

Conocimiento Técnico Pedagógico del Contenido (TPACK) en contextos STEM y STEAM: Una revisión bibliográfica

Technological pedagogical content knowledge (TPACK) in STEM and STEAM contexts: A literature review

Conhecimento técnico-pedagógico do conteúdo (TPACK) em contextos STEM e STEAM: uma revisão da literatura

Miguel Angel Paidicán Soto

Universidad de Granada, España

mpaidican@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0696-054X>

Pamela Alejandra Arredondo Herrera

Universidad de Granada, España

pamfergab2506@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-4888-4584>

DOI: <https://doi.org/10.37177/UNICEN/EB35-441>

Recepción: 15 Octubre 2024

Revisado: 25 Febrero 2025

Aprobación: 27 Febrero 2025



Acceso abierto diamante

Resumen

El objetivo de la investigación fue examinar la producción científica del modelo TPACK en contextos STEM y STEAM. Se seleccionaron 15 artículos incluyendo las bases y/o repositorios: DIALNET, *Dimensions*, ERIC, *Google Scholar*, *OpenAlex*, Redalyc, Scilit, SCOPUS y WoS, desde el inicio del TPACK 2006 hasta marzo 2024. Los criterios de inclusión fueron: acceso abierto, solo artículos, texto completo, ciencias sociales y contextos STEM y STEAM. Se concluyó que existe una exigua producción científica del TPACK en contextos STEM y STEAM alcanzando solo el 0,84%, en el período comprendido entre los años 2014 y 2024, concentrando el 60% de las publicaciones entre 2020 y 2022. Existe una predilección de estudios STEM con más del 90% de las investigaciones. Se recomienda diseñar y ejecutar procesos formativos que integren de manera armónica los conocimientos pedagógicos, tecnológicos y disciplinares, considerando los diversos factores contextuales que inciden en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: competencias del docente, conocimiento técnico pedagógico del contenido (TPACK), formación docente, tecnología educativa, STEM y STEAM.

Abstract

The aim of the research was to examine the scientific production of the TPACK model in STEM and STEAM contexts. Fifteen articles were selected including the following databases and/or repositories: DIALNET, *Dimensions*, ERIC, *Google Scholar*, *OpenAlex*, Redalyc, Scilit, SCOPUS and WoS, from the beginning of TPACK 2006 until March 2024. The inclusion criteria were: open access, articles only, full text, social sciences, STEM and STEAM contexts. It was concluded that there is a meagre scientific production of TPACK in STEM and STEAM contexts, reaching only 0,84% in the period between 2014 and 2024, with 60% of the publications concentrated between 2020 and 2022. There is a predilection for STEM studies with more than 90% of the research. It is recommended to design and implement training processes that harmoniously integrate pedagogical, technological and disciplinary knowledge, considering the various contextual factors that affect the teaching-learning process.

Keywords: teachers' competence, technological pedagogical content knowledge (TPACK), teacher training, educational technology, STEM and STEAM.

Resumo

O objetivo da pesquisa foi examinar a produção científica do modelo TPACK em contextos STEM e STEAM. Foram selecionados 15 artigos, incluindo as seguintes bases de dados e/ou repositórios: DIALNET, Dimensions, ERIC, Google Scholar, OpenAlex, Redalyc, Scilit, SCOPUS e WoS, desde o início do TPACK 2006 até março de 2024. Os critérios de inclusão foram: acesso aberto, apenas artigos, texto completo, ciências sociais, contextos STEM e STEAM. Concluiu-se que há uma escassa produção científica sobre TPACK em contextos STEM e STEAM, chegando a apenas 0,84% no período entre 2014 e 2024, com 60% das publicações concentradas entre 2020 e 2022. Há uma predileção pelos estudos STEM com mais de 90% das pesquisas. Recomenda-se a conceção e implementação de processos de formação que integrem harmoniosamente os conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e disciplinares, considerando os diversos fatores contextuais que afetam o processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Competências dos professores, conhecimento técnico pedagógico do conteúdo (TPACK), formação de professores, tecnologia educativa, STEM e STEAM.

1. Introducción

Con el transcurso de los años la integración de la tecnología en la educación se ha convertido en una prioridad debido al acelerado desarrollo de la Cuarta Revolución Industrial (IR 4.0) y el uso de la Internet de las Cosas (IoT). Es así que resulta fundamental que los docentes fortalezcan sus conocimientos y habilidades acordes con los nuevos desafíos, y que dispongan de herramientas, hardware, software, aplicaciones y espacios de reflexión, elementos que potenciarán los procesos de enseñanza y aprendizaje (Muhazir y Renawati, 2020; Paidicán, 2018; Van Leendert et al., 2021).

Han surgido algunos modelos que intentan dar respuesta a la situación actual, destacando el modelo del Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (TPACK), obteniendo un gran desarrollo en el ámbito de las tecnologías digitales. Lo anterior es corroborado con más 18.000 citaciones del trabajo original de Mishra y Koehler (2006) denominado *“Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge”*, observadas en *Google Scholar* mediante el *software Harzing's Publish and Perish*.

Desde su génesis el TPACK está constituido de siete dimensiones, tres conocimientos centrales: pedagógicos, disciplinares y tecnológicos y cuatro secundarios, descritos a continuación:

1. Conocimientos tecnológicos (TK): Compuestos por conocimientos y habilidades relacionados con el uso de recursos y herramientas tecnológicas (Angeli y Valanides, 2009; Koehler et al., 2014; Mishra y Koehler, 2006).
2. Conocimiento del contenido (CK): Referidos con la comprensión de los conocimientos de una disciplina específica, incluyendo la gestión del aula, la planificación y la evaluación de los procesos de enseñanza y aprendizaje (Munyengabe et al., 2017; Schmidt et al., 2009).
3. Conocimiento pedagógico (PK): Compuesto por los conocimientos y habilidades referidos con métodos, enfoques y procesos de enseñanza y aprendizaje (Mishra y Koehler, 2006).
4. Conocimiento pedagógico del contenido (PCK): Compuesto por la interrelación entre CK y PK, referido a la enseñanza de un contenido centrado en el alumnado (Koehler et al., 2014; Mishra y Koehler, 2006; Shulman, 1986).
5. Conocimiento del contenido tecnológico (TCK): Compuesto por la interrelación entre TK y CK, centrado en el aprendizaje de un contenido específico mediado con tecnología (Koehler et al., 2014; Mishra y Koehler, 2006; Schmidt et al., 2009).
6. Conocimiento tecnológico pedagógico (TPK): Compuesto por la interrelación entre TK y PK, centrado en las potencialidades y limitación sobre el uso pedagógico de las tecnologías (Mishra y Koehler, 2006; Schmidt et al., 2009; Terpstra, 2015).
7. Conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK): Compuesto por la interrelación entre CK, PK y TK, referido a los conocimientos que poseen los docentes cuando integran las tecnologías, incluyendo los conocimientos previos y las dificultades de los estudiantes (Koehler et al., 2014; Mishra y Koehler, 2006; Schmidt et al., 2009).

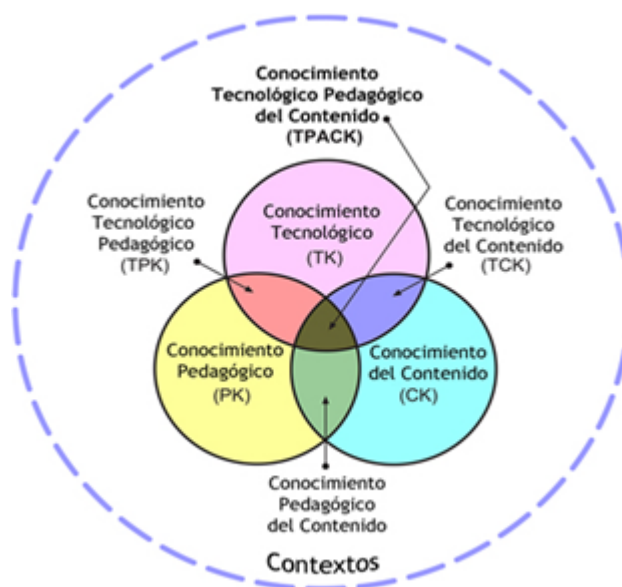


Figura 1

Ilustración del conocimiento tecnológico de contenidos pedagógicos (TPACK).

Modelo TPACK. Reproducido con autorización del editor, © 2012 por tpack.org

Las sólidas orientaciones del TPACK han influido fuertemente las investigaciones de los últimos 18 años, en aspectos relacionados con la formación docente en el ámbito de la integración educativa, incluyendo el diseño experiencias de aprendizaje (Foulger et al., 2022; Redmond y Peled, 2019; Schmid et al., 2021; Ortiz et al., 2023). Cabe señalar que los estudios deben considerar las particularidades del entorno, incluyendo a los docentes, estudiantes, comunidades educativas, entre otros (Akyuz, 2023; Byrne-Cohen, 2020; Paidicán et al., 2024).

Durante los últimos años han surgido investigaciones del TPACK centradas en tecnologías emergentes, por ejemplo: inteligencia artificial (IA) generativa, IoT y realidad virtual, incluyendo evaluación de conocimientos, diseño de actividades didácticas y procesos de formación profesional (Cyril et al., 2023; Kim y Kwon, 2023; Saz-Pérez et al., 2024; Sun et al., 2023; Yue et al., 2024). Otras áreas de investigación TPACK menos desarrolladas se relacionan con los enfoques STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) y STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*), aunque estos últimos se presentan más acotado.

