interests (González-Cervera et al., 2021).

Through their use, students can learn skills linked to logical thinking, problem solving, mathematical and scientific concepts in a much more visual and practical way, thus helping them to understand problems (Çakır et al., 2021; Raposo-Rivas et al., 2022; Schina et al., 2021). Its incorporation in classrooms fosters motivation for any learning at this educational stage (Papadakis, 2022), provided it is integrated in an appropriate way and adapted to the level and needs of the students. In this way, it has become an increasingly popular tool in the classroom, as it is not only an effective way to teach technical skills, but can also help students develop social and emotional skills (Barragán-Sánchez et al., 2023).

Integration in the classroom offers several benefits, as the use of robotics fosters the development of problem-solving skills (Campos & Muñoz, 2023). Among the possible benefits of robotics in the early childhood education stage, some of the most outstanding ones can be presented (Chernobrovkin et al., 2020; Garcés et al., 2021; Kerimbayev et al., 2023; Papadakis, 2020; Rodrigo-Parra, 2021): (i) STEM competences development: Educational robotics can help children develop skills in areas such as science, technology, engineering and mathematics. By working with robots, children can learn concepts such as programming, electronics and mechanics; (ii) Encouraging creativity and imagination: the use of robotics in the classroom encourages pupils' creativity by allowing them to experiment and try out new activities; (iii) Promotion of teamwork and collaboration: the different projects based on robotics are usually focused on working in small or large groups, thus stimulating communication, collaboration and teamwork as a common goal. Likewise, from an early age, the aim is to break down gender stereotypes related to these skills and combat inequalities.

Along the same lines, different experiences have arisen that work on STEM education in the early childhood education classroom, among which the following stand out: Ruiz and Arteaga (2022) used the educational robot KUBO as a tool to introduce early childhood education students to computational thinking and programming. The aim of the activity was to develop logical thinking, problem solving and spatial orientation skills in the students; Alsina and Acosta (2022), worked on the learning of repetition patterns using the project work methodology, the manipulation of materials and the use of the Cubetto programmable robot; Romero-Tena and Romero-González (2020), presented a didactic sequence designed for two groups of students, with the aim of evaluating the effectiveness of the use of the Bee-bot robot in

learning repetition patterns; Diago et al. (2018), conducted an exploratory study on the strategies used by students in mathematical problem solving using the Bee-bot robot. The aim of the study was to address problem-solving instruction through appropriate teaching sequences and to analyse students' performances during problem solving; Recio (2019), who based her experience on the integration of robotics and computational thinking in early childhood education. Her aim was to share the experiences and practices carried out over five school years with two groups of early childhood education, with the intention of showing the benefits that these practices can bring to students from the age of three.

On the other hand, some previous reviews in this field highlighted: (i) that educational robotics can be a catalyst to improve learning, although there are documented cases where no substantial improvement in the educational process has been observed (Benitti, 2012); (ii) the studies reviewed mainly used educational robotics as a complementary tool to support the teaching of other subjects or the focus on STEM education (Jung & Won, 2018).

Based on these considerations and given the growing importance of the use of robotics as a powerful educational resource in early childhood education, the general objective of the systematic review was to analyse and evaluate research on robotics applied to early childhood education. This review followed the international standards established by The Campbell Collaboration (2021), establishing the following specific objectives: (a) identify the main characteristics of the research work that has been carried out on educational robotics programmes with pupils aged 0-6 years for the development of STEM competences; (b) describe the most relevant characteristics of educational robotics programmes, as well as their empirical evidence on STEM competence; and (c) issue relevant conclusions and recommendations for future practices and studies in this area. Research questions were posed as research questions:

RQ1. What are the most salient features of the studies (geographical and temporal distribution, type of publication, sample selection procedure and group configuration, sample characteristics, standardised test and methodological designs) on robotics in early childhood education?

RQ2. What are the most relevant characteristics of robotics programmes in early childhood education (duration, environment in which they are developed, intervention procedures, practices, strategies, techniques, resources, activities)?

RQ3. What are the results of the implementation of robotics programmes in early childhood education in relation to STEM competence?

2. Method

The systematic review of the literature was carried out under the international standards established by The Campbell Collaboration (2021), an entity recognised for its work in the elaboration of critical analyses and exhaustive meta-analyses in fields such as education (Sánchez et al., 2022). A search protocol was also developed for the systematic review, which is published and open access in DIGIBUG: Institutional Repository of the University of Granada (Trapero-González, 2023).

The search was conducted during April and May 2023 and a review of all articles published up to that time was carried out.

2.1. Search strategies

Firstly, a primary search was carried out using the Web of Science, ProQuest and Scopus databases due to their high recognition through their impact indexes: Journal Citation Reports (JCR) and Scimago Journal & Country Rank (SJR). Secondly, a complementary search was conducted by accessing other resources and websites of relevant networks and institutions, and contacting experts in the field. In addition, hand searches were conducted to ensure the inclusion of both published and unpublished studies in the systematic review.

Next, to select the appropriate search terms, the Education Resources Information Center (ERIC) Thesaurus was used, taking into consideration the inclusion and exclusion criteria established for the review. In addition, the search strategy was adapted to each of the platforms and databases to ensure an effective search in each of them.

In all those platforms and databases with advanced search functions, search terms were classified into two main categories: independent variable (educational robotics programmes in early childhood education) and dependent variables (STEM competences), in both English and Spanish. These categories were combined using the Boolean operator "AND", while within each category the Boolean operator "OR" was used to include the search terms and their synonyms. This facilitated the search and selection of relevant studies for the systematic review, ensuring the inclusion of all studies related to the variables of interest. Thus, the search equation used for each of the databases is shown in Table 1.

Table 1

Search equations according to each database

Database	Equation
Web of Science	(Robotics OR Robots) AND (intervention* OR program* OR practice* OR train* OR initiative* OR action* OR project*) AND (STEM OR "Science, Technology, Engineering and Mathematics" OR Science OR Technology OR Engineering OR Mathematics) AND (Prekindergarten* OR Kindergarten* OR "Preschool Education" OR "Early Childhood Education" OR "Childhood Education")
Scopus	(Robotics OR Robots) AND (intervention* OR program* OR practice* OR train* OR initiative* OR action* OR project*) AND (STEM OR "Science, Technology, Engineering and Mathematics" OR Science OR Technology OR Engineering OR Mathematics) AND (Prekindergarten* OR Kindergarten* OR "Preschool Education" OR "Early Childhood Education" OR "Childhood Education")
ProQuest	(Robotics OR Robots) AND (intervention* OR program* OR practice* OR train* OR initiative* OR action* OR project*) AND (STEM OR "Science, Technology, Engineering and Mathematics" OR Science OR Technology OR Engineering OR Mathematics) AND (Prekindergarten* OR Kindergarten* OR "Preschool Education" OR "Early Childhood Education" OR "Childhood Education"). In addition, internal filters were added: early childhood education OR preschool education OR kindergarten OR preschool children OR elementary school students OR elementary schools

2.2. Inclusion and exclusion criteria

Inclusion and exclusion criteria were established based on the definition or operational characteristics of the independent and dependent variables. Subsequently, the methodological designs, the participant population and the geographical, cultural and temporal restrictions were determined in order to specify the inclusion and exclusion criteria.

On the one hand, the independent variable was linked to educational robotics programmes in early childhood education, which refers to those educational interventions that use robotics material to improve STEM competence and are aimed at students aged 0-6 years (Terroba et al., 2021).

On the other hand, as dependent variables, educational robotics programmes are those that promote the development of a set of STEM (i.e., science, technology, engineering and mathematics) competencies and skills in participating students (Gerosa et al., 2022).

Ultimately, these variables were measured in quantitative terms, using standardised tests, tests, questionnaires, inventories or scales.

In relation to the research designs, studies using experimental and quasi-experimental methodological designs with comparison groups were chosen for inclusion in the review. The target population was early childhood education pupils aged zero to six years. No geographical or temporal restrictions were imposed, although the studies included in the review were required to be written in English or Spanish.

2.3. Data collection and analysis

For the management and documentation of the search process, it was decided to use the Refworks tool. Through this tool, it was possible to carry out an exhaustive follow-up of the studies selected in the search process.

This process of selecting the studies found was implemented through the following actions: (i) first level, those studies that appeared duplicated in the different databases used were eliminated; (ii) second level, the title and abstract of each study were analysed to discard studies that did not meet the proposed inclusion criteria; (iii) At the third level, the full versions of each of the studies selected at the second level were read to determine whether they finally met the inclusion criteria. All of this was captured in an Excel template to streamline data collection and analysis.

Once the final selection of studies had been made, information was extracted from each of them, taking into account the inclusion criteria set out in the review: a) contextual characteristics (reference, country and type of publication); (b) methodological characteristics (sample selection procedure and clustering, methodological design and data analysis); (c) sample characteristics (size, age, gender, cycle); (d) assessment instruments used to measure the dependent variables (standardised tests, tests, questionnaires, inventories, scales); (e) characteristics of educational robotics programmes (environment in which it is developed, components, duration, procedures, practices, strategies, techniques and resources); (f) dependent variables, in this case STEM; and (g) results and conclusions obtained.

The approach adopted for data analysis was a narrative content analysis of the data extracted from the studies included in the systematic review (Dochy, 2006). The aim was to identify common results of

the studies and characteristics of the educational robotics programmes used and their impact on STEM competence.

For the meta-analysis was carried out using the standardized mean difference as the outcome measure (Viechtbauer, 2010). A random effects model was applied to the data set, as presented in Table 2. To assess the level of heterogeneity (τ^2). Alongside the τ^2 estimation, we also conducted the Q-test to evaluate heterogeneity and calculated the I^2 statistic. In instances where any degree of heterogeneity was observed ($\tau^2 > 0$, irrespective of the Q-test results), we established a prediction interval aimed at the accurate estimation of true outcomes (refer to Table 3). To identify potential outliers or influential studies within the model, we relied on studentized residuals and Cook's distances. Studies with studentized residuals exceeding the threshold of the $100 \times (1 - .05/(2 \times k))$ percentile from a standard normal distribution were considered as possible outliers. Notably, we adopted a Bonferroni correction with a two-sided alpha level of .05 to accommodate the 13 studies included in the meta-analysis. For identifying influential studies, those with Cook's distances surpassing the median plus six times the interquartile range of Cook's distances were singled out. To ascertain funnel plot asymmetry, we employed the rank correlation test and the regression test, utilizing the standard error of the observed outcomes as a predictor (Figure 1). The analysis was carried out with the Jamovi programme, version 2.3.

Table 2

Random-Effects Model. Note: τ^2 Estimator: Restricted Maximum-Likelihood

	Estimate	SE	Z	p	CI Lower Bound	CI Upper Bound
Intercept	1.01	.185	5.43	< .001	.643	1.369

Table 3

Heterogeneity Statistics

Tau	Tau ²	I ²	H ²	R ²	df	Q	p
.777	.604 (SE = .2226)	90.37%	10.380	.	19.000	210.167	< .001

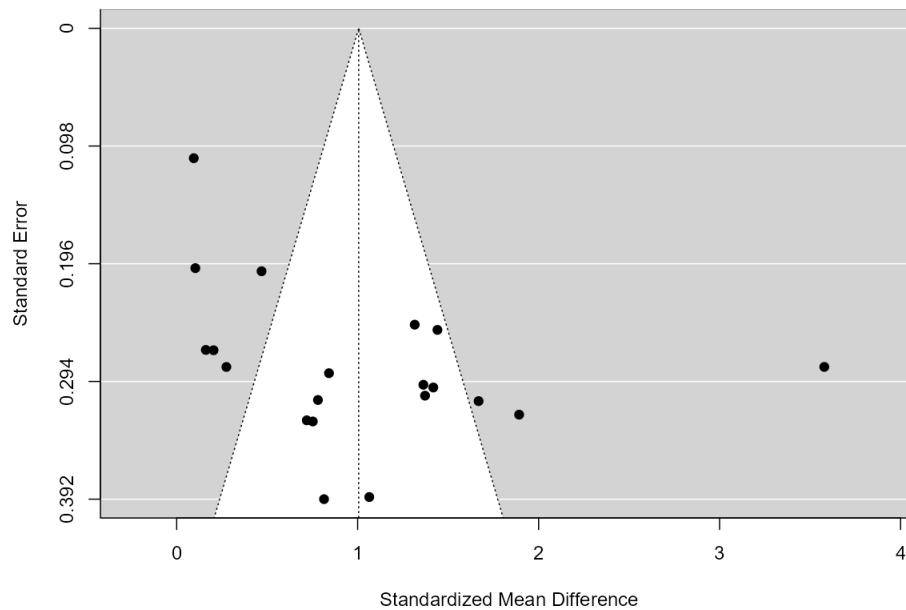


Fig. 1. Funnel plot

3. Results

After the initial search, 972 studies were identified: 870 in the primary search and 102 in the supplementary search. Subsequently, after eliminating duplicate studies and studies related to other topics (first level of selection), 98 studies were excluded. We then examined the title and abstract of 383 studies (second level of screening) and excluded 491 studies as they did not meet the inclusion criteria. Finally, after reading the full text of 18 studies (third level of screening), two of them were eliminated due to lack of access to full text and one of them was eliminated, leaving a total of 15 studies that met the inclusion criteria for the systematic review, while for the meta-analysis 13 studies collected the relevant data for the meta-analysis (Figure 2).

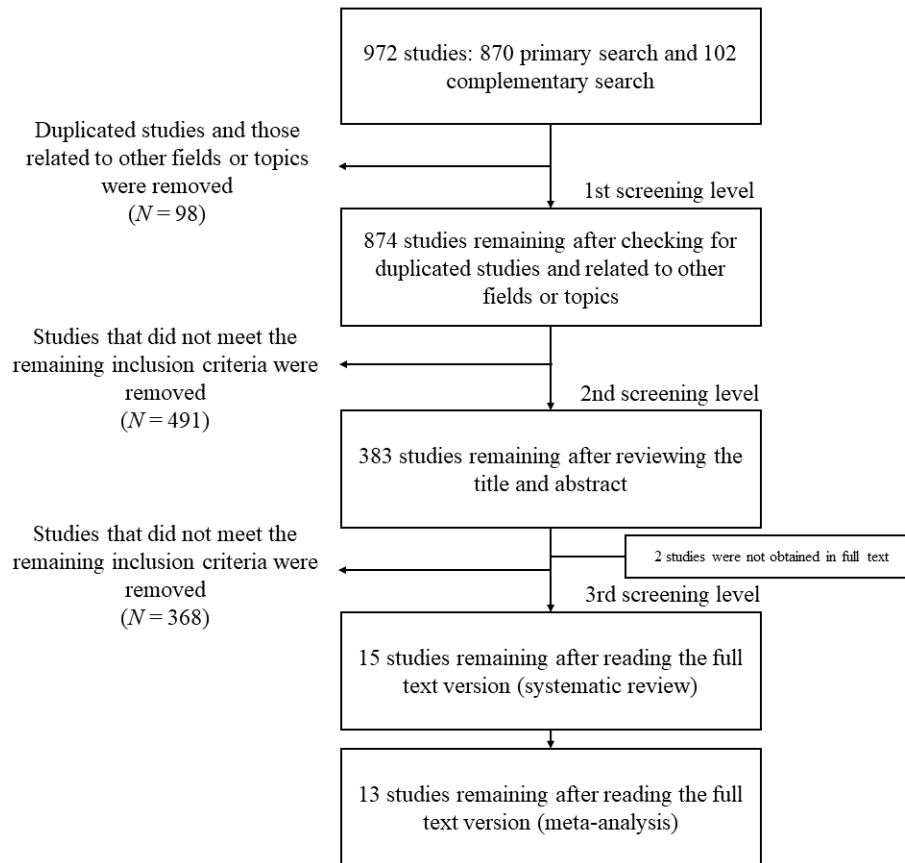


Fig. 2. Flowchart

The 15 studies selected correspond to 14 journal articles and one conference proceedings published between 2013-2023, the year with the highest concentration of publications was 2022 with five studies. The language used for the publications was English ($n = 14$) and Spanish ($n = 1$). The countries where the research was carried out were as follows: Turkey ($n = 5$); South Korea ($n = 3$); Spain ($n = 2$); Israel ($n = 2$); USA ($n = 1$); China ($n = 1$) and Uruguay ($n = 1$).

The sample selection process was random ($n = 4$) and non-random, i.e. by convenience ($n = 11$). Specifically, a total of 1273 participants ($M = 84.86$) were examined in these studies, ranging from 27 to 450 participants per study. The gender distribution of the participants in the different studies was variable, always including boys (52.52%) and girls (47.48%). The ages ranged from three to seven years ($M = 5.15$; $SD = 0.61$), who were in the second cycle of the infant education stage.

The methodological designs adopted by the different studies were quasi-experimental ($n = 11$) and experimental ($n = 4$), all of them with experimental and control groups and pretest and posttest measures. The group configuration procedures were carried out by means of random ($n = 10$) and non-random ($n = 5$) assignment. All selected studies conducted different data analyses:: T-test; Kolmogorov-Smirnov test for normality; Mann-Whitney U test; Wilcoxon's W; ANCOVA; ANOVA; ShapiroWilks test; Linear mixed-effects models; Post-hoc Tukey tests; Cohen's D; Levene's statistical test. However, the evaluation instruments used were: Test of Early Language Development (TELD-3); Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT); Evaluation Instrument for the Early Mathematical Reasoning Skills (EIEIRS); Problem-Solving Skills Scale (PSSS); Head-Toes-Knees-Shoulders (HTKS); "SSS" Rubric; Child Self-Regulation and Behavior Questionnaire (CSBQ); Problem-Solving Performance Instrument (PSPI); Ad hoc set of 15 illustrated stories with four cards per story; Scale for Preschool Students' Basic Skills (SPSBS); TONI Test of Nonverbal Intelligence (TTNI); Illinois Test of Psycholinguistic Abilities (ITPA); Spatial-Vocabulary Test (SVT); Visual-Spatial Memory Test (VSMT); Mental Rotation Test (MRT); Test of Visual-Perceptual Skills (non-motor) – revised (TVPS); Colored Progressive Matrices Test (CPM); Tablet-based Version of Raven's Colored Progressive Matrices (TVRCPM); Adapted Questionnaire based on Yune Tran's CT Questionnaire (CT-Yune Tran); Creative Problem-Solving Ability (CPSA); TechCheck; Picture Sequencing Task (PST); Evaluation Instrument for the Early Mathematical Reasoning Skills (EIEIRS); Ad hoc rubric; Creative Thinking Abilities Test (CTAT).

With regard to the main characteristics of robotics programmes in early childhood education (Table 4), the following programmes were implemented: The development of the productive children coding and robotics education program (PCP) (Canbeldek & Isikoglu, 2023); TangibleK robotics (García-Valcárcel & Caballero-González, 2019); Educational Programming Language (EPL) (Un & Kim, 2020); Coding education programme (Somuncu & Aslan, 2022). On the other hand, some studies did not implement a specific programme (Brainin et al., 2022; Brainin et al., 2021; Caballero-González & García-Valcárcel, 2021; Çakır et al., 2021; Çiftci & Bildiren, 2019; Gerosa et al., 2022; Kazakoff et al., 2013; Nam et al., 2019; Sung et al., 2023; Turan & Aydoğdu, 2020; Yang et al., 2022).

With regard to the duration of the programmes analysed, they range from one to nine weeks. Moreover, these programmes have been implemented entirely in urban centres and incorporate the following STEM competences: mathematics (n = 12); science (n = 5); technology (n = 7).

Table 4
Characteristics of educational robotics programmes

Programme	Duration	STEM	Robotics resource	Procedure
PCP (Canbeldek & Isikoglu, 2023)	2 times a week for 9 weeks	Mathematics; Science	Matatalab; Bee-Bot; Doc	It consists of three basic activities: unplugged coding, robotics and block coding. The children were asked to use the robots, individually or in small groups, to code certain tasks that they planned themselves
TangibleK Robotics (García-Valcárcel & Caballero-González, 2019)	7 sessions of 4 hours each	Mathematics	TangibleK	Six programming sessions. Each session integrated robotics activities into the curriculum to enhance logical-mathematical skills. During the development of the activities, students worked in small groups (4-5 members) in a collaborative way
Ad-hoc programme (Sung et al., 2023)	5 weeks	Mathematics; Science	Kibo	62 STEAM activities were carried out to learn to recognise coding symbols, principles of operation and commands, repetition and robot movement conditions
Ad-hoc programme (Nam et al., 2019)	8 weeks	Mathematics	Turtle-Bot	Participation in two stages of activities and applications consisting of four and eight activities. In the foundation phase, four or five children made up a group and shared ideas about how to operate the Turtle-Bot. In the application phase, the researcher grouped them into small groups within the treatment group
Ad-hoc programme (Kazakoff et al., 2013)	1 week	Science; Technology	Lego WeDo	The children used LEGO Education WeDoTM Robotics Construction Sets, with the hybrid tangible-graphic software CHERP, and various art materials to build and programme their robots
Ad-hoc programme (Turan & Aydoğdu, 2020)	8 weeks, two days per week, one hour per day	Technology; Mathematics; Science	Kibo	The programme for the children in the study aimed at understanding technology in everyday life with visual materials, basic programming concepts, number use and prediction activities, space/time relationships, introduction of robot kit and installation to visually grasp the concepts of science and physics
Ad-hoc programme	10 sessions of 30	Mathematics	Bee-Bot	Spatial skills were fostered by teaching basic spatial language

(Brainin et al., 2022)	minutes each				concepts. The two intervention groups (robot/no robot) participating in the study attended sessions with the same basic spatial intervention programme, similar in content and structure, with or without robot
Ad-hoc programme (Brainin et al., 2021)	10 sessions of 30 minutes each	Mathematics	Bee-Bot		The teaching and practice of the concepts in the two intervention groups were delivered to two children in each session by a teacher once a week. During Sessions 1 to 7, the children learned and practised the following spatial concepts: front, back, inside, outside, right, left, in front, around, between, near, far. During Sessions 8 to 10, integrative practice of the concepts was carried out using maps that promote spatial learning
Ad-hoc programme (Çiftci & Bildiren, 2019)	8 weeks. Two teaching hours per week	Technology	Code.org		The course was designed around a game-based drag and drop method. The lesson began with the teacher directing the children to the section they would be working on and the tasks they were to complete. They were then shown how to log on to the code.org website and complete these tasks themselves. Students completed these tasks with the help of computer-based guides and teacher support
Ad-hoc programme (Gerosa et al., 2022)	11 sessions of 30 minutes each. 1'5 sessions per week	Mathematics; Technology	RoboTito		The introductory session was presented by the group coordinator where he talked to the children about the general rules of the workshop and the idea of playing with a robot to solve different situations. Then, the children worked with the previous instructions given by the teacher: spatial concepts, determined configuration of cards on the mat, planning and creating sequential movements, incorporating distracting objects, pre-established wrong configuration and establishing the steps to reach the goal
EPL (Un & Kim, 2020)	13 sessions	Mathematics; Technology	Robot ad hoc		Materials from the Internet were used for the purpose of assembling block robots and EPL programming activities. The instructional media and activity instructions given to the children were carefully chosen after being evaluated by robotics and programming education professionals and early childhood education professionals for content validity
Ad-hoc programme (Yang et al., 2022)	6 weeks	Mathematics	Matatalab		The intervention programme for the coding classes is a curriculum designed around the functions of the Matatalab screenless robot. Each activity involved 20-30 children

				simultaneously, with 4-5 children per group in small group activities. A total of seven robot kits were provided for use during the collective research activities. Each week, teachers conducted one or two large group learning activities to programme robots or build blocks with their children
Coding education programme (Somuncu & Aslan, 2022)	4 days a week for 5 weeks	Mathematics	Bee-Bot	The programme was prepared by the researchers with the purpose of supporting children's mathematical reasoning skills. Twenty mathematical activities were planned, the first four of which are composed of unplugged coding activities, while the following ones used Bee-Bot. Each programming education activity addresses a different mathematical reasoning skill
Ad-hoc programme (Caballero-González & García-Valcárcel, 2021)	6 sessions. 24h in total	Technology	Bee-Bot	The assessments (pre-test and post-test) were based on programming challenges called Solve-It. The challenges consisted of constructing programming sequences to get the Bee-Bot robot to move to a specific point marked on a mat. Five challenges were planned for each assessment. The students worked collaboratively in small groups (3-4 students) in their everyday classroom
Ad-hoc programme (Çakır et al., 2021)	4 weeks and a total of 32 teaching hours were taught	Mathematics; Science; Technology	Lego WeDo	The programme was divided into: (i) Presentation of the Robotic Education Kit, and Glowingsnail Coding Platform and Activity; (ii) Reminder of the Robotic Education Kit, and Cooling Fan and Moovings Satellite Coding Platform and Activities; (iii) Motion Sensor based Spaceship Activity; (iv) "Let's build our own frog" activity

Finally, the observed standardized mean differences displayed a range from .0945 to 3.5785, with a predominant majority of estimates showing positive values (100% occurrence). The random-effects model yielded an estimated average standardized mean difference of 1.0058 (95% CI: .6426 to 1.3689), clearly indicating a significant deviation from zero ($z = 5.4278$, $p < .0001$). The outcomes' heterogeneity was evident based on the Q-test results, revealing substantial heterogeneity ($Q(19) = 210.1667$, $p < .0001$, $\tau^2 = .6040$, $I^2 = 90.3657\%$). Delving into the prediction interval for the true outcomes (95% CI: -.5601 to 2.5716), it's noteworthy that despite the positive estimation of the average outcome, potential negative true outcomes were indicated in select studies. In the context of this model, scrutiny of studentized residuals spotlighted one study (García-Valcárcel & Caballero-González, 2019) with values exceeding ± 3.0233 , potentially classifying it as an outlier. Similarly, Cook's distances identified the same study as exerting a disproportionate level of influence. However, both the rank correlation and regression tests didn't uncover any signs of asymmetry within the funnel plot ($p = .1284$ and $p = .1432$, respectively). The overall effect size had a large effect (Cohen's $d = 1.01$). The observed difference between groups was substantial in terms of within-data variability.

The forest plot configuration shows the 13 studies that collected mean and standard deviation data for the control and experimental groups in each study (Figure 3). Some studies were divided according to the construct that was measured (e.g. all three measures of the Brain et al., 2022 study were considered). All constructs were linked to STEM competence, hence the relevance to add them in the meta-analysis.

