

Evaluación del conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK) entre los profesores en formación: modelo de medición Rasch

An Assessment of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) among Pre-service Teachers: A Rasch Model Measurement

 **Dr. Komarudin Komarudin**

Lecture Professor. Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang. Indonesia

 **Dr. Suherman Suherman**

Lecturer and Researcher. University of Szeged, Hungary. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung. Indonesia

Recibido: 2024/01/07; **Revisado:** 2024/01/31; **Aceptado:** 2024/06/29; **Online First:** 2024/07/08; **Publicado:** 2024/09/01

ABSTRACT

The increasing importance of integrating technology into educational environments has underscored the importance of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for effective teaching in the 21st century. However, many pre-service teachers face challenges in proficiently accessing and utilising new technologies in their teaching practices. The existing literature lacks a thorough examination of the empirical aspects of TPACK instruments and their applicability across various educational settings and levels, particularly in non-Western contexts. This research aimed to evaluate and compare TPACK among pre-service teachers in Indonesia. A diverse sample of 405 Indonesian pre-service teachers from different disciplines participated by completing an online TPACK questionnaire. Confirmatory factor analysis and the Rasch model were used to validate the questionnaire, demonstrating a well-fitting model consistent with its theoretical framework and a satisfactory fit for individuals and items. Evaluation of TPACK among pre-service elementary, preschool and mathematics education teachers revealed superior performance by pre-service elementary school teachers. The robust psychometric properties make it suitable for exploring TPACK. This research lays the groundwork for further investigation of the empirical dimensions of TPACK in diverse educational contexts.

RESUMEN

Currently, the integration of technology in 21st-century education is becoming increasingly important; however, many pre-service teachers face difficulties in accessing and utilizing new technologies in their teaching practices. Despite the growing importance of technology, the existing literature still lacks empirical examination of TPACK instruments and their application in various educational contexts, particularly in non-Western countries such as Indonesia. This study involved 405 Indonesian pre-service teachers from various disciplines who completed an online TPACK questionnaire. Confirmatory factor analysis and the Rasch model used to validate this questionnaire indicated that the model aligns with the theoretical framework and is suitable for individuals and items. The evaluation results showed that pre-service elementary school teachers exhibited superior TPACK performance compared to pre-service early childhood education and mathematics teachers. The strong psychometric properties of this instrument make it suitable for further exploration of TPACK in various educational contexts. This research lays the groundwork for further investigation into the empirical dimensions of TPACK in diverse educational settings.

KEYWORDS · PALABRAS CLAVES

Maestros en formación; Conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK); cuestionario de validación; modelo rasch; Educación tecnológica; Pre-service teachers; Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK); validation questionnaire; Rasch model; Technological Education

1. Introducción

La integración de la tecnología en los entornos educativos es cada vez más importante. El conocimiento del contenido pedagógico tecnológico (TPACK) ha surgido como un componente crucial de la enseñanza eficaz en el siglo XXI. El TPACK se refiere a la capacidad de los profesores de integrar la tecnología en su enseñanza para mejorar los resultados del aprendizaje (Roussinos & Jimoyiannis, 2019). El marco TPACK ha sido ampliamente adoptado como una guía para comprender y desarrollar el conocimiento tecnológico y pedagógico entre los docentes. Los recientes marcos de competencia digital docente, como DigCompEdu, refuerzan aún más la importancia de la competencia digital en la educación (Haşlaman et al., 2024). Estos marcos proporcionan directrices y normas detalladas para que los educadores utilicen eficazmente las herramientas y los recursos digitales, garantizando que la integración de la tecnología sea pedagógicamente acertada y contextualmente relevante. La sinergia entre el modelo TPACK y marcos como DigCompEdu pone de relieve la necesidad de un enfoque integral de la formación del profesorado, centrado no solo en el uso de la tecnología, sino también en su aplicación pedagógica para fomentar mejores experiencias de aprendizaje (Redecker & Punie, 2017). Es decir, la integración digital en las actividades de aprendizaje, de forma mucho más rápida y accesible (Guillén-Gámez et al., 2024; Komarudin et al., 2024).

En las dos primeras décadas del siglo XXI se han visto cambios significativos en la capacitación de los docentes, en particular con la creciente disponibilidad de tecnología en las aulas (Almazroa & Alotaibi, 2023). Sin embargo, muchos profesores en formación se enfrentan a obstáculos para acceder y utilizar eficazmente las nuevas tecnologías en su enseñanza en Indonesia. Estos desafíos incluyen el acceso limitado a los recursos tecnológicos, la formación inapropiada en la integración de la tecnología y la falta de apoyo institucional a las iniciativas tecnológicas. Muchos profesores luchan por incorporar eficazmente la tecnología en sus aulas (Abedi et al., 2024; Bolyard et al., 2024; Bray & Tangney, 2017; Park & Scanlon, 2024). Los estudios han identificado la falta de conocimiento del contenido tecnológico y pedagógico como una barrera significativa para que los profesores utilicen la tecnología en la enseñanza (Ardıç & Isleyen, 2017; Kind, 2009; Stoilescu, 2015), destacando la necesidad de herramientas para evaluar el conocimiento tecnológico (Smith & Zelkowski, 2023). A pesar de participar en el desarrollo profesional tecnológico, los profesores a menudo no logran integrar las tecnologías disponibles en las clases (Fütterer et al., 2023; Lawless & Pellegrino, 2007).

El reconocimiento de este problema es esencial, ya que pone de relieve la importancia crítica del TPACK entre los profesores en formación. Equipar a los futuros profesores con TPACK les permite integrar eficazmente la tecnología en sus prácticas docentes y mejora las experiencias de aprendizaje de los estudiantes (Elmaadaway & Abouelenein, 2023). Al sintetizar la experiencia tecnológica con el conocimiento pedagógico y de contenido, los profesores en formación estarán mejor preparados para enfrentarse a las complejidades de la educación moderna, fomentando la innovación y dotando a los estudiantes de las habilidades necesarias para el éxito en la era digital.

Se han desarrollado medidas de autoevaluación para valorar los niveles de confianza de los profesores y sus percepciones acerca de la eficacia de la tecnología en los entornos educativos. Investigaciones anteriores han subrayado la importancia del TPACK en diversos entornos educativos, demostrando su capacidad para mejorar las prácticas de enseñanza y los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Koh (2019) y Baran et al.

(2019) destacaron el impacto positivo del TPACK en las estrategias de instrucción de los docentes y su confianza en la integración de la tecnología en las aulas. Zelkowski et al. (2013) desarrollaron y validaron un instrumento para medir el TPACK de los profesores de matemáticas de secundaria en formación previa en los Estados Unidos, descubriendo que el constructo era fiable y válido. Sin embargo, observaron que los profesores en formación tenían dificultades para discernir los dominios de autoevaluación, como el conocimiento pedagógico del contenido (PCK, por sus siglas en inglés), el conocimiento tecnológico del contenido (TCK, por sus siglas en inglés) y el conocimiento tecnológico pedagógico (TPK, por sus siglas en inglés). Además, un estudio de Ong & Annamalai (2024) se centró en el desarrollo de habilidades del TPACK del siglo XXI para crear un escenario modelo de actividades TIC para la comunicación, la colaboración, el pensamiento crítico y el pensamiento creativo. Su investigación reveló que las habilidades de TPACK del siglo XXI faltaban, mientras que el conocimiento del contenido y el conocimiento pedagógico del contenido se enfatizaban en el plan de estudios previsto. Esta investigación contribuye al esfuerzo más amplio de mejorar la capacitación de los profesores de matemáticas en formación para una integración eficaz de la tecnología.

Otro estudio de Smith & Zelkowski (2023) validó un instrumento tipo cuestionario de TPACK para profesores de matemáticas de secundaria y bachillerato en los Estados Unidos, desarrollado originalmente en Australia. La investigación, que incluyó una muestra nacional comparable en los Estados Unidos, reveló diferencias en la estructura factorial del instrumento australiano en el contexto estadounidense. El hallazgo condujo a la creación de un nuevo instrumento validado, el TPACK-M-US, adaptado a los profesores de matemáticas de secundaria en formación de los Estados Unidos. El estudio aportó tres fuentes de pruebas de la validez del instrumento y analizó sus usos e interpretaciones apropiados, subrayando la importancia de la investigación de validación en entornos educativos. Sin embargo, una de las limitaciones fue que todos los datos fueron autoevaluados, lo que podría llevar a una sobreestimación o subestimación del TPACK por parte de los participantes estadounidenses.

Además, Li et al. (2023) crearon y validaron una escala de TPACK para profesores de matemáticas de secundaria en China. Los resultados demostraron una fuerte fiabilidad y validez, haciendo de la escala una herramienta robusta para evaluar el nivel de TPACK y guiar el desarrollo profesional y las políticas de integración de la tecnología dentro de la educación matemática china. Además, Sofyan et al. (2023) validaron el instrumento de TPACK para la evaluación de profesores de primaria en Indonesia. Su investigación reveló que los instrumentos eran válidos y fiables para evaluar el TPACK de los profesores y el uso de internet. Sin embargo, el estudio estaba limitado al enfoque del nivel de TPACK en el aula. Además, Martin et al. (2024) desarrollaron y validaron una encuesta de autoevaluación para profesores de primaria en formación, que también resultó válida y fiable. La limitación de su investigación fue que el instrumento necesitaba incluir elementos relacionados con los cambios tecnológicos, especialmente con la rápida evolución de la inteligencia artificial.