El enfoque educativo STEM tiene como objetivo desarrollar habilidades en los estudiantes por medio de la resolución de problemas. Su diseño pedagógico incluye actividades interdisciplinarias que favorecen el razonamiento casual y condicional, secuenciación y pensamiento sistémico (Kong, 2023; Sullivan y Heffernan, 2016; Van Vo y Csapó, 2023).

El STEM presenta una serie de atributos entre los que destacan la integración transdisciplinaria, contextos auténticos o del mundo real (English et al., 2017; Kelley y Knowles, 2016; Nadelson y Seifert, 2017; Vásquez, 2015). Cabe señalar que las prácticas STEM de alta calidad, requieren la inclusión adecuada de factores sociales, pedagógicos y ambientales, de tal forma de evitar una visión limitada sobre el uso de las tecnologías (Krasovskiy, 2020; Xu y Ouyang, 2022).

Cabe manifestar que surge el STEAM con el objetivo de unificar los pensamientos convergentes de las disciplinas STEM, incorporando los pensamientos divergentes relacionados con las artes y humanidades, creando espacios de desarrollo personal y automotivación (Land, 2013; Aguilera y Ortiz, 2021). Los resultados de las investigaciones centradas en STEM y STEAM, dejan en evidencia de sus efectos positivos en la creatividad de docentes reflejado en el diseño, implementación y evaluación de intervenciones didácticas,

mientras que el desarrollo de la creatividad de los estudiantes se ve reflejado en sus habilidades para la resolución de problemas (Aguilera y Ortiz, 2021; Bang y Kim, 2016; Conradty y Bogner, 2020).

El desarrollo de una búsqueda preliminar sobre la existencia de revisiones sistemáticas (RS), cienciometría y/o bibliometrías, mediante el programa *Harzing's Publish and Perish* para *Google Scholar*, nos permite observar la existencia de siete estudios. Aunque éstos no incluyen el enfoque STEAM, priorizando estudios centrados en formación docente y explorando solo algunas bases de datos y/o repositorios, careciendo de análisis de estudios centrados en los estudiantes.

Los antecedentes previos confirman que la presente RS es un complemento para el desarrollo del TPACK, abordando STEM y STEAM con una visión más amplia. Para Schmid et al. (2024) el TPACK representa un campo de investigación grande y en constante desarrollo, requiriendo de revisiones de literatura y meta análisis que faciliten la descripción, resumen y análisis sistemáticos de las investigaciones.

Es así como la presente investigación tiene como objetivo examinar la producción científica del modelo TPACK en contextos STEM y STEAM, para ello se determinan las siguientes interrogantes:

Pregunta 1: ¿Qué tipo de estudios se obtienen de la literatura científica del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?

Pregunta 2: ¿Cuáles son las orientaciones metodológicas de las investigaciones del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?

Pregunta 3: ¿Qué resultados se obtienen de las investigaciones del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?

Pregunta 4: ¿Qué recomendaciones se sugieren de las investigaciones del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?

2. Métodos y materiales

La presente RS incluyó para su desarrollo las orientaciones establecidas por Kitchenham (2004), ampliamente utilizada en las ciencias sociales, véase Tabla 1.

Tabla 1
Etapas descritas en la RS

Etapas	Actividad
Etapas 1: Planificación de la revisión	Actividad 1.1: Identificación de la necesidad de la revisión
	Actividad 1.2: Desarrollo de un protocolo de revisión
Etapas 2: Realización de la revisión	Actividad 2.1: Identificación del foco de la investigación
	Actividad 2.2: Selección de estudios primarios
	Actividad 2.3: Evaluación de la calidad de los estudios
	Actividad 2.4: Extracción y monitoreo de datos
Etapas 3: Informe de la revisión	Actividad 2.5: Síntesis de los datos
	Actividad 3.1: Comunicación de los resultados.

Elaboración basada Kitchenham (2004)

Planificación y realización del RS

En la fase preliminar se realizó un *Scoping search*, conforme a lo planteado por Robinson et al. (2014). El objetivo fue establecer la existencia de revisiones de literatura, bibliometrías y/o cienciometrías referidas al modelo TPACK y los enfoques STEM y STEAM, se incluyó la producción científica desde el año 2019 a 2024. Para la revisión se consideraron los primeros 400 registros de *Google Scholar* obtenidos mediante

programa *Harzing's Publish and Perish*, versión 8.12.4612. Las ecuaciones de búsqueda incluyeron los términos generales “*technological AND pedagogical AND content AND knowledge OR TPACK AND STEM education AND STEAM education*”.

Tabla 2

Resumen de RS, bibliometrías y cienciometrías del modelo TPACK y los enfoques STEM y STEAM (2019-2024)

Autor	Periodo de años	N° de Artículos	Bases de datos	Foco de investigación
Chai (2019)	Inicio hasta marzo 2018	23 artículos	SCOPUS y <i>Web of Science</i> (WoS)	Comprender el estado de la investigación sobre STEM y el desarrollo profesional del profesorado.
Iswadi et al. (2020)	2015-2019	8 artículos	<i>Springerlink</i> y <i>Perpusnas web search</i>	Analizar los artículos relacionados con TPACK y STEM e iniciar el desarrollo de instrumentos TPACK-STEM.
Hasanah et al. (2022)	2011-2022	999 artículos	<i>Google Scholar</i> por medio <i>Publish or Perish</i>	Averiguar la relación entre PCK y STEM buscando oportunidades de cómo implementar programas de formación profesional docente.
Huang et al. (2022)	2006-2020	76 artículos	WoS	Comprender las tendencias de publicación, los enfoques comúnmente adoptados y las buenas prácticas en K-12 STEM y formación profesional docente.
Karampelas (2023)	Desde el 2007	2.680 artículos	SCOPUS	Examinar artículos que combinen los términos TPACK y STEM.
Khushk et al. (2023)	2012-2022	18 artículos	<i>Google Scholar</i> , SCOPUS, <i>Springer</i> y WoS	Examinar los artículos de investigación relacionados con la educación STEM y la innovación tecnológica.
Zulkifli et al (2022)	Sin especificar	12 artículos	<i>Google Scholar</i> , <i>Sciencedirect</i> , <i>ERIC Journal</i> , <i>Taylor and Francis</i> , <i>Wiley Journal</i> , <i>Sage Journal</i> y <i>Emerald</i> .	Analizar el efecto del modelo de aprendizaje del TPACK integrado en STEM sobre las competencias del siglo XXI de los estudiantes de bachillerato de la especialidad de ciencias.

Elaboración propia.

En la Tabla 2, se observa que las RS y bibliometrías centradas en TPACK y el enfoque STEM incluyen preferentemente elementos de la formación profesional docente. Las RS se desarrollan desde el año 2020,

incluyendo artículos desde el inicio del TPACK. Se abordaron entre ocho y 2.680 artículos, siendo *Google Scholar*, SCOPUS y WoS, las bases de datos predilectas.

Los antecedentes previos dejan de manifiesto que la presente RS aborda elementos desconocidos, como, por ejemplo: análisis de los estudios conforme al tipo de destinatario, incluyendo los principales hallazgos y recomendaciones, entre otros elementos que inciden en el desarrollo del modelo TPACK.

Seguidamente se realizó una RS analizando documentos del TPACK y los enfoques STEM y STEAM, desde el inicio del modelo TPACK hasta marzo 2024. Las ecuaciones de búsqueda se construyeron considerando el término TPACK para evitar enfocar solo en uno o dos conocimientos (Mishra y Koehler, 2006; De Rossi y Trevisan, 2018).

Cabe manifestar que los términos utilizados fueron verificados en los tesauros ERIC y UNESCO, véase en la Tabla 3. Las bases de datos y/o repositorios incluidos se seleccionaron priorizando el acceso de los investigadores y el uso de *Open Access*.

Tabla 3
Protocolo específico de palabras claves en cada base de datos

Bases de datos	Protocolo
DIALNET	MODELO TPACK AND STEM AND STEAM
DIMENSIONS	technological pedagogical content knowledge OR tpack AND STEAM EDUCATION OR STEM EDUCATION
ERIC	technological pedagogical content knowledge OR tpack AND STEAM EDUCATION and STEM EDUCATION
Google Scholar	technological pedagogical content knowledge OR tpack AND STEAM EDUCATION and STEM EDUCATION
OpenAlex	technological pedagogical content knowledge OR tpack AND STEAM EDUCATION OR STEM EDUCATION
Redalyc	MODELO TPACK AND EDUCATION STEM AND EDUCATION STEAM
Scilit	technological pedagogical content knowledge OR tpack AND STEAM EDUCATION or STEM EDUCATION
SCOPUS	technological pedagogical content knowledge OR tpack AND STEAM EDUCATION OR STEM EDUCATION
WoS	((TS=(technological pedagogical content knowledge)) OR TS=(TPACK)) AND TS=(STEAM EDUCATION)) OR TS=(STEM EDUCATION)

Elaboración propia.

Con respecto a los criterios de inclusión fueron: acceso abierto, texto completo, ciencias sociales, nivel educativo infantil, primario y secundario e investigaciones desarrolladas en contextos STEM y STEAM educación. Además, fueron excluidos: resúmenes, editoriales, notas de prensa, documentos de conferencias, disertaciones y tesis de maestría y doctorado, otras áreas distintas a las ciencias sociales, nivel universitario e investigaciones que no consideren STEM y STEAM educación.