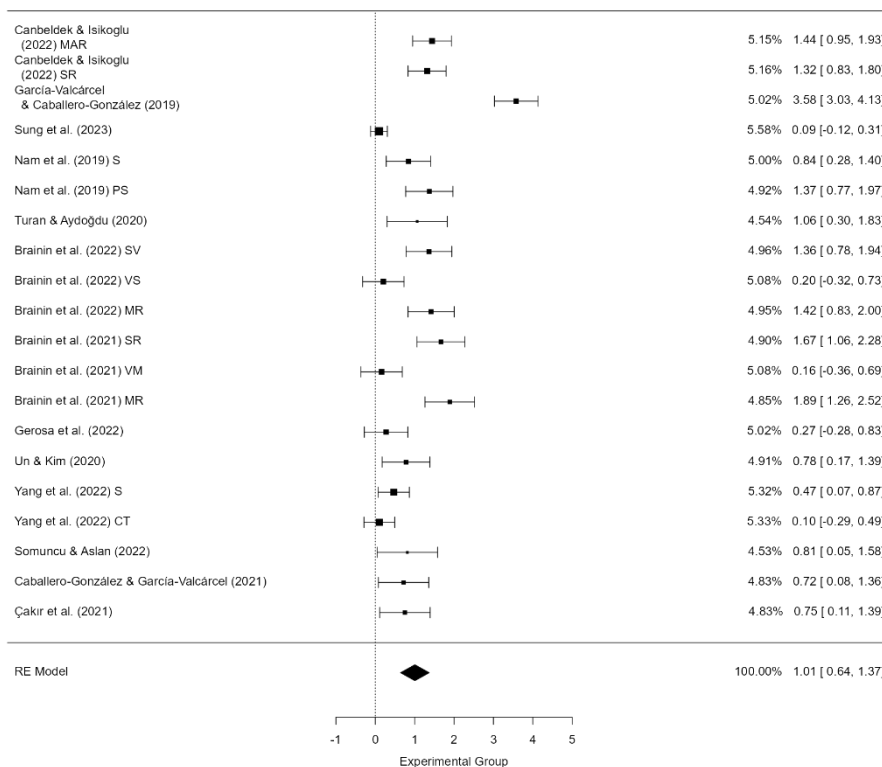


Fig. 3. Forest plot. Note: MAR = Mathematical Reasoning; SR = Spatial Relation; S = Sequencing; PS = Problem Solving; SV = Spatial Vocabulary; VS = Visual-spatial Memory; MR = Mental Rotation; VM = Visual Memory; CT = Computational thinking.

4. Discussion

Specifically, based on the studies analysed (RQ1), it can be seen that the use of educational robotics increased significantly in 2022. Moreover, the use of this resource is being carried out in different parts of the world as shown in the studies analysed, which affirms that STEM competences are being worked on in the early childhood education stage with robotics, becoming an increasingly popular tool in the classroom, as it is not only used to teach technical skills but also as a tool to foster social and emotional skills (Barragán-Sánchez et al., 2023). Likewise, this implementation of robotics in the classroom is being applied in the second cycle of infant education, which covers ages three to six. In terms of the participants in the studies analysed, the distinction in the percentage by sex is very similar (52.52% boys and 47.48% girls), which accentuates benefits such as breaking gender stereotypes related to these skills and combating inequalities in collaborative work (Chernobrovkin et al., 2020; Garcés et al., 2021; Kerimbayev et al., 2023; Papadakis, 2020).

Regarding the characteristics of the programmes (RQ2), despite the claims made by authors such as González-Cervera et al. (2021) regarding robotics projects, it is important to note that the studies analyzed do not always take into account the individual interests of students as a determining factor in their approach. In this sense, the projects used have been used for the convenience of the researcher to obtain specific results and benefits. In turn, some of the studies collected (Brainin et al., 2022; Caballero-González & García-Valcárcel, 2021; Canbeldek & Isikoglu, 2023; García-Valcárcel & Caballero-González, 2019; Nam et al., 2019; Yang et al., 2022) work with robotics resources in a collaborative way. This links to the importance of collaborative robots for learning enhancement (Rodrigo-Parra, 2021).

In terms of the most commonly used robot, Bee-bot stands out because its programming is simple for students in the early childhood education stage, it favours collaborative work and concepts such as laterality, logical thinking or the creation of mats with contents that arise from the students' interests can be worked on (Diago et al., 2018; Romero-Tena & Romero-González, 2020).

As regards the significance of the programmes used in the different studies (RQ3), the results are significant in most of the programmes applied which are linked to STEM competences. In this respect, only three competences have been worked on in the studies analysed, with the "engineering" competence being more complex in its development at such early stages. However, the areas linked to mathematics have been those that have had the greatest development and significance in early childhood education students.

5. Conclusion

By means of this systematic review, a series of documents have been studied to provide information on different programmes and their results, in which educational robotics is used to improve STEM competences, thus providing answers to the research questions posed.

In this regard, with respect to the first research question, the results obtained show that South Korea, Spain, Israel, Turkey, USA, Paraguay and China are the countries where evidence has been found of the use of educational robotics programmes for the early childhood education stage to promote STEM competences. Specifically, the study consists of 14 articles and one conference proceedings published between 2013 and 2023, characterised by the selection of experimental and quasi-experimental methodological designs, with comparison groups, mostly randomly configured. As far as the second research question is concerned, all these programmes have been developed in urban schools and implemented by teachers themselves or external staff. These programmes have a variable duration of intervention and are mainly aimed at developing mathematics, science and technology skills. To do so, they have used resources such as TangibleK, Kibo, Turtle-Bot, Lego WeDo, Bee-bot, Code.org, RoboTito and Matatalab through a wide range of practices and activities. The third research question relates to the effectiveness of these robotics programmes in early childhood education in relation to STEM competence, with 15 of the results being significant and five non-significant.

Certainly, this systematic review with meta-analysis may encounter some limitations such as: (i) the evolution of the field of study: research on educational robotics and STEM competence in early childhood education is constantly evolving. It is possible that there is literature published after the review date that has not been included; (ii) generalisability of results: the programmes and results examined may be specific to particular countries, educational institutions or population groups, limiting the applicability of findings to other settings; (iii) biases of included studies: some studies may have methodological limitations or biases that may affect the validity of their results; (iv) the scope of the review: it is important to recognise that a systematic review is limited by the availability of relevant papers and studies. If specific papers or studies were not accessible, important information may have been omitted that could affect the findings and conclusions of the paper; (v) although the results are positive in favour of educational robotics programs to improve STEM competence, the data should be interpreted with caution due to the small number of studies.

Even so, the practical implications of this work are linked to the importance of developing robotics programmes in early childhood education to favour the development of students at this educational stage, so the results of this systematic review can provide teachers with valuable information on the implementation of educational robotics and STEM competence in early childhood education. It would also help them to develop more effective and appropriate programmes to promote learning in these areas. In addition, it may help in the selection of the most appropriate resources and materials. This includes the identification of technological tools, robotics kits and teaching materials that have been shown to be effective in improving student learning and motivation. Also, future lines of research may emerge in which an evaluation of the long-term impact on the cognitive, academic and socio-emotional development of children in early childhood education is conducted, providing a deeper understanding of the benefits of educational robotics in early childhood education. In the same vein, it would be interesting to investigate how educational robotics and STEM competence can be adapted and applied effectively in different cultural and socio-economic contexts and thus explore curricular adaptations to cater for the diversity of learners. On the other hand, the training and professional development of educators in this field is critical for successful implementation. Investigating the most effective approaches to training teachers and promoting their competence in these areas would be a valuable line of research.

In short, the use of educational robotics improves STEM competences, which is why it is necessary to use it in classrooms from an early age, as it will help to promote their comprehensive development from an early age through a more practical and motivating education for students.

Acknowledgements

Grant C-SEJ-009-UGR23 funded by Consejería de Universidad, Investigación e Innovación and by ERDF Andalusia Program 2021-2027 and Grant INV-IGU203-2022 funded by Vicerrectorado de Igualdad, Inclusión y Sostenibilidad of the University of Granada (Spain).

ORCID

Irene Trapero-González  <https://orcid.org/0009-0006-8459-6711>
José-María Romero-Rodríguez  <https://orcid.org/0000-0002-9284-8919>
Francisco-Domingo Fernández-Martín  <https://orcid.org/0000-0003-1272-1131>
Santiago Alonso-García  <https://orcid.org/0000-0002-9525-709X>

References

- Alsina, Á., & Acosta, Y. (2022). Connecting early childhood mathematics education and computational thinking: learning repeating patterns with the Cubetto® programmable educational robot. *Innovaciones Educativas*, 24(37), 133–148. <https://doi.org/10.22458/ie.v24i37.4022>
- Barragán-Sánchez, R., Romero-Tena, R., & García-López, M. (2023). Educational Robotics to Address Behavioral Problems in Early Childhood. *Education Sciences*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.3390/educsci13010022>
- Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978–988. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>
- Brainin, E., Shamir, A., & Eden, S. (2021). Robot programming intervention for promoting spatial relations, mental rotation, and visual memory of kindergarten children. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(3), 345–358. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1858464>
- Brainin, E., Shamir, A., & Eden, S. (2022). Promoting Spatial Language and Ability Among SLD Children: Can Robot Programming Make a Difference? *Journal of Educational Computing Research*, 60(7), 1742–1762. <https://doi.org/10.1177/07356331221083224>
- Caballero-González, Y.-A., & García-Valcárcel, A. (2021). Robots in the Early Childhood Education: learning to sequence actions using programmable robots. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 77–94. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27508>
- Çakır, R., Korkmaz, Ö., İdil, Ö., & Erdoğan, F. U. (2021). The effect of robotic coding education on preschoolers' problem solving and creative thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 40, 100812. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100812>
- Campos, V. M., & Muñoz, F. J. R. (2023). Design and piloting of a proposal for intervention with educational robotics for the development of lexical relationships in early childhood education. *Smart Learning Environments*, 10(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00226-0>
- Casado-Fernández, R., & Checa-Romero, M. (2020). Robotics and STEAM projects: development of creativity in a Primary School Classroom. *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, 58, 51–69. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.73672>
- Chernobrovkin, V. A., Kuvshinova, I. A., Tupikina, D. V., & Bachurin, I. V. (2020). Educational opportunities of educational robotics based on an android robotical device in preschool education. *Perspektivy Nauki i Obrazovania*, 43(1), 134–149. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.1.10>
- Çiftçi, S., & Bildiren, A. (2019). The effect of coding courses on the cognitive abilities and problem-solving skills of preschool children. *Computer Science Education*, 30(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/08993408.2019.1696169>
- Diago, P. D., Arnau, D., & González-Calero, J. A. (2018). Elements of problem solving in early school age with Bee-bot. *Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia*, 7(1), 12–41. <http://dx.doi.org/10.24197/edmain.1.2018.12-41>
- Dochy, F. (2006). A guide for writing scholarly articles or reviews for the Educational Research Review. *Educational Research Review* 1(1), 1. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2006.02.001>
- Ferrada, C., Carrillo-Rosúa, F. J., Díaz-Levicoy, D., & Silva-Díaz, F. (2020). Robotics from STEM areas in Primary School: a Systematic Review. *Education in the knowledge society (EKS)*, 21, 22. <https://doi.org/10.14201/eks.22036>
- Garcés, J. M., Almagro, C. V., Lunghi, G., Di Castro, M., Buonocore, L. R., Prades, R. M., & Masi, A. (2021). Minicernbot educational platform: Antimatter factory mock-up missions for problem-solving STEM learning. *Sensors*, 21(4), 1398. <https://doi.org/10.3390/s21041398>
- García, A., Gutiérrez, P., & Ayuso, D. (2022). Didactic proposal of initiation to programming in to early childhood education based on the UDL. *Infancia, Educación y Aprendizaje (IEYA)*, 8(2), 98–115. <https://doi.org/10.22370/ieya.2022.8.2.2897>
- García-Valcárcel, A., & Caballero-González, Y. (2019). Robotics to develop computational thinking in early Childhood Education. *Comunicar*, 59, 63–72. <https://doi.org/10.3916/C59-2019-06>
- Gerosa, A., Koleszar, V., Tejera, G., Gómez-Sena, L., & Carboni, A. (2022). Educational Robotics Intervention to Foster Computational Thinking in Preschoolers: Effects of Children's Task Engagement. *Frontiers in Psychology*, 13, 904761. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.904761>

- González-Cervera, A., Santaolalla-Pascual, E., & González-Arechavala, Y. (2021). RoboTEduca. Project in STEM education with robotics for early ages. *Revista Padres y Maestros*, 387, 47–50. <https://doi.org/10.14422/pym.i387.y2021.009>
- Jung, S. E., & Won, E. (2018). Systematic review of research trends in robotics education for young children. *Sustainability*, 10(4), 905. <https://doi.org/10.3390/su10040905>
- Kazakoff, E. R., Sullivan, A., & Bers, M. U. (2013). The Effect of a Classroom-Based Intensive Robotics and Programming Workshop on Sequencing Ability in Early Childhood. *Early Childhood Education Journal*, 41, 245–255. <https://doi.org/10.1007/s10643-012-0554-5>
- Kerimbayev, N., Nuryim, N., Akramova, A., & Abdykarimova, S. (2023). Educational Robotics: Development of computational thinking in collaborative online learning. *Education and Information Technologies*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11806-5>
- Nam, K. W., Kim, H. J., & Lee, S. (2019). Connecting Plans to Action: The Effects of a Card-Coded Robotics Curriculum and Activities on Korean Kindergartners. *Asia-Pacific Education Researcher*, 28(5), 387–397. <https://doi.org/10.1007/s40299-019-00438-4>
- Papadakis, S. (2020). Robots and Robotics Kits for Early Childhood and First School Age. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 14(18), 34–56. <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i18.16631>
- Papadakis, S. (2022). In-service teachers' beliefs about educational robotics in preschool classroom. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 14(2), 125–141. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2022.121770>
- Raposo-Rivas, M., García-Fuentes, O., & Martínez-Figueira, M. E. (2022). Educational robotics from STEAM areas in early childhood education: A systematic review of the literature (2005-2021). *Prisma Social: Revista de Investigación Social*, 38, 94–113.
- Rodrigo-Parra, J. (2021). Robotics for educational inclusion: a systematic review. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 11, 150–171. <https://doi.org/10.6018/riite.492211>
- Romero-Tena, R., & Romero-González, A. (2020). Robotic learning of the ab pattern in 3-year-olds. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 72, 54–67. <https://doi.org/10.21556/edutec.2020.72.157>
- Ruiz, M., & Arteaga, B. (2022). Geometric-spatial and computational thinking in early childhood education: a case study with Kubo. *Contextos educativos*, 30, 41–60. <https://doi.org/10.18172/con.5372>
- Sánchez, M., Navarro, F., & Sánchez-Meca, J. (2022). Systematic Reviews and Evidence-Based Education. *Espiral. Cuadernos del Profesorado*, 15(30), 108–120. <http://dx.doi.org/10.25115/ecp.v15i30.7860>
- Schina, D., Valls-Bautista, C., Borrull-Riera, A., Usart, M., & Esteve-González, V. (2021). An associational study: preschool teachers' acceptance and self-efficacy towards Educational Robotics in a pre-service teacher training program. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00264-z>
- Somuncu, B., & Aslan, D. (2022). Effect of coding activities on preschool children's mathematical reasoning skills. *Education and Information Technologies*, 27, 877–890. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10618-9>
- Sun, L., & Zhou, D. (2023). Effective instruction conditions for educational robotics to develop programming ability of K-12 students: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(2), 380–398. <https://doi.org/10.1111/jcal.12750>
- Sung, J., Lee, J. Y., & Chun, H. Y. (2023). Short-term effects of a classroom-based STEAM program using robotic kits on children in South Korea. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00417-8>
- Terroba, M., Ribera, J. M., Lapresa, D., & Anguera, M. T. (2021). Education intervention using a ground robot with programmed directional controls: Observational analysis of the development of computational thinking in early childhood education. *Revista de Psicodidáctica*, 26(2), 143–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psicoe.2021.03.002>
- The Campbell Collaboration. (2021). *Campbell systematic reviews: Policies and guidelines. Version 1.8.* Campbell Policies and Guidelines. <https://doi.org/10.4073/cpg.2016.1>
- Theodoropoulou, I., Lavidas, K., & Komis, V. (2023). Results and prospects from the utilization of Educational Robotics in Greek Schools. *Technology, Knowledge and Learning*, 28(1), 225–240. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09555-w>
- Trapero-González, I. (2023). *Protocolo de revisión sistemática sobre los programas de robótica educativa aplicados en la etapa de Educación Infantil.* Digibug. <https://hdl.handle.net/10481/81334>
- Turan, S., & Aydoğdu, F. (2020). Effect of coding and robotic education on pre-school children's skills of scientific process. *Education and Information Technologies*, 25, 4353–4363. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10178-4>
- Un, S., & Kim, S. (2020). A Comparative Study on the Effects of Hands-on Robot and EPL Programming Activities on Creative Problem-Solving Ability in Children. In *Proceedings of the International*

- Conference on Multimedia, Engineering & Technology (ICMET '20)* (pp. 1–6). Singapore, Singapore: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3401861.3401866>
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software*, 36, 1-48. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Wu, B., Hu, Y., Yu, X., Sun, M., Xie, H., Li, Z., & Wang, M. (2023). How do secondary students engage in complex problem-solving processes in a STEM project? *Knowledge Management & E-Learning*, 15(4), 506–522. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2023.15.029>
- Yang, W., Ng, D. T. K., & Gao, H. (2022). Robot programming versus block play in early childhood education: Effects on computational thinking, sequencing ability, and self-regulation. *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 1–15. <https://doi.org/10.1111/bjet.13215>

ARTÍCULO 2

Didactic Impact of Educational Robotics on the Development of STEM Competence: A Systematic Review and Meta-analysis in Primary Education

Irene Trapero-González, Francisco-Javier Hinojo-Lucena, José-María Romero-Rodríguez*, Alejandro Martínez-Menéndez

Faculty of Education Sciences, Department of Didactics and School Organization, University of Granada, Granada, Spain

*** Correspondence:**

José-María Romero-Rodríguez
romejo@ugr.es

Keywords: Primary Education¹, Meta-analysis², Robotics³, STEM⁴, Systematic Reviews.

Abstract

As robotics become more and more present in about every area of the human daily life scheme, their presence in the educational world has grown more common by the day, especially with regard to earlier stages and in relation to disciplines framed within the STEM concept, given its innate links to these programmable companions. Consequentially, the main goal of the present study is none other than to analyze the evolution in time of robotic learning mediation of STEM-based teaching and learning in the Primary Education stage. To achieve this, a systematic review of the literature and meta-analysis on the topic were conducted, retrieving experiences of interest ($n = 13$; $n = 8$). The results of the present paper show that this educational research field, although with certain hiatuses, has been of globally increasing interest, implementing a variety of robotic-related products that, in the end, have been reported to cause a moderate benefit regarding the acquisition and strengthening of STEM competences. Future research lines are discussed, pointing at the urgent need to establish a framework of reference regarding didactic planning around these resources, as to extend their use to every potential teacher in the target stage.

Authorial note

The present manuscript proposal is 10.913 words long, and has a total amount of six tables, included in whole length and editable format alongside their respective captions and notes by the end of this manuscript, and six figures, whose captions have been included by the end of this submission.

1 Introduction

Technological advancements, without a doubt, have caused unique and irreversible changes regarding the way in which we understand, process and experience a vast diverse range of areas in our daily lives, ranging from merely distracting ourselves with content published online to integrating these new tools and gadgets as essential components in our job positions. Among these utilities, Garzón et al. (2021) state that robotics, mainly due to its proximity to human life and chores, may be one of the most irreplaceable ones.

Educators, especially those employed at earlier courses and stages, irrevocably have to initiate training and research regarding the proper use of these resources and materials, as it is a key aspect of pedagogical leadership to be up to date in relation to innovations in the educational world that allow learners to further push their limits and development (Palomino et al., 2022). Following Martínez et al. (2023a), it is only a matter of time until these robotic products, toys and commodities are fully integrated in our classrooms and daily teaching, even if there is some sort of initial skepticism about their potential use and benefits. These tools, following Papert's (1993) line of reasoning regarding make-believe in classrooms, may be some of the most powerful tools when it comes to boosting abstract thinking in children, therefore being distanced from the notion of being mere toys that has traditionally haunted ER and its predecessors.

1.1 Robots and education: a recent yet well-established relationship

Although robotics, as a field external to educational theory and practice, seems to be quite a well-established field, establishing a precise definition of the idea of a robot can be appropriate regarding delimitations when addressing different technological assets or products. In this way, according to Kalaitzidou and Pachidis (2023), a robot can be defined as a system of interconnected components, including sensors, actuators, processors, effectors, and the controlling software, or programming environment, itself, controlled through a pre-defined although open to further modifications programming which has been designed, either directly or indirectly, by a human user (Seckel et al., 2022).

Educational Robotics, hereinafter referred to as ER, as a field of practice and research, could be generally defined as the implementation of either straight-up robots, or any given robotic design part or component, in educational settings and proposals with a didactic-pedagogical goal. Nevertheless, potential specifications on how to optimally integrate these elements into classroom-like environments have ended up configuring certain archetypes of methodological designs within this educational scope.

For starters, Martínez et al. (2023b) and Chatzopoulos et al. (2022) establish that using robots as objects of learning themselves, either through their programming with or without prior crafting steps, is usually the main go-to strategy concerning the educational use of robotics. Complementary to this view, however, Evripidou et al. (2020) expose that implementing robots as prefabricated and already programmed technical tools, as it is common regarding multiple other kinds of technological toys or devices, can be considered a form of ER as well. Finally, Krūmiņš et al. (2024) consider online programming platforms as a third possibility of integrating robotics into classrooms, which are digital environments in which the user designs a string of code that will end up being applied to a simulated robot in a fully digital context or transported to an actual physical entity. Most of this programming is developed by using intuitive coding

languages such as block programming software, *Scratch* being the most popular provider regarding the matter (Seckel et al., 2022). As suggested by Bers (2021), while having value in and of itself, coding can be considered a language on its own, being crucial in the development of children's critical thinking and problem-solving capabilities.

Naturally, however, an external typology-based classification can be introduced regarding the different existing types of robots themselves according to their components and/or functionality. Humanoid robots tend to be most implemented utensils with younger students, however, robots designed based on the shape of a given structure or animal, commonly modularly built, are also quite intuitive and popular. Nevertheless, floor robots, with built-on wheels that move at ground-level in the absence of leg-like actuators, are usually the preferred model when it comes to Early Childhood Education (Kalaitzidou & Pachidis, 2023).

Another interesting robotic modality can be found in telepresence robots which, according to Leoste et al. (2022), act as intermediate agents giving a distant human user a robotic physical manifestation in any given context, being especially popular in teleteaching situations. Although barely implemented in educational settings, synergetic robots, frequently shaped like hive-mind animals such as swarm robots, can foster quite interesting educational experiences.

Similarly, the possibilities now opened by the recent unprecedented development of software based on Artificial Intelligence may lead to the creation of robotic assistants, able to adapt to students' needs in real time and, therefore, alleviate the workload of human educators (Evripidou et al., 2020), who could act as supervisors and devote themselves to activities that require socioemotional proximity or cognitive processes of a higher order.

1.2 Points of interest regarding the improvement of learning and skill acquisition derived from ER implementation in educational settings

ER, according to Qu et al. (2022), is able to provide pupils with an actual physical intermediate entity between the analogical reality of the interdisciplinary learning skills, knowledge and attitudes link to any given subject, and the abstract world of programming and digital software. Therefore, utilizing robots in educational environments is regarded as one of the main ways of achieving a true global and meaningful development of key competences and skills without having to use digital media or expensive and complex software, inadequate to the cognitive traits of target students (Moreno-Palma et al., 2024). Following Yang (2024), ER has been proved to be more effective when it comes to mastering both coding and CT when compared to tablet or mobile-based applications, giving a sense of utility and meaning to the programmed actions.

Despite that, and naturally, Alonso-García et al. (2024) show that this approach returns its greatest benefits in curricular areas linked to the design and application of somewhat complex logical and/or cognitive strings, highlighting its effectiveness on the learning of linguistics and mathematics. Interestingly, and establishing a connection between the contemporaneity of these elements and the need for an update regarding the training and development of future generations, Coşkun and Filiz (2023) indicate that using robots is able to favor the development of the so-called XXI Century skills, including flexibility, autonomy, cognitive dexterity and innovation, which in turn catalyze the effect of robotics on learners, achieving even more remarkable learning benefits.

As Avsec et al. (2016) point out, the introduction of ER within educational programs can act as a remarkable emotional learning catalyzer given the innate attraction of learners towards interaction with robotic products, especially at younger ages. As shown by an intervention with Primary Education learners reported by Fung et al. (2024), the introduction of physical robots in classrooms is able to further boost the three main categories of learner engagement as well as intrinsic motivation. Such findings hold quite a relevant value amongst practitioners, as the social and interactive capabilities of robots that are key to enhancing learner motivation hold potential regarding social skill development and skill generalization with individuals with lower socialization development, such as children diagnosed with Autism Spectrum Disorders (ASD) (Konishi et al., 2024).

Regarding the use of ER in order to transform educational proposals into actions towards inclusion and equality, in an intervention carried out with trainee female Primary Education teachers, Romero-Rodríguez et al. (2023) found out that working with robotic LEGO kits has been effective regarding the transfiguration of negative self-efficacy towards Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) which, according to the study conducted by Jung and Lee (2022), is crucial regarding the integration and participation of female employees in peer groups within STEM-related occupations. Additionally, and as Papert (1993) stated, “the construction that takes place in the head often happens especially felicitously when it is supported by construction of a more public sort in the world [...] the product can be shown, discussed, examined, probed, and admired” (p. 142). Therefore, this combination of meddling with the design and practice testing of ER, while at the same time actually constructing and building the robotic parts by themselves, will surely catalyze the pupils’ integration of concepts, skills and attitudes within their pre-established cognitive schemes, creating interdisciplinary webs of knowledge right from direct experience.

1.3 Risks and challenges of ER in relation to teacher training and practice

Opposing all these benefits, however, Seckel et al. (2022) declare that an optimal introduction of ER requires heavy and difficult teacher training in order to fully grasp the needs and characteristics of a constructivist educational approach involving such a unique and revolutionary kind of resource. This factor can be of extreme relevance when it comes to managing and controlling systems of multiple interconnected robots, as failing to properly do so can turn a potentially perception-changing approach into a disappointing and anxiety-provoking ordeal (Bravo et al., 2021). As commented by Andrée et al. (2024) it is quite common for pupils to feel *robot anxiety* when certain parts, mechanisms or functions, especially the mobile ones, do not operate as required and/or expected.

Failing to acquire the practice and conceptual aspects linked to the educational application of robotics, as Zhao et al. (2024) comment, may lead to learners not mustering nearly enough attention nor effort directed towards the activities at hand, therefore exclusively focusing on the more playful dimension of ER, in detriment of its teaching-learning potential. Related to this potential misleading tendency, Xie et al. (2024) have reported that an excessive expression of humor and/or informal interactive formulas by chatbots may lead to losing focus about the task or necessity that initiated the interaction in the first place, similarly to how background noise and inadequate expression cause a negative and unpleasant effect on the participants of the conversational exchange even in human-only situations (Pourfannan et al., 2024).

It is no lie that a fully-grown positive attitude towards robotics in classrooms is yet to be developed amongst both teachers and learners alike, especially regarding older generations of each social group, who specially dislike robots that have either human-like expressive capabilities or appearance (Zhang et al., 2023), something that, conversely, seems to attract the most to younger students, who find it an essential trait for robots to have in order to be deemed interesting and appealing (Istenic et al., 2021).

1.4 Previous ER-based experiences in Primary and Early Childhood Education

ER, as described by Wang et al. (2024) is the most prevalent tool implemented in Early Childhood Education and the first years of Primary Education when it comes to addressing STEM-related skills, concepts and attitudes, therefore potentially pointing at a diversity of empirical studies involving the matter. Taking the study developed by Qu et al. (2022) as a framework of reference, educational interventions based on ER can be designed under three main schemes of action, including programming and computing, non-participating observation, and direct interaction between learners and robots.

