

REFERENCIA: Rodríguez-Cubillo, M.R., Del Castillo, H., & Arteaga-Martínez, B. (2021). El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas: una revisión sistemática. *ENSAYOS, Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 36(1). Enlace web: <http://www.revista.uclm.es/index.php/ensayos>
- Consultada en fecha (dd-mm-aaaa)

EL USO DE APLICACIONES MÓVILES EN EL APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

THE USE OF MOBILE APPLICATIONS IN MATHEMATICS EDUCATION: A SYSTEMATIC REVIEW

María del Rosario Rodríguez-Cubillo

mrosario.rodriguez@uah.es

Héctor del Castillo

hector.delcastillo@uah.es

Facultad de Educación. Universidad de Alcalá (España)

Blanca Arteaga-Martínez

blanca.arteaga@edu.uned.es

Facultad de Educación. Universidad Nacional de Educación a Distancia (España)

Recibido: 03/12/2020

Aceptado: 07/05/2021

Resumen:

El uso de aplicaciones móviles educativas en las aulas se proyecta como una herramienta para mejorar el rendimiento en matemáticas. El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión sistemática centrada en los beneficios que su uso puede aportar en la adquisición de la competencia matemática temprana. Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura publicada en bases de datos nacionales e internacionales, desde enero 2015. Los datos se han clasificado dando lugar a una descripción de estas aplicaciones móviles. Los resultados iniciales facilitaron 1329 referencias, identificando únicamente 25 de estos estudios dentro de los criterios de inclusión prefijados. La mayoría de las evidencias informan de un impacto positivo tras el uso de las aplicaciones móviles educativas en el aula, tanto en el rendimiento y la motivación como en las actitudes de aprendizaje de los estudiantes en el área de matemáticas.

Palabras clave: aplicación móvil; dispositivo móvil; enseñanza multimedia; enseñanza de las matemáticas; aprendizaje electrónico.

Abstract:

The use of mobile applications in the classroom is considered a powerful educational tool for improving learning processes. This article sets out to conduct a systematic review of the current literature on the benefits of mobile applications as potential educational tools in the acquisition

of early mathematical competence. From this perspective, a systematic literature search from relevant international databases was conducted in order to find papers published in journals or conference proceedings from January 2015 onwards. These data have been classified to obtain a description of the characteristics and the results of mobile applications. 1329 references were initially identified in database searches and 25 of these papers met the inclusion criteria. The main conclusion shows how, the use of mobile applications in the mathematics classroom has positive effects on students' performance, motivation and learning results, at both early childhood and primary levels.

Keywords: Mobile applications; mobile devices; M-learning; mathematics education.

1. Introducción

Los dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes o tabletas, ofrecen oportunidades didácticas ya que disponen de características que los convierten en herramientas útiles dentro y fuera del aula, como la interactividad, calidad en la imagen y sonido, interconexión e innovación, además de ofrecer autonomía a los estudiantes, hecho que puede facilitar un aprendizaje eficaz.

Muchos estudios se han realizado analizando las características que poseen las tabletas, para beneficiar el aprendizaje tanto de manera online como offline (Buendía et al., 2016). Una de las características fundamentales es que su uso es fácil e intuitivo, además de que la gran mayoría de las aplicaciones aportan una retroalimentación inmediata que permite un aprendizaje adaptado a las necesidades personales de aprendizaje de cada estudiante.

Son varios los términos que hemos de tener en cuenta al referirnos a las aplicaciones educativas, pero dadas las características del presente trabajo son dos las fundamentales, apps y manipulativos virtuales (VMs).

De acuerdo a la definición de Gröger et al. (2013) las apps son aplicaciones utilizadas en cualquier dispositivo informático, normalmente dispositivos de pantalla táctil como tabletas; mientras que VMs son representaciones interactivas visuales de un objeto dinámico (Moyer et al., 2002), que presenta oportunidades para construir conocimiento matemático, podemos decir que distintas apps contienen dichos VMs.

El éxito en los resultados de aprendizaje tras el uso de aplicaciones educativas se debe a factores diversos. En el caso particular que este trabajo nos ocupa, centrado en el aprendizaje de las matemáticas, la utilidad proviene de que en ellas se incluyen numerosas repeticiones, acumulación de conceptos matemáticos, desafíos, recompensa temprana y los estudiantes marcando su propio ritmo de aprendizaje ya que están niveladas adecuándose a su ritmo; estos son elementos importantes en las intervenciones matemáticas eficaces (Baker et al., 2002; Fuchs et al., 2008; Gersten et al., 2009).

De acuerdo con la investigación de Segal (2011) los niños obtienen un mayor rendimiento en matemáticas cuando usan las tabletas a través del toque directo en pantalla, ya que se produce una manipulación física de objetos, beneficiando la cognición y el aprendizaje, frente a los dispositivos táctiles indirectos como el ratón del ordenador.