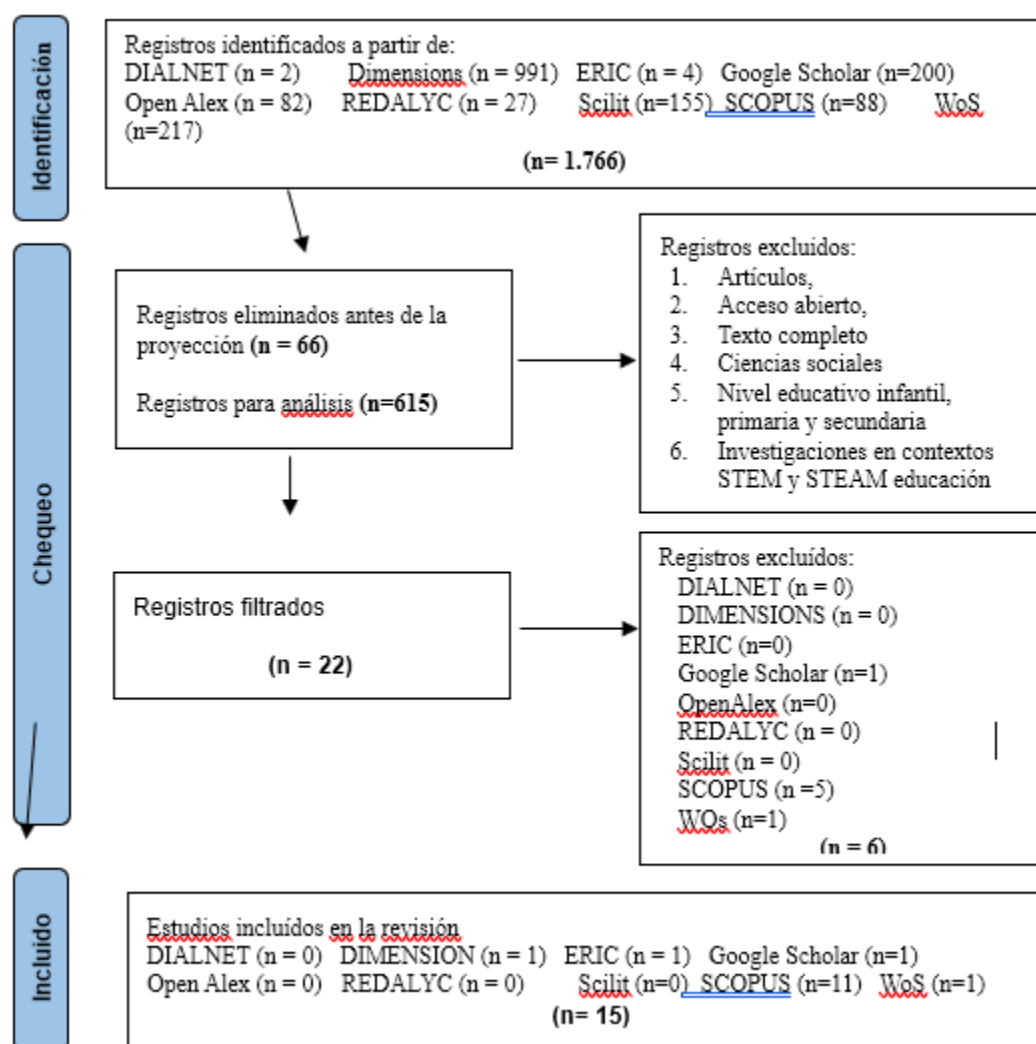


Figura 2
Esquema resumen de los artículos seleccionados
Elaboración propia.

Se obtuvieron 1.766 registros en la etapa de identificación, la mayor cantidad la proporciona *Dimensions*, seguido por WoS y *Google Scholar*, 56,11%, 12,28% y 11,32% respectivamente. Se han revisado los artículos según: títulos, palabras clave y resúmenes, en concordancia con los criterios de inclusión; en algunos casos se debió acceder al texto completo. Se incluyeron 15 artículos, 11 en SCOPUS 73,33% y 4 entre *Dimensions*, ERIC, *Google Scholar* y WoS, representando 6,66% cada uno. Por último, se realizó una lectura sistemática de los artículos seleccionados, dando respuesta a las preguntas de investigación, véase Tabla 4.

Tabla 4
Artículos de investigación incluidos en el RS

Nº	Autor	País	Tipo de estudio	Muestra	Instrumentos	Nivel educativo	Asignatura
1	Atmojo et al. (2022)	Indonesia	Mixto Investigación basada en diseño	26 actividades integradas	Textos escolares, entrevistas, notas de campo y pruebas.	Primaria	STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas).
2	DeCoito y Estaiteyeh. (2022)	Canadá	Mixto (convergente)	70 docentes	Cuestionario entornos en línea adaptado (Barberà et al. (2016)ñ.	Primaria y secundaria	Materias STEM (biología, química, ciencias ambientales, física, ciencias de la tierra, ciencias generales, tecnología y matemáticas).
3	Dos Santos (2021)	Australia	Cualitativa	20 docentes	Entrevistas y grupo discusión.	Secundaria	STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)
4	Fuentes y Martínez (2019)	España	Investigación basada en diseño	Docentes	Lista de chequeo.	Secundaria	Materias STEM (Física, química, biología, geología, tecnología y matemática).
5	Gözüm et al. (2022)	Grecia y Turquía	Cuantitativo	669 docentes	Cuestionario de conocimiento del contenido pedagógico STEMPCK, desarrollada por Yıldırım & Türk (2018).	Infantil	STEM centrado (Lectura, matemáticas y ciencias)

6	Hunter (2017)	Australia	Cualitativa (estudio de caso)	6 docentes y 143 estudiantes	Observaciones de aula, entrevistas docentes, grupo focal estudiantes y análisis de documentos.	Secundaria	STEM diversas áreas Ciencias, historia, inglés, artes y Salud y educación física
7	Jocius et al. (2021)	Estados Unidos	Mixto	24 docentes	Reflexiones (antes y después), filmaciones y Encuesta.	Secundaria y bachillerato	Ciencias, matemáticas, inglés, ciencias sociales y otras áreas (negocios, español, ciencias forenses, entrenador de instrucción y tecnología)
8	Kajonmanee et al. (2020)	Tailandia	Investigación basada en diseño	78 docentes	Cuestionario adaptado del Modelo TAM3 (Venkatesh y Bala, 2008) y prueba TPACK (pre y post test).	Secundaria	STEM centrado en Física y ciencias
9	Kang et al. (2021)	Estados Unidos	Cuantitativo	6 docentes	Encuesta STEM adaptado de Nistor et al. (2018) según Enseñanza remota de emergencia.	Infantil	Sin especificaciones
10	Ko y Hong (2020)	Corea del Sur	Investigación basa en diseño	58 estudiantes, quinto grado	Encuesta (pre y post).	Primaria	STEM centrado en ciencias

11	Martins y Baptista (2024)	Portugal	Cualitativa	5 docentes	Pre y post TEST Entrevistas, observaciones, talleres y reflexiones.	Secundaria	STEAM centrado en Física
12	Muro et al. (2023)	México y Filipinas	Investigación basa en diseño	10 docentes	Cuestionario TPACK-G (Hsu et al. 2013) basada en Game T-STEM (Eficacia del Maestro de primaria y sus actitudes. Entrevistas.	Primaria y secundaria	STEM centrado en la Gamificación
13	Silva et al. (2020)	Brasil	Plan de trabajo	367 docentes (incluye indígenas y rurales)	Cuestionario TPACK (Schmidt et al. (2009) Cuestionario <i>InTecEdu Program</i> Adaptado modelo Schmidt's.	Primaria y secundaria	STEM sin especificar
14	Wan y Fergusson (2017)	Australia	Mixto	49 docentes	Cuestionario online entrevistas, grupo focal, notas de campo, observaciones de clases y talleres conversacionales.	Secundaria	STEM centrado en ciencias
15	Ware y Stein (2014)	Estados Unidos	Cualitativo	19 docentes	Entrevistas	Secundaria	STEM centrado en matemáticas

Elaboración propia.

3. Resultados

En primer lugar, se desarrollan análisis de carácter cuantitativo considerando: años de publicación, distribución geográfica, tipo de investigación, nivel educativo, ubicación geográfica y muestras. En segundo lugar, se analizan los estudios conforme al tipo de destinatario.

Índices de datos cuantitativos del modelo TPACK en contextos STEM y STEAM

En relación con el primer interrogante, ¿Qué tipo de estudios se obtienen de la literatura científica del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?, se observa que la producción científica se dispone entre los años 2014 y 2024, siendo los años 2020, 2021 y 2022 los que representan una mayor cantidad de artículos con 60% del total de documentos, representando una evolución anual irregular, véase Figura 3.