Acting as an ideal example of the first and second approaches, Bravo et al. (2021) developed a proposal based on programming line-following robots as if they were characters in a theater play, being groups of Colombian teenagers between 11 and 13 years old in charge of it as directors, observing and overall higher engagement with the subject. Using a sample of students between five and eight years old, Liu et al. (2023) implemented a modularly crafted robot that needed to be tested in a simulated environment before using it underwater in order to challenge the learners in the creation of a structure that could withstand the conditions of the target environment. Learners showed high interest in phenomena linked to water such as buoyancy through this *learn by making* approach.

Finally, most educational proposals associated with one-on-one student-robot interactions tend to be linked to the improvement of sociolinguistic skills and capabilities of functionally and/or linguistically diverse learners. Such is the case of the study presented by Lorenzo et al. (2024), in which four Spanish children diagnosed with conditions linked to ASD were able to reinforce their social proactivity and engagement by playing different interactional games with humanoid robots in non-stressful environments, significantly incrementing their attention span in contrast with previous iterations with human participants. Some researchers have even attempted to consolidate the figure of ER as a permanent and close companion to students that may feel stressed or anxious in determined social situations, designing pocket-size relieving utilities based on this very same principle (Frederiksen et al., 2024).

Actions regarding the use of these tools aimed at their implementation by educators employed in both of these stages should, nonetheless, not go unnoticed. An intervention developed by Sun and Liu (2024) involving 56 science teachers in Primary Education came to show that attitudes towards programming activities significantly affects their development of CT when acting as receivers of activities involving ER. As a result, one could only assume that fomenting the training and preparation of practitioners regarding proposals of this kind is a key step in order to consolidate the implementation of these educational resources in classrooms based on an actual compromise and believe on the effectiveness of the approach itself.

1.5 Competence concept and the STEM framework

In a society where conceptual and theoretical learning alone are not able to aid students in solving real-world issues anymore, the idea of configuring a new educational paradigm based on developing various and interdisciplinary competences, i.e. being able to apply, in any given context, conceptual knowledge and practical skills, all mediated by psychosocial factors such as attitude, beliefs and motivation in order to successfully carry out any given action or solve a problematic situation (Vitello et al., 2021); has been established and expanded over the last few lustrums.

Among these, and given their undeniable linkage and connection, developing competences linked to STEM areas tend to appear and be addressed as a linked package that can act as the base and soil for numerous didactic proposals to grow within an interdisciplinary and global curricular scope. Lately, conceptual debates have occasionally led to even questioning the existence of the limited STEM field itself, having attempted to reshape the concept in order to integrate the Arts, STEAM, or even Reading and Writing, STREAM (Raycheva, 2024). Establishing limits regarding this set of abilities has experienced its own barriers and controversial standpoints as time and educational sciences have gone by. In this scenario, a vast proportion of researchers tend to be undecided about the role Computational Thinking (CT), a skill deeply connected to programming and robotics, within the STEM competence framework.

Even if its main dimensions, stated by Bento et al. (2024) to be “(i) identification and decomposition, (ii) abstraction, (iii) pattern recognition, (iv) design of algorithms, and (v) testing and debugging” (p. 6), are deeply connected to the addressed subject areas in STEM, especially with Technology and Mathematics, authors like Sung et al. (2017) affirm that CT should necessarily be regarded as an interdisciplinary skill, subject to be used and developed in the didactic planning of any curricular area at hand. However, as these authors point out, it is undeniable that lessons mainly devoted to developing STEM aspects are the main and most reliable context to favor the acquisition of such abilities. Similarly, Misirli and Komis (2023) describe CT as an extension of algorithmic thinking whose development plays a pivotal role in effective and efficient management of any given kind of situations when generalized to both STEM-related areas and knowledge fields external to them.

For the purposes of the present study, CT will be regarded as a skill external to the STEM competence framework, however, given the obvious connection between both entities, such as the well-established significant link between learner attitude towards STEM and the development of CT (Küçükaydın et al., 2024), reports of results regarding this skill or any of its dimensions will be considered related to STEM competences, as developing one necessarily ends up in promoting an improvement in the other.

1.6 The present study: background and objectives

A previous systematic literature review developed by Ortuño and Serrano (2024), centered around the most common practices regarding the addressing of computational thinking in Primary education, found that ER is one of the most prominent approaches regarding the matter in the aforementioned educational stage. These authors, nevertheless, point out that barely any registers have been found in regard to its earlier grades, which can lead to a gap in the general use of robotics with the youngest students of Primary Education. This would further validate the commonly reported lack of quality studies

focused on ER-related skills such as CT in stages different from Higher Education, as pointed out by Misirli and Comis (2023).

A review of the exact same topic yet studying experiences developed both in Primary and Early Childhood Education developed by Ching and Hsu (2024), apart from confirming the previously mentioned results, details that there is a relatively stable balance regarding the time extent of the analyzed interventions, as half of the addressed sample in the aforementioned study lasts for about ten hours, while the other half tends to accommodate programs during more than eleven hours. It was observed that *LEGO Mindstorms* robotic kits were the most common humanoid ER resource, while *BeeBot* and *KIBO* were the only representatives of the floor robot category.

Specifying our scope in order to fit the main research topic of the present work, Darmawansah et al. (2023) developed a literature review on the use of ER in the development of STEM-based courses across all educational stages, determining that Primary Education was, with significant difference, the stage where ER has been implemented and researched the most, describing a general rising tendency in the publishing volume of papers addressing the matter over the last decade.

A review on the use of ER regarding the development of STEM competences in Primary and Early Childhood Education developed by Tselegkaridis and Sapounidis (2022) unveiled that, contrary to Ortuño and Serrano's (2024) findings, most robotics-based educational interventions, up to 2020, have been focused around the first grades of the former stage, following an international distribution structured in a south-European group and a core located in the United States of America as an only-country publishing block.

An updated version of this last review undergone by the same authorial team (Sapounidis et al., 2024) state that more than three quarters of the addressed study sample had been published over the last two years of the work's temporal span, comprised between 2016 and 2021, suggesting an exponential increase in the publication volume regarding the subject matter during the last lustrum, and backing up the publishing tendency claims stated in Darmawansah et al. (2023).

Given the ample relevance of ER in Primary Education, the lack of studies that solely focus on the needs and traits of the student body of this stage, as well as the reported ever-increasing publishing tendency involving robotics-based STEM education, the main goal of the present work is none other than to analyze the state of integration of ER-based programs in the Primary Education stage, determining and critically appraising the existent evidence in relation to their effects on the students' learning results regarding the development of STEM competences. As to structure the research process, several Research Questions (RQ) were posed:

- RQ1. What are the main editorial and contextual features of the analyzed studies regarding their geographical and temporal distribution and type and language of publication?
- RQ2. How were the selected interventions designed in matters of target sample characteristics, including grade, sex and age?
- RQ3. What study design characteristics, including research methodology and design, sample selection, group configuration, statistical and standardized tests, were introduced in the reviewed experiences?

- RQ4. What didactic aspects, including strategies, resources and activities were implemented during the conduction of the studied programs?
- RQ5. What are the reported results of the addressed experiences in relation to the development of STEM competences through ER-based interventions?

2 Methodology

In order to properly answer the previously detailed research questions, and by extension fulfill the goal of the present research, a systematic review of the existing literature regarding the development of STEM competences through ER in Primary Education was developed. As Higgins and Green (2008) point out, this methodology involves a compilation, collation and subsequent analysis, organized and managed based on pre-established objectives, of the existing evidence regarding any given subject matter, following a protocol that guarantees the rigor, fidelity, validity and replicability of the detailed research process.

Additionally, a meta-analysis was conducted based on all the effect sizes reported in the selected papers of the final study sample. This research methodology, based on the statistical combination of results originated in multiple works, aims at precisely solving conflicting aspects and situations that cannot possibly be solved by individual studies (Higgins & Green, 2008).

The combined utilization of both of these research approaches aims at elaborating a synthesis of quality and rigor from which conclusions of interest and relevance to the target research field may be retrieved, avoiding any kind of bias on behalf of the researchers throughout the process. Furthermore, in order to assure the replicability of the research process presented in this paper, this systematic review of the literature complies with the guidelines established in the PRISMA 2020, *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses, 2020 edition*; statement (Page et al., 2021), an update to the original, worldwide, and acknowledged multidisciplinary framework of reference regarding review quality (Moher et al., 2009).

Therefore, an initial planification stage took place, in which the main objective for this research, as well as specific research questions were established, determining the databases that would be consulted and the specific search strategy that was to be applied during the course of the research as well as the inclusion and exclusion criteria that would be used to configure the studies to analyze. After that, an action stage was developed, starting with a preliminary search in the selected databases, proceeding to filter and refine the retrieved registers through the application of the aforementioned criteria, therefore determining the final study sample that sustains the present review.

2.1 Search strategy

The search revolved around the Scopus and Web of Science, hereinafter WoS, databases, given their ample acknowledgement in the Social Sciences research field as well as the quality of their indexed research papers, determined through the Journal Citation Reports (JCR) and Scimago Journal & Country Rank (SJR) indicators.

The definitive search string that was to be used was based around the key terms Robotics, Primary Education, and STEM, determining the educational resource of interest to this

research, the stage where experiences are to be analyzed, and the competence framework to be developed through the indicated methodological approach.

In order to configure a search string capable of reaching every register related to the topic of interest to the present paper several thesauruses were consulted, including the Educational Resources Information Center (ERIC), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and European Education ones, retrieving synonyms and related terms linked to every aforementioned key term as well as the term intervention, which was implemented in order to refine the retrieved results and avoid the integration of non-empirically elaborated works. It is worth mentioning that the term Robotics, given its already specific and limited range, found no registered or associated synonyms in the reviewed thesauruses.

The search string implemented in the present research can be divided into four blocks, including the one linked to the independent variable of the present review, robotics, descriptors regarding the target educational stage, Primary Education, descriptors regarding the wanted methodological typology, empirical studies based on interventions, and finally the dependent variable, STEM competencies.

Therefore, the search string to be used in this systematic literature review is: (Robotics OR Robots) AND (intervention* OR program* OR practice* OR train* OR initiative* OR action* OR project*) AND (STEM OR “Science, Technology, Engineering and Mathematics” OR Science OR Technology OR Engineering OR Mathematics) AND (“primary education” OR “primary school” OR “elementary education” OR “elementary school” OR “preadolescents” OR “middle school” OR K-12 OR first-grad* OR second-grad* OR third-grad* OR fourth-grad* OR fifth-grad* OR sixth-grad*).

With the goal of further limiting and narrowing down the retrieved registers, as to build up a rigorous and specific study sample of the highest possible quality, several inclusion criteria, along with their counterparts in the form of exclusion criteria, were established. These criteria can be retrieved from Table 1, along with their corresponding reason of implementation present in Table 2.

2.2 Data extraction and analysis

The information compilation and screening process took place during July, 2024, being structured in four different phases, including preliminary search, accompanied by elimination of duplicates, first level of screening, by reading title and abstract of retrieved studies, second level of screening, including retrieval of remaining registers as well as exclusion based on full text reading in case registers could be retrieved, and, finally, selection of remaining registers to be included in the systematic review of the literature, as well as assessing for eligibility of said registers in order to be included in the subsequent meta-analysis.

During the first phase, or *identification* phase, the previously established search string was implemented in the selected databases in order to retrieve an initial study pool of $n = 1712$ studies, from which 425 were deemed to be duplicates. It is also worth mentioning that bibliographical registers referring to whole books including chapters that had already been considered within the preliminary study sample ($n = 71$) were considered as duplicate registers as well.

The second, or *screening*, phase was divided into two different instances. In order to mitigate any potential kind of researcher bias in the evaluation of the registers at hand, all researchers appearing as authors of the present manuscript individually analyzed every single one of the remaining studies after the elimination of duplicates ($n = 1216$) based on reading their title and abstract.

In order to guarantee the efficiency and efficacy of this evaluation process, the authors waited until every researcher had finished analyzing the preliminary study pool in order to share their individual results and present any particular concerns or ambiguous results. The inclusion and exclusion criteria to be applied during this first reviewing instance involved all those that could be assessed without needing to access the full text, that is, IN2-EX2, IN3-EX3, IN4-EX4, IN5-EX5. Nevertheless, these criteria would be fully implemented in the second screening instance once again, as it was likely that abstracts and titles could potentially be misleading regarding the content of each actual paper.

The authors agreed on the vast majority of the decisions taken in relation to rejection or acceptance for further consideration of the studies at hand, solving disputes through common debate and argument in relation to twelve registers in which the researchers did not initially agree in relation to their inclusion or not. As to guarantee the quality of the present research paper, the 12 studies in which an initial agreement was not reached were left for evaluation during the next screening instance.

After establishing an initial pool of accepted studies, including those in which authors had not agreed prior to this moment, each author tried to retrieve the full text of the remaining registers in order to analyze them in whole, applying both the previously mentioned criteria as well as those linked to publishing language (IN1-EX1) and academic quality (IN8-EX8). At the end of this phase, studies whose full text could not be obtained were automatically discarded. An additional meeting regarding the definitive acceptance or rejection of the remaining studies took place by the end of this screening instance, during which authors shared the results of their eligibility assessment process.

Although there was full agreement regarding the application of most exclusion criteria and the derived results, some researchers shared different opinions about the quality assessment of the final study sample. In order to solve these disputes, a fifth subject, belonging to the research group of the aforementioned authors, participated as a mediator and external evaluator during an additional gathering of the authors.

This situation involved two studies that were missing critical information, as the data provided were enough to accept their inclusion within the application of the established criteria, yet characteristically lacking to answer several of the established RQ.

Finally, after having reached a consensus with regard to the exclusion of these two studies that had returned different quality evaluation results, the final study sample for the present systematic literature review was configured ($n = 13$), having to exclude $n = 5$ studies from it in order to conform the sample to be used in the meta-analysis ($n = 8$) as these registers were missing full outcome data.

Once both final study samples had been configured, and given the objective character of the process, the first two authors of this paper proceeded to extract the requested information from each study, which was then given to the third and fourth authors in order

to prepare them for presentation and visualization. The final results were then reviewed by the aforementioned external researcher.

The results derived from conducting the quality assessment linked to IN8-EX8, including the registers that were not considered for the systematic literature review as well as those excluded from the meta-analysis, can be accessed in Table 3.

3 Results

A flow diagram representing every phase of the data collection process, including the number of registers included or excluded at each instance of the process, can be seen in Figure 1. As previously outlined, and in order to fully comply with essential quality guidelines established in Page et al. (2021), every author, as well as an additional support researcher, was directly involved in the screening and selection processes as to mitigate any potential risk of researcher bias. Additionally, and with the goal of avoiding any kind of subjective influence coming from the agreement of the authorial team, every included study was evaluated under a critical appraisal tool, which led to the exclusion of two additional studies and the objective configuration of the two final study samples for both the systematic literature review and the further-on developed meta-analysis.

In order to adequately answer and tackle the previously established research questions, the present epigraph will be structured in several subsections regarding each and every one of this research subgoals. The graphics present in this epigraph were created thanks to the software Tableau (Tableau Software, Seattle, WA, USA, version 24.1.1062) and OriginLab (OriginLab Corp., Northampton, MA, USA, version 10.15.132). The meta-analysis was carried out in the Jamovi Statistical package (The Jamovi Project, Sydney, NSW, Australia, version 2.5).

3.1 What are the main editorial and contextual features of the analyzed studies regarding their geographical and temporal distribution and type and language of publication?

The final 13 included studies correspond to eight research articles and five conference proceedings, published within the temporal threshold established between the years 2011 and 2023. As it can be observed in Figure 2, the year with the highest publishing concentration was 2023, with a total amount of three registers that were included within the final study sample. The rest of the addressed years, these being 2011 to 2013, 2020 and 2022 contain only one study per year, while 2019 and 2021 are associated with the publication of two different registers each.

It is, however, worth noting that there is a characteristic hiatus established between the years 2014 and 2018, both included, in which no new study that was included in the final study sample of the present work was published. Most registers were written in English ($n = 11$), while only 2 studies used Spanish as their publication language.

This, as shown in Figure 3, acts as a representation of the international existing interest regarding the subject matter at hand, as three publishing blocks can be established when examining the final study sample under a geographical scope. The most prominent one, the European, involves experiences developed in Spain ($n = 5$), Netherlands ($n = 1$), Denmark ($n = 1$), Greece ($n = 1$), and Italy ($n = 1$); while the United States of America act as an only-country publishing block with two included registers. Finally, it is worth

noting that Taiwan was the only Asian country to be included within the final study sample, offering a total amount of two works.

3.2 How were the selected interventions designed in matters of target sample characteristics, including grade, sex and age?

Examining the final study sample as a whole, a total of $n = 1082$ students participated in the analyzed ER intervention programs, therefore resulting in a mean of 83.23 learners per accepted study. The sample sizes of each individual study ranged between 26, as the minimum mark, and a maximum of 260 learners.

Regarding the characteristics of the participant sample, the presence of boys and girls was quite balanced, as the total amount of involved males escalates up to 466 students (43.07%) while a total of 418 female students (38.63%) were involved in the total sum of the included studies. It is worth noting, nonetheless, that four registers did not specify the sex ratio existing within their target samples, therefore not being able to determine the belonging to one group or the other of 198 learners (18.30%).

The present review addressed results derived from a vast age range of learners ($M = 10.37$; $SD = 2.89$), including all six grades of Primary Education as previously described and limited. As shown in Figure 4, the experiences mainly revolved around the third cycle of Primary Education, including students between 10 and 12 years old ($n = 594$; 54.89%). Nevertheless, a relevant proportion of students present in the reviewed interventions were still assigned to one of the grades included within the second cycle, fourth grade, involving an amount of 288 learners (26.62%). The first cycle, including learners between six and seven years old, was the one participating the least in the final study sample, including only a 14.23% of it ($n = 154$).

3.3 What study design characteristics, including research methodology and design, sample selection, group configuration, statistical and standardized tests, were introduced in the reviewed experiences?

All of the included studies selected their research sample following non-probabilistic methods, however, most of them followed a non-random sampling based on convenience ($n = 9$; 69.23%), while the rest opted for a purposive sampling ($n = 4$; 30.77%). Now, regarding the followed research methodology, a 46.15% of the included studies opted for utilizing a mixed methods research approach ($n = 6$; 46.15%), being the rest of the sample developed under quantitative approaches ($n = 7$; 53.85%). It is, however, worth noting that only three studies (23.08%) opted for a true experimental design, configuring the divide between control and experimental groups at random, being the rest of the included studies conceived under the quasiexperimental design approach.

There is some diversity in regard to the statistical tests that were conducted in order to analyze the retrieved data within the accepted and reviewed studies, being t-tests the most common kind ($n = 8$; 30.77%), followed by one-way ANOVA ($n = 4$; 15.38%), Mann-Whitney U test ($n = 11$; 38.54%), Kolmogorov-Smirnov's test, Levene's test, Shapiro-Wilk's test, Pearson's Chi square test ($n = 2$; 7.69%), Wilcoxon's signed rank test, Ordinal regression, and MANCOVA ($n = 1$; 3.85%).

This, nonetheless, was the opposite case to what could be seen regarding the use of standardized tests in order to assess the developed competences, throughout the

experiences, as most instruments, were of an ad-hoc design, including properly validated and designed tests ($n = 5$; 27.78%), and ad-hoc rubrics and other kinds of exams ($n = 6$; 33.33%). It is worth noting, however, that some instruments, though initially externally validated, were adapted and modified regarding their usability in the reviewed experiences ($n = 2$; 11.11%). Finally, the implemented standardized test that were used in the accepted studies include the Bareka test, the Test of visual blocks and robotics (TVBR), Three-Dimensions of Students Attitude Towards Science (TDSAS), Escala de Actitud hacia las Matemáticas [Attitude towards Mathematics Scale] (EAM), and Matematikprofilen [Mathematic Profile].

3.4 What didactic aspects, including strategies, resources and activities were implemented during the conduction of the studied programs?

In order to present the characteristics of each program along with their most prominent activities and strategies, Table 4 summarizes the design bases of the interventions reviewed as part of the final study sample.

In observance of these results, it is quite worth noting that Mathematics seems to be the most frequently addressed area in the reviewed studies ($n = 10$), followed by Technology ($n = 6$) and Science ($n = 4$), while quite distant from Engineering ($n = 3$). A diagram showcasing the connection between these elements can be seen in Figure 5.

3.5 What are the reported results of the addressed experiences in relation to the development of STEM competences through ER-based interventions?

To guarantee a non-biased visualization of the retrieved results of the selected ER-based STEM interventions a meta-analysis using the Standardized Mean Difference (SMD) between the control and experimental groups as the outcome measure.

3.5.1 Assessment of publication bias and detection of potential outliers

Given that most studies, as previously stated, implemented different evaluation procedures, most of them of an *ad-hoc* nature, a Random-Effects model was used in order to conduct a heterogeneity analysis on the results retrieved from the final study sample that was included in the meta-analysis. Provided that six different null hypotheses were to be tested in the present epigraph, a Bonferroni-corrected two-sided significance value of $\alpha = .008$ was established, in order to avoid committing Type I errors in the present work.

As shown in Table 5, including the results of the applied Q-test (Cochran, 1954) and related statistics, given that the Tau² value returned positive results, it can be affirmed that a certain degree of heterogeneity is present within the study sample. Nevertheless, it is worth noting that the Q statistic retrieved positive yet relatively low values, which, although effectively points out at the existence of heterogeneity between the introduced registers, may be influenced by the relatively low number of registers ($k = 18$, coming from nine different publications) that were addressed in this meta-analysis, therefore leaving the Q statistic with relatively low statistical power to establish such heterogeneity.

Regarding the origin of the existing heterogeneity, the I² statistic shows that 70.28% of it is due to the naturally existing heterogeneity between the included studies. There was no need to calculate the value of the R² statistic given that no mediators were considered within this meta-analysis model. Consequently, the resulting 28.72% of study

heterogeneity could be simply attributed to chance, however, it is worth noting that the studied effect sizes measure different competencies included within the STEM framework, which could explain why such a high percentage of the existing differences between studies cannot be straight-away explained by following different experimental conditions or methodological design across retrieved registers.

These conclusions are backed up by a value higher than one for the H^2 statistic, which confirms the absence of perfect homogeneity between the included effect sizes, as well as a value of Tau closer to zero than to one or minus one, therefore not showing any trace of strong correlation between the presented results.

Once the registers included in the conducted meta-analysis were deemed to present significantly different effect sizes, i.e. results, an evaluation of potential outliers can be conducted within the established model. In order to do so, studentized residuals and Cook's distances were the residual-based measures that were chosen as main parameters of reference. Every study that was reported to surpass specifically established thresholds, these being higher than the $100 \times (1 - .05 / (2 \times k))$ th percentile of a normal distribution, being k the number of analyzed registers, for studentized residuals, and the median plus six times the interquartile range for Cook's distances, would be established as potential outliers. No registers were shown to return studentized residuals larger than ± 2.9913 which, along with the fact that studying Cook's distances did not highlight any register as overly influential, leads to affirming that no outliers were present in the model.

Finally, regarding the asymmetry of the funnel plot established based on the SMD and SE of each register, both Begg and Mazumdar (1994) Rank Correlation test ($\tau = -0.124$; $p = 0.501$) and Egger's regression test (Egger et al., 1997) (Intercept = -1.124 ; $p = 0.261$) were conducted, both pointing out at the overall symmetry of the established funnel plot as they retrieved non-significant results, and therefore the absence of publication bias in the present study sample, as visually appreciable in Figure 6. This is further supported by the tolerance value obtained through Rosenthal's Fail-Safe N, returning a value of $N = 572$ ($p = < .001$), which surpasses the recommended threshold of $5k + 10$ (Rosenthal, 1979), equalling 90 in this study. As a result, there was no need to implement the trim and fill method of solving publication bias in regard to the final study sample.

3.5.2 Outcomes derived from the included registers

Proceeding to study the predicted true outcomes of the selected registers, establishing a Confidence Interval (CI) of 95% given the reported existing heterogeneity, it can be affirmed, as shown in Figure 2, that most effect size, around an 83% of the final register sample, estimates were of a positive character. Despite this, it is worth mentioning that there were relevant differences regarding the nature of the reported effect sizes, as the lowest one, established in Ferrada et al. (2023), is $-.6264$, while the highest one, 1.4009 , can be traced back to the study developed by Chiazzese et al. (2019).

In order to fully grasp the actual effects lying behind the introduction of ER in STEM intervention programs, every effect size related to the subject matter was included in the present meta-analysis, which results in certain studies being addressed more than once in the previously mentioned Figure 7.

As observed in Table 6, the estimated pooled effect size of all the included registers, using SMD as outcome measure, was $.535$ ($SE = .104$; CI $.3314$ to $.7393$) which, given a

significant deviance from zero ($z = 5.1453$; $p < .001$). It is, however, worth noting that the prediction interval established regarding true outcomes (CI: $-.1814$ to 1.2521) points out at the possibility of potential negative true outcomes within the contemplated register sample, despite the positive nature of the average outcome as previously addressed. Given that the pooled effect size of the register sample returned a Cohen's d value of $.54$ (CI: $.33$ to $.74$), therefore, the implementation of ER in the development of STEM-related competences returns a medium, positive effect (Chen et al., 2010).

Regarding the validity of the hereby presented results, the conducted meta-analysis, based on $n = 18$ reported effect sizes extracted from the included studies, aligns with the study number standards established by Higgins and Green (2008), who indicate a minimum of ten works for a meta-analysis approach to be deemed rigorous and potentially representative of the target study population. Similarly, the evaluation of funnel plot asymmetry was developed following the recommendations pointed out in Sterne et al.'s (2011) work, who state that to properly determine the existence of publication bias at least ten registers should be addressed in the overall meta-analysis.

The conduction of the aforementioned forest plot, and consequent determination of the pooled effect size of the addressed final study sample aligns with Jackson and Turner's (2017) general quality guidelines when utilizing a Random-Effects Model approach in order to establish a prediction interval for the true effect size measure of the sample, i.e. inclusion of at least five reported effect sizes using the same measure. It is, however, worth noting that this study additionally complies with the requirements highlighted by Valentine et al. (2010) regarding the mere conception of the meta-analytical approach to evidence assessment and interpretation, which pinpoints the necessary number of included studies at a minimum of two.

Finally, and in order to fully make sure that the presented analysis holds sufficient statistical power in order to properly and meticulously answer the previously established research questions, a meta-analytical statistical power test was developed using the tool available at Quintana and Tiebel (2018), based on previously published work by its same authors (Quintana, 2017). Taking into consideration that the present study shows a high level of heterogeneity, i.e. $I^2 > 50\%$, as determined by West et al. (2010), the conducted meta-analysis therefore has a statistical power of $.9996$ at two sided $\alpha = .05$ level of significance, which allows the established findings and conclusions to be considered of relevance and significance.

4 Discussion

It can be affirmed that the publishing tendency in the field, though rising during the last few years, has seen a relevant hiatus since its birth as a research field within the educational scientific world, showing variate publishing rates both in academic events and formal research articles. Within the STEM competence framework, Mathematics, along with Technology, are the most frequently addressed subject areas, in detriment of further strengthening both Science and Engineering. Nevertheless, it was still possible to configure a diverse research sample of interest including both male and female students and representatives of every Primary Education grade, specially focusing on the latter years within the stage. Interestingly enough, it appears that most didactic proposals are either directly designed or adapted by their own conductors, a tendency that has been seen to affect even the use of different evaluation instruments and resources that, even if well-

accounted for their quality and relevance, are not observed frequently in multiple educational settings. Finally, an overall positive intervention result, significant yet not extensive, derived from these experiences was reported.