Sin embargo, la literatura actual carece de una exploración exhaustiva de los atributos empíricos de TPACK y su aplicación en una amplia gama de entornos y niveles educativos, especialmente en contextos no occidentales. Las dificultades, como el acceso limitado a los recursos tecnológicos, la formación inadecuada para la integración de la tecnología y el poco apoyo institucional a las iniciativas relacionadas con la tecnología, agravan esta

carencia. La mayoría de los estudios se han centrado principalmente en los países occidentales, dejando un vacío en nuestra comprensión de cómo el TPACK opera en diversos entornos culturales y educativos, como en Indonesia. Además, existen pocas investigaciones que examinen cómo varían los niveles de TPACK entre las distintas disciplinas, incluidos los profesores en formación de educación primaria, preescolar y matemática. Otra laguna importante surge de la dependencia de las medidas de autoinforme para evaluar el TPACK, lo que plantea preocupaciones acerca del posible sesgo de respuesta y su impacto en la precisión y coherencia de los resultados de la investigación.

Por otra parte, intentamos perfeccionar y validar herramientas de evaluación sólidas que puedan medir con precisión los niveles de TPACK de los profesores en formación. Este esfuerzo contribuye a optimizar los planes de estudios de formación del profesorado y a preparar mejor a los docentes para las demandas digitales de las aulas modernas. Mediante el logro de estos objetivos, esta investigación pretende ofrecer información valiosa acerca de la medición eficaz y la mejora del nivel de TPACK, apoyando así el avance de la formación del profesorado y la perfecta integración de la tecnología en las prácticas de enseñanza a través de diversos entornos educativos.

1.1. Conocimiento tecnológico pedagógico del contenido

El concepto del conocimiento tecnológico pedagógico del contenido o TPACK sirve como marco para comprender y describir los tipos de conocimiento que un profesor necesita para practicar eficazmente la pedagogía y mejorar la comprensión de conceptos mediante la integración de la tecnología en el entorno de aprendizaje. Fundamentalmente, el TPACK gira en torno a la relación entre la materia, la tecnología y la pedagogía (Elas et al., 2019; Irmak & Yilmaz Tüzün, 2019; Nordin et al., 2013; Reyes Jr et al., 2017). La interacción entre estos tres componentes tiene la fuerza y capacidad de atracción para fomentar un aprendizaje activo centrado en los alumnos (Malik et al., 2019). El TPACK, uno de los marcos teóricos más reconocidos, fue desarrollado por Mishra & Koehler (2006) para garantizar la integración y representación entre los componentes de tecnología, pedagogía y contenido. El TPACK denota la comprensión que los profesores necesitan para incorporar eficazmente la tecnología en su enseñanza a través de diversas áreas de contenido (Luik et al., 2024). Este marco pone de relieve que la integración eficaz de la tecnología requiere una comprensión matizada de la relación dinámica entre la pedagogía, el contenido y la tecnología, con el objetivo final de mejorar los resultados educativos y fomentar experiencias de aprendizaje más atractivas. Mishra & Koehler (2006) subrayan que el TPACK no es una habilidad universal aplicable por igual a todos los profesores, sino más bien una forma de conocimiento que varía según los distintos planes de estudios y filosofías de enseñanza. Afirman que "una enseñanza de calidad requiere desarrollar una comprensión matizada de las complejas relaciones entre la tecnología, el contenido y la pedagogía y utilizar esta comprensión para desarrollar estrategias y representaciones adecuadas y específicas para cada contexto". De este modo, el paradigma del aprendizaje pasa de estar centrado en el profesor a estar centrado en el alumno. En consecuencia, la teoría básica del TPACK capacita a los profesores para desarrollar las habilidades necesarias para tomar decisiones informadas acerca de la integración de la tecnología en la enseñanza, garantizando que su uso apoye la comprensión de la materia por parte de los estudiantes.

Sin embargo, es fundamental que los profesores integren la tecnología con sus conocimientos pedagógicos del contenido. Un ejemplo tangible de TPACK es cuando un profesor de matemáticas emplea un software de simulación para ayudar a los alumnos a comprender conceptos abstractos. Mediante la combinación de unos sólidos conocimientos de la materia, unas sofisticadas habilidades pedagógicas y un uso juicioso de la tecnología, el aprendizaje no solo resulta más atractivo, sino también más eficaz. Así pues, el TPACK emerge como la clave para dar forma a una generación que no solo sea tecnológicamente hábil, sino también crítica (Maskur et al., 2022), resolutiva (Supriadi et al., 2024), creativa (Suherman & Vidákovich, 2024) y preparada para afrontar los retos del futuro.

1.2. Los componentes del conocimiento tecnológico pedagógico del contenido

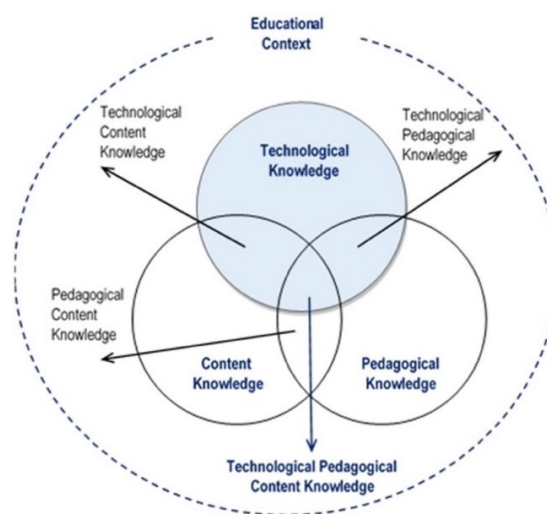
En el marco TPACK, existe una relación interconectada entre sus componentes constituyentes, a saber, el conocimiento del contenido (CK, por sus siglas en inglés), el conocimiento pedagógico (PK, por sus siglas en inglés) y el conocimiento tecnológico (TK, por sus siglas en inglés). Se solapan e influyen mutuamente en el contexto del aprendizaje. Una comprensión holística de cómo se relacionan e interactúan estas tres variables es crucial para favorecer procesos de aprendizaje eficaces. A continuación se describe detalladamente la teoría básica del TPACK. Además, el marco TPACK se ilustra en la Figura 1 (Mishra & Koehler, 2006).

El conocimiento del contenido (CK) se refiere al conocimiento de la materia que debe aprenderse, tal como se describe en el plan de estudios. Abarca conceptos, teorías, ideas, marcos, métodos y aplicaciones en el mundo real (Flores-Castro et al., 2024).

El conocimiento pedagógico (PK) engloba el conocimiento exhaustivo relacionado con la teoría y la práctica de la enseñanza y el aprendizaje, abarcando objetivos, procesos, métodos de aprendizaje, evaluaciones, estrategias y mucho más. Requiere comprender los aspectos cognitivos, afectivos y sociales, así como desarrollar teorías de aprendizaje y su aplicación práctica (Saubern et al., 2020).

Figura 1

Las dimensiones del TPACK



Los conocimientos tecnológicos (TK) incluyen los fundamentos tecnológicos que respaldan el aprendizaje, como softwares, programas de animación, acceso a internet, modelos moleculares y laboratorios virtuales. Los profesores deben ser competentes en el tratamiento de la información y la comunicación con las TIC en entornos de aprendizaje (Malik et al., 2019).

El conocimiento pedagógico del contenido (PCK) implica la interacción y la intersección entre la pedagogía (P) y el contenido de la asignatura (C). El PCK es la capacidad de transformar el contenido o la materia con fines pedagógicos, incluido el proceso de aprendizaje relacionado con la materia y el sistema de evaluación (Saubern et al., 2020). El conocimiento tecnológico del contenido (TCK) abarca la relación entre la tecnología y la materia, y la comprensión de cómo la tecnología puede apoyar e influir en otros componentes. Abarca la competencia tecnológica y los dominios de la materia (Mishra & Koehler, 2006). El conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) integra el PK y el TK, haciendo hincapié en cómo la tecnología puede aplicarse eficazmente en la enseñanza. Requiere la comprensión de las ventajas y desventajas de la tecnología en el contexto de la materia y el proceso de aprendizaje (Schmidt et al., 2009).

El conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK) integra el PK, CK y TK, resumiendo una serie de enseñanzas en las que la capacidad de dominar la tecnología integrada es inseparable de sus componentes constituyentes (C), (P) y (K). El TPACK requiere múltiples interacciones y combinaciones entre los componentes: contenido, pedagogía y tecnología (Mishra & Koehler, 2006). Los profesores necesitan la habilidad de integrar eficazmente la tecnología en sus estrategias de enseñanza para alinearse con el contenido de la asignatura y las necesidades de los estudiantes.

2. Metodología

2.1. Participantes

La investigación incluyó a 405 profesores en formación de diversas universidades públicas y privadas. Entre estos participantes, el 52,8 % se identificaron como mujeres, mientras que el 46,7 % se identificaron como hombres, con una edad media de $M_{\text{edad}} = 19.58$; $DE = 1.006$. Los participantes fueron seleccionados de varios distritos y pueblos, representando un espectro de entornos de vida, edades, carreras y tipos de universidad. La autorización ética para el estudio se obtuvo de la Junta de Revisión Institucional de la Universitas Islam Negeri Fatah Palembang, Indonesia, garantizando el cumplimiento de las directrices éticas. Antes de participar, todas las personas dieron su consentimiento informado. En la Tabla 1 se presentan otros datos demográficos de los participantes.