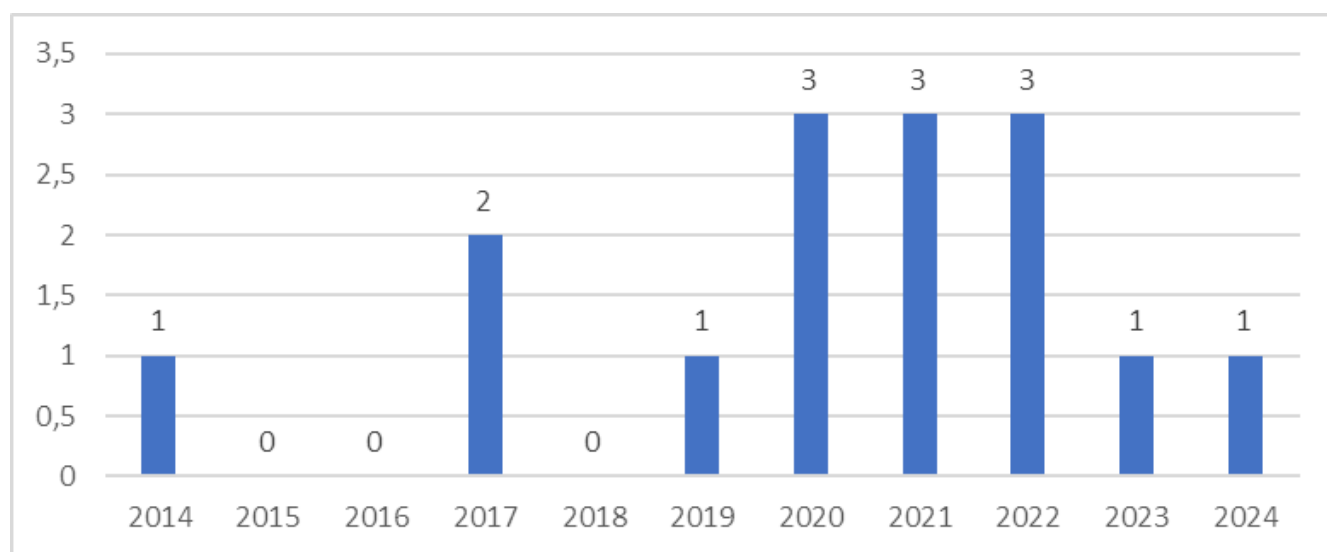


Figura 3
Artículos TPACK según el año de publicación
Elaboración propia.

Con respecto a la distribución geográfica, se han desarrollado investigaciones en 19 países distintos. Australia y Estados Unidos representan el 40% de la producción científica. En relación a la distribución por continente, América obtiene el 40% de la producción, seguido por Asia y Europa con 26,66% respectivamente.

Al referirnos al tipo de investigación, el 80% de los estudios establecen metodologías cualitativas, mixtas y basadas en diseño con 26,66% de casos respectivamente, véase Figura 4. En cuanto a las muestras presentan un promedio de 117,23 casos, siendo la muestra más significativa 669 docentes de Grecia y Turquía (Gözüm et al., 2022), por su parte, la más acotada corresponde a Martins y Baptista (2024) con solo 5 docentes. Cabe señalar que el estudio de Atmojo et al. (2022) incluye en su muestra actividades didácticas.

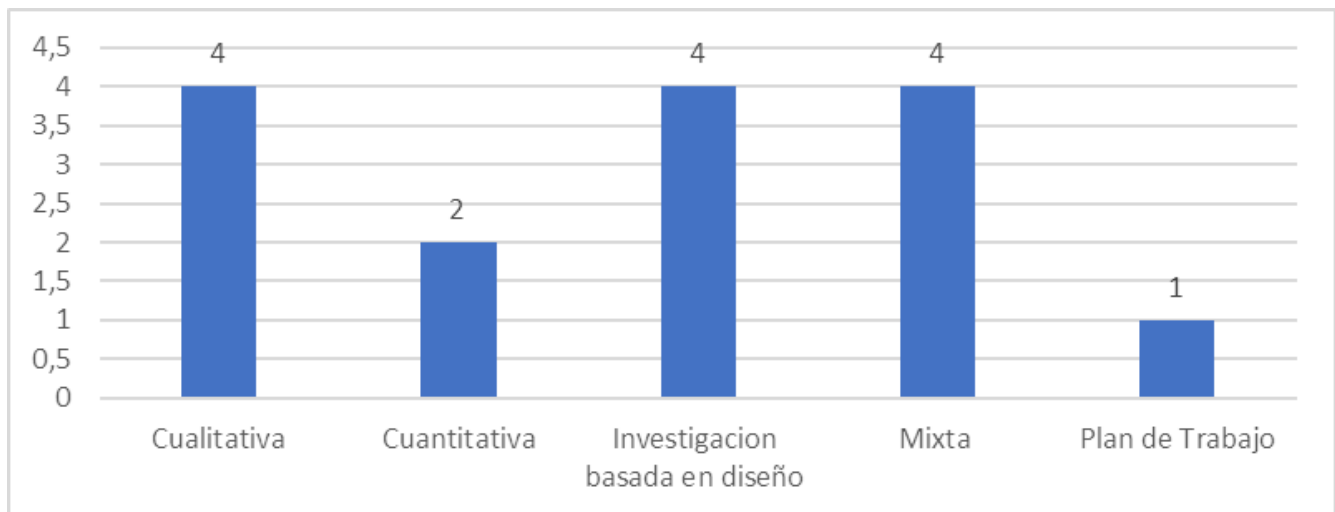


Figura 4

Tipos de investigación encontrados en este RS.
Elaboración propia.

En relación con los niveles educativos, el 80% de estudios se concentra en los niveles primarios y secundarios, siendo secundaria la que presenta un mayor desarrollo con 46,66%, véase Figura 5.

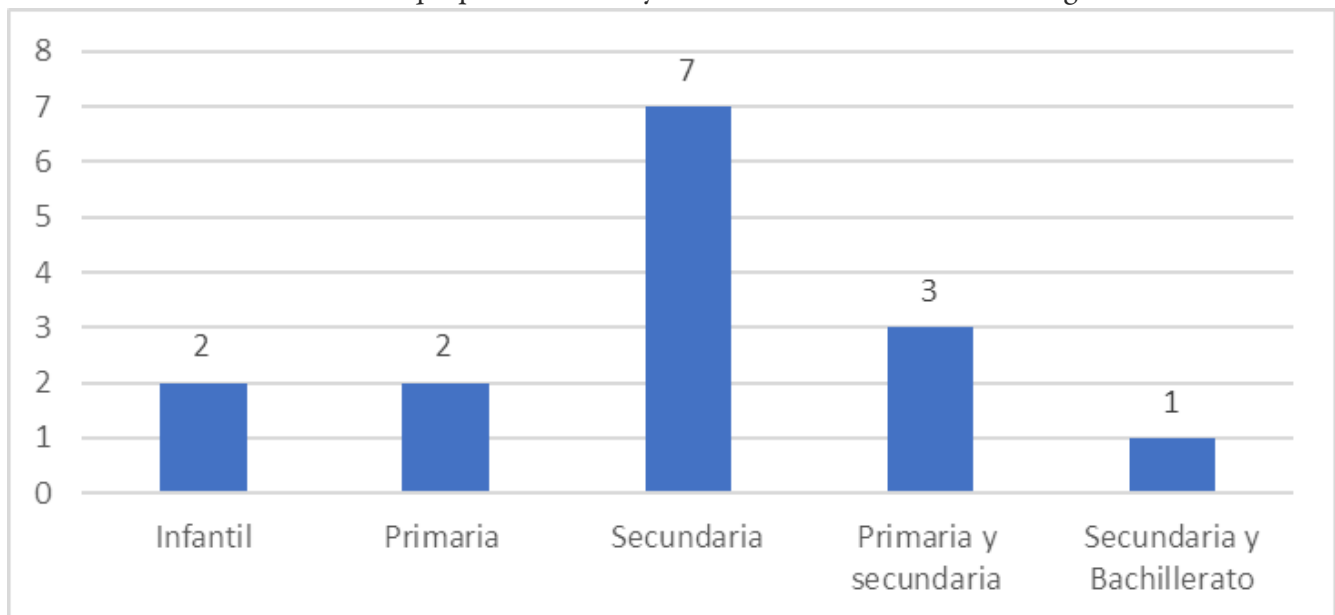
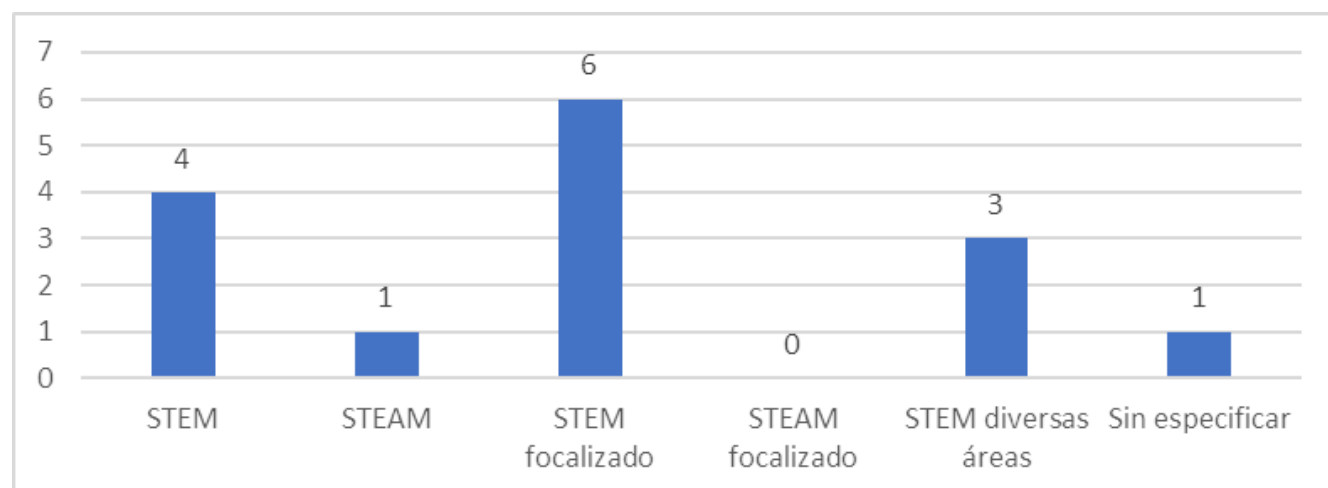


Figura 5

Niveles educativos de las investigaciones de la RS
Elaboración propia.