4.1 Summary of main findings

Comparing the results established in this research paper with the existing literature, starting with giving meaning to the data linked to RQ1, the most relevant difference regarding previously established results can be found, without a doubt, in the rising publishing tendency in regard to the introduction of ER in STEM-related interventions. As it has been pointed out, both an existing hiatus between the years 2014 and 2018, as well as a lack of robust sign of improvement during the most recent years apart from non-significantly higher numbers, which can be further backed up by the fact that no study published in the present year was accepted in the review, contradict the findings reported in the review conducted by Darmawansah et al. (2023) and Sapounidis et al. (2024) which, simultaneously, appears to negate the apparent irreplaceable character of ER established by Garzón et al. (2021).

Although there is no apparent explanation behind this severe difference between recently conducted reviews, as it was stated, the fact that the aforementioned works focused both on Primary and Early Childhood Education can be of great relevance regarding the matter. As it was stated by Kalaitzidou and Pachidis (2023), simple floor robots such as the *BeeBot*, *mBot* or *Ozobot*, tend to be especially common in Preschool and not recommendable for older learners.

The fact that all of these appeared in the reviewed experiences, not being only limited to first graders, may uncover a deep need for further training aimed at Primary Education teachers, as reported by Seckel et al. (2022), that capacitates them to use robots adequate for their learners' age, and therefore fomenting the implementation of ER in the stage. Nevertheless, another potential explanation could be found in how most educators implement *ad-hoc* intervention programs and even build robotics on their own, without depending on buying external prefabricated products that may result in additional expenses either for educators or their institutions, which would directly contradict Moreno-Palma et al.'s (2024) hypotheses.

It is, however, worth noting that the geographical international distribution mostly presented by Tselegkaridis and Sapounidis (2022) mostly aligns with the one derived from the final study sample of the present research work, with the exception of appearance of Asian learning contexts, mainly Taiwan, as well as the retrieval of ER reports located in northern European countries. Still, the majority of experiences has been developed both in southern Europe and the United States, as indicated by the aforementioned authors.

Moving on to the information associated with RQ2, it has been found that, in Primary Education, the majority of published reported ER experiences, at least within the STEM competence framework, have been developed in the later grades of the stage, third cycle, which further supports Ortuño and Serrano's (2024) findings while contradicting the results reported by Tselegkaridis and Sapounidis (2022). It is more than likely that one of the reasons behind this age barrier lies beneath the special learning benefit fostered by ER when applied to content and skills that have a higher cognitive workload and complexity, as stated by Alonso-García et al. (2024). Therefore, teachers in lower grades

may feel reticent to use robotics at younger ages due to the apparent complexity behind their control, management and maintenance, thus backing up Bravo et al.'s (2021) ideas.

Despite the fact that some studies did not specifically report participant learners' sex, the information obtained through analyzing the ones that do so proves that men and women tend to participate with equal interest and enjoyment in ER-based STEM experiences, which further reinforces the ideas presented in Romero-Rodríguez et al. (2023) and Jung and Lee (2022) about how women can be subject to characteristic attitudinal changes towards STEM when working with robotics in educational environments.

Regarding RQ3, it has been observed that most educators and researchers opt for establishing educational contexts in which, mostly, the participant learner population is pre-chosen and specifically configured in order to provide students with optimal learning conditions within the designed intervention programs. Although this approach, as established by Avsec et al. (2016) may be of great benefit, as it further favors attitudinal and emotional changes within learners derived from the educational experiences, it may be quite detrimental when it comes to purely comparing the learning result between two independent groups in order to actually retrieve data of quality and rigor in relation to the usefulness of ER in stages such as Early Childhood Education and Primary Education (Liu et al., 2023).

In relation to RQ4, being this the most relevant item of the present research paper regarding curriculum design and management, ER programs aiming to develop STEM competencies appear to be subject to both longer and shorter intervention duration, therefore supporting Ching and Hsu's (2024) claims, although it can be said that long interventions are more likely to extend themselves in time than short interventions to end up being too concentrated or reduced, which can be a factor of relevance when designing similar didactic plannings with younger learners due to their limited attention spans.

Another point of interest to be addressed within this RQ is the high presence of programming as a means to ER instead of simply writing lines of code without further or real application. As a consequence, proving Chatzopoulos et al. (2022) and Qu et al.'s (2022) claims about the educational use of ER as analogical forms of the abstract programming world, the learn by making approach, presented as innovative and groundbreaking by Lorenzo et al. (2024), has ended up being one of the most frequent and utilized ways in which ER is introduced in the Primary Education classroom.

Conversely, using robots as prefabricated social companions, as explored by Lorenzo et al. (2024) and Evripidou et al. (2020), although present at the study sample, does not hold a significant position within current ER approaches. Similarly, humanoid robots have barely been used in the reviewed interventions, which can be traced back to how most of them were developed in later years during the stage, while robots with expressive and emotional capabilities are seen as more appropriate for earlier grades (Istencic et al., 2021) and generally disapproved by educators (Zhang et al., 2023).

Finally, the information provided in RQ5 shows that ER actually has an intermediate beneficial effect on the development of STEM competences which, although in line with the conclusions established by Palomino et al. (2022), positions itself against Coşkun and Filiz's (2023) claims related to the vast potential of ER to foment certain behaviors and attitudes in learners, as it was attitude measures the ones that tended to be either negative

or non-influential when introduced as part of the conducted meta-analysis. This, although potentially due to a plethora of factors, could be explained by inadequate usage of ER in classrooms that, following Zhao et al. (2024), may have led children to prioritize its playful aspect over learning and attention.

4.2 Limitations and future research lines

This study, naturally, did not go out without limitations. Firstly, given that it was focused on a specific educational stage, some works were eventually discarded due to having taken student samples around the age limits that were initially established in the criteria for the present review, which could have potentially altered the presented results. Additionally, a lack of consensus about the belonging of certain content and skills to the field of STEM competencies may have hindered the potential retrieval of studies of interest due not having identified its publication with the proper contextual background and/or keywords, similarly to how CT is usually defined as a competence linked to the STEM framework when it is purely interdisciplinary. Finally, some studies not reporting the exact outcome measure of their student sample divided by sex and/or gender has notably limited the results available to the present review, as having meta-analyzed the effect sizes of the ER interventions within the STEM field in relation to empowering future women aiming at their integration within a traditionally considered male-exclusive environment could have resulted in groundbreaking progress towards inclusive education.

As a consequence of all these, future research lines pointing out at further investigating the potential effects of ER not only in regard to STEM competences, but to other kinds of curricular aspects may be of urgent interest, as these advancements are, in our days, in a critical phase of prelaminal acceptance within classrooms, awaiting further validation and support from researchers who, analyzing the existing practices, are able to determine potential flaws and/or benefits of the approach at hand. Therefore, deeper research regarding the implementation of ER both in Primary Education as well as other educational stages is of urgent need in order to establish frameworks of reference able to aid curriculum designers and educators alike in their respective labors.

4.3 Conclusions

The conduction of this systematic review and meta-analysis has shown that ER is an educational approach with width baggage in the Primary Education stage, as numerous experiences have been able to introduce a great deal of interdisciplinary contents of interest through active methodologies in which learners, under their innate curiosity and spontaneity, act as true software engineers and mechanics, building all kinds of robots. Additionally, this study has proven how, in situations of lack of formation and/or training towards the use and implementation of any given resource, teachers in this educational stage are able to make these unprecedented tools their own, deconstructing their bases and fundamentals in order to transform what appears to be an amalgam of theoretical aspects and skills into true and unique learning experiences for their pupils.

The results retrieved during the present literature review determined the publishing tendency regarding publication type and date of the final study sample, deepened into the characteristics of the target student sample as well as their distribution throughout Primary Education, while summing up the main research methodological aspects that were present in the accepted interventions, including statistical and standardized tests among others. Finally, both the conducted narrative review and the developed meta-

analysis were able to briefly establish some of the most common ER practices applied to STEM educational proposals, proceeding with a critical analysis of their actual outcomes, determining an overall moderate beneficial effect. Thus, this paper was able to answer every posed research question and, as a consequence, fulfil its main goal.

Without a doubt, ER is one of the most interesting, innovative and attractive approaches to technology-mediated education in our days, however and as such, it suffers from the very same principle as every other educational resource emerging from technological advancement: misuse due to lack of proper training. Although the innate value of ad-hoc approaches cannot possibly be denied, as educators are the individuals who best know their learners and their unique interests, like and traits, the vast heterogeneity of results linked to chance, as well as the absence of true standardized tests and intervention programs irrevocably call for some unification within the field, in order to tackle potential barriers that may hinder the true benefits of these cabled companions.

References

- Alonso-García, S., Rodríguez, A. -V., Ramos, M., & Victoria-Maldonado, J. -J. (2024). Enhancing computational thinking in early childhood education with educational robotics: A meta-analysis. *Heliyon*, 10(13), e33249. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33249>
- Andrée, M., Anderhag, P., Björnhammer, S., & Salomonsson, N. (2024). Aesthetic experience in technology education – the role of aesthetics for learning in lower secondary school robotic programming. *Frontiers in Education*, 9, 1291070. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1291070>
- Avsec, S., Rihtarič, D., & Kocijancic, S. (2016). The Impact of Robotics-Enhanced Approach on Students' Satisfaction in Open Learning Environment. *International Journal of Engineering Education*, 32(2A), 804-817.
- Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 50(4), 1088-1101. <https://doi.org/10.2307/2533446>
- Bento, A. L., Nunes, J. M., Bernades, R. J., & Lopes, T. (2024). Meaningful learning in mathematics: a study on motivation for learning and development of computational thinking using educational robotics. *Educational Media International*, 61(1-2), 4-15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2024.2357472>
- Bers, M. U. (2021). Coding, robotics and socio-emotional learning: developing a palette of virtues. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*, 62, 309–322. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.90537>
- Bravo, F. A., Hurtado, J. A., & González, E. (2021). Using Robots with Storytelling and Drama Activities in Science Education. *Education Sciences*, 11(7), 329. <https://doi.org/10.3390/educsci11070329>
- Caballero-González, Y. A., & García-Valcárcel, A. (2020). Learning with Robotics in Primary Education? A Means of Stimulating Computational Thinking. *Education in the Knowledge Society*, 21, 10. <https://doi.org/10.14201/eks.21443>
- Casad, B., & Jawaharlal, M. (June 10-13, 2012). *Learning through guided discovery: an engaging approach to k-12 stem education [Congress Paper]*. 2012 ASEE Annual Conference & Exposition, San Antonio, Texas, United States of America.
- Chatzopoulos, A., Kalogiannakis, M., Papadakis, S., & Papoutsidakis, M. (2022). A Novel, Modular Robot for Educational Robotics Developed Using Action

- Research Evaluated on Technology Acceptance Model. *Education Sciences*, 12(4), 274. <https://doi.org/10.3390/educsci12040274>
- Chen, H., Cohen, P., & Chen, S. (2010) How big is a big odds ratio? Interpreting the magnitudes of odds ratios in epidemiological studies. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 39, 860-864. <https://doi.org/10.1080/03610911003650383>
- Chiazzese, G., Arrigo, M., Chifari, A., Lonati, V., & Tosto, C. (2019). Educational Robotics in Primary School: Measuring the Development of Computational Thinking Skills with the Bebras Tasks. *Informatics*, 6(4), 43. <https://doi.org/10.3390/informatics6040043>
- Ching, Y. -H., & Hsu, Y. -C. (2024). Educational Robotics for Developing Computational Thinking in Young Learners: A Systematic Review. *TechTrends*, 68(3), 423-434. <https://doi.org/10.1007/s11528-023-00841-1>
- Chou, P. -N. (2018). Skill Development and Knowledge Acquisition Cultivated by Maker Education: Evidence from Arduino-based Educational Robotics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(10), 1-15. <https://doi.org/10.29333/ejmste/93483>
- Cochran, W. G. (1954) The Combination of Estimates from Different Experiments. *Biometrics*, 10, 101-129. <https://doi.org/10.2307/3001666>
- Coşkun, T. K., & Filiz, O. (2023). The impact of twenty-first century skills on university students' robotic achievements. *Education and Information Technologies*, 28(12), 16255-16283. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11850-1>
- Darmawansah, D., Hwang, G. -J., Chen, M. -R. A., & Liang, J. -C. (2023). Trends and research foci of robotics-based STEM education: A systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3>
- Egger, M. G., Smith, M. D., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*, 315, 629-634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Evripidou, S., Georgiou, K., Doitsidis, L., Amanatiadis, A. A., Zinonos, Z., & Chatzichristofis, S. A. (2020). Educational Robotics: Platforms, Competitions and Expected Learning Outcomes. *IEEE Access*, 8, 219534-219562. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042555>
- Ferrada, C., Carrillo-Rosúa, J., Díaz-Levicoy, D., & Silva-Díaz, F. (2023). Evaluation of a sustainable educational proposal with a STEM approach to improve attitudes towards science or mathematics in 5th and 6th grade primary school students in Spain. *Investigacoes em Ensino de Ciencias*, 28(1), 111-126. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2023v28n1p111>
- Finsterbach, C., Pedersen, P. L., & Tvedebrink, T. (2023). Integrating computational thinking to enhance students' mathematical understanding. *Journal of Pedagogical Research*, 7(2), 127-142. <https://doi.org/10.33902/JPR.202318531>
- Frederiksen, M. R., Stoy, K., Matarić, M. (24-27 June, 2024). *Toward Anxiety-Reducing Pocket Robots for Children* [Paper Presentation]. 21st International Conference on Ubiquitous Robots, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1109/UR61395.2024.10597525>
- Fung, K. Y., Lee, L. H., Sin, K. F., Song, S., & Qu, H. (2024). Humanoid robot-empowered language learning based on self-determination theory. *Education and Information Technologies*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12570-w>

- Garzón, E., Sola, T., Trujillo, J. M., Rodríguez, A. M. (2021). Competencia digital docente en educación de adultos: un estudio en un contexto español [Digital competence for educators in adult education: a study in the Spanish context]. *PIXEL-BIT: Revista de Medios y Educación*, 62, 209-234. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.89510>
- Higgins, J., & Green, S. (2008). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Wiley-Blackwell.
- Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M. -P., Griffiths, F., Nicolau, B., O’Cathain, A., Rousseau, M. -C., Vedel, I., & Pluye, P. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for Information*, 34(4), 285-291. <https://doi.org/10.3233/EFI-180221>
- Huang, K., Yang, T., & Cheng, C. (2013). Engineering to See and Move: Teaching Computer Programming with Flowcharts vs. LEGO Robots. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 8(4), 23-26. <https://doi.org/10.3991/ijet.v8i4.2943>
- Hunter, J. E., Jensen, J. L., & Rodgers, R. (2014). The Control Group and Meta-Analysis. *Journal of Methods and Measurement in the Social Sciences*, 5(1), 3-21.
- Istemic, A., Bratko, I., & Rosanda, V. (2021). Are pre-service teachers disinclined to utilise embodied humanoid social robots in the classroom? *British Journal of Educational Technology*, 52(6), 2340-2358. <https://doi.org/10.1111/bjet.13144>
- Jackson, D., & Turner, R. (2017). Power analysis for random-effects meta-analysis. *Research synthesis methods*, 8. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1240>
- Jung, S. E., & Lee, K. (2022). A girl’s gendered engagement in designing and building robots. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(5), 2425-2444. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09705-2>
- Kalaitzidou, M., & Pachidis, T. P. (2023). Recent Robots in STEAM Education. *Education Sciences*, 13(3), 272. <https://doi.org/10.3390/educsci13030272>
- Konishi, S., Kuwata, M., Matsumoto, Y., Yoshikawa, Y., Takata, K., Haraguchi, H., Kudo, A., Ishiguro, H., & Kumazaki, H. (2024). Self-administered questionnaires enhance emotion estimation of individuals with autism spectrum disorders in a robotic interview setting. *Frontiers in Psychiatry*, 15, 1249000. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1249000>
- Krūmiņš, D., Schumann, S., Vunder, V., Pöllüäär, R., Laht, K., Raudmäe, R., Aabloo, A., & Kruusamäe, K. (2024). Open Remote Web Lab for Learning Robotics and ROS With Physical and Simulated Robots in an Authentic Developer Environment. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1325-1338. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3381858>
- Küçükaydın, M. A., Çite, H., & Ulum, H. (2024). Modelling the relationships between STEM learning attitude, computational thinking, and 21st century skills in primary school. *Education and Information Technologies*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12492-7>
- Leoste, J., Kikkas, K., Tammemäe, K., Rebane, M., Laugasson, E., & Hakk, K. (2022). Telepresence Robots in Higher Education – The Current State of Research. In W. Lopuschitz, M. Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh, & D. Obdržálek (eds.), *Robotics in Education* (pp. 124-134). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12848-6>
- Liu, L., Oh, H., Zhang, L., Fang, T., Huang, M., Hao, Y., Wang, J., Yao, C., & Ying, F. (2023). A study of children’s learning and play using an underwater robot

- construction kit. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(2), 317-336. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09720-3>
- Lorenzo, G., Lorenzo-Lledó, A., & Gilabert-Cerdá, A. (2024). Application of Robotics in Autistic Students: A Pilot Study on Attention in Communication and Social Interaction. *Technology, Knowledge and Learning*, 29(2), 757-780. <https://doi.org/10.1007/s10758-023-09718-x>
- Martínez, A., De la Cruz-Campos, J. -C., Fernández, J., & Victoria-Maldonado, J. -J. (2023a). El videojuego en las aulas de Educación Primaria. El miedo a lo desconocido [Videogames in the Primary Education classroom: fearing the unknown]. In M. P. Cáceres, E. Schmitt, P. J. García, & A. Fuentes (coords.), *Experiencias basadas en evidencias en la formación y práctica docente: perspectivas de investigación para la innovación* (pp. 33-38). Dykinson.
- Martínez, A., Victoria-Maldonado, J. -J., & Alcalá, M. J. (2023b). Avances teóricos de la robótica en Educación Infantil [Theoretical advancements of robotics in Early Childhood Education]. In J. M. Trujillo, P. J. García, T. Pertínez, & B. Berral (coords.), *Transformando la educación a través de la tecnología: innovación, investigación y aprendizaje digital* (pp. 205-211). Dykinson.
- Merino-Armero, J., González-Calero, J., Cózar-Gutiérrez, R., & Del Olmo-Muñoz, J. (2022). Unplugged Activities in Cross-Curricular Teaching: Effect on Sixth Graders' Computational Thinking and Learning Outcomes. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(2), 13. <https://doi.org/10.3390/mti6020013>
- Meza, J., Ramírez, A., & Gardea, R. (2012). Laboratorio móvil tecno educativo: cursos de robótica de bajo costo para la alfabetización científica y tecnológica [Mobile techno educational laboratory: offering low-cost robotic courses in favor of scientific and technological alphabetization]. *Education in the Knowledge Society*, 13(3), 145-161. <https://doi.org/10.14201/eks.9135>
- Misirli, A., & Komis, V. (2023). Computational thinking in early childhood education: The impact of programming a tangible robot on developing debugging knowledge. *Early Childhood Research Quarterly*, 65, 139-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2023.05.014>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moreno-Palma, N., Hinojo-Lucena, F. -J., Romero-Rodríguez, J. -M., & Cáceres-Reche, M. -P. (2024). Effectiveness of Problem-Based Learning in the Unplugged Computational Thinking of University Students. *Education Sciences*, 14(7), 693. <https://doi.org/10.3390/educsci14070693>
- Ortiz, A (June 26-29, 2011). *Fifth grade students' understanding of ratio and proportion in an engineering robotics program [Congress Paper]*. 2011 ASEE Annual Conference & Exposition, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Ortuño, G., & Serrano, J. L. (2024). Implementación y formación del profesorado de educación primaria en pensamiento computacional: una revisión sistemática [Implementation and training of primary education teachers in computational thinking: a systematic review]. *RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1), 255-287. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37572>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for

- reporting systematic reviews. *PLoS Medicine*, 18(3), e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>
- Palomino, J. M., Cáceres-Reche, M. P., Hinojo, F. -J., & Aznar, I. (2022). Hacia un liderazgo pedagógico en la Educación Superior [Towards pedagogical leadership in Higher Education]. In F. -J. Hinojo, O. C. Marichal, M. P. Cáceres-Reche, & C. A. Barrientos (pp. 65-78), *Aportes de investigación derivados de la Red Iberoamericana de Investigación en Liderazgo y Prácticas Educativas (RILPE)*. Dykinson.
- Papadakis, S., Tzagkaraki, E., & Kalogiannakis, M. (2024). *Teaching Electricity Topics with Project-Based Learning and Physical Computing to Enhance Primary School Students in Science Education. An Educational Experiment with BBC Micro:bit Board*. In M. E. Auer, U. R. Cukierman, E. Vendrell, & E. Tovar (eds.), *Towards a Hybrid, Flexible and Socially Engaged Higher Education Proceedings of the 26th International Conference on Interactive Collaborative Learning - Volume 2* (pp. 320-331). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52667-1_31
- Papert, S. (1993). The children's machine. *Technology Review*, 96(5), 28-36.
- Ponce, P., Molina, A., Caudana, E., Reyes, G., & Parra, N. (2019). Improving education in developing countries using robotic platforms. *International Journal of Interactive Design and Manufacturing*, 13(4), 1401-1422. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00576-5>
- Pourfannan, H., Mahzoon, H., Yoshikawa, Y., & Ishiguro, H. (2024). Sound masking by a low-pitch speech-shaped noise improves a social robot's talk in noisy environments. *Frontiers in Robotics and AI*, 10, 1205209. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1205209>
- Qu, J. R., & Fok, P. K. (2022). Cultivating students' computational thinking through student-robot interactions in robotics education. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(4), 1983-2002. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09677-3>
- Quintana, D. (July 29, 2017). *How to calculate statistical power for your meta-analysis*. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/how-to-calculate-statistical-power-for-your-meta-analysis-e108ee586ae8>
- Quintana, D., & Tiebel, J. (2018). *Meta Power Calculator* (version 1.0) [Software]. ShinyApps. <https://jtiebel.shinyapps.io/MetaPowerCalculator>
- Raycheva, N. (2024). Concept on stem education in accordance with Bulgarian curriculum content of secondary school. *Innovative Educational Technologies*, 96(2), 7-15. <https://doi.org/10.53656/ped2024-2s.01>
- Romero-Rodríguez, J. -M. De la Cruz-Campos, J. -C., Ramos-Navas-Parejo, M., & Martínez-Domingo, J. A. (2023). Robótica educativa para el desarrollo de la competencia STEM en maestras en formación [Educational robotics for the development of STEM competencies in pre-service female teachers]. *Bordón: Revista de Pedagogía*, 75(4), 75-92. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2023.97174>
- Rosenthal, R. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86(3), 638-641. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.3.638>
- Sáez-López, J., Otero, R., & García-Cervigón, S. (2021). Introducing robotics and block programming in elementary education. *RIED- Revista Iberoamericana De Educacion a Distancia*, 24(1), 95-113. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27649>
- Sáez-López, J., Sevillano-García, M., & Vazquez-Cano, E. (2019). The effect of programming on primary school students' mathematical and scientific

- understanding: Educational use of mBot. *Etr&D: Educational Technology Research and Development*, 67(6), 1405-1425. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09648-5>
- Sapounidis, T., Tselegkaridis, S., & Stamovlasis, D. (2024). Educational robotics and STEM in primary education: A review and a meta-analysis. *Journal of Research on Technology in Education*, 56(4), 462-476. <https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2160394>
- Seckel, M. J., Vásquez, C., Samuel, M., & Breda, A. (2022). Errors of programming and ownership of the robot concept made by trainee kindergarten teachers during an induction training. *Education and Information Technologies*, 27(3), 2955-2975. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10708-8>
- Smakman, M., Smit, K., Lan, E., Fermin, T., van Lagen, J., Maas, J., van Vliet, D., & Leewis, S. (2021). Social Robots For Reducing Mathematics Hiatuses In Primary Education, An Exploratory Field Study. In A. Pucihar, M. Kljajić, R. Bons, H. Sheombara, & D. Vidmar, *34th Bled eConference Digital Support from Crisis to Progressive Change – Conference Proceedings* (pp. 657-674). University of Maribor. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-485-9.46>
- Sterne, J. A. C., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P. A., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., Carpenter, J., Rücker, G., Harbord, R. M., Schmid, C. H., Tetzlaff, J., Deeks, J. J., Peters, J., Macaskill, P., Schwarzer, G., Duval, S., Altman, D. G., Moher, D., & Higgins, J. P. T. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*, 343, d4002. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4002>
- Sun, L., & Liu, J. (2024). A gender differential analysis of educational robots' effects on primary teachers' computational thinking: Mediating effect of programming attitudes. *Education and Information Technologies*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12655-6>
- Sung, W., Ahn, J., & Black, J. B. (2017). Introducing Computational Thinking to Young Learners: Practicing Computational Perspectives Through Embodiment in Mathematics Education. *Technology, Knowledge and Learning*, 22, 443-463. <https://doi.org/10.1007/s10758-017-9328-x>
- Tselegkaridis, S., & Sapounidis, T. (2022). Exploring the Features of Educational Robotics and STEM Research in Primary Education: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 12(5), 305. <https://doi.org/10.3390/educsci12050305>
- UNESCO Institute for Statistics. (2012). *International Standard Classification of Education: ISCED 2011*. UNESCO Publications.
- Valentine, J. C., Pigott, T. D., & Rothstein, H. R. (2010). How Many Studies Do You Need?: A Primer on Statistical Power for Meta-Analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 35(2), 215-247. <https://doi.org/10.3102/1076998609346961>
- Vitello, S., Greatorex, J., & Shaw, S. (2021). *What is competence? A shared interpretation of competence to support teaching, learning and assessment*. Cambridge University Press & Assessment. <https://www.cambridgeassessment.org.uk/Images/645254-what-is-competence-a-shared-interpretation-of-competence-to-support-teaching-learning-and-assessment.pdf>
- Wang, X., Chan, K. K., Li, Q., & Leung, S. O. (2024). Do 3–8 Years Old Children Benefit From Computational Thinking Development? A Meta-Analysis. *Journal of*

- West, S. L., Gartlehner, G., Mansfield, A. J., Poole, C., Tant, E., Lenfestey, N., Lux, L. J., Amoozegar, J., Morton, S. C., Carey, T. C., Viswanathan, M., & Lohr, K. N. (2010). *Comparative Effectiveness Review Methods: Clinical Heterogeneity* (Report n° 10-EHC070-EF). US Agency for Healthcare Research and Quality. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21433337/>
- Xie, Y., Liang, C., Zhou, P., & Zhu, J. (2024). When should chatbots express humor? Exploring different influence mechanisms of humor on service satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 156, 108238. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108238>
- Yang, W. (2024). Coding With Robots or Tablets? Effects of Technology-Enhanced Embodied Learning on Preschoolers' Computational Thinking and Social-Emotional Competence. *Journal of Educational Computing Research*, 62(4), 938-960. <https://doi.org/10.1177/07356331241226459>
- Zhang, X., Chen, Y., Bao, Y., & Hu, L. (2023). Robot illustrated: Exploring elementary students' perceptions of robots via the draw-a-robot test. *Journal of Research on Technology in Education*, in press. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2232058>
- Zhao, J. -H., Yang, Q. -F., Lian, L. -W., & Wu, X. -Y. (2024). Impact of pre-knowledge and engagement in robot-supported collaborative learning through using the ICAPB model. *Computers & Education*, 217, 105069. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105069>

Data Availability Statement

The original contributions presented in the study are included in the article/supplementary material, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Author Contributions

I. T. -G: Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition, Methodology, Project administration, Supervision, Writing – review & editing. F. -J. H. -L.: Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing - original draft, Writing – review & editing. J. -M. R. -R.: Conceptualization, Investigation, Supervision, Visualization, Writing - original draft. A. M. -M.: Conceptualization, Investigation, Supervision, Visualization, Writing – review & editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

Grant C - SEJ - 009 - UGR23 funded by Consejería de Universidad, Investigación e Innovación and by ERDF Andalusia Program 2021-2027.