Tabla 1

Características de los participantes

| Características | n | Frecuencia (%) |
|---------------------|-----|----------------|
| Género | | |
| Femenino | 215 | 52,8 |
| Masculino | 190 | 46,7 |
| Edad | | |
| 17 | 4 | 1,0 |
| 18 | 46 | 11,3 |
| 19 | 146 | 35,9 |
| 20 | 150 | 36,9 |
| 21 | 40 | 9,8 |
| 22 | 19 | 4,7 |
| Tipo de universidad | | |
| Privada | 267 | 65,6 |
| Pública | 138 | 33,9 |
| Mención | | |
| PGMI | 181 | 44,5 |
| PIAUD | 106 | 26,0 |
| PSPM | 118 | 29,0 |
| Lugar de residencia | | |
| Ciudad | 184 | 45,2 |
| Suburbio | 221 | 54,3 |

N = 405; Medad = 19.58 ; DE = 1.006; PGMI = Programa de profesores de educación primaria; PIAUD = Programa de profesores de educación preescolar; PSPM = Programa de profesores de matemáticas

2.2. Instrumento

El instrumento de TPACK desarrollado por Schmidt et al. (2009) sirvió de base para esta investigación. Adaptado al contexto indonesio, el instrumento comprendía siete dimensiones. La primera dimensión se refería al conocimiento tecnológico y constaba de cinco ítems. La segunda dimensión se centraba en el conocimiento del contenido y comprendía 12 ítems. Los conocimientos pedagógicos constituían la tercera dimensión, con siete ítems. La cuarta dimensión estaba relacionada con el conocimiento pedagógico del contenido, con 4 ítems. La quinta dimensión estaba relacionada con el conocimiento del contenido tecnológico, con 4 ítems. La sexta dimensión se refería al conocimiento tecnológico pedagógico, con cinco ítems. Por último, la séptima dimensión abordaba el conocimiento tecnológico pedagógico del contenido, con 8 ítems. Las respuestas de los participantes se registraron utilizando una escala de Likert de cinco puntos, desde totalmente de acuerdo (5) hasta totalmente en desacuerdo (1).

2.3. Análisis de datos

Los participantes completaron voluntariamente el cuestionario con datos de identificación confidenciales. Para evaluar la validez del cuestionario, se utilizó el Análisis Factorial Confirmatorio (AFC), utilizando parámetros como el índice de ajuste comparativo (CFI), el índice de Tucker-Lewis (mejor conocido como TLI, por sus siglas en inglés), el error medio cuadrático de aproximación (RMSEA) y el residuo medio cuadrático estandarizado (RMCS). Los criterios de ajuste del modelo se establecieron como CFI > 0,90, TLI > 0,90, RMSEA < 0,08 y RMCS < 0,06 06 (Hu & Bentler, 1999).

Además, el análisis de Rasch determinó aún más la validez del constructo. Este análisis evaluó el ajuste de los ítems individuales, considerando parámetros como el ajuste y el cuadrado medio de ajuste (MNSQ, por sus siglas en inglés), que oscilan entre 0,5 y 1,5 (Boone et al., 2014), así como un valor positivo de la correlación punto-medida (PTMA, por sus siglas en inglés). También se aplicó la función de elemento diferencial (DIF, por sus siglas en inglés) para identificar posibles sesgos hacia grupos específicos de la muestra.

Por otra parte, se realizaron análisis descriptivos y comparativos para perfilar el TPACK de los estudiantes y discernir las diferencias entre los grupos de profesores. Las respuestas ordinales de los estudiantes se convirtieron en valores logit derivados del análisis Rasch para estimar los niveles de actitud, que representan el rendimiento de los estudiantes en diferentes aspectos de un mismo rasgo (Boone et al., 2014). Los datos se analizaron utilizando los programas SPSS, versión 29, SmartPLS, versión 4 y Winstep.

3. Análisis y resultados

3.1 Validez del instrumento

El análisis de validez evalúa la calidad del cuestionario basándose en el modelo teórico y en los parámetros de los ítems individuales (véase la Tabla 2). Los resultados del análisis factorial confirmatorio (AFC) demostraron resultados satisfactorios para el TPACK con siete variables latentes: $\chi^2 = 2051,845$, $df = 2,262$, $p < 0,001$, CFI = 0,92, TLI = 0,91, RMSEA = 0,05, y RMCS = 0,04. Las cargas factoriales derivadas del AFC oscilaron sistemáticamente entre 0,45 y 0,85, lo que indica la alineación de los ítems con la explicación de la variable construida (véase la Figura 2). Cabe señalar que todos los ítems del cuestionario recogieron eficazmente las dimensiones del TPACK dentro de cada variable latente.

Tabla 2

Validez de los ítems del TPACK basada en el análisis CFA y Rasch

| Ítems | Carga factorial del AFC | Análisis Rasch | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------|------|------------|-------------|------|
| | | Medida | SE | Infit MNSQ | Outfit MNSQ | PTMA |
| F1: Conocimiento tecnológico (TK) | | | | | | |
| TK2 | 0,63 | -0,54 | 0,09 | 1,33 | 1,39 | 0,54 |

| Ítems | Carga factorial del AFC | Análisis Rasch | | | | |
|--|-------------------------|----------------|------|------------|-------------|------|
| | | Medida | SE | Infit MNSQ | Outfit MNSQ | PTMA |
| TK3 | 0,66 | -1,07 | 0,09 | 1,23 | 1,24 | 0,56 |
| TK5 | 0,69 | -0,17 | 0,09 | 1,60 | 1,90 | 0,53 |
| TK6 | 0,74 | 0,44 | 0,09 | 1,27 | 1,29 | 0,62 |
| TK7 | 0,73 | 0,15 | 0,09 | 1,31 | 1,34 | 0,61 |
| F2: Conocimiento del contenido (CK) | | | | | | |
| CKL1 | 0,73 | 0,44 | 0,09 | 0,98 | 0,98 | 0,68 |
| CKL2 | 0,73 | 0,65 | 0,09 | 1,08 | 1,08 | 0,68 |
| CKL3 | 0,77 | 0,46 | 0,09 | 0,87 | 0,86 | 0,72 |
| CKM1 | 0,45 | 0,57 | 0,09 | 1,79 | 1,83 | 0,48 |
| CKM2 | 0,59 | 0,40 | 0,09 | 1,31 | 1,36 | 0,60 |
| CKM3 | 0,63 | 0,47 | 0,09 | 1,22 | 1,24 | 0,63 |
| CKS1 | 0,68 | 0,29 | 0,09 | 1,10 | 1,09 | 0,67 |
| CKS2 | 0,78 | 0,52 | 0,09 | 0,83 | 0,82 | 0,74 |
| CKS3 | 0,71 | 0,48 | 0,09 | 0,97 | 1,01 | 0,67 |
| CKT1 | 0,70 | -0,35 | 0,09 | 0,94 | 0,97 | 0,66 |
| CKT2 | 0,70 | -0,28 | 0,09 | 0,90 | 0,91 | 0,66 |
| CKT3 | 0,69 | 0,17 | 0,09 | 1,07 | 1,05 | 0,65 |
| F3: Conocimiento pedagógico (PK) | | | | | | |
| PK1 | 0,80 | -0,21 | 0,09 | 0,89 | 0,88 | 0,72 |
| PK2 | 0,77 | -0,36 | 0,09 | 0,84 | 0,84 | 0,70 |
| PK3 | 0,79 | -0,42 | 0,09 | 0,92 | 0,90 | 0,70 |
| PK4 | 0,75 | -0,39 | 0,09 | 0,99 | 0,97 | 0,67 |
| PK5 | 0,75 | -0,27 | 0,09 | 1,07 | 1,07 | 0,67 |
| PK6 | 0,82 | 0,04 | 0,09 | 0,81 | 0,80 | 0,74 |
| PK7 | 0,80 | -0,08 | 0,09 | 0,82 | 0,81 | 0,73 |
| F4: Conocimiento pedagógico del contenido (PCK) | | | | | | |
| PCK1 | 0,79 | 0,04 | 0,09 | 0,76 | 0,74 | 0,74 |
| PCK2 | 0,81 | 0,22 | 0,09 | 0,79 | 0,78 | 0,74 |
| PCK3 | 0,72 | 0,18 | 0,09 | 0,97 | 0,95 | 0,68 |
| PCK4 | 0,81 | 0,15 | 0,09 | 0,80 | 0,78 | 0,75 |
| F5: Conocimiento tecnológico del contenido (TCK) | | | | | | |
| TCK1 | 0,80 | 0,01 | 0,09 | 0,88 | 0,86 | 0,72 |
| TCK2 | 0,77 | 0,00 | 0,09 | 0,84 | 0,84 | 0,72 |
| TCK3 | 0,83 | 0,05 | 0,09 | 0,88 | 0,85 | 0,75 |
| TCK4 | 0,75 | 0,07 | 0,09 | 1,00 | 0,98 | 0,70 |
| F6: Conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) | | | | | | |
| TPK1 | 0,77 | -0,20 | 0,09 | 0,88 | 0,85 | 0,72 |
| TPK2 | 0,85 | -0,36 | 0,09 | 0,79 | 0,78 | 0,74 |

| Ítems | Carga factorial del AFC | Análisis Rasch | | | | |
|---|-------------------------|----------------|------|------------|-------------|------|
| | | Medida | SE | Infit MNSQ | Outfit MNSQ | PTMA |
| TPK3 | 0,71 | -0,66 | 0,09 | 1,32 | 1,28 | 0,61 |
| TPK4 | 0,76 | -0,38 | 0,09 | 1,03 | 1,01 | 0,67 |
| TPK5 | 0,85 | -0,20 | 0,09 | 0,74 | 0,72 | 0,74 |
| F7: Conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK) | | | | | | |
| TPACK1 | 0,82 | 0,16 | 0,09 | 0,81 | 0,80 | 0,74 |
| TPACK2 | 0,83 | 0,07 | 0,09 | 0,77 | 0,76 | 0,76 |
| TPACK3 | 0,80 | -0,30 | 0,09 | 0,80 | 0,80 | 0,73 |
| TPACK4 | 0,78 | -0,41 | 0,09 | 0,90 | 0,90 | 0,71 |
| TPACK5 | 0,82 | 0,19 | 0,09 | 0,86 | 0,85 | 0,74 |
| TPACK6 | 0,78 | 0,15 | 0,09 | 0,93 | 0,93 | 0,72 |
| TPACK7 | 0,82 | 0,05 | 0,09 | 0,83 | 0,82 | 0,76 |
| TPACK8 | 0,71 | 0,23 | 0,09 | 1,09 | 1,08 | 0,69 |