En relación con los instrumentos, se emplearon 13 distintos en un total de 34 aplicaciones donde las entrevistas y los cuestionarios son mayoritarios con 46,66% del total de los estudios. En la Figura 6, se observa que el 40% de las investigaciones están centradas en STEM focalizados incluyendo entre una y tres asignaturas, seguido por STEM con cinco áreas en su mayoría (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). Cabe señalar que se incluyen otras áreas distintas a las habituales como, por ejemplo: negocios, ciencias forenses, salud y educación física, entre otras.

**Figura 6**

Enfoques de los estudios de las investigaciones de la RS
Elaboración propia.

El modelo TPACK en contextos STEM y STEAM según destinatarios

El segundo apartado estructura su análisis conforme a los destinatarios, docentes y estudiantes. Para ello, se establecieron con referentes los lineamientos de Paidicán y Arredondo (2022). En relación con el profesorado los estudios se clasifican en autoinforme de conocimiento, formación y experiencias docentes. Cabe señalar que se abordaron las interrogantes: Pregunta 2: ¿Cuáles son las orientaciones metodológicas de las investigaciones del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?, Pregunta 3: ¿Qué resultados se obtienen de las investigaciones del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM? Y Pregunta 4: ¿Qué recomendaciones se sugieren de las investigaciones del modelo TPACK en contextos STEM o STEAM?

Tabla 5

Enfoque de las investigaciones TPACK, STEM y STEAM centradas en los docentes

Enfoque TPACK	Autores	Cantidad/ porcentaje
Auto informe de conocimientos	DeCoito y Estaiteyeh (2022), Gözüml et al. (2022), Jocius et al. (2021), Kajonmanee et al. (2020)	4 (30,76%)
Formación docente	Martins y Baptista (2024), Silva et al. (2020)	2 (15,38%)
Experiencias docentes	Atmojo et al. (2022), Dos Santos (2021), Fuentes y Martínez (2019), Kang et al. (2021), Muro et al. (2023), Wan y Fergusson (2017), Ware y Stein (2014)	7 (53,84%)

Elaboración propia.

En la Tabla 5 se observa que un tercio de los estudios se relaciona con el autoinforme de conocimientos. Las investigaciones se desarrollan en América, Asia y Europa, la mitad son estudios mixtos, seguidos por cuantitativo y basado en diseño. La muestra más significativa corresponde a Gözüml et al. (2022) con 669 docentes de infantil, por su parte, la muestra más acotada es Jocius et al. (2021) con 24 docentes de secundaria y bachillerato. En relación con los instrumentos, se utiliza con mayor frecuencia el cuestionario entre ellos, entornos en línea adaptado (Barberà et al., 2016), STEM PCK (Yıldırım y Türk 2018) y el Modelo TAM3 (Venkatesh y Bala, 2008). Las investigaciones se realizan entre los niveles infantil y bachillerato, siendo

secundaria el nivel más demandado. Con respecto al enfoque, la mitad de los estudios incluyeron todas las signaturas STEM, mientras que los otros estudios se centraron solo en dos asignaturas, entre ciencias, física y matemática.

Los estudios concluyen que existe una falta de formación en conocimientos relacionados con el uso de la tecnología (TK) y temáticas STEM, afectando la autoeficacia del profesorado y sus prácticas profesionales cotidianas, como: planificación, implementación y evaluación de proceso de enseñanza y aprendizaje (DeCoito y Estaiteyeh, 2022; Gözüml et al., 2022). A lo anterior se suma la falta de recursos digitales, tiempo y apoyo para la formación continua, agudizado por la pandemia COVID-19 (DeCoito y Estaiteyeh, 2022; Kajonmanee et al., 2020).

El trabajo docente en contextos STEM favorece el compromiso y autonomía de los estudiantes (DeCoito y Estaiteyeh, 2022). Es fundamental contar con un sólido apoyo pedagógico en contenidos integrados, como los de STEM, mediante la articulación coherente del propósito, el desarrollo, la colaboración y el conocimiento tanto del contexto como de los estudiantes, teniendo como referencia *Infusing Computing Connect*, en el desarrollo de pensamiento computacional TPACK-CT (Jocius et al., 2021).

Se recomienda el diseño, ejecución y evaluación de procesos de formación profesional docentes en temáticas TPACK y STEM, como el pensamiento computacional (DeCoito y Estaiteyeh, 2022; Jocius et al., 2021). Además, se deben revisar las políticas educativas relacionadas con STEM PCK (Escala de Conocimientos Pedagógicos del Contenido STEM) y el apoyo tecnológico entregado (Gözüml et al., 2022). Por último, se requiere de estudios experimentales que incluyan variables como: dispositivos digitales utilizados, cantidad de datos obtenidos, entre otras (Kajonmanee et al., 2020).

En la presente RS se obtienen dos investigaciones relacionadas con la formación del profesorado representando el 15,38%. Los estudios se desarrollaron en Brasil y Portugal, utilizando metodologías cualitativas y plan de trabajo compuesto por un paquete de cinco elementos. Las muestras son de cinco y 367 docentes, siendo esta última la que incluye docentes de contextos rurales e indígenas (Silva et al., 2020). Se utilizaron distintos instrumentos, entre ellos: entrevistas, observaciones, reflexiones, pre y post test y los cuestionarios *Technological Profile & Remote Laboratory* y TPACK (Schmidt et al., 2009). Con respecto a los niveles educativos, las investigaciones incluyeron primaria y secundaria, con enfoques STEM centralizados en Física y STEM amplio sin especificar.

Las investigaciones concluyen que la utilización de STEM PCK resulta crucial para los procesos de reflexión de prácticas de enseñanza y aprendizaje, incluyendo las características y particularidades de los docentes. Además, permite un adecuado desarrollo conceptual, acorde al *currículum* vigente (Martins y Baptista, 2024). El uso de modelo como *Culture Maker* favorece que los docentes desempeñen un papel clave al momento de la integración tecnológica, incluyendo aspectos relacionados con: planes de estudios, construcción de contenidos y recursos digitales en contextos STEM (Silva et al., 2020).

Se recomienda realizar estudios longitudinales que favorezcan el desarrollo de procesos de formación continua de los docentes (Martins y Baptista, 2024). Además, se requiere mejorar los procesos de divulgación de resultados y metodologías implementadas, priorizando el acceso abierto (Silva et al., 2020).

Por otro lado, más de la mitad de los estudios se relacionan con experiencias docentes desarrollados principalmente en Australia y Estados Unidos. Las investigaciones prefieren estudios mixtos y basados en diseño, 42,85% y 28,57% respectivamente. Las muestras presentan un promedio de 20,8 docentes, siendo la más representativa Wan y Fergusson (2017) con 49 docentes. Cabe señalar que el estudio de Atmojo et al. (2022) presenta una muestra compuesta por 26 actividades didácticas. Con respecto a los instrumentos, existe una preferencia por las entrevistas representando el 57,14%. El estudio de Wan y Fergusson (2017) utiliza seis instrumentos distintos entre ellos: cuestionario online, entrevistas, grupo focal, notas de campo, observaciones de clases y talleres conversacionales. Las investigaciones se desarrollan con mayor frecuencia en secundaria, en su mayoría abordan todas las asignaturas que componen el STEM, con la excepción de las investigaciones de Wan y Fergusson (2017) y Ware y Stein (2014) que se focalizan en ciencias y matemática respectivamente.

Los estudios concluyen que la escasa disponibilidad de recursos tecnológicos y conexión a internet limita su utilización, incluyendo zonas geográficas alejadas y el propio hogar de los estudiantes y la realización de los quehaceres escolares asignados por los docentes (Dos Santos, 2021; Ware y Stein, 2014). Los docentes presentan creatividad, voluntad y urgencia para el diseño de unidades de aprendizaje donde el STEM representa el impulso para que se desarrolle de la mejor forma posible, incluyendo armónicamente TK, PK y CK (Dos Santos, 2021; Fuentes y Martínez, 2019). Además, las prácticas docentes requieren conocimientos en TPACK y STEM, tales como CK-STEM (conocimientos), PK-STEM (metodologías) y TK-STEM (herramientas). Sin embargo, el éxito de estas prácticas depende del nivel de conocimiento TK, la adecuada ponderación de los factores contextuales y la constante reflexión del docente durante la planificación e implementación (Fuentes y Martínez, 2019; Kang et al., 2021; Wan y Fergusson, 2017; Ware y Stein, 2014). Por otro lado, la enseñanza remota de emergencia afectó el desarrollo de los estándares STEM, especialmente en áreas relacionadas con el aprendizaje cooperativo y enseñanza entre pares por parte de los estudiantes (Kang et al., 2021). En la actualidad existen diversas iniciativas que buscan ampliar las investigaciones relacionadas entre STEM y TPACK, entre ellas: el análisis de textos escolares STEAM (Atmojo et al., 2022), el uso de gamificación a través de TPACK-G, incluyendo planes de estudios, herramientas STEM y formación profesional docente (Muro et al., 2023) y modelos como *SMART SCIENCE* (Wan y Fergusson, 2017).