Conflict of Interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Ethical statement

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of the University of Granada (registration number: 3168/CEIH/2023).

Figure captions

Figure 1. Flowchart illustrating the filtering process. Note. Authors' own work, based on Page et al. (2021).

Figure 2. Publication of selected studies throughout the years.

Figure 3. Geographical distribution of the final study sample.

Figure 4. Age and grade distribution of the final participant sample.

Figure 5. Connections between the reviewed methodological aspects. Note: SCI = Science; TEC = Technology; ENG = Engineering; MAT = Mathematics; LM = Learn by Making; PBL: Project-Based Learning; P&P = Pen and Paper activities; LD = Learn by Doing; AHR = Ad-hoc Robots; MR = Modular Robots; PP = Programming Platforms; FR = Floor Robots.

Figure 6. Funnel plot including the $k = 18$ final study sample registers.

Figure 7. Forest plot including the $k = 18$ final study sample registers. SCI = Science; TEC = Technology; ENG = Engineering; MAT = Mathematics; LR = Learning Result; AT = Attitude; CT = Computational Thinking; S1/S2 = Sample 1/Sample 2; SE = Sequencing; PA = Pattern recognition; DE = Debugging; PR = Programming.

Tables and their respective captions

Table 1. Inclusion and exclusion criteria

Inclusion Criteria (IN)	Exclusion Criteria (EX)
IN1. Language must be either English or Spanish	EX1: Language different from English and Spanish
IN2. Empirical, quantitative or mixed-methods studies	EX2. Empirical qualitative or theoretical studies
IN3. Sample must be students between six and twelve years old, both included	EX3. Sample including teachers, younger than six or older than twelve years old, or sample of unspecified age
IN4. ER experiences	EX4. Experiences either not implementing ER or in which ER is not the main approach
IN5. Experiences aimed at developing STEM competences	EX5. Experiences not aiming to develop STEM competencies, or in which doing so is not the main objective
IN6. Studies must be based on intervention programs	EX6. Studies are not based on programs, or the intervention of the program is not specified
IN7. Studies must include comparable control and experimental groups based on the introduction, or not, of ER	EX7. Studies either not including control groups, or in which both control and experimental group use ER
IN8. The study fulfills basic quality criteria	EX8. The study fails to fulfill basic quality criteria

Note. Authors' own work.

Table 2. Justification for each inclusion-exclusion criterion pair

Criteria		Reason for implementation
IN1	EX1	English and Spanish, as some of the most widely spoken languages worldwide, are essential languages when it comes to retrieving both the highest possible number of registers as well as results of the highest quality.
IN2	EX2	One of the research questions of the present study involves determining the results retrieved during the review through a meta-analysis, which necessarily requires quantitative data, deeming every study in which it is not the main outcome measure not fitting for inclusion.
IN3	EX3	Primary Education is an educational stage that usually starts “not below 5 years old nor above 7 years old [...] typically lasts six years” (UNESCO Institute for Statistics, 2012, p. 30). Therefore, in an attempt to configure a study sample of international relevance, the starting age will be considered six, as the exact middle point between five and seven, ending at twelve, with a difference of six years.
IN4	EX4	No study in which the final outcomes is not directly caused, mainly influenced or determined by the use of robotics with educational purposes is of interest for the present review.
IN5	EX5	No study in which the introduction of ER directly, or indirectly, relates to the development, or not, of STEM competences, understanding the ample width of the field as previously stated, is of interest for the present review.
IN6	EX6	According to the UNESCO Institute for Statistics (2012), a program is a preplanned intervention, ordered under a given methodological approach translated into certain didactic strategies and developing specific activities that is extended over a period of time. Therefore, only interventions lasting for more than two lessons, in order to leave at least a session between presentation and finalization, will be considered as programs.
IN7	EX7	A comparison group is fundamental in order to actually determine if the results of any given educational intervention actually derive from the resources, techniques, methodologies and/or strategies that were implemented (Hunter et al., 2014). Consequently, only studies in which the control group has followed a traditional, i.e. non-active receptive-expositive, methodological approach will be included in order to guarantee a proper comparison of treatment outcomes.
IN8	EX8	Preselected studies will undergo assessment under the <i>Mixed Methods Appraisal Tool</i> (Hong et al., 2018), one of the most commonly implemented interdisciplinary quality instruments in educational research. Studies obtaining a score of, at least, 4 out of 5, while answering the essential screening items, will be considered for review. Studies obtaining a perfect score, including full outcome measures, will be included in the meta-analysis

Note. Authors' own work.

Table 3. Results of the quality assessment process (IN8-EX8)

Work	Method	S1	S2	1	2	3	4	5	Included in
Caballero-González and García-Valcárcel (2020)	Mixed methods	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis
Casad and Jawaharlal (2012)	Quantitative randomized	non-Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis
Chiazzese et al. (2019)	Quantitative randomized	non-Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis

Chou (2018)	Quantitative randomized trials	control	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Literature review
Finsterbach et al. (2023)	Quantitative randomized	non-	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Literature review
Ferrada et al. (2023)	Quantitative randomized	non-	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis
Huang et al. (2013)	Quantitative randomized trials	control	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Literature review
Merino-Armero et al. (2022)	Quantitative randomized	non-	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis
Meza et al. (2012)	Quantitative randomized	non-	N	N	Y	Y	N	N	Y	Excluded
Ortiz (2011)	Quantitative randomized trials	control	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Literature review
Papadakis et al. (2024)	Quantitative randomized	non-	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Literature review
Sáez-López et al. (2021)	Quantitative randomized	non-	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis
Ponce et al. (2019)	Quantitative randomized trials	control	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Meta-analysis
Sáez-López et al. (2019)	Quantitative randomized	non-	N	N	CT	CT	N	N	Y	Excluded
Smakman et al. (2021)	Quantitative randomized	non-	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Literature review

Note. Authors' own work, based on the template and tool provided by Hong et al. (2018). S1 and S2 stand for the screening questions of the tool. C1, C2, C3, C4 and C5 refer to the applied criteria, varying based on the method of the referred works. Y = Yes; N = No; CT = Cannot Tell.

Table 4. Methodological summary of included experiences

Program	Duration in weeks	STEM	Resources	Procedure
Caballero-González and García-Valcárcel (2020) Ad-hoc program	10	MAT TEC	BeeBot	The second module focused on the use of the robotics resource at hand, dedicating two sessions to working on sequences and algorithmic thinking, two other sessions to developing abstraction-patterns, and a final two sessions were devoted to depuration. In every module, educational rugs designed to test potential programming sequences on the robot of choice were the main activity type.

Casad and Jawaharlal (2012)	25	MAT ENG	Ad-hoc-built robots	The first module lasting two weeks was based on bringing students closer to robot construction and basic connections between components. The second module lasted two weeks, revolving around designing, building and experimenting with a three-wheeled robot. The last module, lasting eleven weeks, involved learning about mechanical components and basic engineering aspects in order to build a robot to be presented in a competition. The program involved four sessions framed within a Project-Based Learning based on a cooperative group methodology in which a gradual approach to robotics and programming was followed. First, students were introduced to the robotic kits at hand and their various hardware parts, in order for them to build and program the resulting robots to solve various STEM-related challenges, such as representing the life cycle of a frog. The intervention can be divided into three different modules. The starter one, involving two weeks, focuses on teaching learners how to program robots using the desired platforms, including practices. The second one, lasting ten weeks, is based on learning how different components, effectors and actuators of robots look and act like, along with gradually building a robot using these resources. Finally, the last four weeks focus on controlling the robot and engaging in actual competitions with it. The intervention extended over two years, dedicating the first one to activities based on the functioning of the BeeBot in combination with some elemental Mathematics aspects, such as creating paths for the robot based on geometrical tiles. The second year implemented programming activities and sequences in order to develop robotic artifacts that could perform different basic actions, such as making out simple arithmetic.
Chiazzese et al. (2019)	4	MAT TEC	Lego Education WeDo 2.0 (and its platform)	
Chou (2018)	16	TEC ENG	Scratch, mBot, mBlock	
Finsterbach et al. (2023)	48	MAT	BeeBot, Scratch, Ozobot, Micro:bits, Microsoft MakeCode	

Ferrada et al. (2023) Ciudad Sostenible Granatensis- Robotics (CISOGRA)	12	MAT SCI	mBot, Scratch	In order to tackle several different activities related to sustainable development and mobility, students have to program the robotics resource to, among other actions, carry out specific routes through a prop recreation of the city where the program was conducted The first three weeks were dedicated to building a robot using the provided kit and programming it through a visual interface while the control group was devoted to learning programming only through flowcharts in a traditional manner. The next seven weeks were dedicated to programming a Logo robotic turtle, with no distinction between the control and experimental group The sessions revolved around addressing curricular aspects linked to Social Sciences, mainly the orographic properties of both Spain and Europe. Several activities aimed at developing Computational Thinking amongst the student group were introduced, using the idea of programming a spatial imaginary robot that had to do terrain mapping as the gimmick for the activities Experienced teachers assisted learners in understanding and implementing the concepts of ratio and proportion through the construction of LEGO-based robotic products throughout the sessions The intervention involved two different phases, including initial sessions in which learners were introduced to programming under a block-based approach, and a second phase that was based on implementing the sequential and control structures previously learned in order to build artifacts to listen to music and a mechanism able to move The experimental group developed the same didactic unit as the control group, however, learners were required to develop various activities related to the addressed content via block programming, whereas the control group did so in a traditional pen and pencil way
Huang et al. (2013) Ad-hoc program	10	TEC	LEGO Mindstorms NXT (and its platform), Logo	
Merino- Armero et al. (2022) Ad-hoc program	6	SCI MAT	Ozobot	
Ortiz (2011) Engineering Fusion	5	MAT	Unspecified LEGO robotics kit	
Papadakis et al. (2024) Ad-hoc program	13	ENG	Microsoft MakeCode	
Sáez-López et al. (2021) Ad-hoc program	3	SCI	Scratch	

Sáez-López et al. (2019)	6	MAT SCI	mBot, Scratch	Students had to use knowledge acquired via pre-planned lessons on whole numbers and electricity and magnetism in order to program the robotics resource at hand, making it develop certain actions such as moving in one direction or another at varying speeds, while making sure that it avoids obstacles detected by its ultrasonic sensor
Smakman et al. (2021)	5	MAT	NAO, Robotsindeklasp platform	Each session consisted of exercises related to arithmetic measure and/or graphical representation of data
Ad-hoc program				
Bareka method				

Note. Authors' own work. SCI = Science; TEC = Technology, ENG = Engineering; MAT = Mathematics. Program length has been standardized in weeks comprised, approximately, of a two-hour intervention session.

Table 5. Heterogeneity statistics.

Tau	Tau²	I²	H²	R²	df	Q	p
.351	.1229 (SE = .0653)	70.28%	3.365	N/A	17.000	52.134	<.001

Note. Tau² estimated through Restricted Maximum Likelihood; SE = Standard Error; Significance at $p < .008$.

Table 6. Predicted SMD based on the reported effect sizes of the final study sample.

	Estimate	SE	Z	p	CI Lower Bound	CI Upper Bound
Intercept	.535	.104	5.15	<.001	.3314	.7393

Note. Regression analysis conducted under the Random Effects Model approach.

Figure 1. Flowchart illustrating the filtering process.

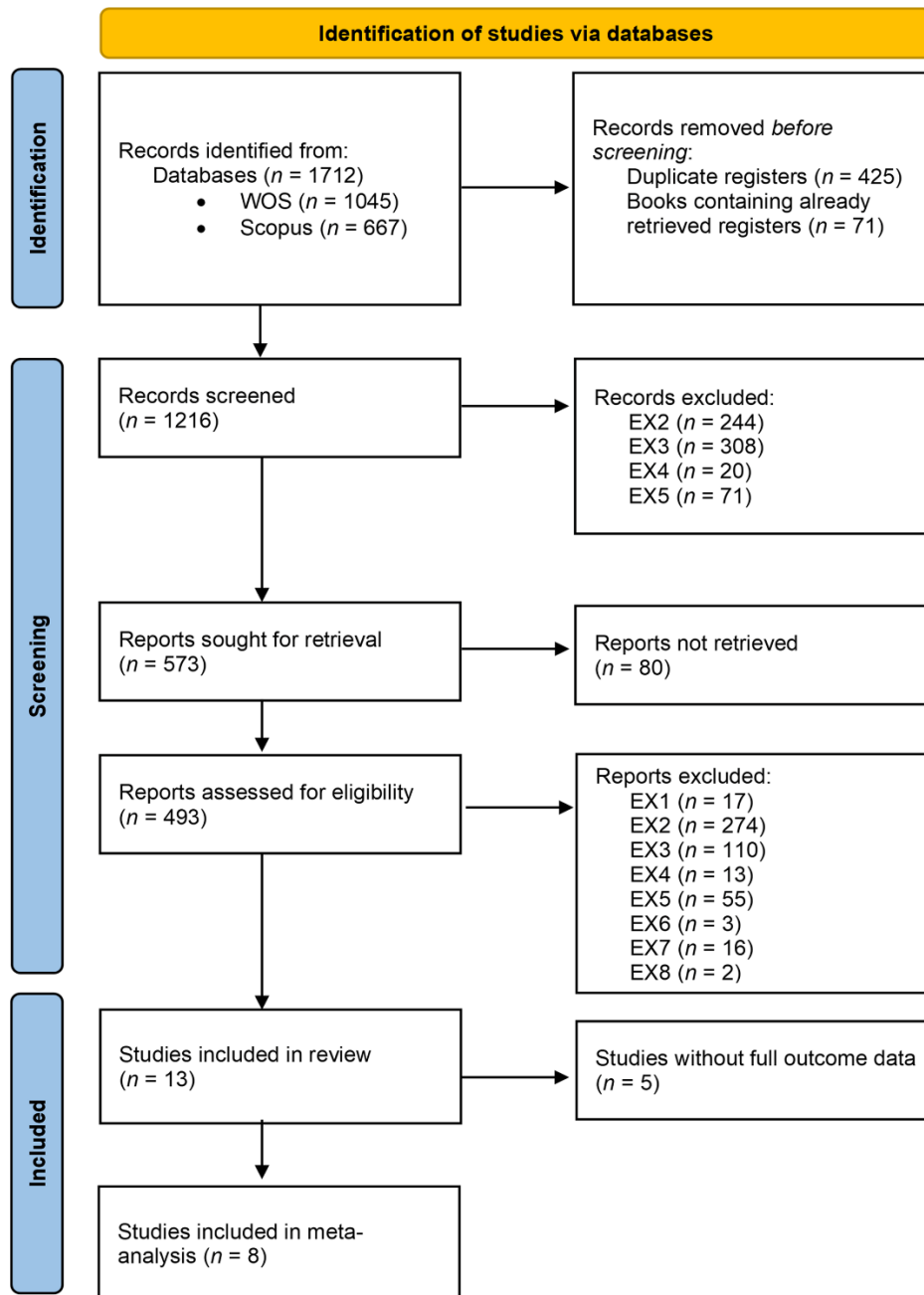


Figure 2. Publication of selected studies throughout the years.

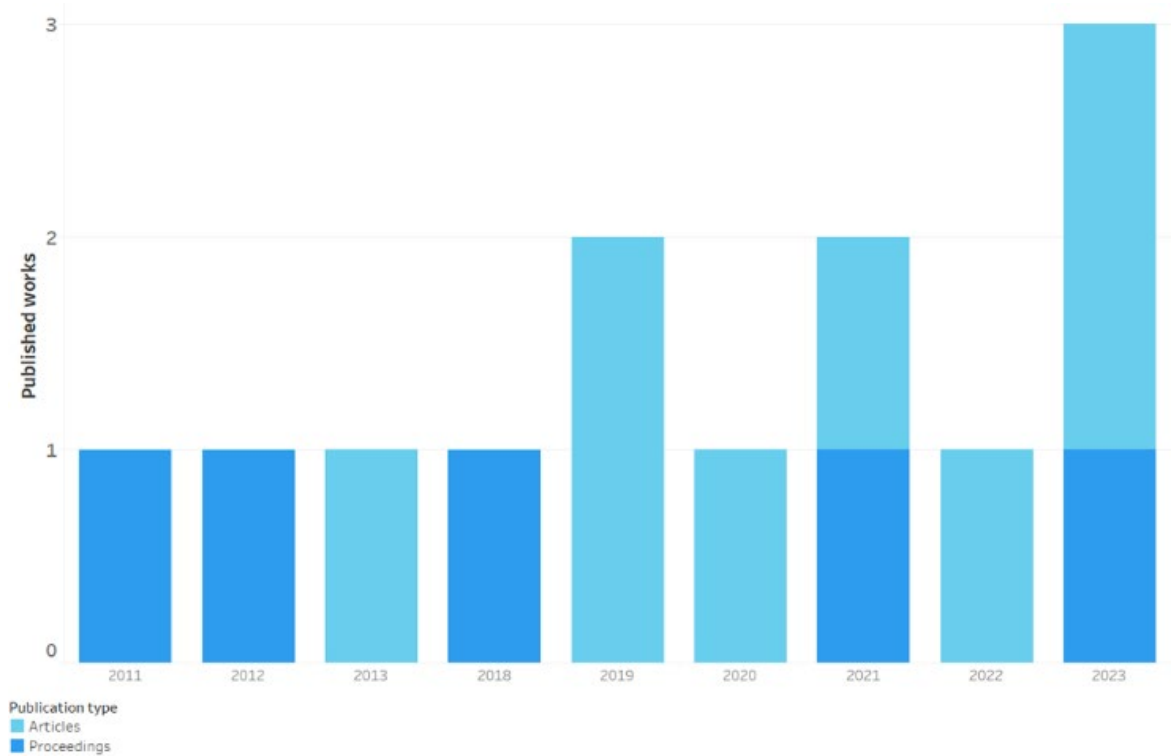


Figure 3. Geographical distribution of the final study sample.

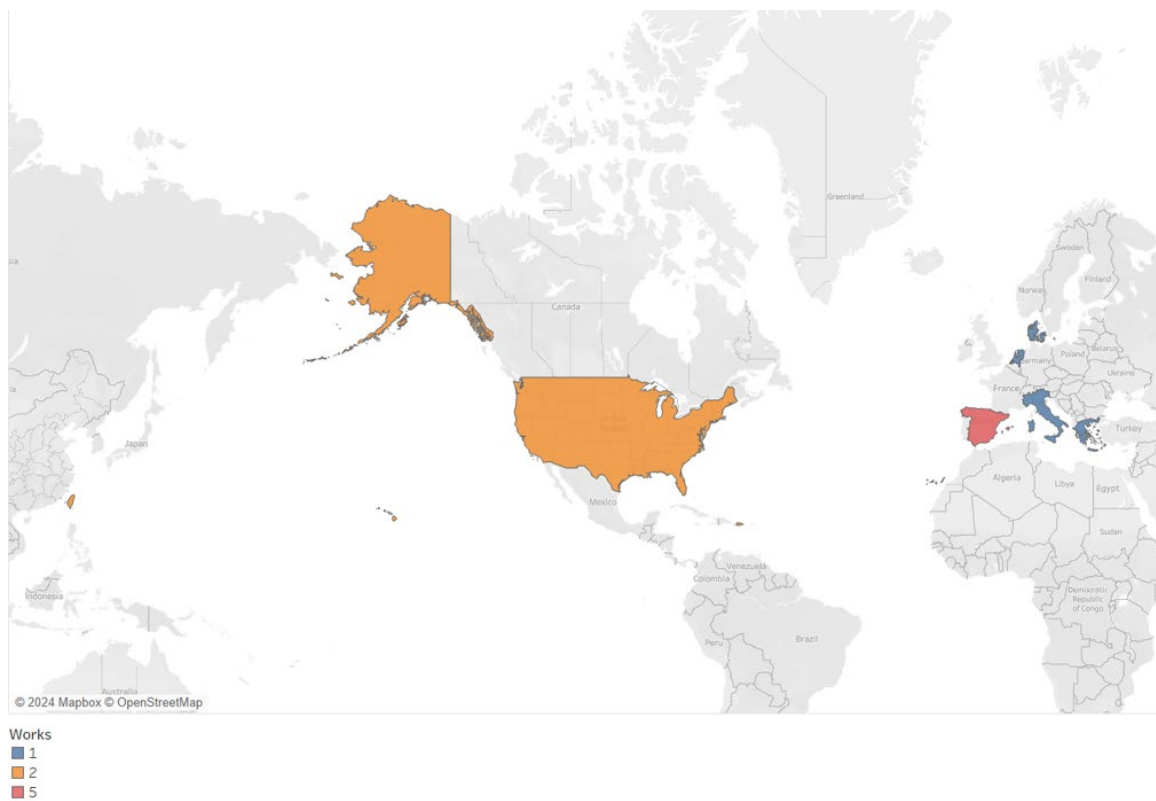


Figure 4. Age and grade distribution of the final participant sample.

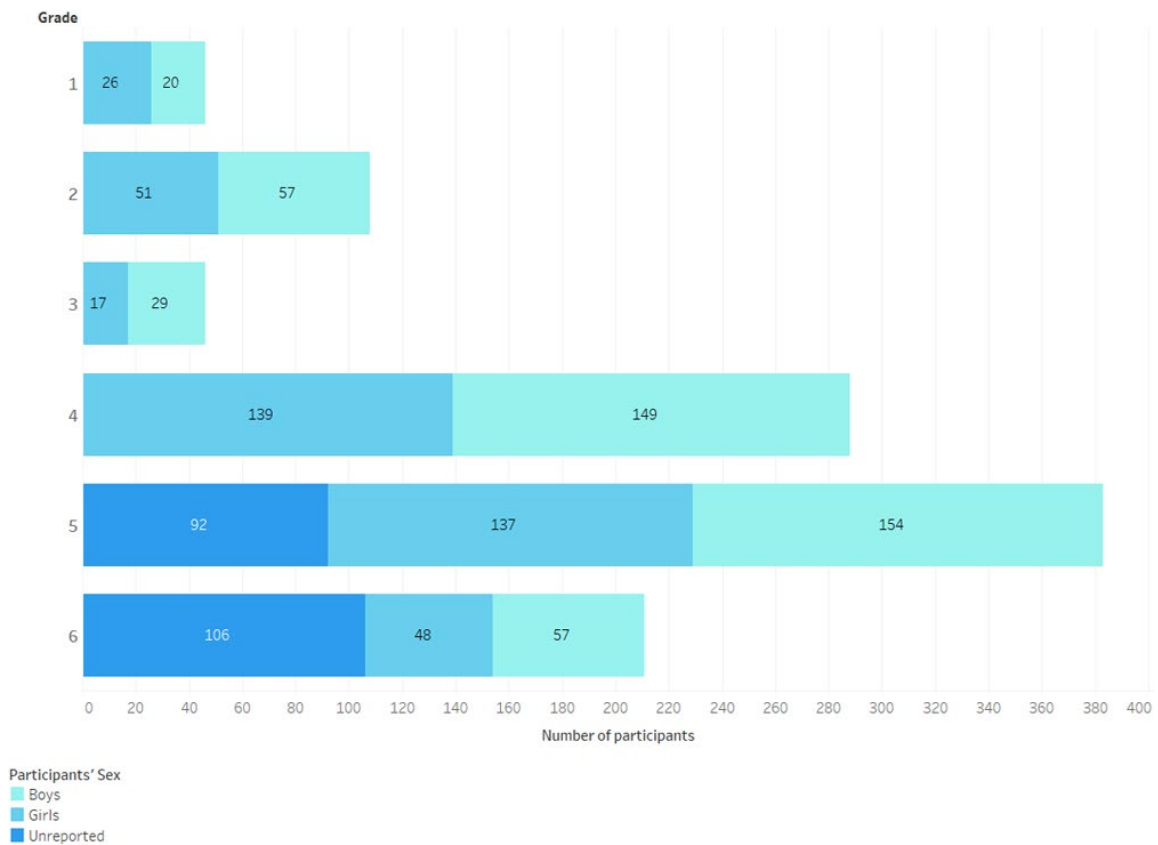


Figure 5. Connections between the reviewed methodological aspects. Note: SCI = Science; TEC = Technology, ENG = Engineering; MAT = Mathematics; LM = Learn by Making; PBL: Project-Based Learning; P&P = Pen and Paper activities; LD = Learn by Doing; AHR = Ad-hoc Robots; MR = Modular Robots; PP = Programming Platforms; FR = Floor Robots.

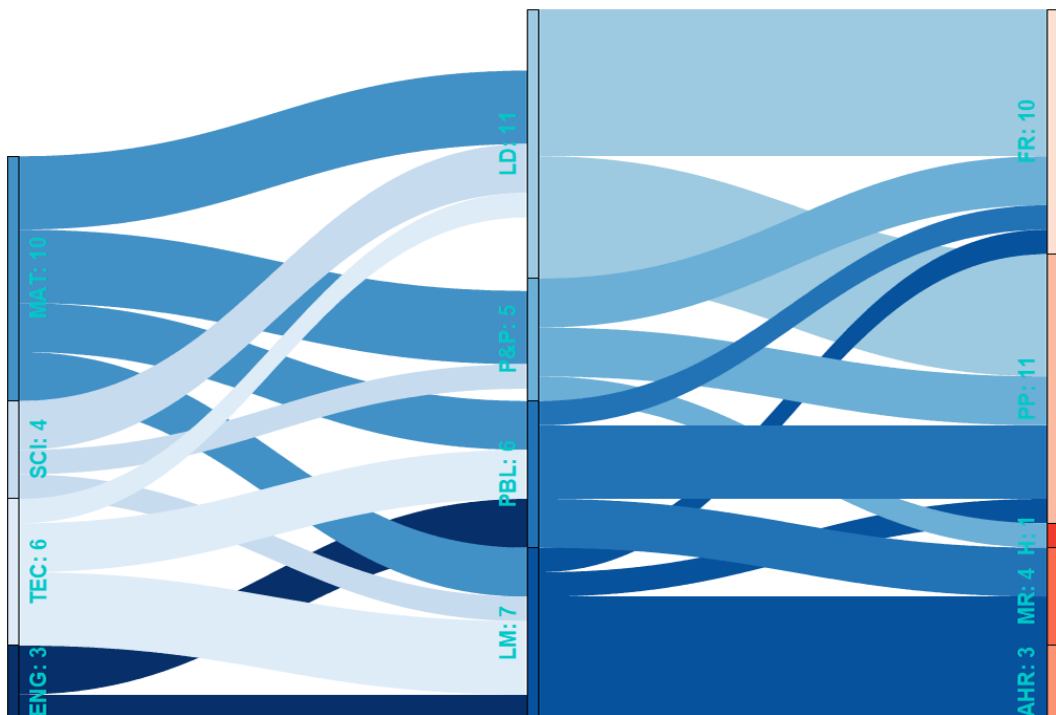


Figure 6. Funnel plot including the $k = 18$ final study sample registers.