El análisis de Rasch arrojó valores MNSQ favorables de infit ($M_{\text{infit}} = 0,98$) y outfit ($M_{\text{outfit}} = 1,02$), lo que indica que los ítems del cuestionario evalúan eficazmente el TPACK de los profesores en formación. Sin embargo, para los ítems TK5 y CKM1, los valores MNSQ de infit y outfit superaron el 1,5 (ver Figura 3). Estos ítems se consideraron aceptables debido a su correlación punto-medida positiva. Por lo tanto, eliminar estos ítems del cuestionario comprometería la integridad teórica de la medida.

En cuanto a las propiedades paramétricas de los ítems, la medida logit del conjunto de los ítems demostró una tendencia a 0 ($M_{\text{logit}} = -0,03$, $DE = 0,36$), lo que sugiere que los ítems medidos se situaban en un nivel moderado (véase la Fig. 3). Los ítems más desafiantes del cuestionario fueron los CKL2 y CKM1, en los que los estudiantes proporcionaron principalmente puntuaciones más bajas en sus respuestas (medida logit = 0,65 y 0,57, respectivamente). Por el contrario, el elemento menos desafiante fue TK3 (medida logit = -1,07), en el que los estudiantes proporcionaron sistemáticamente puntuaciones de alta confianza.

Además, el análisis de Rasch evaluó la dimensionalidad, revelando que la varianza media explicada por la medida de las variables TPACK superaba el punto crítico (35 %). Este punto indica que el cuestionario mide efectivamente solo las dimensiones del TPACK.