Se recomienda el desarrollo de estudios longitudinales incluyendo zonas alejadas (rurales), distintas asignaturas STEM y factores contextuales (Dos Santos, 2021; Kang et al., 2021). Además, se necesita mejorar las actividades propuestas en el contexto STEAM, de tal forma que sean acordes al siglo XXI, la gamificación puede desempeñar un papel clave por medio de la formación del profesorado (Atmojo et al., 2022; Muro et al., 2023).

Los estudios centrados en los estudiantes representan el 13,33% del total, desarrollados en Australia y Corea del Sur, utilizando metodologías cualitativas y basadas en diseño. En relación con las muestras, han participado 58 y 143 estudiantes, siendo la muestra más representativa el estudio de Hunter (2017). Además, este estudio presenta la mayor variedad de instrumentos utilizados, entre ellos: observaciones de aula, entrevistas docentes, grupo focal estudiantes y análisis de documentos. En relación al nivel educativo, se concentra en primaria y secundaria, abordando el STEM con todas las asignaturas y otras áreas como salud.

Los estudios concluyen que los docentes integran las tecnologías situando a los estudiantes en el centro del proceso de enseñanza y aprendizaje, requiriendo para su éxito el desarrollo de actividades (experimentos) en contextos planificados y con la colaboración entre el alumnado (Hunter, 2017). Por otro lado, la complementación del STEM y TPACK requiere de la creatividad de los docentes favoreciendo el aprendizaje de los estudiantes y el incentivo por temáticas científicas, por medio de la resolución de problemas (Hunter, 2017; Ko y Hong, 2020).

Se recomienda el desarrollo de estudios con muestras representativas ampliando los contextos y la duración de las investigaciones. Por último, es imperioso ampliar la implementación de aulas de tecnología de altas posibilidades *High Possibility Classrooms (HPC)*, de tal forma de alinear los intereses de los estudiantes con el currículo escolar.

4. Discusiones

Los estudios TPACK desarrollados en contextos STEM y STEAM logran una mayor notoriedad en los países de Australia y Estados Unidos, indistintamente de su contexto: urbano, semi rural, rural y mixto, resultado similar al obtenido por Lee et al. (2022), Mahtari et al. (2024), Paidicán y Arredondo (2023a) y Sakaria et al. (2023).

Se observa aumento significativo de los estudios entre los años 2020 y 2022, coincidiendo con el desarrollo de la emergencia sanitaria COVID-19. Cabe señalar que más de la mitad de los estudios se relacionan con

experiencias docentes, coincidiendo con Paidicán y Arredondo (2024) cuyos hallazgos indican que el profesorado requería de conocimientos, habilidades y destrezas para la utilización de las nuevas tecnologías.

Además, existe concordancia en las investigaciones de la importancia de los factores contextuales al momento de utilizar los modelos TPACK y STEM y STEAM, no solo en aspectos formativos, sino también en el desarrollo de actividades de aprendizaje.

Es así como los investigadores señalan que el éxito de los estudios requiere la inclusión adecuada de los diversos factores contextuales (Li et al., 2024; Paidicán y Arredondo, 2022; Paidicán et al., 2024; Setiawan et al., 2019; Voogt et al., 2013).

Existe un desarrollo más consolidado de STEM por sobre STEAM, reflejado directamente en la cantidad de investigaciones analizadas en la presente RS. Es importante destacar que el enfoque STEM se centra en potenciar las habilidades técnicas, mientras que STEAM busca equilibrar los fundamentos teóricos con el desarrollo creativo, según Luengo (2021), Olabe et al. (2021) y Queiruga-Dios (2021) el enfoque STEAM abarca un espectro más amplio de temáticas disciplinares, facilitando la conexión con el contexto y la integración del currículo escolar, al mismo tiempo que promueve la participación activa de los estudiantes para abordar los desafíos cotidianos. Para Bybee (2010) se recomienda evitar el uso de etiquetas genéricas al clasificar prácticas pedagógicas que integran una o varias disciplinas, como ocurre en el caso del enfoque STEM.

Se observa una diversificación de instrumentos, obteniendo un panorama más objetivo en las investigaciones del TPACK, destacando los espacios de reflexión por medio de talleres. Según Ballesta et al. (2017), Maboe et al. (2018) y Schmid et al. (2024) el desarrollo de investigación TPACK requiere de contextos amplios con muestras heterogéneas, incluyendo los diversos integrantes de la comunidad educativa e instrumentos de investigación de diferentes índoles.

Por último, existe una opinión similar entre los investigadores sobre la necesidad de recursos humanos y materiales que afectan los procesos formativos y el desarrollo de prácticas pedagógicas, limitando su organización, ejecución y el éxito de éstas (Paidicán y Arredondo, 2023b; Sampaio, 2016; Da Silva et al., 2021).

5. Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones derivadas del análisis realizado, que sintetizan los hallazgos y aportan nuevas perspectivas sobre el tema tratado.

Existe un exiguo desarrollo de la producción científica del modelo TPACK en contextos STEM y STEAM, obteniendo solo 15 artículos representando el 0,84% de los registros identificados, entre los años 2014 y 2024, concentrando el 60% de los artículos entre los años 2020 y 2022, pese que el modelo TPACK surge el 2006. Además, se observa solo un estudio enfocado en STEAM, representando el 6,66%, lo que indica que aspectos relacionados con las artes y humanidades presentan un desarrollo extremadamente acotado.

Aun cuando existen siete RS relacionadas con TPACK y los enfoques STEM y STEAM, sus análisis se limitan exclusivamente al profesorado, sin incluir a los otros integrantes de las comunidades educativas, siendo este un indicador clave para determinar la importancia de la presente RS y su aporte para el desarrollo del TPACK.

Los estudios preferentemente se desarrollan en secundaria, donde Estados Unidos y Australia presentan un mayor desarrollo. En relación con las muestras más del 80% se focaliza exclusiva a los docentes, destacando la inclusión de contextos rurales e indígenas.

Con respecto a los instrumentos de investigación, existe una disminución del uso del cuestionario, aunque se incluyen nuevos cuestionarios como STMPCK y TPACK-G. Además, las investigaciones incorporan otros instrumentos menos habituales como: pruebas de desempeño, pre y post test, reflexiones y talleres conversacionales.

Los estudios en su mayoría abordan el TPACK y STEM, incluyendo las asignaturas tradicionales ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Por un lado, existen estudios focalizados en una asignatura, como: matemáticas y ciencias, mientras que otras investigaciones incluyen otras áreas como: ciencias ambientales, ciencias de la tierra, salud, negocios, ciencias forenses y entrenador e instructor de tecnología.

Las investigaciones concluyen que la armónica complementación de TPACK y STEM y STEAM requiere del desarrollo de procesos formativos que incluyan CK (áreas específicas), PK (metodologías) y TK (herramientas TIC). Además, contar con los recursos necesarios para el desarrollo de las prácticas pedagógicas. Los estudios recomiendan el desarrollo de investigaciones longitudinales que incluyan: ruralidad, distintas asignaturas STEM y STEAM y los factores contextuales.

Para finalizar, la presente RS representa un complemento para el desarrollo del modelo TPACK. No obstante, se deben profundizar en análisis metodológicos que resulten apropiados para próximas investigaciones. También, sería oportuno el desarrollo meta análisis, que incluyen RS en contextos: rurales, educación especial, STEM entre otras. También abordar en futuras RS, temáticas con las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial.