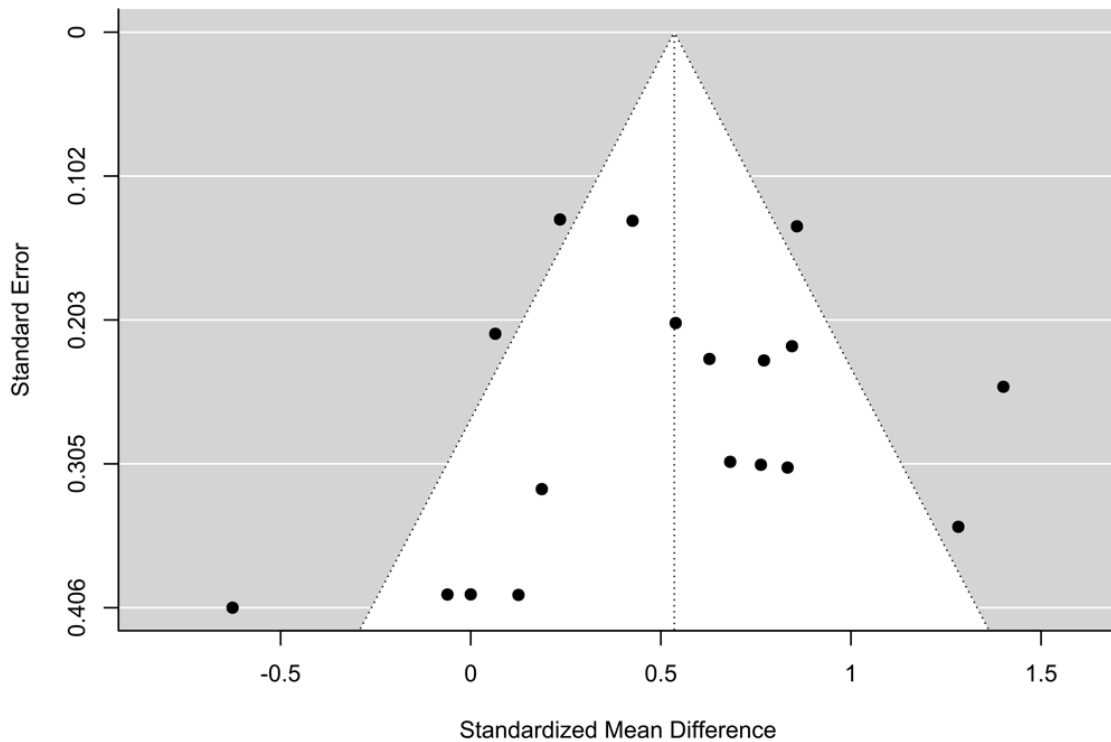
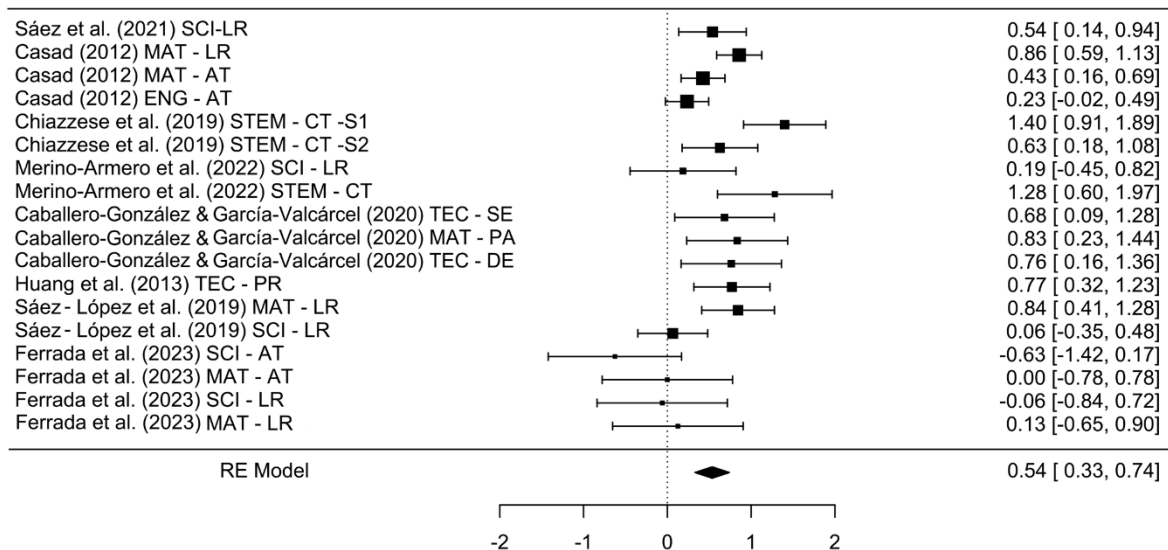


Figure 7. Forest plot including the $k = 18$ final study sample registers. SCI = Science; TEC = Tech-nology; ENG = Engineering; MAT = Mathematics; LR = Learning Result; AT = Attitude; CT = Computational Thinking; S1/S2 = Sample 1/Sample 2; SE = Sequencing; PA = Pattern recognition; DE = Debugging; PR = Programming.



ARTÍCULO 3

Examinando las influencias sociodemográficas en la comprensión y preparación de los maestros en formación para enseñar STEM

Irene TRAPERO-GONZÁLEZ
Inmaculada AZNAR-DÍAZ
Magdalena RAMOS NAVAS-PAREJO
José-María ROMERO-RODRÍGUEZ

Datos de contacto:

Irene Trapero-González
Universidad de Granada
irenetrapero@correo.ugr.es

Inmaculada Aznar-Díaz
Universidad de Granada
iaznar@ugr.es

Magdalena Ramos Navas-Parejo
Universidad de Granada
magdalena@ugr.es

José-María Romero-Rodríguez
Universidad de Granada
romejo@ugr.es

Aceptado: 21/10/2024

RESUMEN

El desarrollo de la competencia STEM en la formación inicial docente es fundamental para despertar vocaciones e inquietudes STEM en los futuros docentes, con la finalidad de que puedan transmitir posteriormente estos conocimientos a las nuevas generaciones y poder estrechar las diferencias de género en este ámbito. El objetivo de este trabajo fue identificar la influencia de los factores sociodemográficos en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación. Para este propósito, se empleó un diseño de estudio transversal, utilizando una encuesta en línea como herramienta de recolección de datos. En la investigación se incluyeron los datos de 436 estudiantes, la edad se situó entre los 18 y 31 años ($M = 20.27$; $DT = 2.88$). Los resultados obtenidos revelaron que: 1) hubo diferencias significativas entre género respecto al conocimiento STEM, siendo un factor influyente; 2) tener un familiar vinculado al STEM favorece tener una mayor media en conocimiento pedagógico, STEM y habilidades del siglo XXI; 3) la titulación cursada influyó en el conocimiento pedagógico y conocimiento STEM; 4) el conocimiento pedagógico y de las habilidades del siglo XXI influyeron en la predisposición hacia la ciencia, tecnología e ingeniería. Finalmente, se analizan las posibles direcciones para futuras investigaciones, subrayando el valor de los datos recopilados para profundizar en el conocimiento existente sobre la predisposición a enseñar materias STEM.

PALABRAS CLAVE: STEM; factores sociodemográficos; formación del profesorado; educación superior.

Examining Socio-Demographic Influences on Trainee Teachers' Understanding and Readiness to Teach STEM

ABSTRACT

The development of STEM competence in initial teacher training is essential to awaken STEM vocations and concerns in future teachers, so that they can subsequently pass on this knowledge to new generations and narrow the gender gap in this field. The aim of this paper was to identify the influence of socio-demographic factors on pre-service teachers' pedagogical knowledge, STEM knowledge and knowledge of 21st century skills. For this purpose, a cross-sectional study design was employed, using an online survey as a data collection tool. The research included data from 436 students, aged between 18 and 31 years ($M = 20.27$; $SD = 2.88$). The results obtained revealed that: 1) there were significant gender differences in STEM knowledge, being an influential factor; 2) having a family member linked to STEM favours having a higher average in pedagogical knowledge, STEM and 21st century skills; 3) the degree taken influenced pedagogical knowledge and STEM knowledge; 4) pedagogical knowledge and knowledge of 21st century skills influenced the predisposition towards science, technology and engineering. Finally, possible directions for future research are discussed, highlighting the value of the data collected to deepen existing knowledge on the predisposition to teach STEM subjects.

KEYWORDS: STEM; socio-demographic factors; teacher training; higher education.

Introducción

La enseñanza de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM) conforma el pilar fundamental para el desarrollo de los conocimientos cognitivos, las actitudes efectivas y las competencias específicas necesarias para desenvolverse de forma exitosa en la sociedad del actual (Hyseni et al., 2023). Esto se debe, según Nugroho et al. (2021), a que la educación STEM prepara a los estudiantes para ser capaces de resolver problemas de forma innovadora, inventar, ser independientes y tecnológicamente competentes. A lo que se debe añadir que desarrolla el pensamiento lógico, creativo y crítico, el fomento de la cooperación y la resiliencia. Por tanto, se considera una vía para conseguir las habilidades del siglo XXI (Ibrahim et al., 2024).

El mundo en general se enfrenta actualmente a desafíos tales como: el cambio climático, la atención médica y otras cuestiones sociocientíficas complejas, que hacen necesario el desarrollo de competencias STEM para una toma de decisiones adecuada. Las experiencias con estas materias forman al estudiante para aprender, vivir, trabajar y participar en una sociedad cada vez más focalizada en el ámbito científico-técnico. Por lo que esta formación es básica, independientemente de la ocupación laboral que se vaya a desempeñar en el futuro (Ludwig et al., 2024).

Por este motivo, la educación STEM ha adquirido una gran relevancia como base fundamental del desarrollo de los países, la competitividad económica y el bienestar social. Hyseni et al. (2023) afirman que esta disciplina debe adquirir un enfoque integrado de la enseñanza y el aprendizaje, tratando los contenidos de forma unificada.

Este tipo de educación capacita para desarrollar el conocimiento científico y matemático de los estudiantes, favoreciendo actitudes positivas hacia las materias

STEM, lo que a su vez resulta fundamental para la motivación hacia la elección de carreras relacionadas con estas disciplinas (Hiwatig et al., 2024).

Según estos mismos autores, las características elementales que definen el enfoque STEM se basan en: conectar los problemas con el mundo real, utilizar diseños de ingeniería, contextualizar la enseñanza, integrar los contenidos, realizar prácticas reales, desarrollar las competencias necesarias para vivir en el siglo XXI y promocionar las carreras STEM. De esta forma, se motiva al estudiante, utilizando un aprendizaje contextualizado con problemas relevantes, que se encuentran en el mundo real, implicándolo en el uso y conocimiento STEM. Zucker et al. (2021) consideran que los niños desde que nacen se encuentran inmersos en un mundo lleno de oportunidades para aprender ciencia y tecnología. De forma que explorando el funcionamiento de los objetos que les rodean, se pueden fijar las bases para un aprendizaje posterior.

Por tanto, la alfabetización STEM comprendida como “el proceso dinámico y la capacidad de aplicar, cuestionar, colaborar, apreciar, participar, persistir y comprender la utilidad de los conceptos y habilidades STEM” (Ludwig et al., 2024, p.2), es un proceso continuo que dura toda la vida y que se encuentra afectado por las oportunidades de aprendizaje dentro de ambientes formales e informales de enseñanza.

Actualmente, la equidad en educación STEM supone un reto. Pues existen estereotipos que excluyen e incluyen en este tipo de educación y que predisponen a su acceso y participación. Esta brecha de oportunidades afecta especialmente de forma negativa a las mujeres, las personas de origen hispanoamericano, los pueblos indígenas, las personas con discapacidad y las que cuentan con un bajo nivel socioeconómico (Ludwig et al., 2024). Así lo vienen documentando numerosos informes estadounidenses a lo largo de los últimos años (Building Engineering and Science Talent, 2004; National Research Council, 2012; National Institutes of Health, 2019; Washington State STEM Education Innovation Alliance, 2019; National Science and Technology Council, 2021)

Estudios como el de Hyseni et al. (2023) confirman la relación que existe entre los factores sociodemográficos y el rendimiento académico en materias STEM, junto con las actitudes, la confianza, la eficacia y la ansiedad por los exámenes. Estos mismos autores resaltan la influencia del acceso a la tecnología relacionada con los factores socioeconómicos y ambientales (Smith et al., 2022). Por su parte, Hiwatig et al. (2024) llegaron a la conclusión de que relacionar los contenidos STEM con la vida de los estudiantes influye positivamente en el interés por estas materias. Sin embargo, demostraron que el nivel del impacto depende significativamente del grupo demográfico también, encontrando disparidades en el género, la etnia y el nivel socioeconómico (Balta et al., 2023).

La participación de las mujeres en las disciplinas STEM se está incrementando. Sin embargo, la brecha de género sigue siendo muy relevante y preocupante, dada la negativa repercusión que tiene en las oportunidades de ellas (Almukhambetova et al., 2023; Barth et al., 2022; Bahr & Zinn, 2023) y en la limitación de la potencialidad de la industria STEM (Hill & Allen, 2021). Un estudio llevado a cabo por Msambwa et al. (2024) revela que esta baja representación femenina depende de factores personales, como la falta de interés, la baja autoestima y las actitudes negativas hacia estas cuestiones. Factores conductuales, como la baja motivación, baja autoeficacia y los proyectos de futuro laboral, que no se encuentran relacionados con estas materias. Y especialmente factores ambientales, como la falta de colaboración y de

modelos a seguir y los estereotipos, que relacionan a los hombres con las materias STEM de forma tradicional (Heybach & Pickup, 2017).

Para paliar los efectos de estos factores, tanto los responsables políticos como los educadores deben trabajar sobre cada uno de ellos. Con respecto a los personales; se recomienda aumentar las exposiciones a las prácticas STEM desde pequeñas y mejorar la autoconfianza. Con respecto a los conductuales; aumentar la motivación y la autoeficacia, además de ofrecer una adecuada orientación. Y con respecto a los ambientales; reformular los roles de género, para romper con los estereotipos que existen sobre los atributos de hombres y mujeres, los cuales dividen los tipos de trabajos por géneros, propiciando que los hombres ocupen las posiciones de alto estatus (Kuchynka et al., 2022). Además, resulta fundamental contar con un buen equipo STEM, que facilite y acerque estas experiencias de la forma más adecuada a todo el estudiantado.

A través del estudio llevado a cabo por Daniela et al. (2022), se demostró que las estrategias pedagógicas pueden influir significativamente en la mejora de los resultados académicos de las niñas en materias STEM. Acciones como introducir la robótica educativa en las aulas en las primeras etapas educativas, desarrolla este aprendizaje de forma muy efectiva. Sin embargo, Andić et al. (2024) consideran que los docentes necesitan una formación adecuada en estos ámbitos para que su enseñanza sea efectiva, pues el desconocimiento propicia que los educadores sientan aprensión por este tipo enseñanza, no comprendiendo su naturaleza integradora, ni teniendo una definición clara de la misma (Sokoll-Bauer, 2023).

En este sentido, la competencia de los docentes es fundamental para transmitir la educación STEM de forma adecuada al alumnado. Una preparación insuficiente se atribuye a una formación inicial inadecuada, influenciada por factores sociodemográficos (Claro et al., 2024). Autores, como Adewale (2024), también confirman que factores como el género y la edad afectan significativamente en las formas de enseñanza de los docentes. Ibrahim et al. (2024), en esta misma línea, insisten en la importancia de que expertos en STEM mejoren la formación de los futuros docentes en las habilidades del siglo XXI, para que ganen confianza y comprensión en estas materias.

Un docente, que sabe integrar las materias STEM, está motivado profesionalmente y tiene una correcta autoimagen, es capaz de crear ambientes de aprendizaje a través de resolución de problemas del mundo real, de forma colaborativa y compleja para sus estudiantes. No basta solo con aumentar el número de horas de impartición de estas materias, se trata de ofrecer oportunidades auténticas de experimentación con STEM. Para que esto suceda, los futuros docentes deben estar y sentirse preparados para hacerlo (Holincheck & Galanti, 2023).

En un estudio llevado a cabo por Johnson et al. (2021), se reveló que los futuros maestros no se sienten adecuadamente preparados, con los conocimientos adquiridos en la universidad, para integrar las ciencias y las matemáticas en las aulas de Educación Primaria. Estos carecen de una sólida base de comprensión conceptual de las matemáticas y una gran falta confianza. Por este motivo, los docentes en sus aulas ofrecen menos experiencias STEM, aun sabiendo que la Educación Primaria resulta un momento crítico para desarrollar el interés por las mismas.

Para solventar este problema, Perkins-Coppola (2019) realizó una investigación experimental, en la que juntó a estudiantes de ingeniería con estudiantes de magisterio para trabajar en colaboración, consiguiendo un significativo avance, en cuestiones de autoeficacia y confianza en el conocimiento de la ingeniería, de los

futuros docentes.

Otros estudios, como los realizados por Kucuk y Sisman (2020), Zhang et al. (2021) o Romero-Rodríguez et al. (2023) demostraron que el uso de la robótica en la enseñanza de estos estudiantes mejoraba las actitudes STEM, poniendo especial énfasis en la brecha de género de los mismos, pues las estudiantes femeninas presentaban menor predisposición y autoconfianza para el aprendizaje de estas materias. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas sociodemográficas tras la formación recibida, lo que confirmó que las futuras maestras, después una experiencia positiva con robótica, se encuentran con buena disposición para formarse en áreas STEM, contribuyendo a su inclusión en el ámbito.

Por todo ello, se planteó como objetivo del estudio identificar la influencia de los factores sociodemográficos en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación. Con respecto al propósito general, se establecieron las siguientes cuestiones, las cuales orientaron y estructuraron el curso de la investigación:

RQ1. ¿Existieron diferencias significativas en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI en función de los factores sociodemográficos?

RQ2. ¿Qué factores sociodemográficos influyeron en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI?

RQ3. ¿Influyó el conocimiento pedagógico y conocimiento de las habilidades del siglo XXI en la predisposición a impartir materias de los ámbitos STEM (Science, Technology and Engineering)?

Método

Se realizó un estudio de corte transversal (Hernández et al., 2016), utilizando una encuesta autoadministrada distribuida en un solo momento entre los estudiantes matriculados en el Grado en Educación Infantil y el Grado en Educación Primaria de la Universidad de Granada durante el período académico 2024/2025.

El muestreo fue de conveniencia (Cochran & Díaz, 1980), invitando a participar a los grupos a los que se tuvo acceso, garantizando así la representatividad de la población. La muestra estuvo conformada por aquellos estudiantes que decidieron participar de manera voluntaria y respondieron al cuestionario administrado a través de *Google Forms*.

Participantes y procedimiento

Los participantes contestaron a preguntas sobre sus características sociodemográficas y la escala STEM-PCK. Antes de iniciar el cuestionario, se les ofreció una explicación sobre los objetivos de la investigación, el manejo anónimo de los datos y el consentimiento informado. La investigación obtuvo la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Granada (registro 3168/CEIH/2023). La fase de recolección de datos se llevó a cabo en septiembre de 2024.

En concreto, la muestra se concretó en 352 mujeres y 84 hombres ($n = 436$), donde la edad se situó entre los 18 y 31 años ($M = 20.27$; $DT = 2.88$). La disparidad en la composición por género de la muestra se explica por las diferencias en la matriculación de hombres y mujeres en los grados de Magisterio en España. Así, el

tamaño de la muestra se adapta adecuadamente a esta realidad, garantizando una representación precisa y adecuada. El resto de datos sociodemográficos puede consultarse en la Tabla 1.

Tabla 1

Datos sociodemográficos

	<i>n</i>	%
Sexo		
Hombre	84	19,3
Mujer	352	80,7
Edad		
18-19	222	50,9
20-35	214	49,1
Titulación		
Educación infantil	182	41,7
Educación primaria	254	58,3
Familia vinculada al STEM		
Sí	64	14,7
No	372	85,3

Nota: la categorización por edades se ha establecido sobre la base de la Organización Mundial de la Salud (OMS): menos de 20 años (adolescentes) y 20-35 años (adulto joven).

Instrumento

Se empleó la STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK) desarrollada por Yıldırım y Şahin (2019). Esta herramienta está compuesta por seis dimensiones: (a) conocimiento pedagógico, con 12 ítems; (b) conocimiento STEM, subdividido en ciencias (8 ítems), tecnología (7 ítems), ingeniería (7 ítems) y matemáticas (8 ítems); y (c) conocimiento sobre habilidades del siglo XXI, con 14 ítems. En conjunto, la escala abarca 56 ítems, los cuales se responden mediante una escala Likert de cinco niveles, donde cinco equivale a "totalmente de acuerdo" y uno "totalmente en desacuerdo". La puntuación de la escala osciló entre 56 y 280 puntos (CP = 12-60; STEM = 30-150; 21st = 14-70), una mayor puntuación indicó un mayor grado de conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI.

La STEMPCK ha sido utilizada en diversos estudios, demostrando propiedades psicométricas sólidas y una alta consistencia interna (Gözüm et al., 2022; Rahman et al., 2022). En el presente estudio, la fiabilidad calculada mediante el coeficiente Alfa de Cronbach resultó ser excelente ($\alpha = .943$).

Análisis de datos

Se llevaron a cabo los análisis necesarios utilizando las herramientas estadísticas SPSS y Amos (versión 25, IBM Corp.). Se obtuvieron estadísticas descriptivas, como las medias y las desviaciones estándar, para cada variable sociodemográfica en relación con la escala STEMPCK. Adicionalmente, se exploraron diferencias significativas entre los grupos sociodemográficos utilizando la prueba T para muestras independientes (RQ1).

En cambio, para las RQ2 y RQ3, se elaboró un modelo de ecuaciones estructurales mediante el análisis de trayectorias (path analysis), siguiendo la metodología sugerida por Stage et al. (2010). En el análisis de trayectorias, se vincularon las

variables exógenas (como sexo, edad, titulación, curso y familia) junto a las variables endógenas (conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI). Sin embargo, antes de aplicar el análisis de trayectorias, se calculó la normalidad de los datos a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) con corrección de Lilliefors para evaluar la normalidad univariada y la normalidad multivariada utilizando el coeficiente de Mardia (1970). Se consideraron adecuados los datos con valores de asimetría inferiores a tres y valores de curtosis menores a 10, siguiendo el criterio de Kline (2005).

Resultados

La muestra total obtuvo unos valores por encima de la media en la escala STEM PCK ($M = 191.86$; $DT = 25.009$). Se realizaron análisis estadístico-descriptivos y se evaluaron las posibles diferencias significativas entre los factores sociodemográficos para cada grupo en función de los factores de la escala STEM PCK, como se muestra en la Tabla 2. En concreto, en la variable sexo, la mayor puntuación media se situó en el grupo de hombres en conocimiento pedagógico y conocimiento STEM, mientras que el grupo de mujeres tuvo una media mayor en conocimiento de las habilidades del siglo XXI, solo se encontraron diferencias significativas en conocimiento STEM ($p = .000$). En la variable edad, la media más alta se situó en el grupo de edad de 18 y 19 años en conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI, en cambio el grupo de 20-35 obtuvo mejores resultados en conocimiento pedagógico, siendo significativa la diferencia entre medias ($p = .041$). Respecto a la carrera cursada, los del grado en educación infantil presentaron una media mayor en conocimiento pedagógico y conocimiento de las habilidades del siglo XXI, por su parte los del grado en educación primaria obtuvieron una media mayor en conocimiento STEM, las diferencias significativas se encontraron en conocimiento pedagógico ($p = .002$). Finalmente, tener una familia dedicada al sector STEM fue condicionante de obtener mayor media en los tres tipos de conocimiento, aunque no hubo diferencias significativas entre grupos.

Tabla 2

Estadísticos descriptivos y diferencias entre grupos

	CP				STEM				21 st	
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>	<i>p</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>	<i>p</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>	<i>p</i>
Sexo										
Hombre	84	48,35	6,40	.433	90,21	19,96	.000	60,90	5,79	.735
Mujer	352	47,73	6,42		81,13	19,37		61,17	6,69	
Edad										
18-19	222	47,23	6,13	.041	83,02	20,13	.885	61,36	6,27	.446
20-35	214	48,49	6,65		82,74	19,47		60,88	6,78	
Titulación										
Ed. Infantil	254	48,99	6,44	.002	82,32	18,69	.615	61,16	6,86	.907
Ed. primaria	182	47,04	6,28		83,29	20,56		61,09	6,28	
Familia STEM										
Sí	64	47,94	6,59	.907	85,27	16,74	.298	62,44	7,01	.081
No	372	47,84	6,39		82,47	20,25		60,90	6,42	

Nota: CP = Conocimiento Pedagógico; STEM = Conocimiento STEM; 21st = Conocimiento de las habilidades del siglo XXI.

Por su parte, los datos presentaron valores de asimetría (.247) y curtosis (.328) que sugirieron una distribución adecuada (<3 y <10 , respectivamente). Se confirmó

la normalidad de los datos mediante la prueba K-S con la corrección de Lilliefors, la cual indicó que seguían una distribución normal ($K-S = .039$; $gl = 434$; $p = <.115$). Asimismo, se verificó la normalidad multivariada de los datos, obteniendo un valor de Mardia de 5.948, el cual se sitúa por debajo del umbral $p^*(p+2)$. En este caso, p corresponde al número de variables observadas, que es 56, reflejando el total de ítems de la escala (Bollen, 1989).

Considerando los resultados de ajuste del modelo, es importante destacar que los índices de bondad de ajuste demostraron ser apropiados según los criterios establecidos para cada uno de ellos (Byrne, 2013), tal como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3
Medidas de bondad de ajuste

Índice	Valor obtenido	Criterio
χ^2	34,831	
gl	16	
χ^2/gl	2.17	≤ 3
GFI	.985	$\geq .90$
RMSEA	.042	$< .05$
NFI	.985	$\geq .90$
CFI	.992	$\geq .90$
AGFI	.948	$\geq .90$
SRMR	.051	$< .08$

Nota. gl = grados de libertad; GFI = Goodness-of-Fit Index; RMSEA = Root Mean Squared Error of Approximation; NFI = Normalised Fit Index; CFI = Comparative Fit Index; AGFI = Adjusted Goodness-of-Fit Index; SRMR = Standarized Root Mean-square.