Figura 2
CFA Los criterios

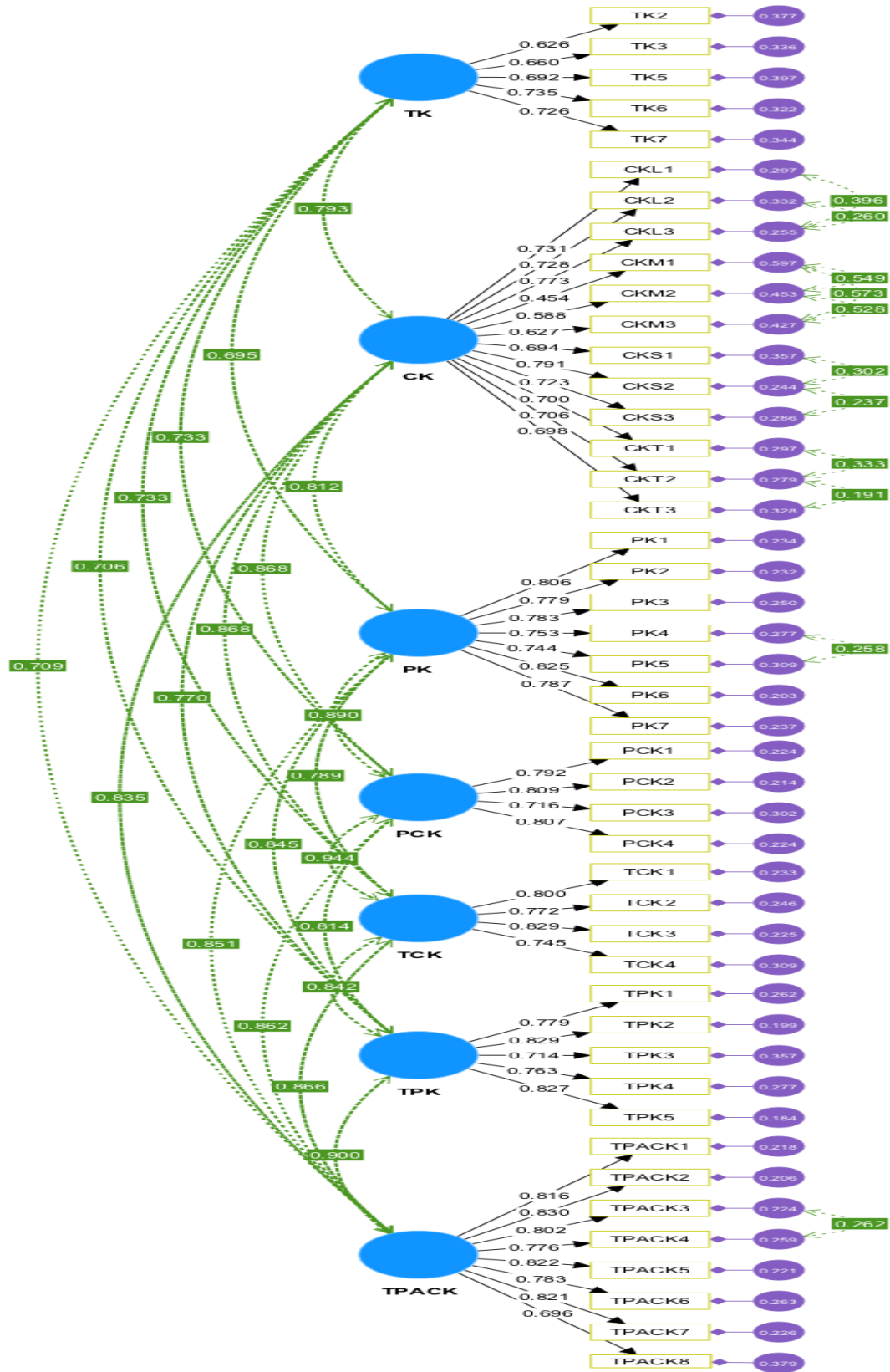


Figura 3

Mapa de Wright de Ítems

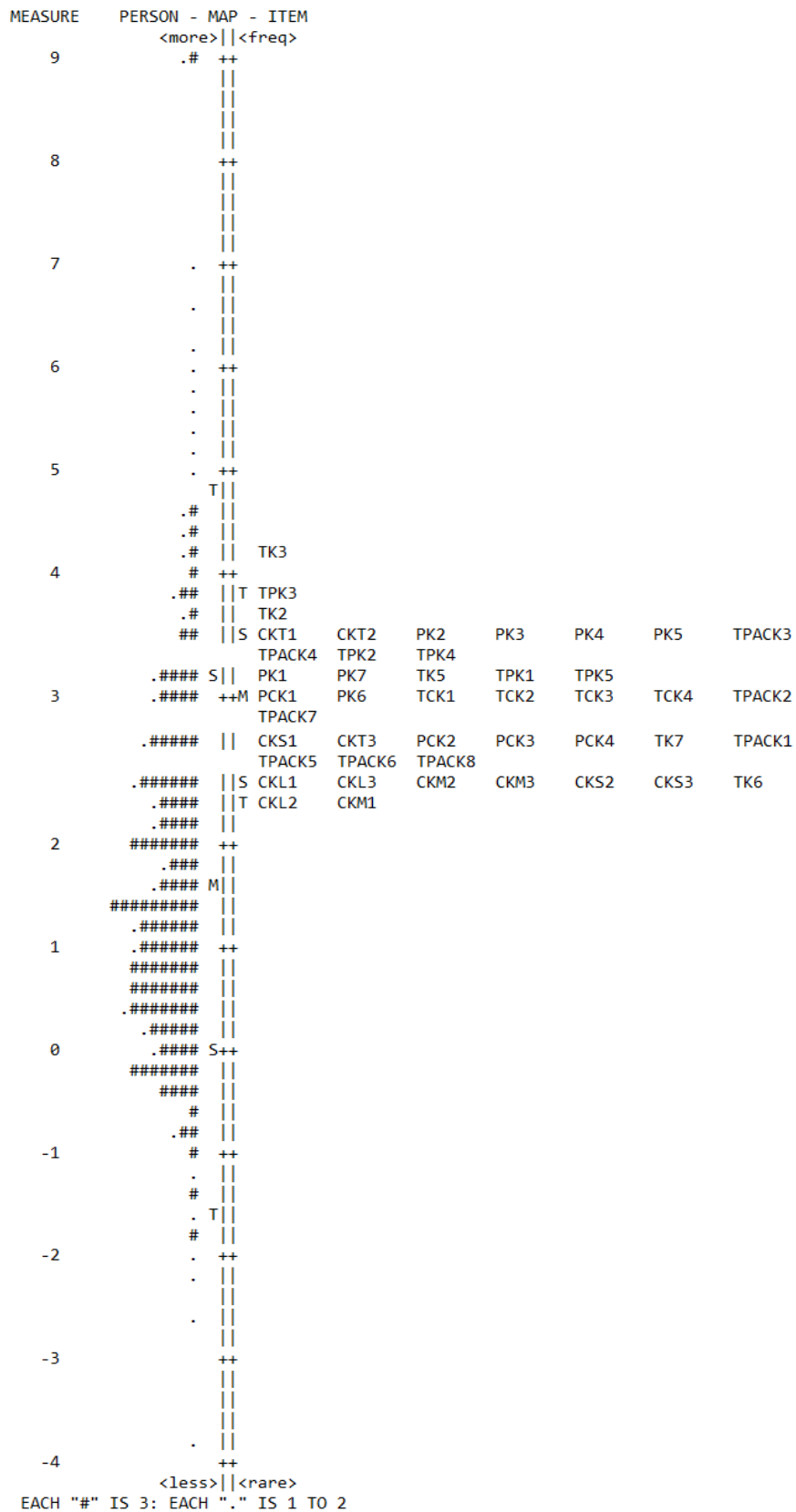
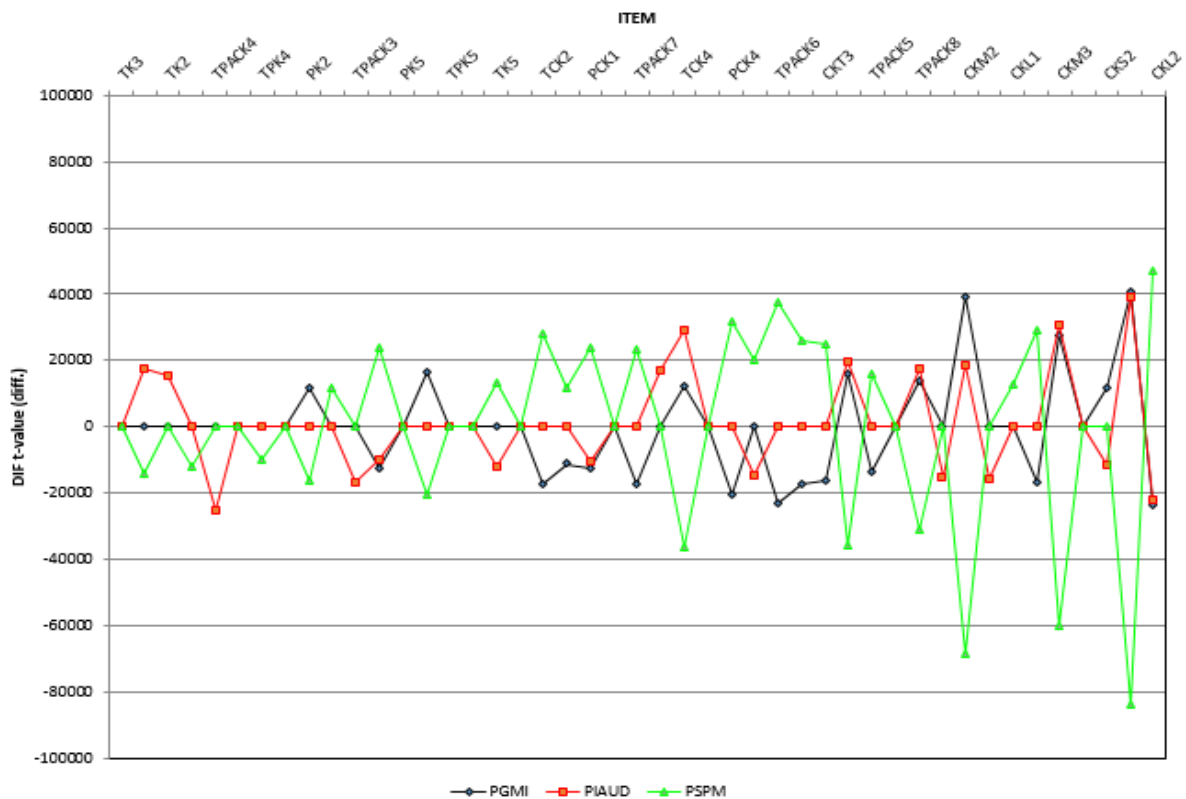


Figura 4

Análisis DIF en Tres Diferentes Especialidades de Profesores en Formación



El análisis DIF, realizado mediante el análisis de Rasch, tenía como objetivo evaluar la invarianza del cuestionario entre los grupos, determinando si los ítems específicos mostraban comportamientos diferentes entre los distintos grupos. En esta investigación, nos centramos en medir la DIF entre profesores de primaria, de preescolar y de matemáticas en su primer año de formación.

La estimación para el análisis DIF se basó en una probabilidad significativa ($p < 0,05$) con una gran estimación de tamaño ($\geq 0,64$) (Boone et al., 2014). Un resultado significativo con una estimación de gran tamaño indicó la presencia de la DIF en el ítem. Por el contrario, un resultado no significativo con una estimación de tamaño baja sugirió la ausencia de la DIF, mientras que un resultado significativo con un tamaño bajo sugirió un sesgo insignificante hacia los diferentes grupos. El análisis de la DIF en los tres grupos de profesores en formación produjo resultados no significativos para cada ítem de TPACK ($p > 0,05$) (véase la Figura 4).

Teniendo en cuenta los resultados del AFC y del análisis de Rasch, el marco TPACK demostró validez y pudo medir con precisión los conocimientos y habilidades de los profesores en formación. Además, el análisis de la DIF indicó que el cuestionario no mostraba sesgo hacia ningún grupo específico de profesores en formación. Teniendo en cuenta estos sólidos resultados, el TPACK es un instrumento adecuado para la futura evaluación de los profesores en formación, ya que proporciona información valiosa acerca de su integración de los conocimientos tecnológicos, pedagógicos y del contenido. Estos

resultados subrayan la importancia y la eficacia del TPACK en la evaluación de la preparación de los profesores en formación para integrar eficazmente la tecnología en sus prácticas de enseñanza.

3.2 Fiabilidad

Se realizó un análisis de fiabilidad para evaluar la coherencia de las respuestas de los participantes del cuestionario. Los criterios para un coeficiente fiable requerían un valor de rango de ($r > 0,7$) para un resultado aceptable (Wicaksono & Korom, 2023). El análisis reveló un resultado favorable para el TPACK, indicando que los ítems del cuestionario medían consistentemente las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia (Tabla 3).

Tabla 3

Fiabilidad del cuestionario del TPACK

| Factores | Alfa de Cronbach | Coefficiente ω | Fiabilidad de la persona | Fiabilidad del ítem |
|----------|------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| CK | 0,97 | 0,96 | 0,92 | 0,93 |
| PCK | 0,99 | 0,94 | 0,81 | 0,85 |
| PK | 0,99 | 0,96 | 0,90 | 0,90 |
| TCK | 0,98 | 0,94 | 0,84 | 0,86 |
| TK | 0,92 | 0,95 | 0,81 | 0,83 |
| TPACK | 0,99 | 0,97 | 0,91 | 0,92 |
| TPK | 0,98 | 0,95 | 0,87 | 0,88 |
| Total | 0,97 | 0,98 | 0,97 | 0,94 |

Las medidas de fiabilidad para el CK fueron notablemente altas, con un alfa de Cronbach de 0,97, un coeficiente ω de 0,96, una fiabilidad de las personas de 0,92 y una fiabilidad de los ítems de 0,93. Del mismo modo, el PCK mostró una fiabilidad aún mayor, con un alfa de Cronbach de 0,99, un coeficiente ω de 0,94 y una fiabilidad de los ítems de 0,85. El PK y el TCK también presentaron una fiabilidad sólida, lo que pone de manifiesto la estabilidad y la coherencia interna del cuestionario en estas dimensiones. Además, las medidas de fiabilidad para el TK, el TPACK y el TPK muestran valores altos y consistentes, lo que indica la fiabilidad del cuestionario a la hora de evaluar la competencia tecnológica de los profesores y su integración con la pedagogía y el conocimiento del contenido.

3.3 Perfil del conocimiento técnico pedagógico del contenido de los profesores en formación

La Figura 5 representa el TPACK de los profesores en formación mediante un diagrama de violín, que ofrece una comparación detallada de varios puntos de datos dentro del conjunto de datos. Esta representación gráfica, similar a un diagrama de cajas, está diseñada específicamente para mostrar características estadísticas importantes, como la

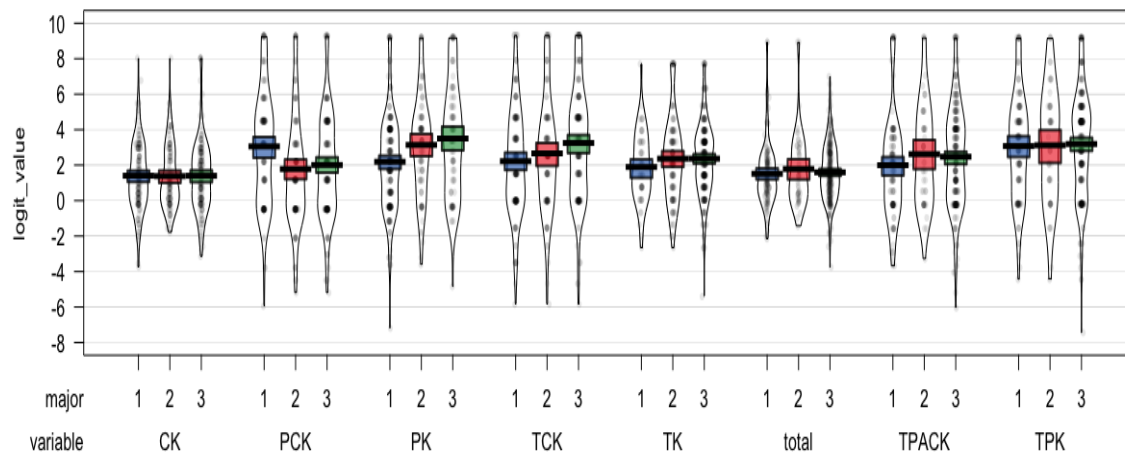
simetría de la distribución, la tendencia central y la dispersión de los puntos de datos (Potter et al., 2010). El gráfico de violín mejora la visualización del rendimiento del TPACK, facilitando una exploración más detallada del conjunto de datos.