Referencias bibliográficas

- Akyuz, D. (2023). Exploring contextual factors for pre-service teachers teaching with technology through planning, teaching, and reflecting. *International electronic journal of mathematics education*, 18(1), 0721. DOI:10.29333/iejme/12624
- Aguilera, D. & Ortiz, R. J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic literature review. *Education sciences* 11(7), 331. DOI: 10.3390/educsci11070331
- Angeli, C. y Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & education*, 52(1), 154-168. DOI: 10.1016/j.compedu.2008.07.006
- Atmojo, I. R., Saputri, D. Y. & Fajri, A. K. (2022). Analysis of STEAM-Based TPACK Integrated Activities in Elementary School Thematic Books. *Mimbar sekolah dasar*. 9(2), 317-335. DOI: 10.53400/mimbar-sd.v9i2.49131
- Ballesta, J., Martínez, J. & Céspedes, R. (2017). Un modelo integrador para la alfabetización mediática y la competencia digital en educación primaria. *Revista Fuentes*, 19(2), 139-154. <https://bit.ly/43GgUZ5>
- Bang, H. & Kim, J. (2016). Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM education in Korea. *Eurasia journal of mathematics, science and technology education*, 12(7), 1909-1924. DOI: 10.12973/eurasia.2016.1537a
- Barberà, E., Gómez-Rey, P. & Fernández-Navarro, F. (2016). A cross-national study of teacher's perceptions of online learning success. *Open Learning: The journal of open, distance and e-learning*, 31(1), 25-41. DOI: 10.1080/02680513.2016.1151350
- Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: a 2020 vision. *Technology and engineering teacher*, 70(1), 30-35. <https://bit.ly/2W4Fsh2>
- Byrne-Cohen, D. (2020). Contextual issues of technology integration in teacher practice. [Tesis doctoral]. RMIT University, Melbourne, Australia. <https://bit.ly/3Cvg4Ta>
- Chai, C. S. (2019). Teacher professional development for science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: A review from the perspectives of technological pedagogical content (TPACK). *The Asia-pacific education researcher*, 28(1), 5-13. DOI: 10.1007/s40299-018-0400-7
- Conradty, C. & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: Effects on students' creativity and motivation. *Smart Learning Environments*, 7(1), 26. DOI: 10.1186/s40561-020-00132-9
- Cyril, N., Jamil, N. A., Mustapha, Z., Thoe, N. K., Ling, L. S. & Anggoro, S. (2023). Rasch measurement and strategies of Science Teacher's Technological, Pedagogical, and Content Knowledge in Augmented Reality. *Dinamika jurnal ilmiah pendidikan dasar*, 15(1), 1-18. DOI: 10.30595/dinamika.v15i1.17238
- Da Silva, J., Sommer, S. y Machado, L. (2021). Integração de tecnologia na educação: Proposta de modelo para capacitação docente inspirada no TPACK. *Educação em revista*, 37, e232757. DOI: 10.1590/0102-4698232757
- DeCoito, I. & Estaiteyeh, M. (2022). Transitioning to online teaching during the COVID-19 pandemic: An exploration of STEM teachers' views, successes, and challenges. *Journal of science education and technology*, 31(3), 340-356. DOI: 10.1007/s10956-022-09958-z
- De Rossi, M. & Trevisan, O. (2018). Technological Pedagogical Content Knowledge in the Literature: How TPACK Is Defined and Implemented in Initial Teacher Education. *Italian journal of educational technology*, 26(1), 7-23. DOI: 10.17471/2499-4324/988

- Dos Santos, L. M. (2021). The challenges of technological tools and electronic classrooms in regional Australian schools: perspectives from STEM teachers. *World transactions on engineering and technology education*, 19(3), 293-298. <http://hdl.handle.net/20.500.11861/8251>
- English, L. D., King, D. & Smeed, J. (2017). Advancing integrated STEM learning through engineering design: Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. *Journal of educational research*, 110(3), 255-271. DOI: 10.1080/00220671.2016.1264053.
- Foulger, T. S., Jin, Y., Mourlam, D. J. & Ebersole, L. (2022). Equitable access to TPACK research: Tensions about using social media to disseminate scholarship. *Computers and education open*, 3, 100067. DOI: 10.1016/j.caeo.2021.100067
- Fuentes, H. M. & Martinez, J. G. (2019). Evaluación inicial del diseño de unidades didácticas STEM gamificadas con TIC. *Edutec. Revista electrónica de tecnología educativa*, (70), 1-17. DOI: 10.21556/edutec.2019.70.1469
- 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, 996338. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.996338
- Iswadi Syukri, M., Soewarno, Yulisman, H. & Nurina, C. (2020). A systematic literature review of science teachers' TPACK related to STEM in developing a TPACK-STEM scale. *Journal of physics: conference series*, 1460(1), 012105. DOI: 10.1088/1742-6596/1460/1/012105
- Hasanah, S., Kaniawati, I. & Permanasari, A. (2022). Bibliometric analysis of the Literature on Science, Technology, Engineering, and Mathematic-Pedagogical Content Knowledge (STEM-PCK) for The Years 2011-202. *Jurnal inspirasi pendidikan*, 12(1), 31-39. DOI: 10.21067/jip.v12i1.6604
- Huang, B., Jong, M. S. Y., Tu, Y. F., Han, G. J., Chai, C. S. & Jiang, M. Y. C. (2022). Trends and exemplary practices of STEM teacher professional development programs in K-12 contexts: A systematic review of empirical studies. *Computers & education*, 189, 1-24. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104577
- Hunter, J. (2017). High Possibility Classrooms as a pedagogical framework for technology integration in classrooms: an inquiry in two Australian secondary schools. *Technology, pedagogy and education*, 26(5), 559-571. DOI: 10.1080/1475939X.2017.1359663
- Hsu, C. Y., Liang, J. C., Chai, C. S. & Tsai, C. C. (2013). Exploring preschool teachers' technological pedagogical content knowledge of educational games. *Journal of educational computing research*, 49(4), 461-479. DOI: 10.2190/EC.49.4.c
- Jocius, R., O'Byrne, W. I., Albert, J., Joshi, D., Robinson, R. & Andrews, A. (2021). Infusing computational thinking into STEM teaching. *Educational technology & society*, 24(4), 166-179. <https://acortar.link/GEhfhc>
- Kajonmanee, T., Chaipidech, P., Srisawasdi, N. & Chaipah, K. (2020). A personalised mobile learning system for promoting STEM discipline teachers' TPACK development. *International journal of mobile learning and organisation*, 14(2), 215-235. DOI: 10.1504/IJMLO.2020.106186
- Kang, H. J., Farber, M. & Mahovsky, K. A. (2021). Teachers' self-reported pedagogical changes: Are we preparing teachers for online STEM education?. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 21(10), 264-277. DOI: <https://doi.org/10.33423/jhetp.v21i10.4640>
- Karampelas, K. (2023). Examining the relationship between TPACK and STEAM through a bibliometric study. *European journal of science and mathematics education*, 11(3), 488-498. <https://doi.org/10.30935/scimath/12981>
- Kelley, T. & Knowles, J. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International journal of STEM education*, 3, 1-11. DOI: 10.1186/s40594-016-0046-z

- Khushk, A., Zhiying, L., Yi, X. & Zengtian, Z. (2023). Technology Innovation in STEM Education: A Review and Analysis. *IJERI: International journal of educational research and innovation*, (19), 29–51. DOI: 10.46661/ijeri.7883
- Kim, K. & Kwon, K. (2023). Exploring the AI competencies of elementary school teachers in South Korea. *Computers and education: Artificial intelligence*, 4, 100137. DOI: 10.1016/j.caeai.2023.100137
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews* [Joint technical report]. Keele University, Reino Unido. <https://rb.gy/vgsvi>
- Ko, D. G. & Hong, S. H. (2020). Development and Application Effect of STEAM Program Using Technology Based on TPACK-Focused on the Circulatory System. *Journal of Korean elementary science education*, 39(1), 84-99. DOI: 10.15267/keses.2020.39.1.84
- Koehler, M., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T. y Graham, C. (2014). The technological pedagogical content knowledge framework. En J. Spector, M. Merrill, J. Elen y M. Bishop (eds.), *Handbook of research on educational communications and technology*, (5th ed.), 101-111. Springer. DOI: 10.1007/978-1-4614-3185-5_9
- Kong, S. C. (2023). Pedagogical design of STEM activities for developing problem-solving skills and digital creativity of primary students in the internet of things era: Six-step STEM pedagogy. In W. M. So & Z. H. Wan, & T. Luo (Eds.), *Cross-disciplinary STEM learning for Asian primary students: Design, practices and outcomes* (pp. 147–163). New York, USA: Routledge.
- Krasovskiy, D. (2020). *The challenges and benefits of adopting AI in STEM education*. <https://acortar.link/t9dIdO>
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia computer science*, 20, 547-552. DOI: 10.1016/j.procs.2013.09.317
- Lee H.-Y., Chung, C.-Y. & Wei, G. (2022). Research on technological pedagogical and content knowledge: A bibliometric analysis from 2011 to 2020. *Frontier in education*, 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.765233>
- Li, L., Li, L., Zhong, B. & Yang, Y. (2024). A scientometric analysis of technostress in education from 1991 to 2022. *Education and information technologies*, 29(17), 23155-23183. DOI: 10.1007/s10639-024-12781-1
- Luengo, M. A. (2021). La construcción de una ciudad con material reutilizado como escenario de stop motion. Una propuesta STEAM para educación primaria. *Didacticae: Revista de investigación en didácticas específicas*, 10, 55-70. DOI: 10.1344/did.2021.10.55-70
- Maboe, E., Smith, C., Banoobhai, M. & Makgatho, M. (2018). Implementing Tablets to Teach Reading in Grade 5. *Reading & Writing*, 9(1), 1-10. DOI: 10.4102/rw.v9i1.197
- Mahtari, S., Suyidno, S., Siswanto, J. & Prahani, B. K. (2024). A bibliometric analysis of STEM education in higher education. In *AIP Conference Proceedings 3116*(1), 080007. DOI: 10.1063/5.0210204
- Martins, I. & Baptista, M. (2024). Teacher Professional Development in Integrated STEAM Education: A Study on Its Contribution to the Development of the PCK of Physics Teachers. *Education sciences*, 14(2), 1-32. DOI: 10.3390/educsci14020164
- Mishra, P. y Koehler, M. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers' college record: The voice of scholarship in education*, 108(6), 1017-1054. <https://rb.gy/jjb0u>
- Muhazir, A. & Retnawati, H. (2020). The teachers' obstacles in implementing technology in mathematics learning classes in the digital era. *Journal of physics: conference series*, 1511(1), 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1511/1/012022