El análisis de trayectorias reveló las relaciones entre los factores sociodemográficos y las diversas dimensiones de la STEM PCK. Se observaron conexiones entre el sexo, la edad, la titulación y la familia con respecto al conocimiento pedagógico, el conocimiento STEM y el conocimiento sobre habilidades del siglo XXI. Además, se identificó una relación entre el conocimiento pedagógico y el conocimiento de las habilidades del siglo XXI con las áreas STEM (Tabla 4). Los valores significativos se establecieron entre género y conocimiento STEM ($p = .007$); grado y conocimiento pedagógico ($p = .004$); grado y conocimiento STEM ($p = .030$); conocimiento pedagógico y ciencia ($p = <.001$); conocimiento pedagógico y tecnología ($p = <.001$); conocimiento pedagógico e ingeniería ($p = <.001$); conocimiento de las habilidades del siglo XXI y ciencia ($p = <.001$); conocimiento de las habilidades del siglo XXI y tecnología ($p = <.001$); conocimiento de las habilidades del siglo XXI e ingeniería ($p = <.001$).

Tabla 4
Estimaciones de los parámetros del modelo final

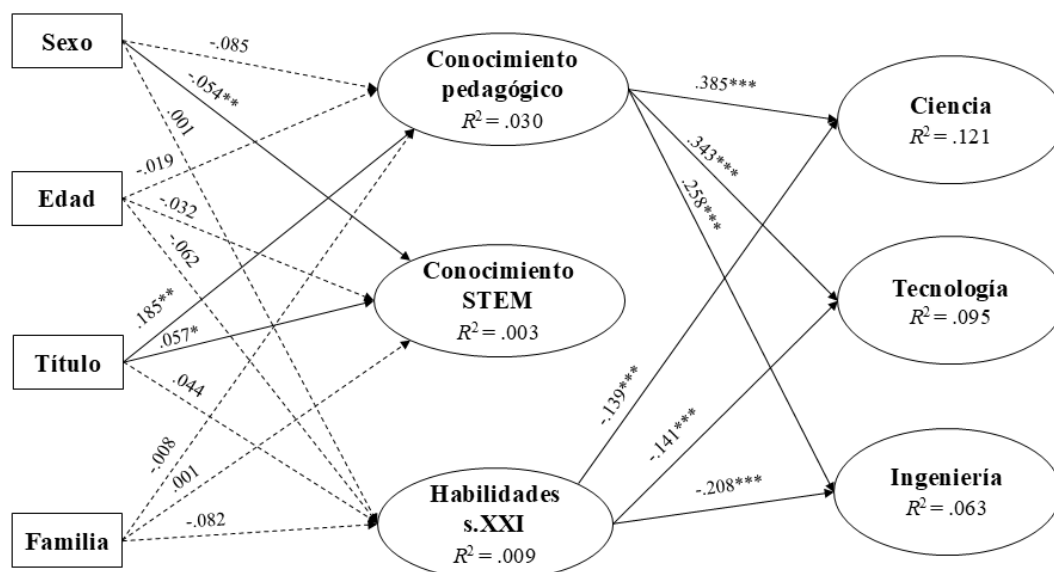
Asociación entre variables	RW	SE	RC	p	SRW
Sexo → Conocimiento pedagógico	-1,361	.804	-1,692	.091	-.085
Sexo → Conocimiento STEM	-2,705	.999	-2,709	.007	-.054
Sexo → Conocimiento habilidades s. XXI	.016	.838	.019	.985	.001
Edad → Conocimiento pedagógico	-.238	.791	-.301	.764	-.019
Edad → Conocimiento STEM	-1,263	.962	1,313	.189	-.032
Edad → Conocimiento habilidades s. XXI	-.804	.824	-.976	.329	-.062
Titulación → Conocimiento pedagógico	2,375	.828	2,869	.004	.185
Titulación → Conocimiento STEM	2,287	1,057	2,164	.030	.057
Titulación → Conocimiento habilidades s. XXI	.580	.862	.673	.501	.044
Familia → Conocimiento pedagógico	-.137	.844	-.162	.871	-.008

Familia → Conocimiento STEM	.028	1,031	.027	.978	.001
Familia → Conocimiento habilidades s. XXI	-1,503	.879	-1,710	.087	-.082
Conocimiento pedagógico → Ciencia	.360	.047	7,693	***	.385
Conocimiento pedagógico → Tecnología	.311	.046	6,759	***	.343
Conocimiento pedagógico → Ingeniería	.209	.042	4,999	***	.258
Conocimiento habilidades s. XXI → Ciencia	-.126	.031	-4,046	***	-.139
Conocimiento habilidades s. XXI → Tecnología	-.124	.031	-3,964	***	-.141
Conocimiento habilidades s. XXI → Ingeniería	-.164	.028	-5,822	***	-.208

Nota: RW = Regression Weights; SE = Standard Error; CR = Critical Ratio; SRW = Standardised Regression Weights; *** $p < .001$; $n = 436$.

La figura del análisis de trayectorias ilustró las interrelaciones entre los diferentes factores, destacando como constructos centrales el conocimiento pedagógico, el conocimiento STEM y el conocimiento de las habilidades del siglo XXI (Figura 1). Las relaciones establecidas destacaron la importancia de los factores que incidieron en las diversas dimensiones de la escala STEM PCK, evidenciando su significación. Cabe destacar que el coeficiente de determinación de cada constructo fue del 3% para conocimiento pedagógico ($R^2 = .030$), del 0,3% para conocimiento STEM ($R^2 = .003$), del 0,9% para conocimiento de las habilidades del siglo XXI ($R^2 = .009$), del 12,1% para ciencias ($R^2 = .121$), del 9,5% para tecnología ($R^2 = .095$) y del 6,3% para ingeniería ($R^2 = .063$).

Figura 1
Análisis de trayectorias



Nota: *Significativo en $p < .05$; ***Significativo en $p < .001$. Flecha discontinua = no significativo.

Discusión

Los resultados de este estudio proporcionan importantes hallazgos sobre la influencia de los factores sociodemográficos en el conocimiento pedagógico, el conocimiento STEM y de las habilidades del siglo XXI de los futuros docentes. En primer lugar, se identificaron diferencias significativas entre hombres y mujeres en cuanto al conocimiento STEM, donde los hombres obtuvieron puntuaciones significativamente más altas. Sin embargo, las mujeres mostraron un mejor desempeño en el conocimiento sobre las habilidades del siglo XXI, lo que sugiere una división clara en la percepción y desarrollo de estas competencias según el género. Además, se encontró que la edad y la titulación cursada también influyeron en las áreas de conocimiento pedagógico y STEM, destacando la importancia de los factores personales y académicos en el desarrollo de competencias STEM.

En relación con estudios previos, los resultados coinciden con investigaciones que indican la persistente brecha de género en las áreas STEM (Almukhambetova et al., 2023; Barth et al., 2022; Bahr & Zinn, 2023). En esta línea, Hyseni et al. (2023) demostraron que los hombres suelen presentar una mayor confianza y autoeficacia en las materias STEM, lo que se refleja en los resultados de este estudio. Esta confianza puede estar arraigada en factores sociales y culturales que refuerzan la imagen de los hombres como más aptos para las disciplinas técnicas. A pesar de los avances hacia la igualdad de género, sigue existiendo una representación desproporcionada de hombres en los campos de ciencia y tecnología, lo cual puede estar perpetuando la brecha de conocimiento (Ludwig et al., 2024). No obstante, las mujeres destacaron en las habilidades del siglo XXI, lo que sugiere que, si bien pueden enfrentar obstáculos en áreas STEM, tienen fortalezas en competencias transversales que son esenciales para el contexto educativo actual. Esto respalda la idea de que las habilidades del siglo XXI, como el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y la resolución de problemas, son áreas donde las mujeres podrían tener un enfoque más desarrollado (Smith et al., 2022).

Un hallazgo relevante de este estudio es el impacto que puede tener un familiar vinculado a STEM en el conocimiento pedagógico y STEM de los futuros docentes. Los estudiantes con familiares en el ámbito STEM obtuvieron puntuaciones más altas en estas áreas, lo que refleja la importancia de la exposición temprana y el acceso a recursos que fomenten la comprensión de estas materias. Esto concuerda con las investigaciones de Zucker et al. (2021), quienes argumentan que los modelos de rol y el entorno familiar son determinantes en la elección de carreras y la disposición hacia las ciencias y la tecnología. Tener un familiar en STEM podría facilitar una mayor familiaridad con estos conceptos desde edades tempranas, lo que podría traducirse en una mayor autoconfianza en el conocimiento pedagógico y STEM. Sin embargo, en este estudio no se encontraron diferencias significativas en relación con este factor, lo que sugiere que, aunque existe una tendencia hacia mejores resultados, otros factores también influyen en el desarrollo de estas competencias.

Otro aspecto interesante es la relación entre la edad y el conocimiento pedagógico. Los estudiantes de mayor edad obtuvieron mejores resultados en esta área en comparación con los más jóvenes, lo que puede indicar una mayor madurez cognitiva y experiencia educativa acumulada. En cambio, los estudiantes más jóvenes destacaron en el conocimiento STEM y en las habilidades del siglo XXI, lo cual podría estar relacionado con su exposición más reciente a tecnologías

emergentes y enfoques educativos innovadores. Este hallazgo es importante, ya que sugiere que las generaciones más jóvenes pueden estar más preparadas para enfrentar los desafíos educativos del siglo XXI, especialmente en lo que respecta al uso de la tecnología y la integración de STEM en el aula (Romero-Rodríguez et al., 2023).

En cuanto a la titulación cursada, los estudiantes de educación infantil destacaron en el conocimiento pedagógico, mientras que los de educación primaria lo hicieron en el conocimiento STEM. Esta diferencia puede estar relacionada con la naturaleza de los planes de estudio de cada titulación, donde los estudiantes de educación infantil suelen recibir una formación más profunda en aspectos pedagógicos y de desarrollo infantil, mientras que los de educación primaria tienen un mayor enfoque en las materias curriculares, incluyendo STEM. Esto pone de relieve la necesidad de adaptar los programas formativos para equilibrar el desarrollo de competencias pedagógicas y STEM en ambos grados, garantizando que todos los futuros docentes estén igualmente preparados para integrar estas áreas en sus prácticas profesionales (Johnson et al., 2021).

En este sentido, es crucial que los programas de formación docente incluyan más oportunidades prácticas para mejorar la confianza y el dominio conceptual en STEM, tal como demostró Perkins-Coppola (2019) al promover colaboraciones entre estudiantes de ingeniería y magisterio. Además, estudios como los de Kucuk y Sisman (2020) y Romero-Rodríguez et al. (2023) sugieren que el uso de herramientas como la robótica puede ser eficaz para aumentar tanto la autoeficacia como el interés por estas materias entre los futuros docentes, superando las diferencias iniciales entre titulaciones. Esto subraya la necesidad de reformular los programas educativos para ofrecer una formación más equilibrada y práctica, que no solo fortalezca el conocimiento pedagógico, sino que también prepare a los maestros para impartir de manera efectiva las disciplinas STEM en ambos grados.

En esta misma línea, se encuentra el hecho de que el conocimiento pedagógico influyó significativamente en las áreas de ciencia, tecnología e ingeniería, destacando y reforzando la idea sobre la importancia de una sólida formación pedagógica para enseñar eficazmente materias STEM. Sin embargo, tal como señala Andić et al. (2024), la formación de los docentes en estos ámbitos sigue siendo insuficiente, lo que puede generar aprensión y una falta de confianza para enseñar STEM de manera integrada y efectiva. Por tanto, es fundamental que los futuros docentes reciban una formación pedagógica específica en ciencia, tecnología e ingeniería que no solo les proporcione un conocimiento técnico, sino también las herramientas pedagógicas necesarias para integrar estas disciplinas de manera coherente y atractiva en el aula, tal como sugiere Sokoll-Bauer (2023).

Finalmente, el hecho de que el conocimiento de las habilidades del siglo XXI influyera significativamente en la enseñanza de la ciencia, tecnología e ingeniería resalta la importancia de estas competencias para una educación STEM efectiva. La capacidad de los docentes para integrar habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la colaboración es esencial para transmitir de manera adecuada los contenidos STEM, tal como lo señala Ibrahim et al. (2024). Sin embargo, una formación inicial insuficiente, influenciada por factores sociodemográficos, puede limitar el desarrollo de estas competencias en los futuros docentes (Claro et al., 2024). Además, factores como el género y la edad también pueden afectar las formas en que los docentes abordan la enseñanza de estas disciplinas, tal como afirma Adewale (2024). Para abordar estas carencias, es crucial

que los programas de formación docente incluyan un enfoque específico en las habilidades del siglo XXI, no solo para aumentar la confianza de los maestros, sino también para mejorar su capacidad de impartir materias STEM de manera dinámica e innovadora. Esta formación debe estar diseñada para que los docentes comprendan el valor de estas competencias y las integren en la enseñanza de ciencia, tecnología e ingeniería, preparando así a los estudiantes para enfrentar los desafíos del siglo XXI.

Conclusiones

Los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes tanto a nivel teórico como práctico. Desde una perspectiva teórica, los hallazgos confirman la relevancia de los factores sociodemográficos en el desarrollo de competencias en los futuros docentes, particularmente en áreas clave como el conocimiento pedagógico, STEM y de las habilidades del siglo XXI. Este estudio añade evidencia al creciente cuerpo de literatura que aboga por la necesidad de adoptar enfoques más inclusivos y equitativos en la formación inicial docente, asegurando que todos los estudiantes, independientemente de su género, edad o contexto familiar, tengan las mismas oportunidades de desarrollar competencias clave para el siglo XXI.

En términos prácticos, los resultados subrayan la importancia de diseñar programas de formación docente que aborden explícitamente las disparidades de género en el conocimiento STEM y fomenten un mayor interés y confianza en estas áreas entre las mujeres. Además, se deben implementar estrategias pedagógicas que integren mejor las habilidades del siglo XXI en el currículo, dado que estas competencias serán esenciales para el éxito de los futuros docentes en el contexto educativo actual. Las universidades y las instituciones formadoras de docentes también deben prestar especial atención a la creación de oportunidades de aprendizaje que expongan a los estudiantes a experiencias prácticas en STEM, promoviendo una mayor autoconfianza y disposición hacia la enseñanza de estas materias.

Es importante destacar algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, el uso de un muestreo de conveniencia limita la capacidad de generalizar los resultados a otras poblaciones, ya que los participantes provienen de una única universidad. Además, el enfoque transversal del estudio impide establecer relaciones causales entre los factores sociodemográficos y las competencias evaluadas. En futuros estudios, sería valioso utilizar un diseño longitudinal que permita observar cómo evoluciona el conocimiento pedagógico, STEM y de habilidades del siglo XXI a lo largo del tiempo y en diferentes contextos educativos.

Finalmente, futuras investigaciones deberían explorar la influencia de otros factores contextuales, como el acceso a la tecnología o la calidad de la formación docente, en el desarrollo de competencias STEM y pedagógicas. Además, sería interesante investigar cómo la introducción de enfoques pedagógicos innovadores, como la robótica educativa o la realidad virtual, puede ayudar a reducir las disparidades en el conocimiento y la disposición hacia la enseñanza STEM, especialmente entre las mujeres y otros grupos subrepresentados en estas áreas.

En conclusión, este estudio proporciona una visión valiosa sobre cómo los factores sociodemográficos influyen en el conocimiento pedagógico y STEM de los futuros docentes, subrayando la necesidad de adoptar enfoques más equitativos e inclusivos en la formación docente. Las implicaciones de estos resultados son claras:

es necesario continuar avanzando hacia un sistema educativo que promueva la equidad en el acceso y la participación en STEM, y que prepare a los futuros docentes para enfrentar los desafíos educativos del siglo XXI de manera efectiva y equitativa.

Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i Formación inicial de maestras para prevenir la brecha de género mediante educación STEM y robótica (FIMER) (Referencia: C-SEJ-009-UGR23), cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación y por la Unión Europea con cargo al Programa FEDER Andalucía 2021-2027.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los financiadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis o interpretación de datos; en la redacción del manuscrito, o en la decisión de publicar los resultados.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, I.T.G. y M.R.N.P.; metodología, I.A.D. y J.M.R.R.; software, I.T.G.; validación, I.A.D.; análisis formal, I.T.G.; investigación, J.M.R.R.; recursos, I.A.D. y J.M.R.R.; análisis de datos, I.T.G.; redacción del borrador original, I.T.G., M.R.N.P. y J.M.R.R.; redacción, revisión y edición, I.T.G. y M.R.N.P.; supervisión, I.A.D. y J.M.R.R.; administración de proyectos, I.A.D. y J.M.R.R.; adquisición de financiación, I.A.D. y J.M.R.R.

Referencias

- Adewale, S. (2024). The Nexus Between Teachers' Demographic Characteristics and Utilization of 21st Century Collaborative Teaching Strategies in Classrooms. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(6), 488-503. <http://dx.doi.org/10.26803/ijlter.23.6.22>
- Almukhambetova, A., Torrano, D. H., & Nam, A. (2023). Fixing the leaky pipeline for talented women in STEM. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(1), 305–324. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10239-1>
- Andić, B., Maričić, M., Mumcu, F., Prodromou, T., Leoste, J., Saimon, M., & Lavicza, Z. (2024). Direct and indirect instruction in educational robotics: a comparative study of task performance per cognitive level and student perception. *Smart Learn. Environ*, 11(12), 1-27. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00298-6>
- Bahr, T., & Zinn, B. (2023). Gender differences in the new interdisciplinary subject informatik, mathematik, physik (IMP)—Sticking with STEM? *Education Sciences*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/educsci13050478>
- Balta, N., Japashov, N., Karimova, A., Agaidarova, S., Abisheva, S., & Potvin, P. (2023). Middle and high school girls' attitude to science, technology, engineering, and mathematics career interest across grade levels and school types. *Frontiers in Education*, 8, 1158041. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1158041>
- Barth, J. M., Masters, S. L., & Parker, J. G. (2022). Gender stereotypes and belonging across high school girls' social groups: Beyond the STEM classroom. *Social Psychology of Education*, 25(1), 275–292. <https://doi.org/10.1007/s11218-021-09683-2>
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. John Wiley y Sons. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118619179>
- Building Engineering & Science Talent (2004). The talent imperative: diversifying America's science and engineering workforce. Retrieved from http://aweonline.org/arp_infosheet_talent_crisis_in_sande_001.pdf

- Byrne, B. M. (2013). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming, Second Edition Multivariate Applications Series*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203805534>
- Claro, M., Castro-Grau, C., Ochoa, J. M., Hinostroza, J. E., & Cabello, P. (2024). Systematic review of quantitative research on digital competences of in-service school teachers. *Computers & Education*, 215, 105030. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105030>
- Cochran, W. G., & Díaz, E. C. (1980). *Técnicas de muestreo*. Compañía Editorial Continental.
- Daniela, L., Kristapsone, S., Krage, G., Belogradova, L., Vorobjovs, A., & Krone I. (2022). Searching for Pedagogical Answers to Support STEM Learning: Gender Perspective. *Sustainability*, 14(21), 14598. <https://doi.org/10.3390/su142114598>
- Gözüm, A. İ. C., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2022). Preschool teachers' STEM pedagogical content knowledge: A comparative study of teachers in Greece and Turkey. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.996338>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2016). *Metodología de la investigación (6ª edición)*. McGraw-Hill – Interamericana de México.
- Heybach, J., & Pickup, A. (2017). Whose STEM? disrupting the gender crisis within STEM. *Educational Studies*, 53(6), 614–627. <https://doi.org/10.1080/00131946.2017.1369085>
- Hill, R. L., & Allen, K. (2021). 'Smash the patriarchy': The changing meanings and work of 'patriarchy' online. *Feminist Theory*, 22(2), 165–189. <https://doi.org/10.1177/1464700120988643>
- Hiwatis, B., Roehrig, G., & Rouleau, M. (2024). Unpacking the nuances: an exploratory multilevel analysis on the operationalization of integrated STEM education and student attitudinal change. *Discip Interdiscip Sci Educ Res*, 6(18). <https://doi.org/10.1186/s43031-024-00108-6>
- Holincek, N. M., & Galanti, T. M. (2023). Applying a model of integrated STEM teacher identity to understand change in elementary teachers' STEM self-efficacy and career awareness. *School Science and Mathematics*, 123(6), 234–248. <https://doi.org/10.1111/ssm.12610>
- Hyseni Duraku, Z., Hoxha, L., Konjufca, J., Blakaj, A., Bytyqi, B., Mjekiqi, E., & Bajgora, S. (2023). Test anxiety's influence on attitudes, confidence and efficacy in STEM courses: a pilot study. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 2397-7604. <https://doi.org/10.1108/JRIT-06-2023-0077>
- Ibrahim, N., Mohamed, M., Seshaiyer, P., Rasid, N. S. M., Dalim, S. F., Salleh, M. F. M., ..., & Yusoff, M. M. M. (2024). Enhancing Prospective Educators' Readiness Through Multidisciplinary Collaboration in STEM Education: An Analysis of Students Enrolled in Science and Mathematics Majors at a Public University in Malaysia. *Asian Journal of University Education*, 20(2), 303-315. <https://doi.org/10.24191/ajue.v20i2.27000>
- Johnson, T. M., Byrd, K. O., & Allison, E. R. (2021). The impact of integrated STEM modeling on elementary preservice teachers' self-efficacy for integrated STEM instruction: A co-teaching approach. *School science and mathematics*, 121(1), 25-35. <https://doi.org/10.1111/ssm.12443>
- Kline, R. B. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling (2nd ed.)*. Guilford.

- Kuchynka, S.L., Eaton, A., & Rivera, L.M. (2022). Understanding and Addressing Gender-Based Inequities in STEM: Research Synthesis and Recommendations for U.S. K-12 Education. *Social Issues and Policy Review*, 16(1), 252-288. <https://doi.org/10.1111/sipr.12087>
- Kucuk, S., & Sisman, B. (2020). Students' attitudes towards robotics and STEM: Differences based on gender and robotics experience. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 23, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2020.100167>
- Ludwig, C. M., Howsmon, R. A., Stromholt, S., Valenzuela, J., Calder, R., & Baliga, N. (2024). Consequential insights for advancing informal STEM learning and outcomes for students from historically marginalized communities. *Humanit Soc Sci Commun*, 11(351). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02797-w>
- Mardia, K. V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 57(3), 519-530. <https://doi.org/10.1093/BIOMET/57.3.519>
- Msambwa, M. M., Daniel, K., Lianyu, C., & Antony, F. (2024). A Systematic Review Using Feminist Perspectives on the Factors Affecting Girls' Participation in STEM Subjects. *Science & Education*, 1-32. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00524-0>
- National Institutes of Health (2019). Notice of NIH's interest in diversity - NOT-OD-20-031. Retrieved from <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-20-031.html>
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Science and Technology Council (2021). Best practices for diversity and inclusion in STEM education and research: a Guide by and for federal agencies.
- Nugroho, O.F., Permanasari, A., & Firman, H. (2021). The importance of STEM based education in Indonesia curriculum. *Pedagonal: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 5(2), 56-61. <https://doi.org/10.33751/pedagonal.v5i2.3779>.
- Perkins-Coppola, M. (2019). Preparing preservice elementary teachers to teach engineering: Impact on self-efficacy and outcome expectancy. *School Science and Mathematics*, 119(3), 161-170. <https://doi.org/10.1111/ssm.12327>
- Rahman, N. A., Rosli, R., Rambely, A. S., Siregar, N. C., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2022). Secondary school teachers' perceptions of STEM pedagogical content knowledge. *Journal on Mathematics Education*, 13(1), 119-134. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i1.pp119-134>
- Romero-Rodríguez, J. M., De La Cruz-Campos, J. C., Ramos-Navas-Parejo, M., & Martínez-Domingo, J. A. (2023). Robótica educativa para el desarrollo de la competencia STEM en maestras en formación. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 75(4), 75-92. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2023.97174>
- Smith, G., Fulwider, C., Liu, Z., Lu, X., Shute, V. J., & Li, J. (2022). Examining Students' Perceived Competence, Gender, and Ethnicity in a Digital STEM Learning Game. *International Journal of Game-Based Learning (IJGBL)*, 12(1), 1-17. <http://doi.org/10.4018/IJGBL.294013>
- Sokoll-Bauer, A. (2023). *STEM Literacy: Pre-Service Elementary Teachers' Conceptualization of Trans-And Interdisciplinary Integrated Stem Learning*. ProQuest LLC. [PhD thesis] University of Nebraska, Lincoln.

- Stage, F. K., Carter, H. C., & Nora, A. (2010). Path Analysis: An Introduction and Analysis of a Decade of Research. *The Journal of Educational Research*, 98(1), 5–13. <https://doi.org/10.3200/JOER.98.1.5-13>
- Washington State STEM Education Innovation Alliance (2019). 2020 STEM Education Report Card.
- Yıldırım, B., & Şahin, E. (2019). STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK): A validity and reliability study. *Journal of STEM Teacher Education*, 53(2), Article 2. <https://doi.org/10.30707/JSTE53.2Yildirim>
- Zhang, Y., Luo, R., Zhu, Y., & Yin, Y. (2021). Educational robots improve K-12 students' computational thinking and STEM attitudes: systematic review. *Journal of Educational Computing Research*, 59(7), 1450-1481. <https://doi.org/10.1177%2F0735633121994070>
- Zucker, T. A., Montroy, J., Master, A., Assel, M., McCallum, C., & Yeomans-Maldonado, G. (2021). Expectancy-value theory & preschool parental involvement in informal STEM learning. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 76, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2021.101320>

6. INDICIOS DE CALIDAD DE LAS PUBLICACIONES



6. Indicios de calidad de las publicaciones

Los artículos recogidos para la agrupación de publicaciones de esta tesis doctoral cumplen con los requisitos del programa de Ciencias de la Educación B22.56.1 (RD.99/2011). En este sentido, los tres artículos presentan impacto en JCR y se encuentran indexados en Scopus con índice de impacto en SCImago Journal Rank (SJR) en cuartil Q1 o Q2.

Educational robotics and STEM competence in Early Childhood Education: Systematic review and meta-analysis of programmes and outcomes

La revista “Knowledge Management & E-Learning” (ISSN: 2073-7904) está editada por la Universidad de Hong Kong (China). Se encuentra indexada en la base de datos Scopus desde el año 2009, el índice de impacto SJR en la categoría “Education” es de 0.52 (cuartil Q2), en la actualización de 2023.

Por otro lado, también está indexada en el Journal Citation Reports (JCR), en la edición de Emerging Sources Citation Index (ESCI) en la categoría de “Education & Educational Research”. El índice de impacto JCR obtenido en la actualización de 2023 es de 2.5, ocupando la posición 133 de 756 revistas en la categoría de “Education & Educational Research” (cuartil Q1).



Rank by Journal Impact Factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Beginning in 2023, ranks are calculated by category. [Learn more](#)

CATEGORY

EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH

133/756

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2023	133/756	Q1	82.5

Didactic Impact of Educational Robotics on the Development of STEM Competence: A Systematic Review and Meta-analysis in Primary Education

La revista “Frontiers in Education” (ISSN: 2504-284X) está editada por el grupo editorial Frontiers Media SA (Suiza). Se encuentra indexada en la base de datos Scopus desde el año 2016, el índice de impacto SJR en la categoría “Education” es de 0.63 (cuartil Q2), en la actualización de 2023.

Por su parte, también se encuentra en el Journal Citation Reports (JCR), en la edición de Emerging Sources Citation Index (ESCI) en la categoría de “Education & Educational Research”. El índice de impacto JCR alcanzado en la actualización de 2023 es de 1.9, ocupando la posición 212 de 756 revistas en la categoría de “Education & Educational Research” (cuartil Q2).