El análisis de los valores logit reveló hallazgos notables en relación con las diferencias entre los grupos para diversas variables en el estudio. Se observaron diferencias significativas en el PCK, con $F(2, 402) = 5,773, p < 0,001$, lo que indica variaciones en los valores logit entre los grupos. Del mismo modo, el PK mostró diferencias significativas entre los grupos, con $F(2, 402) = 7,925, p < 0,001$. El TCK también demostró tener cierta relevancia, como se observa en $F(2, 402) = 3,988, p < 0,05$. Por el contrario, la puntuación total, el TPACK y el TPK, no mostraron diferencias significativas en los valores logit entre los grupos. En concreto, $F(2, 402) = 0,405, p = 0,667$ para el total, $F(2, 402) = 1,267, p = 0,283$ para el TPACK, y $F(2, 402) = 0,062, p = 0,940$ para el TPK. Estos resultados permitieron apreciar variaciones sutiles en los valores logit para diferentes aspectos de los conocimientos y competencias de los profesores en los distintos grupos.

Además, se realizaron mediciones del valor logit para tres programas diferentes. En el programa PSPM, el M_{logit} fue de 2,18, con una DE de 2,76. Además, los valores logit en el PIAUD y el PGMI fueron $M_{\text{logit}} = 2,28$ (DE = 2,83) y $M_{\text{logit}} = 2,41$ (DE = 2,72), respectivamente

Figura 5

La Distribución de TPACK Basada en los Niveles de los Profesores en Formación



Nota: (1 = PSPM; 2 = PIAUD; 3 = PGMI)

3.4 Correlación entre las variables del TPACK

Los investigadores realizaron un análisis de correlación TPACK para examinar las relaciones entre las variables del TPACK (Figura 6). En el caso de los profesores de primaria en formación, el coeficiente de determinación reveló que la R cuadrada (R^2) para el PCK es de 0,637, lo que indica que las variables independientes explican el 63,7 % de la varianza en el PCK. Del mismo modo, el TCK tiene una R^2 de 0,679, lo que sugiere que las variables independientes representan el 67,9 % de la varianza en el TCK. La variable general del TPACK muestra una R^2 superior, de 0,756, lo que indica que el 75,6 % de su varianza queda cubierta. Por último, el TPK tiene una R^2 de 0,618, lo que significa que las variables

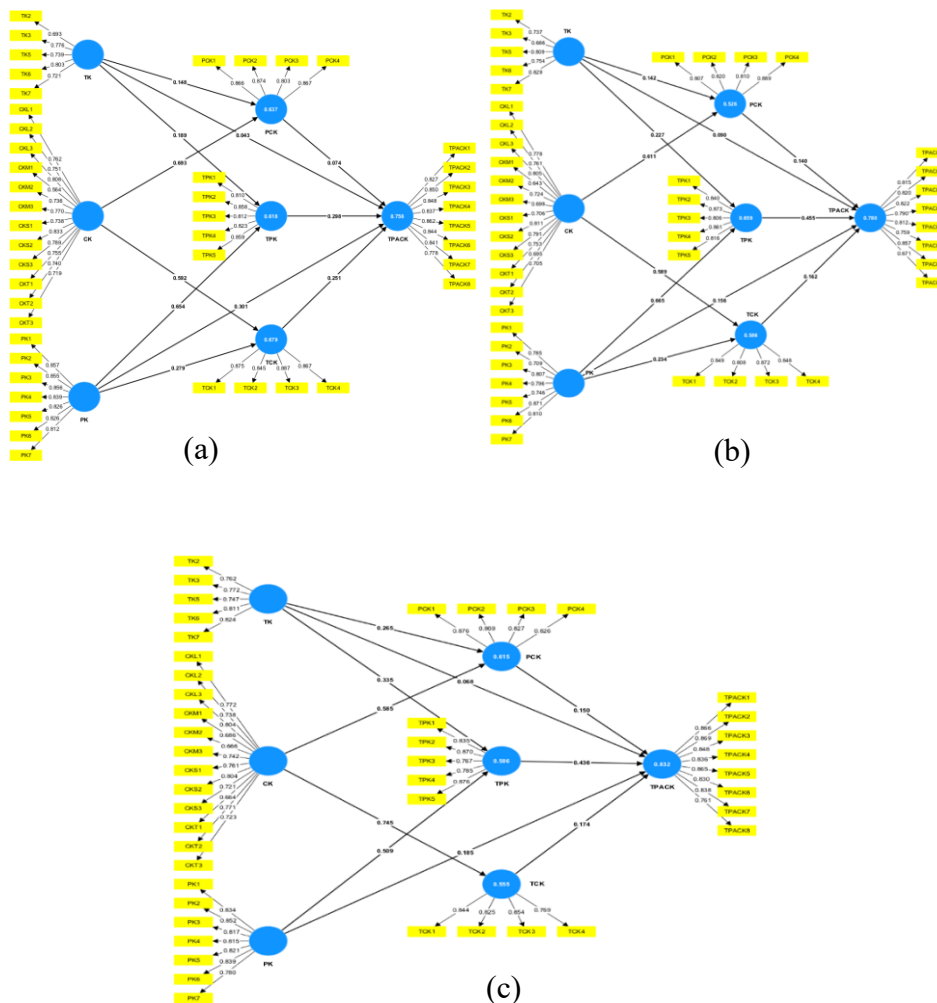
independientes explican el 61,8 % de la varianza en el TPK. Estos valores de R^2 proporcionan información sobre el poder predictivo de las variables independientes en cada aspecto específico de los conocimientos y las habilidades.

En lo que respecta a los profesores en formación preescolar, el PCK, TK, CK, TPK, PK y TCK representaban el TPACK en un 78 % ($R^2 = 0,780$). Del mismo modo, el PCK fue explicado por el CK y el TK, representando el 52,6 % ($R^2 = 0,526$) de la varianza. Además, el TCK fue explicado por el CK y el PK, representando aproximadamente el 58,6 % ($R^2 = 0,586$). A continuación, el TPK fue explicado por el TK y el PK, representando el 65,9 % ($R^2 = 0,659$) de la varianza.

Para los profesores de matemáticas en formación, cinco variables (PCK, TK, TPK, PK y TCK) justificaron el TPACK en un 83,2 % ($R^2 = 0,832$). Del mismo modo, el PCK fue explicado por el TK y el CK, alcanzando aproximadamente el 61,5 % ($R^2 = 0,615$). Además, el CK justificó el TCK en un 55,5 % ($R^2 = 0,555$), y el TPK fue explicado por el PK y el TK, que representaron el 58,6 % ($R^2 = 0,586$) de la varianza.

Figura 6

Correlaciones entre las variables de TPACK entre variables



Nota: (a) PGMI = Profesores en Formación de Educación Primaria, (b) PIAUD = Profesores en Formación de Educación Preescolar, (c) PSPM = Profesores en Formación de Matemáticas

4. Discusión

Esta investigación tenía como objetivo modificar y validar un instrumento TPACK modificado para profesores indonesios en formación. Se emplearon varios procedimientos estadísticos, incluyendo el análisis factorial confirmatorio (AFC) y el análisis Rasch, para mejorar la validez del instrumento diseñado. Se elaboró un cuestionario de 45 ítems para evaluar los niveles de TPACK de los profesores en formación, con un análisis factorial exploratorio que reveló tres variables. El elevado valor Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de 0,97 indicaba la capacidad del instrumento para distinguir eficazmente los tres factores latentes. El análisis de Rasch afirmó aún más la eficacia del cuestionario. Sin embargo, algunos ítems (TK5 y CKM1) mostraron valores de infit y outfit ligeramente elevados, que se consideraron aceptables debido a su correlación positiva con el constructo global. Dada la alineación con el marco TPACK, estos elementos se mantuvieron así, ya que pertenecían a conocimientos, conceptos, teorías y aplicaciones prácticas esenciales para los profesores en formación en sus contextos cotidianos. Además, esta perspectiva reconoce el marco teórico TPACK (Mishra & Koehler, 2006) y subraya la necesidad de que los profesores integren eficazmente la tecnología en su enseñanza en diferentes áreas de contenido areas (Luik et al., 2024). Además, el enfoque conceptual de estos ítems enfatizó el uso de software, acceso a internet y laboratorios virtuales, subrayando la importancia de la destreza de los docentes en el procesamiento de la información y la comunicación efectiva a través de las TIC en sus prácticas de instrucción y educación STEM (Malik et al., 2019; Suherman, 2018).