- Munyengabe, S., Yiyi, Z., Haiyan, H. y Hitimana, S. (2017). Primary teachers' perceptions on ICT integration for enhancing teaching and learning through the implementation of one laptop per child program in primary schools of Rwanda. *Eurasia journal of mathematics, science, and technology education*, 13(11), 7193-7204. DOI: 10.12973/ejmste/79044
- Muro, V., Sedlacek, Q. & Pope, Y. (2023). I DiG STEM: A Teacher Professional Development on Equitable Digital Game-Based Learning. *Education Sciences*, 13(9), 964. DOI: 10.3390/educsci13090964
- Nadelson, L. S. & Seifert, A. L. (2017). *Integrated STEM defined: Contexts, challenges, and the future*. London, England: Taylor & Francis.
- Nistor, A., Gras-Velazquez, A., Billon, N. & Mihai, G. (2018). Science, technology, engineering and mathematics education practices in Europe. *Scientix observatory report*. European Schoolnet, Brussels, Belgium. <https://acortar.link/Lduvht>
- Olabe, J. C., Basogain, X. & Olabe, M. A. (2021). Educational Makerspaces and Conceptual Art Projects Supporting STEAM Education. *Proceedings of the 2020 4th International Conference on Education and E-Learning* (142-149). DOI: 10.1145/3439147.3439171
- Ortiz, C. M., Izquierdo, R. T., Rodríguez, M. J. & Agreda, M. M. (2023). TPACK model as a framework for in-service teacher training. *Contemporary educational technology*, 15(3), ep439. DOI: 10.30935/cedtech/13279
- Paidicán, M. A. (2018). El uso de las TIC para enriquecer los aprendizajes a través de la gestión del currículum. *Didáctica, innovación y multimedia*, 36. <https://rb.gy/sn3ie>
- Paidicán, M. A. y Arredondo, P. A. (2022). The technological-pedagogical knowledge for in-service teachers in primary education: A systematic literature review. *Contemporary educational technology*, 14(3), ep370. DOI: 10.30935/cedtech/11813
- Paidicán, M. A. y Arredondo, P. A. (2023a). The Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) model in primary education: A literature review. *Italian journal of educational technology*, 31(1), 57-76. DOI: 10.17471/2499-4324/1285
- Paidicán, M. A. y Arredondo, P. A. (2023b). Conocimiento técnico pedagógico del contenido (TPACK) en Iberoamérica: Una revisión bibliográfica. *Revista andina de educación*, 6(2), 000629. DOI: 10.32719/26312816.2022.6.2.9
- Paidicán, M. A., Gros, B. S. y Arredondo, P. A. (2024). Technopedagogical and disciplinary knowledge of primary school teachers in different socio-demographic contexts. *Campus virtuales*, 13(1), 69-82. DOI: 10.54988/cv.2024.1.1296
- Paidicán, M. A. & Arredondo, P. A. (2024). Conocimiento técnico pedagógico del contenido (TPACK) en contextos rurales: Una revisión bibliográfica. *REXE- Revista de estudios y experiencias en educación*, 23(51), 128-152. DOI: 10.21703/rexe.v23i51.2183
- Queiruga-Dios, M. Á., López-Iñesta, E., Díez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M. C. y Vázquez-Dorrio, J. B. (2021). Implementation of a STEAM project in compulsory secondary education that creates connections with the environment. *Journal for the study of education and development*, 44(4), 871-908. DOI: 10.1080/02103702.2021.1925475
- Redmond, P. y Peled, Y. (2019). Exploring TPACK among pre-service teachers in Australia and Israel. *British journal of educational technology*, 50(4), 2040-2054. DOI: 10.1111/bjet.12707
- Robinson, K. A., Whitlock, E. P., Oneil, M. E., Anderson, J. K., Hartling, L., Dryden, D. M., Butler, M., Newberry, S. J., McPheeters, M., Berkman, N. D., Lin, J. S. y Chang, S. (2014). Integration of existing systematic reviews into new reviews: Identification of guidance needs. *Systematic reviews*, 3(1), 1-17. DOI: 10.1186/2046-4053-3-60

- Sakaria, D., Maat, M. y Matore, M. (2023). Factors influencing mathematics teachers' pedagogical content knowledge: A systematic review. *Pegem journal of education and instruction*, 13(2), 1-14. DOI: 10.47750/pegegog.13.02.01
- Sampaio, P. (2016). Desenvolvimento profissional dos professores de Matemática: Uma experiência de formação em TIC. *Revista portuguesa de educação*, 29(2), 209-232. DOI: 10.21814/rpe.2987
- Saz-Pérez, F., Pizá-Mir, B. & Lizana Carrió, A. (2024). Validación y estructura factorial de un cuestionario TPACK en el contexto de Inteligencia Artificial Generativa (IAG). *Hachetetepe. Revista científica de educación y comunicación*, (28), 1101. DOI: 10.25267/Hachetetepe.2024.i28.1101
- Schmidt, D., Baran, E., Thompson A., Mishra, P., Koehler, M. y Shin, T. (2009). Technological pedagogical content knowledge (TPACK): The development and validation of an assessment instrument for preservice teachers. *Journal of research on technology in education*, 42, 123-150. DOI: 10.1080/15391523.2009.10782544
- Schmid, M., Brianza, E. & Petko, D. (2021). Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital technology use in lesson plans. *Computers in human behavior*, 115, 106586. DOI: 10.1016/j.chb.2020.106586
- Schmid, M., Brianza, E., Mok, S. Y. & Petko, D. (2024). Running in circles: A systematic review of reviews on technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & education*, 214, 105024. DOI: 10.1016/j.compedu.2024.105024
- Setiawan, H., Phillipson, S. & Isnaeni, W. (2019). Current trends in TPACK research in science education: a systematic review of literature from 2011 to 2017. In *Journal of physics: conference series* 1317(1), 012213. DOI: 10.1088/1742-6596/1317/1/012213
- Shulman, L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14. DOI: 10.3102/0013189X015002004
- Silva, J. B., Silva, I. N. & Bilessimo, S. M. S. (2020). Technological structure for technology integration in the classroom, inspired by the maker culture. *Journal of information technology education: research*, 19, 167-204. DOI: 10.28945/4532
- Sullivan, F. R. & Heffernan, J. (2016). Robotic construction kits as computational manipulatives for learning in the STEM disciplines. *Journal of research on technology in education*, 48(2), 1-24. DOI: 10.1080/15391523.2016.1146563
- Sun, J., Ma, H., Zeng, Y., Han, D. & Jin, Y. (2023). Promoting the AI teaching competency of K-12 computer science teachers: A TPACK-based professional development approach. *Education and information technologies*, 28(2), 1509-1533. DOI: 10.1007/s10639-022-11256-5
- Terpstra, M. (2015). TPACKtivity: An Activity-Theory Lens for Examining TPACK Development. In: Angeli, C., Valanides, N. (eds) *Technological Pedagogical Content Knowledge*. Boston, USA: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4899-8080-9_4
- Van Leendert, A., Doorman, M., Drijvers, P., Pel, J. y Van der Steen, J. (2021). Teachers' skills and knowledge in mathematics education for braille readers. *Technology, knowledge and learning*, 27(4), 1171-1192. DOI: 10.1007/s10758-021-09525-2
- Van Vo, D. & Csapó, B. (2023). Exploring inductive reasoning, scientific reasoning and science motivation, and their role in predicting STEM achievement across grade levels. *International Journal of science and mathematics education*, 21, 2375-2398. DOI: 10.1007/s10763-022-10349-4
- Vásquez, J. A. (2015). STEM-Beyond the acronym. *Educational Leadership*, 72(4), 10-15. <https://acortar.link/rWVY4L>

- Venkatesh, V. & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*, 39(2), 273-315. DOI: 10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x
- Voogt, J., Fisser, P., Pareja Roblin, N., Tondeur, J. & van Braak, J. (2013). Technological pedagogical content knowledge—a review of the literature. *Journal of computer assisted learning*, 29(2), 109-121. DOI: 10.1111/j.1365-2729.2012.00487.x
- Wan, N. & Fergusson, J. (2017). Technology-enhanced science partnership initiative: Impact on secondary science teachers. *Research in science education*, 49(1), 219-242. DOI: 10.1007/s11165-017-9619-1
- Ware, J. & Stein, S. (2014). Teachers' critical evaluations of dynamic geometry software implementation in 1:1 classroom. *Computers in the schools*, 31(3), 134-153. DOI: 10.1080/07380569.2014.931779
- Xu, W. & Ouyang, F. (2022). A systematic review of AI role in the educational system based on a proposed conceptual framework. *Education and information technologies*, 27, 4195–4223. DOI: 10.1007/s10639-021-10774-y
- Yıldırım, B. & Türk, C. (2018). Pre-service primary school teachers' views about STEM education: An applied study. *Trakya journal of education*, 8(2), 195-213. DOI: 10.24315/trkefd.310112
- Yue, M., Jong, M. S. Y. & Ng, D. T. K. (2024). Understanding K–12 teachers' technological pedagogical content knowledge readiness and attitudes toward artificial intelligence education. *Education and information technologies*, 29, 19505-19536. DOI: 10.1007/s10639-024-12621-2
- Zulkifli, Z., Satria, E., Supriyadi, A. & Santosa, T. A. (2022). Meta-analysis: The effectiveness of the integrated STEM technology pedagogical content knowledge learning model on the 21st century skills of high school students in the science department. *Psychology, evaluation, and technology in educational research*, 5(1), 32-42. DOI: 10.33292/petier.v5i1.144