Examinando las influencias sociodemográficas en la comprensión y preparación de los maestros en formación para enseñar STEM

La Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado – RIFOP (ISSN: 2530-3791) está editada por la Universidad de Murcia (España). Se encuentra indexada en la base de datos Scopus desde el año 2019, el índice de impacto SJR en la categoría “Cultural Studies” es de 0.28 (cuartil Q1), en la actualización de 2023.

Por otro lado, también está indexada en el Journal Citation Reports (JCR), en la edición de Emerging Sources Citation Index (ESCI) en la categoría de “Education & Educational Research”. El índice de impacto JCR obtenido en la

actualización de 2023 es de 0.7, ocupando la posición 520 de 756 revistas en la categoría de “Education & Educational Research” (cuartil Q3).



7. CONCLUSIONES



7. Conclusiones

7.1. Objetivo general: identificar las barreras y desafíos que enfrentan los docentes en formación a la hora de impartir educación STEM y robótica, especialmente en relación con la brecha de género

El tema central de la tesis doctoral se ha basado en examinar las dificultades que presentan los futuros docentes al impartir enseñanzas en las áreas STEM y robótica, poniendo especial atención a las desigualdades de género en este contexto. La recogida de datos se llevó a cabo a través de 436 participantes en el estudio, superando el tamaño muestral esperado. El cuestionario se administró a varios grupos compuesto por 352 mujeres y 84 hombres, con edades comprendidas entre los 18 y 31 años. Además, se recogieron datos sociodemográficos como el sexo, edad, titulación y si algún familiar de los participantes trabajaba en el ámbito STEM.

En concreto, se identificaron como barreras y desafíos vinculados a la brecha de género: (i) los estereotipos de género; (ii) la falta de mujeres visibles en roles de liderazgo en STEM y robótica; (iii) desigualdad de acceso a recursos y oportunidades. Por otro lado, fue determinante el hallazgo sobre la influencia significativa que presenta el sexo en el conocimiento STEM.

Este objetivo ha sido abordado transversalmente en las tres publicaciones: Educational robotics and STEM competence in Early Childhood Education: Systematic review and meta-analysis of programmes and outcomes (Knowledge Management & E-Learning: An International Journal), Didactic Impact of Educational Robotics on the Development of STEM Competence: A Systematic Review and Meta-analysis in Primary Education (Frontiers in Education) y Examinando las influencias sociodemográficas en la comprensión y preparación de los maestros en formación para enseñar STEM (Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado).

7.2. Objetivo específico 1: analizar el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación

El análisis que se realizó a una muestra de 436 participantes destacó que la mayor puntuación media se situó en el grupo de hombres en conocimiento pedagógico y conocimiento STEM, mientras que el grupo de mujeres tuvo una media mayor en conocimiento de habilidades del siglo XXI, encontrando solo diferencias significativas en conocimiento STEM. Realizando una diferenciación por carrera cursada, el grado de educación infantil presentó una media mayor en conocimiento pedagógico y conocimiento de las habilidades del siglo XXI y el grado de educación primaria en conocimiento STEM.

Este objetivo fue abordado en la publicación Examinando las influencias sociodemográficas en la comprensión y preparación de los maestros en formación para enseñar STEM (Revista Interuniversitaria del Profesorado).

7.3. Objetivo específico 2: determinar las barreras específicas que enfrentan los docentes en formación al impartir educación STEM y robótica

Para determinar las barreras específicas que enfrentan los docentes en la formación STEM y robótica se planteó un cuestionario abierto donde se establecieron varias categorías tras el análisis del contenido.

La falta de formación y preparación adecuada junto con los recursos limitados fue el factor más destacado por los participantes, lo que genera una notable falta de confianza en sus habilidades pedagógicas. Sin embargo, estas barreras adquieren una nueva dimensión cuando se consideran en el contexto de la brecha de género en la educación STEM y robótica. En este caso, surgen con mayor frecuencia factores como los estereotipos de género y la falta de modelos femeninos visibles en roles de liderazgo.

Este objetivo fue abordado en el apartado de resultados.

7.4. Objetivo específico 3: validar el instrumento “STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK)” (Yıldırım & Şahin, 2019) al contexto español

La validación del instrumento STEMPCK comenzó invirtiendo el sistema de respuesta de la escala tipo Likert y se modificó la subdimensión de “tecnología” añadiendo el término de “robótica” objeto de estudio de esta tesis.

El análisis de la validez y fiabilidad de la escala mostró que las propiedades psicométricas del instrumento adaptado fueron adecuadas. La validez convergente se evaluó a través del AVE, obteniendo valores superiores a 0.5 en la mayoría de las dimensiones, con excepción de tres subdimensiones (CP = .40; ENGI = .47; XXI = .384), aunque estos valores estuvieron próximos al umbral recomendado. Los resultados del análisis de la fiabilidad compuesta mostraron valores superiores a 0.8 en todas las dimensiones, lo que indicó un buen nivel de consistencia interna del instrumento.

La medición de la fiabilidad interna del instrumento a través de Alfa de Cronbach fue excelente, lo que demostraba que el cuestionario era altamente fiable para evaluar el conocimiento pedagógico, el conocimiento STEM y el conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación en el contexto objeto de estudio.

Asimismo, se llevó a cabo una evaluación de la validez discriminante, comparando la raíz cuadrada del AVE con las correlaciones entre las dimensiones. Los resultados mostraron que cada una de las dimensiones del cuestionario representaba constructos latentes diferenciados, lo que confirmaba que las dimensiones evaluadas por la STEMPCK eran independientes entre sí y reflejaban distintos aspectos del conocimiento de los docentes en formación.

Este objetivo fue abordado en el apartado de metodología donde se describen los instrumentos de recogida de datos.

7.5. Objetivo específico 4: identificar la influencia de los factores sociodemográficos y de las barreras específicas en el conocimiento pedagógico, conocimiento STEM y conocimiento de las habilidades del siglo XXI de los docentes en formación

Respecto a este objetivo, se obtuvo la respuesta de una muestra de 436 participantes utilizando una encuesta en línea como herramienta de recolección de datos. Tras ese análisis, se reflejó que los factores sociodemográficos, como el sexo, la edad, la titulación cursada y la vinculación familiar con STEM, influyeron significativamente en el nivel de conocimiento de los futuros docentes.

Hubo diferencias significativas entre sexo con respecto al conocimiento STEM, siendo un factor influyente. En cuanto a aquellos que tienen un familiar vinculado al STEM, favorece en su conocimiento pedagógico, STEM y habilidades del siglo XXI. En cambio, la titulación cursada influyó en el conocimiento pedagógico y conocimiento STEM. Finalmente, el conocimiento pedagógico y de las habilidades del siglo XXI influyeron en la predisposición hacia la ciencia, tecnología e ingeniería.

Este objetivo fue abordado en la publicación *Examinando las influencias sociodemográficas en la comprensión y preparación de los maestros en formación para enseñar STEM* (Revista Interuniversitaria del Profesorado).

7.6. Limitaciones

La investigación, a pesar de haberse realizado con un enfoque claro y organizado, enfrentó algunas limitaciones a lo largo de su desarrollo. Estas limitaciones, una vez identificadas, fueron abordadas en la medida de lo posible.

Uno de los aspectos que representó un desafío fue la descompensación de sexo en la muestra. La mayoría de los participantes fueron mujeres, lo cual plantea la posibilidad de sesgos en los resultados, dificultando un análisis equilibrado de las barreras que pueden enfrentar tanto hombres como mujeres.

Sin embargo, se decidió mantener la muestra tal como estaba, ya que esta composición refleja de manera fiel la realidad en el ámbito educativo, donde la proporción de mujeres en carreras relacionadas con la educación es significativamente mayor en contraste con las carreras técnicas. A pesar de esta descompensación muestral, fue interesante para analizar los datos desde una perspectiva de género.

En cuanto al tamaño de la muestra, si bien se alcanzó un número adecuado para un análisis representativo, en futuras investigaciones sería recomendable ampliarlo a otras titulaciones y universidades. Esto permitiría captar una diversidad aún mayor de contextos sociodemográficos y ofrecería una visión más completa de la realidad educativa en diferentes regiones y entornos.

Otro aspecto que representó un reto fue el uso de instrumentos adaptados, específicamente la escala STEMPCCK, que se ajustó para su aplicación en el contexto español. Aunque esta adaptación fue válida y mostró una excelente fiabilidad en todas sus dimensiones, se reconoce que la escala podría no capturar por completo las particularidades culturales o educativas propias de España. Este aspecto podría ser abordado en estudios futuros que consideren una adaptación aún más precisa al contexto local.

Un elemento importante a tener en cuenta son los factores contextuales no controlados, tales como las políticas educativas vigentes o la disponibilidad de infraestructura tecnológica. Estos elementos pueden haber influido en el desarrollo del estudio y constituyen una limitación al no poder ser controlados en su totalidad.

Finalmente, la identificación y reflexión sobre estas limitaciones no solo contribuye a una comprensión más crítica de los resultados obtenidos, sino que también ofrece directrices valiosas para el desarrollo de futuras investigaciones en este campo.

7.7. Futuras líneas de investigación

Las futuras líneas de investigación derivadas de esta tesis doctoral se orientan hacia la ampliación y profundización de los hallazgos obtenidos, permitiendo así una comprensión más integral de los fenómenos estudiados y una aplicación práctica de los conocimientos generados.

Una de las futuras líneas es la ampliación del tamaño de la muestra. En próximas investigaciones, se puede incrementar el número de participantes, lo que permitiría abarcar una representación más diversa dentro de la Comunidad Autónoma de Andalucía y sus diferentes universidades. Esta expansión del tamaño muestral contribuiría a una mayor precisión en los resultados, ofreciendo una imagen más completa y representativa del contexto educativo andaluz.

Además, es de interés explorar los factores contextuales que influyen en la elección de carreras y áreas de estudio relacionadas con STEM. Un posible enfoque sería investigar las decisiones que toman los estudiantes de 4º de la ESO respecto a las modalidades de bachillerato, con el fin de comprender sus actitudes hacia las carreras STEM desde una etapa temprana. A partir de este análisis se podría identificar los factores que impulsan o desalientan el interés en las áreas STEM, aportando información sobre cómo fomentar una mayor participación en estas áreas desde el ámbito educativo.

Otra línea de investigación que se plantea es la realización de estudios longitudinales. Estos estudios permiten analizar, a lo largo del tiempo, la evolución del impacto de la robótica educativa y las competencias STEM en estudiantes y docentes en formación. A través de esta evaluación longitudinal, se alcanzaría una perspectiva detallada de cómo estas competencias se desarrollan y consolidan, así como del papel que desempeñan en la formación de futuros profesionales en educación.

Por otro lado, se propone la aplicación de un curso de formación en STEM y robótica, dirigido a futuros docentes. Este curso es una oportunidad para trasladar los resultados de la investigación a la práctica, permitiendo a los futuros docentes adquirir habilidades STEM a través de la robótica educativa que puedan luego integrar en su ejercicio profesional. La implementación de este curso no solo enriquece la formación inicial de los docentes, sino que también contribuye a fomentar el interés y la competencia en áreas STEM entre el alumnado, generando un impacto positivo en la educación y en la preparación de las nuevas generaciones para los desafíos científicos y tecnológicos del futuro.

Estas líneas de investigación representan algunas de las oportunidades que ofrece este estudio para seguir avanzando en el conocimiento y la práctica educativa, aportando tanto a la mejora de la formación docente como al fortalecimiento de una cultura STEM en el sistema educativo.

8. PROPUESTA FORMATIVA



8. Propuesta formativa

Los datos obtenidos ayudaron a diseñar y aplicar la siguiente propuesta formativa que se enmarca como producto de esta tesis doctoral en la línea del proyecto de I+D+i Formación inicial de maestras para prevenir la brecha de género mediante educación STEM y robótica (FIMER) (Referencia: C-SEJ-009-UGR23), cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación y por la Unión Europea con cargo al Programa FEDER Andalucía 2021-2027. A continuación, se muestra la propuesta formativa que han empezado a cursar los estudiantes del Grado en Educación Infantil y Educación Primaria durante el curso académico 2024/2025, la cual ha estado influenciada por los datos recopilados en la tesis doctoral.

PROGRAMA FORMATIVO	
Objetivo principal	
Adquirir conocimientos y habilidades para impartir las materias STEM de manera efectiva.	
Público objetivo	
Maestros y maestras en formación del Grado en Educación Infantil y del Grado en Educación Primaria. Para la modalidad virtual teórica no hay límite de estudiantes. Para las sesiones prácticas presenciales el número óptimo son 24 estudiantes máximo.	
Programa académico teórico	
1. Introducción a la robótica educativa: conceptos básicos y aplicaciones en el aula. 2. Utilización de la robótica para desarrollar habilidades STEM: programación. 3. Integración de la robótica en el currículo escolar y en los planes de estudio. 4. Desarrollo de actividades y proyectos prácticos para el aula utilizando robótica. 5. Estrategias para involucrar a las familias y comunidad en el aprendizaje de robótica.	

Programa académico práctico
<i>Educación Infantil</i>- Desarrollo de un proyecto de robótica educativa con Bee-bot, planteando actividades contextualizadas a la etapa de Educación Infantil (0-6 años) a través de este recurso. <i>Educación Primaria</i>- Desarrollo de un proyecto de robótica educativa con Scratch y Lego Spike, planteando actividades contextualizadas a la etapa de Educación Primaria (6-12 años) a través de estos recursos.
Metodología
El programa formativo se desarrolla en formato semipresencial. <i>El programa académico teórico</i> se lleva a cabo de forma virtual a través de un Entorno Virtual de Aprendizaje creado para este fin (Figura 2). El material por cada tema consta de un vídeo explicativo, documento de texto, píldora de aprendizaje, actividad Educaplay y test autoevaluativo. Al finalizar los temas se debe realizar y aprobar un cuestionario final para superar el programa teórico. <i>El programa académico práctico</i> se fundamenta en el aprendizaje basado en proyectos. En esta segunda parte, las estudiantes trabajan con los recursos de robótica durante dos sesiones. Se trabaja en grupos reducidos de 3-4 estudiantes, donde cada grupo tiene un kit de robótica (máximo por clase 24 estudiantes).
Temporalización
El curso presenta una duración de 20 horas, divididas en 10 horas programa académico teórico y 10 horas programa académico práctico.

Figura 2

Interfaz de la Unidad 1 en el Entorno Virtual de Aprendizaje del curso de Robótica Educativa

Unidad 1. Introducción a la robótica educativa: conceptos básicos y aplicaciones en el aula		
	Contenidos	☒
	Documento_Introducción a la robótica educativa	☒
	Vídeo_Formación del profesorado para implementar robótica	☒
	Píldora de aprendizaje	☒
	Robótica Educativa e Inteligencias Múltiples	☒
	Actividades	☒
	Educaplay_Ruleta de palabras	☒
	Cuestionario	☒
	Test autoevaluativo	☒
Este test es de carácter autoevaluativo, se compone por 5 preguntas con tres opciones de respuesta y solo una válida. El cuestionario consta de intentos ilimitados, para poder superarlo debes tener al menos el 80% de respuestas correctas.		

9. REFERENCIAS



9. Referencias

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1), 333-338.
- Álvarez, J.F. (2022). Metodologías activas entre el profesorado STEM de secundaria: Uso y percepciones. *HUMAN Review*, 11, 1-9. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v11.3860>
- Bernal, A.P., Sandra, L.P., Orozco, M.E., Arreaga, L.L., Vera, L.V., Chimbay, N.M. & Zambrano, L. M. (2024). Análisis comparativo de la metodología STEM y otras metodologías activas en la educación general básica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 10094-10113. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13153
- Botella, C., López, E., Rueda, S., Forte, A., de Ves, E., Benavent, X., & Marzal, P. (2020). Iniciativas contra la brecha de género en STEM: Una guía de buenas prácticas. En J. M. Badía y F. Grimaldo (Coords.), *Actas de las Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI)* (pp. 349-352). Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática. AENUI.
- Cabero-Almenara, J., & Valencia, R. (2021). STEM y género: un asunto no resuelto. *Revista de Investigación y Evaluación Educativa (Revie)*, 8(1), 4-17. <http://dx.doi.org/10.47554/revie2021.8.86>
- Chiliquinga, R.R., Rodríguez, K.L., Lujé, D.I., & Pucha, O.I. (2024). Desarrollo de habilidades del siglo XXI a través de la educación STEM. *Revista Imaginario Social*, 7(2), 316-330. <https://doi.org/10.59155/is.v7i2.191>
- Cochran, W. G., & Díaz, E. C. (1980). *Técnicas de muestreo*. Compañía Editorial Continental.
- Corbin, J. M., & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13(1), 3-21. <https://doi.org/10.1007/BF00988593>
- De Gioannis, E., Bianchi, F., & Squazzoni, F. (2023). Gender bias in the classroom: A network study on self and peer ability attribution. *Social Networks*, 72, 44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socnet.2022.09.001>

- Domínguez, Á., García-Peñalvo, F. J., Zavala, G., García-Holgado, A., & Alarcón, H. (2023). *Mujeres en la educación universitaria de ciencia, ingeniería, tecnología y matemáticas: Atracción, acceso y acompañamiento para reducir la brecha de género*. Octaedro.
- Europa press (2023). *¿Cuántas mujeres estudian carreras científicas?*
<https://www.europapress.es/epsocial/igualdad/noticia-cuantas-mujeres-estudian-carreras-cientificas-20230211120453.html>
- Ferrada, C., Díaz-Levicoy, D., & Puraivan, E. (2022). Aula en un ambiente STEM: Una oportunidad para la innovación. *Revista DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia*, 40, 1-12.
https://ddd.uab.cat/pub/dim/dim_a2022n40/dim_a2022n40a25.pdf
- Fuertes, M.T., & Fernández, M. (2022). *STEM Education in Childhood: Perceptions of Teachers. TECHNO REVIEW. International Technology, Science and Society Review Revista Internacional De Tecnología, Ciencia Y Sociedad*, 13(2), 1-14. <https://doi.org/10.37467/revtechno.v13.4789>
- Gómez, M. (2020). Uso de la robótica en la etapa de Educación Infantil. *Revista de Educación, Innovación y Formación (REIF)*, 3, 142-155.
- González, M. R., & Fernández, K. (2024). Uso didáctico de la tecnología en la práctica docente en las áreas STEM. *Revista Educación*, 48(1), 1–28.
<http://doi.org/10.15517/revedu.v48i1.55997>
- González-Cervera, A., Santaolalla, E., & González-Arechavala, Y. (2021). Proyecto en educación STEM con robótica para edades tempranas. *Padres y maestros*, 387, 46-50.
<https://doi.org/10.14422/pym.i387.y2021.009>
- Gözüm, A. İ. C., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2022). Preschool teachers' STEM pedagogical content knowledge: A comparative study of teachers in Greece and Turkey. *Frontiers in Psychology*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.996338>
- Gutiérrez, Y. (2024). Cerrando la Brecha de Género en Matemáticas: Enfoques Pedagógicos Innovadores. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 8579-8589.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13017

- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate Data Analysis*. Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River.
- Hernández, I., & Espuny, C. (2022). Estudios STEM y la brecha digital de género en bachillerato: La influencia de la competencia digital en el futuro académico. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 81, 55–71. <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.81.2601>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2016). *Metodología de la investigación (6ª edición)*. McGraw-Hill – Interamericana de México.
- Hervás, C., Ballesteros, C., & Corujo, M.C. (2018). La robótica como estrategia didáctica para las aulas de Educación Primaria. *Revista Educativa Hekademos*, 24, 30-40.
- Hurtado, A., & Santamaría, N. (2023). La robótica en la enseñanza de las ciencias en primaria: Una experiencia con Bee-Bot. *Creativity*, 3, 104-109. <https://doi.org/10.7203/CREATIVITY.3.15977>
- Instituto Nacional de Estadística – INE (2023). Tasa de graduados en ciencias, matemáticas, informática, ingeniería, industria y construcción en la UE por periodo (1.000 personas de 20 a 29 años). <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=14883>
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa – INEE (2024). *PISA 2025*. <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/inee/evaluaciones-internacionales/pisa/pisa-2025.html>
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26. <https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- Lizárraga, I. L., & Contreras Cázarez, C. (2021). Desarrollo de la competencia digital en estudiantes de educación superior: Comportamiento en la resolución de problemas y seguridad virtual. En T. Linde, F. D. Guillén, A. Cívico y E. Sánchez (Coords.), *Tecnología y educación en tiempos de cambio* (pp. 602-611). UMA Editorial.
- LOMLOE (2020). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, núm. 340, de 30 de diciembre de 2020, pp. 122868-122953. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>

- López, F. (2002). El análisis de contenido como método de investigación. *XXI. Revista de Educación*, 4, 167-179.
- López, P. (2020). *La robótica educativa, un recurso novedoso para la enseñanza. Propuesta didáctica inclusiva para el alumnado de educación infantil* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Sevilla.
- López, V., Couso, D., & Simarro, C. (2020). Educación STEM en y para un mundo digital: El papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 20(62), Art. 07. <http://dx.doi.org/10.6018/red.410011>
- Martín, O., Santaolalla, E., & Muñoz, I. (2022). La brecha de género en la educación STEM. *Revista de Educación*, 396, 151-175. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-396-533>
- Medina, J., & Quiroga, M. (2021). Diagnóstico y nivelación en competencias digitales en programas relacionados con la pedagogía. En E. Serna (Ed), *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI* (pp. 480-488). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Méndez-Porras, A., Alfaro-Velasco, J., & Rojas-Guzmán, R. (2021). Videojuegos educativos para niñas y niños en educación preescolar utilizando robótica y realidad aumentada. *RISTI. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 42, 482-495.
- Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes (2024). *Panorama de la educación: Indicadores de la OCDE. Informe español 2024*. https://ceice.gva.es/documents/162783115/162829923/Panorama_educacion_Indicadores_OCDE_2024.pdf
- Ministerio de Universidades (2024). UNIVbase. Estudiantes matriculados en Grado y Ciclo. https://estadisticas.universidades.gob.es/jaxiPx/Datos.htm?path=/Universitaria/Alumnado/EEU_2023/GradoCiclo/Matriculados//I0/&file=3_8_Mat_Sex_Nac_Campo_Univ.px
- Moriarty, D., & Fragueiro, M. S. (2024). Las TIC en Educación Primaria a través del aprendizaje en proyectos. *EA, Escuela Abierta*, 27, 59-76. <https://doi.org/10.29257/EA27.2024.05>

- Pech de la Portilla, J. G., López, C. H., Chan, M. R., Martín, J. A., & Kam, M. J. (2024). Implementación de prototipos didácticos de robótica como estrategia de enseñanza en la educación básica. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5(5), 913–922. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2656>
- Plaza, P., Carro, G., Blázquez, M., Sancristóbal, E., Castro, M., & García-Loro, F. (2018). Iluminando a través de la robótica educativa. *TAAE*, 6, 617-623.
- Prado, M. X., Severino, A. J., Gorotiza, B. S., & Tenorio, D. S. (2024). Robótica educativa aplicando el modelo instruccional ADDIE: Estrategia didáctica para fortalecer la enseñanza-aprendizaje en la asignatura de Física. *Revista Latinoamericana Ogmios [RLO]*, 4(10), 11-28. <https://doi.org/10.53595/rlo.v4.i10.100>
- Pujol, F. A., Arques, P., Aznar, F., Jimeno, A., Pujol, M., Pujol, M. J., Rizo, R., Saval, M., Sempere, M., Tomás, D., Asensi, M., González, S., & Rodríguez, D. (2020). Robótica educativa como herramienta de aprendizaje de tecnología. En R. Roig, J. M. Antolí, R. Díez y N. Pellín, *Redes de Investigación e Innovación en Docencia Universitaria* (pp. 389-398). Universidad de Alicante, Instituto de Ciencias de la Educación.
- Pulido, J. A. (2024). La E de ingeniería en el enfoque STEM. *Academia y Virtualidad*, 17(2), 137–147. <https://doi.org/10.18359/ravi.7283>
- Rahman, N. A., Rosli, R., Rambely, A. S., Siregar, N. C., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2022). Secondary school teachers' perceptions of STEM pedagogical content knowledge. *Journal on Mathematics Education*, 13(1), 119-134. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i1.pp119-134>
- Ratchford, B. T. (1987). New insights about the FCB grid. *Journal of Advertising Research*, 27(4), 24-38.
- Reyes, R. F., & Ramírez, D. C. (2021). Competencias iniciales para docentes que desarrollen educación STEM. En T. Linde, F. D. Guillén, A. Cívico y E. Sánchez (Coords.), *Tecnología y educación en tiempos de cambio* (pp. 63-72). UMA Editorial.
- Rodríguez, E. F., Cupul, L., Mondragón, W., & Guevara, L. P. (2024). Estrategias para fomentar la participación del modelo STEM con equitativa de género en TECNM Roque. *IPSUMTEC*, 7(1), 66-71.

- Romero-Rodríguez, J. M., De La Cruz-Campos, J. C., Ramos-Navas-Parejo, M., & Martínez-Domingo, J. A. (2023). Robótica educativa para el desarrollo de la competencia STEM en maestras en formación. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 75(4), 75-92. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2023.97174>
- Sáinz, M. (2020). Brechas y sesgos de género en la elección de estudios STEM: ¿Por qué ocurren y cómo actuar para eliminarlas? *Centro de Estudios Andaluces*, 84, 1-22. <http://dx.doi.org/10.54790/actualidad.0013>
- Santiago-Gutiérrez, P., Martínez-Borreguero, G., Mateos-Núñez, M., & Naranjo-Correa, F. L. (2018). Análisis de la inclusión de imágenes en cuestionarios STEM en el alumnado de 4º y 6º de Educación Primaria. En C. Martínez-Losada, y S. García (Coords.), *Iluminando el cambio educativo: encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 673-678). Universidade da Coruña.
- Sen, C. (2019). *Faltan maestras de primaria con pasión por la tecnología*. <https://www.lavanguardia.com/vivo/mamasypapas/20190822/464206335179/maestra-tecnologia-genero-salan.html>
- Stage, F. K., Carter, H. C., & Nora, A. (2010). Path Analysis: An Introduction and Analysis of a Decade of Research. *The Journal of Educational Research*, 98(1), 5–13. <https://doi.org/10.3200/JOER.98.1.5-13>
- Sun, L., Hu, L., Yang, W., Zhou, D., & Wang, X. (2021). STEM learning attitude predicts computational thinking skills among primary school students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(2), 346-358. <http://dx.doi.org/10.1111/jcal.12493>
- Verdugo, S. (2022). *La brecha de género en los estudios universitarios del sector STEM en el espacio español de educación* (Tesis doctoral). Universidad de Salamanca.
- Vuorikari, R., Jerzak, N., Karpinski, Z., Pokropek, A., & Tudek, J. (2022). *Measuring digital skills across the EU: Digital Skills Indicator 2.0*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/897803>
- Wester, F. P. J. (1995). *Strategieën voor kwalitatief onderzoek*. Coutinho.

Yıldırım, B., & Şahin, E. (2019). STEM Pedagogical Content Knowledge Scale (STEMPCK): A validity and reliability study. *Journal of STEM Teacher Education*, 53(2), Article 2. <https://doi.org/10.30707/JSTE53.2Yildirim>