Esta investigación reveló la ausencia del funcionamiento diferencial de los ítems (DIF, por sus siglas en inglés), que es crucial para garantizar mediciones no sesgadas entre distintos grupos. Investigaciones anteriores han destacado la importancia de evaluar el DIF para mantener la imparcialidad en las evaluaciones e intervenciones. Cuando está presente, el DIF puede sugerir sesgos potenciales en los ítems del cuestionario, que podrían afectar a la validez y fiabilidad del instrumento. La significación estadística y práctica (magnitud del efecto) en el análisis DIF ofrece una comprensión global de cómo los sesgos podrían influir en los resultados de la medición (Boone et al., 2014). Las implicaciones de la identificación del DIF son significativas, en particular en las evaluaciones e intervenciones educativas, ya que puede ser necesario introducir cambios en el cuestionario para garantizar la equidad en los distintos programas de formación del profesorado. Además, la identificación de ítems específicos que muestren DIF puede servir de base para elaborar estrategias de intervención específicas o reformas curriculares dirigidas a satisfacer las necesidades particulares de cada grupo de profesores en formación, mejorando así la eficacia de los programas de formación del profesorado (Lautenbach & Heyder, 2019).

El análisis de varianza realizado sobre los valores logit para los diferentes grupos de profesores ha aportado información valiosa sobre las distinciones matizadas dentro de los elementos del marco TPACK (Castaño et al., 2015; Kimmons et al., 2015). Los profesores en formación de primaria, preescolar y matemáticas mostraron diferencias discernibles en su interacción con elementos específicos relacionados con el TPACK. Estos resultados se alinean con la literatura existente, destacando las diversas interpretaciones y reacciones a los ítems del PCK entre los grupos (Hill et al., 2008). Tales variaciones probablemente

reflejan las necesidades de instrucción únicas o las perspectivas inherentes a cada grupo (König et al., 2020). También se observaron disparidades significativas específicas de cada grupo en el PK y el TCK, lo que indica la influencia de diferentes entornos educativos, obligaciones docentes o áreas de interés de los respectivos programas. Sin embargo, aspectos como la puntuación del TPACK global y el TPK no mostraron variaciones significativas entre grupos, lo que sugiere un consenso en la comprensión y aplicación de constructos del TPACK más amplios (Hall et al., 2020; Tondeur et al., 2020). Estos resultados subrayan la importancia de reconocer las diferencias sutiles pero definidas en la forma en que los profesores en formación especializados perciben e incorporan las etapas específicas del TPACK. Es crucial personalizar los programas de formación del profesorado para satisfacer mejor las necesidades particulares y superar los retos específicos de los distintos ámbitos y materias de enseñanza.

Al evaluar la efectividad de los tres programas educativos, el análisis se centró en comparar los valores logit, indicativos de la capacidad del programa para mejorar determinadas competencias. Se observó que, en términos de valores logit medios, los profesores de primaria en formación tendían a superar a los de preescolar y matemáticas. Varios factores pueden contribuir a esta distinción en el rendimiento. En primer lugar, es posible que el plan de estudios y la capacitación impartidos a los profesores de primaria en formación sean más completos, lo que daría lugar a una base más sólida en las áreas evaluadas. Puede reflejar la alineación del plan de estudios con los objetivos de la evaluación o una aplicación más adecuada de las estrategias de enseñanza que se corresponden con las competencias analizadas. En segundo lugar, la naturaleza de la educación primaria puede ofrecer una exposición más amplia a diversos contextos de enseñanza y áreas de contenido, equipando a los profesores en formación con un conjunto de habilidades más versátil. Los hallazgos resuenan con investigaciones previas que destacan el papel crítico de la coherencia entre el plan de estudios y la alineación de la instrucción en la promoción del TPACK entre los educadores (Koh, 2019; Mishra & Koehler, 2006). Abordar las disparidades en el desarrollo del TPACK a través del desarrollo profesional específico y las mejoras del plan de estudios es crucial para preparar a los educadores a fin de satisfacer las demandas cambiantes de los entornos de aprendizaje de la era digital.

Por el contrario, la especialización exigida a los profesores de preescolar y de matemáticas en formación podría limitar su exposición y, por consiguiente, sus resultados en las competencias generales evaluadas mediante valores logit. Además, es plausible que los programas de formación de los futuros profesores de primaria en formación hagan más hincapié en las competencias y áreas de conocimiento específicas evaluadas en el estudio, lo que influiría directamente en los resultados. Otra posibilidad es que los instrumentos de evaluación favorezcan intrínsecamente las competencias desarrolladas en los profesores de primaria en formación, contribuyendo a las discrepancias observadas en el rendimiento.

5. Limitaciones y futuras investigaciones

Aunque este estudio ofrece valiosas perspectivas acerca del desarrollo del TPACK entre los profesores en formación de Indonesia, hay que reconocer varias limitaciones. En primer lugar, la muestra predominantemente indonesia de universidades públicas y privadas puede restringir la generalizabilidad de los resultados a otros contextos globales.

Además, a pesar de los esfuerzos por garantizar la diversidad demográfica, el sesgo potencial inherente a los datos autoevaluados y a las respuestas en la escala de Likert podría haber influido en la precisión de las evaluaciones de las aptitudes del TPACK. Además, aunque se aplicaron rigurosos procedimientos de validación, algunos ítems mostraron estadísticas de ajuste ligeramente elevadas en el análisis Rasch, lo que podría afectar a la fiabilidad del instrumento en contextos específicos. Además, el diseño transversal del estudio limita las interpretaciones causales y las perspectivas longitudinales sobre el desarrollo del TPACK a lo largo del tiempo o en diferentes etapas educativas.

En el futuro, la investigación debería considerar estudios longitudinales para seguir el desarrollo del TPACK entre los profesores en formación a lo largo de varios años y etapas educativas. Los estudios comparativos entre diferentes países o sistemas educativos podrían proporcionar información sobre las influencias culturales y contextuales en la integración de la tecnología en la educación. Los métodos de investigación cualitativa podrían complementar los resultados cuantitativos explorando en profundidad las percepciones y estrategias de los profesores en formación relacionadas con el desarrollo del TPACK. También se necesitan estudios de intervención para evaluar la eficacia del desarrollo profesional específico o de las mejoras del plan de estudios en la mejora de las competencias del TPACK. Además, explorar la función de los elementos diferenciales en diversos grupos demográficos y validar el instrumento TPACK en diversos entornos educativos mejoraría su fiabilidad y aplicabilidad en todo el mundo.

6. Conclusiones

En conclusión, este estudio ha examinado meticulosamente la validez y fiabilidad de un instrumento TPACK modificado entre profesores indonesios en formación de diversos programas educativos. A través de rigurosos análisis de AFC y Rasch, el instrumento ha demostrado sólidas propiedades psicométricas, confirmando su idoneidad para evaluar la integración de los conocimientos tecnológicos, pedagógicos y de contenido. Los resultados del AFC subrayaron el fuerte ajuste del modelo del instrumento y la alineación de los ítems del cuestionario con las dimensiones subyacentes del TPACK, como lo demuestran las cargas factoriales satisfactorias a través de las siete variables latentes. Además, el análisis de Rasch proporcionó una validación adicional, indicando una medición eficaz de los ítems sin un DIF significativo entre los diferentes grupos de profesores en formación, garantizando evaluaciones no sesgadas. El análisis de fiabilidad mostró una alta consistencia interna en todas las dimensiones del TPACK, lo que refleja la estabilidad del instrumento en la evaluación de las competencias tecnológicas de los profesores en formación. El estudio también reveló diferencias matizadas en las competencias del TPACK entre los profesores en formación especializados en educación primaria, preescolar y matemáticas, destacando los puntos fuertes específicos y las áreas a mejorar dentro de cada grupo. Los análisis de correlación y varianza elucidaron fuertes relaciones entre las variables del TPACK e identificaron factores clave que influyen en el desarrollo del mismo en los programas educativos. Esta investigación sienta unas bases sólidas para futuras investigaciones que validen los atributos empíricos del TPACK en diversos niveles y contextos educativos. Además, el cuestionario desarrollado resulta prometedor para la investigación de los factores que influyen en el conocimiento técnico pedagógico del contenido.

Contribuciones de autores

Komarudin Komarudin: Writing - Original Draft Supervision, Funding acquisition; Suherman Suherman, Writing – review & editing, Conceptualization, Writing - Original Draft, Formal analysis, Methodology, Editing, and Visualization.

Financiación

El Departamento de Investigación y Servicio a la Comunidad (LP2M) financió el estudio reportado en la Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Indonesia.

Referencias

- Abedi, E. A., Prestridge, S., & Hodge, S. (2024). Teachers' beliefs about technology integration in Ghana: A qualitative study of teachers', headteachers' and education officials' perceptions. *Education and Information Technologies*, 29(5), 5857–5877. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12049-0>
- Almazroa, H., & Alotaibi, W. (2023). Teaching 21st century skills: Understanding the depth and width of the challenges to shape proactive teacher education programmes. *Sustainability*, 15(9), 7365. <https://doi.org/10.3390/su15097365>
- Ardıç, M. A., & Isleyen, T. (2017). High School Mathematics Teachers' Levels of Achieving Technology Integration and In-Class Reflections: The Case of Mathematica. *Universal Journal of Educational Research*, 5(n12B), 1–17. <https://doi.org/10.13189/ujer.2017.051401>
- Baran, E., Canbazoglu Bilici, S., Albayrak Sari, A., & Tondeur, J. (2019). Investigating the impact of teacher education strategies on preservice teachers' TPACK. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 357–370. <https://doi.org/10.1111/bjet.12565>
- Bolyard, J., Curtis, R., & Cairns, D. (2024). Learning to Struggle: Supporting Middle-grade Teachers' Understanding of Productive Struggle in STEM Teaching and Learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42330-023-00302-0>
- Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S. (2014). *Rasch analysis in the human sciences*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4>
- Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research—A systematic review of recent trends. *Computers & Education*, 114, 255–273. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.004>
- Castaño, R., Poy, R., Tomşa, R., Flores, N., & Jenaro, C. (2015). Pre-service teachers' performance from teachers' perspective and vice versa: Behaviors, attitudes and other associated variables. *Teachers and Teaching*, 21(7), 894–907. <https://doi.org/10.1080/13540602.2014.995487>
- Elas, N., Majid, F., & Narasuman, S. (2019). Development of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for english teachers: The validity and reliability. *International Journal of*

- Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 14(20), 18–33.
<https://doi.org/10.3991/ijet.v14i20.11456>
- Elmaadaway, M. A. N., & Abouelenein, Y. A. M. (2023). In-service teachers' TPACK development through an adaptive e-learning environment (ALE). *Education and Information Technologies*, 28(7), 8273–8298. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11477-8>
- Flores-Castro, E., Campos-Nava, M., Ramirez-Diaz, M. H., & Moreno-Ramos, J. (2024). The Construction of Knowledge for the Teaching of Sciences: A Reflection Seen From the Pedagogical Content Knowledge (PCK). *Kurdish Studies*, 12(1), 3536–3555. <https://doi.org/10.58262/ks.v12i1.251>
- Fütterer, T., Scherer, R., Scheiter, K., Stürmer, K., & Lachner, A. (2023). Will, skills, or conscientiousness: What predicts teachers' intentions to participate in technology-related professional development? *Computers & Education*, 198, 104756. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104756>
- Guillén-Gámez, F. D., Gómez-García, M., & Ruiz-Palmero, J. (2024). Digital competence in research work: Predictors that have an impact on it according to the type of university and gender of the Higher Education teacher:[Digital competence in research work: predictors that have an impact on it according to the type of university and gender of the Higher Education teacher]. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 69, 7–34. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.99992>
- Hall, J. A., Lei, J., & Wang, Q. (2020). The first principles of instruction: An examination of their impact on preservice teachers' TPACK. *Educational Technology Research and Development*, 68, 3115–3142. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09866-2>
- Haşlamam, T., Atman Uslu, N., & Mumcu, F. (2024). Development and in-depth investigation of pre-service teachers' digital competencies based on DigCompEdu: A case study. *Quality & Quantity*, 58(1), 961–986. <https://doi.org/10.1007/s11135-023-01674-z>
- Hill, H. C., Ball, D. L., & Schilling, S. G. (2008). Unpacking pedagogical content knowledge: Conceptualizing and measuring teachers' topic-specific knowledge of students. *Journal for Research in Mathematics Education*, 39(4), 372–400. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.39.4.0372>
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Irmak, M., & Yılmaz Tüzün, Ö. (2019). Investigating pre-service science teachers' perceived technological pedagogical content knowledge (TPACK) regarding genetics. *Research in Science & Technological Education*, 37(2), 127–146. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1466778>
- Kimmons, R., Miller, B. G., Amador, J., Desjardins, C. D., & Hall, C. (2015). Technology integration coursework and finding meaning in pre-service teachers' reflective practice. *Educational*

- Technology Research and Development*, 63(6), 809–829. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9394-5>
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: Perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169–204. <https://doi.org/10.1080/03057260903142285>
- Koh, J. H. L. (2019). TPACK design scaffolds for supporting teacher pedagogical change. *Educational Technology Research and Development*, 67(3), 577–595. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9627-5>
- Komarudin, K., Sari, E., Rinaldi, A., Laksono, P. J., Anggara, B., Ali, M., Sholeh, M., & Wigati, I. (2024). STEM-based digital pocket book: The design and implementation of students' mathematical communication ability. *AIP Conference Proceedings*, 3058(1). <https://doi.org/10.1063/5.0200927>
- König, J., Bremerich-Vos, A., Buchholtz, C., & Glutsch, N. (2020). General pedagogical knowledge, pedagogical adaptivity in written lesson plans, and instructional practice among preservice teachers. *Journal of Curriculum Studies*, 52(6), 800–822. <https://doi.org/10.1080/00220272.2020.1752804>
- Lautenbach, F., & Heyder, A. (2019). Changing attitudes to inclusion in preservice teacher education: A systematic review. *Educational Research*, 61(2), 231–253. <https://doi.org/10.1080/00131881.2019.1596035>
- Lawless, K. A., & Pellegrino, J. W. (2007). Professional development in integrating technology into teaching and learning: Knowns, unknowns, and ways to pursue better questions and answers. *Review of Educational Research*, 77(4), 575–614. <https://doi.org/10.3102/003465430730992>
- Li, M., Noori, A. Q., & Li, Y. (2023). Development and validation of the secondary mathematics teachers' TPACK scale: A study in the Chinese context. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(11), em2350. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13671>
- Luik, P., Taimalu, M., Naruskov, K., & Kalk, K. (2024). Does knowledge according to the TPACK framework have an impact on student teachers' beliefs? A path analysis. *Education and Information Technologies*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12767-z>
- Malik, S., Rohendi, D., & Widiaty, I. (2019). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) with information and communication technology (ICT) integration: A literature review. *5th UPI International Conference on Technical and Vocational Education and Training (ICTVET 2018)*, 498–503. <https://doi.org/10.2991/ictvet-18.2019.114>
- Martin, D. A., Carey, M. D., McMaster, N., & Clarkin, M. (2024). Assessing primary school preservice teachers' confidence to apply their TPACK in specific categories of technologies using a self-audit survey. *The Australian Educational Researcher*. <https://doi.org/10.1007/s13384-023-00669-x>
- Maskur, R., Suherman, S., Andari, T., Sri Anggoro, B., Muhammad, R. R., & Untari, E. (2022). The Comparison of STEM approach and SSCS learning model for secondary school-based on K-13

- curriculum: The impact on creative and critical thinking ability. *Revista de Educación a Distancia*, 22(70), 1–26. <https://doi.org/10.6018/red.507701>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Nordin, H., Davis, N., & Ariffin, T. F. T. (2013). A case study of secondary pre-service teachers' technological pedagogical and content knowledge mastery level. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 103, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.300>
- Ong, Q. K. L., & Annamalai, N. (2024). Technological pedagogical content knowledge for twenty-first century learning skills: The game changer for teachers of industrial revolution 5.0. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1939–1980. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11852-z>
- Park, H., & Scanlon, D. (2024). General educators' perceptions of struggling learners in an inaugural project-based learning Capstone. *International Journal of Inclusive Education*, 1–29. <https://doi.org/10.1080/13603116.2024.2310673>
- Potter, K., Kniss, J., Riesenfeld, R., & Johnson, C. R. (2010). Visualizing Summary Statistics and Uncertainty. *Computer Graphics Forum*, 29(3), 823–832. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01677.x>
- Redecker, C., & Punie, Y. (2017). Digital competence of educators. *Edited by Yves Punie*. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Reyes Jr, V. C., Reading, C., Doyle, H., & Gregory, S. (2017). Integrating ICT into teacher education programs from a TPACK perspective: Exploring perceptions of university lecturers. *Computers & Education*, 115, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.009>
- Roussinos, D., & Jimoyiannis, A. (2019). Examining primary education teachers' perceptions of TPACK and the related educational context factors. *Journal of Research on Technology in Education*, 51(4), 377–397. <https://doi.org/10.1080/15391523.2019.1666323>
- Saubern, R., Urbach, D., Koehler, M., & Phillips, M. (2020). Describing increasing proficiency in teachers' knowledge of the effective use of digital technology. *Computers & Education*, 147, 103784. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103784>
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J., & Shin, T. S. (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(2), 123–149. <https://doi.org/10.1080/15391523.2009.10782544>
- Smith, P. G., & Zelkowski, J. (2023). Validating a TPACK instrument for 7–12 mathematics in-service middle and high school teachers in the United States. *Journal of Research on Technology in Education*, 55(5), 858–876. <https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2048145>
- Sofyan, S., Habibi, A., Sofwan, M., Yaakob, M. F. M., Alqahtani, T. M., Jamila, A., & Wijaya, T. T. (2023). TPACK–Uotl: The validation of an assessment instrument for elementary school teachers.

Humanities and Social Sciences Communications, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01533-0>

- Stoilescu, D. (2015). A critical examination of the technological pedagogical content knowledge framework: Secondary school mathematics teachers integrating technology. *Journal of Educational Computing Research*, 52(4), 514–547. <https://doi.org/10.1177/0735633115572285>
- Suherman, S. (2018). Ethnomathematics: Eksplorasi of Traditional Crafts Tapis Lampung as Illustration of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). *Eduma: Mathematics Education Learning and Teaching*, 7(2), 21–30. <https://doi.org/10.24235/eduma.v7i2.3085>
- Suherman, S., & Vidákovich, T. (2024). Relationship between ethnic identity, attitude, and mathematical creative thinking among secondary school students. *Thinking Skills and Creativity*, 51, 101448. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101448>
- Supriadi, N., Jamaluddin Z, W., & Suherman, S. (2024). The role of learning anxiety and mathematical reasoning as predictor of promoting learning motivation: The mediating role of mathematical problem solving. *Thinking Skills and Creativity*, 52, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101497>
- Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2020). Enhancing pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A mixed-method study. *Educational Technology Research and Development*, 68, 319–343. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09692-1>
- Wicaksono, A. G. C., & Korom, E. (2023). Attitudes towards science in higher education: Validation of questionnaire among science teacher candidates and engineering students in Indonesia. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20023>
- Zelkowski, J., Gleason, J., Cox, D. C., & Bismarck, S. (2013). Developing and validating a reliable TPACK instrument for secondary mathematics preservice teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 46(2), 173–206. <https://doi.org/10.1080/15391523.2013.10782618>