La investigación de Lindahl y Folkesson (2012) concluía que la manipulación directa de objetos virtuales, etiquetas verbales y representaciones numéricas producía un aprendizaje activo en el estudiante, debido a que la presentación simultánea de entradas auditivas y visuales genera un aprendizaje multisensorial, situación que facilita la comprensión (Outhwaite et al., 2019a).

Otra de las razones por las que el uso de las tabletas es beneficioso para el aprendizaje es porque facilitan la enseñanza interdisciplinaria, y ayudan a situar la enseñanza de las matemáticas en un contexto (Sheehy et al., 2005), al tiempo que pueden interactuar dos o más estudiantes de manera simultánea (Ingram et al., 2015).

Estudios como el de Volk et al. (2017) aportan resultados positivos en el grupo experimental en los dominios de aprendizaje cognitivo, afectivo-social y psicomotor tras el uso de las tabletas. La investigación describe la capacidad de las tabletas para adquirir resultados de aprendizaje de orden superior a través del impacto de las actividades matemáticas interdisciplinarias. Esta investigación se realizó durante siete meses en doce aulas de tercer grado en Eslovenia, concluyendo que la interacción táctil multisensorial proporciona interactivos de orden manipulativo que apoyan el aprendizaje.

Cheung y Slavin (2013) realizaron una revisión examinando los efectos de las aplicaciones de tecnología educativa en el logro de las matemáticas en las aulas K-12. Se centraron en estudios que cumplieran altos estándares metodológicos. Los hallazgos sugieren que las aplicaciones de tecnología educativa produjeron un efecto positivo, y que para evaluar el impacto de la tecnología en las aulas es necesario atender tanto al contenido de la aplicación educativa como al diseño de la aplicación (Falloon, 2013).

Esta efectividad en las aplicaciones educativas de matemáticas se muestra además desde los niveles iniciales de escolarización (Outhwaite et al., 2017, 2019a; Pitchford, 2015; Schacter & Jo, 2016, 2017; Van Der Ven et al., 2017).

Pero la percepción de las experiencias de uso de las aplicaciones y su objetivo es diferente entre estudiantes y docentes. Tucker et al. (2016) informaron a los docentes acerca de las decisiones sobre la implementación de las apps en la clase, con cuatro estudios de caso ilustrando la forma en la que los estudiantes interactúan con la app Motion Math Zoom, y de qué forma estas intervenciones desarrollan el conocimiento matemático. De esta investigación se concluye que las apps pueden ser herramientas útiles cuando se utilizan de forma estudiada y meditada. Para ello es importante la elección correcta de la aplicación, teniendo en cuenta el contenido, los modelos y las interacciones físicas apropiadas (Ginsburg et al., 2013).

Calder y Murphy (2018) concluyen en su estudio un aspecto importante en el diseño de la implementación de una app en el aula desde la valoración de los docentes; estos otorgan una mayor importancia a la calidad pedagógica frente a la calidad técnica de la aplicación. Otros trabajos (Chion & Shuler, 2010; Neumann, 2014; Rideout & Saphir, 2013) consideran que para los docentes un factor primordial para el aprendizaje del estudiante con apps es la nivelación de los contenidos, y la adecuación a las estrategias de la edad de los estudiantes.

Las principales propiedades en las aplicaciones educativas son entrenamiento repetitivo y acumulativo en conceptos matemáticos, retroalimentación inmediata, instrucción explícita, desafío y recompensa temprana, así como aprendizaje individualizado, que pueden considerarse elementos importantes de intervenciones matemáticas efectivas (Baker et al., 2002; Fuchs et al., 2008; Gersten et al., 2009).

Con respecto a la retroalimentación inmediata en las aplicaciones matemáticas en el estudio de Barzel et al. (2019), se ha mostrado como un rasgo positivo presente en todas las apps utilizadas, que estas no ofrecían el resultado de la ecuación propuesta, sino que proponían información sobre cómo resolver la ecuación. Los cálculos a realizar se mostraban paso a paso, y se podía desplegar información para obtener más detalle sobre la resolución.

Dado el marco de uso de estas aplicaciones y la diversidad presente en las aulas, nos planteamos necesario hacer referencia a la presentación de contenidos que en este caso formaría parte de

lo que podríamos considerar como el diseño en cuanto al formato y posterior implementación en el aula.

En relación con las investigaciones realizadas con respecto al contenido de las aplicaciones y la conexión del estudiante con ellas, autores como Barab et al. (2010) y Gresalfi (2009) indican que las aplicaciones que posicionan al usuario como solucionador de problemas, hacen que el conocimiento disciplinario sea una herramienta que se use para resolver estos problemas y de esta forma se consiguen mayores tasas de aprendizaje y podría ser más motivador. Frecuentemente cuando se les presenta a los estudiantes nuevos contenidos, se hace de forma desconectada y externa a ellos, posicionándose como meros espectadores, cuyo papel es recordar conocimiento estático. Además, en este contexto la responsabilidad de adquirir ese conocimiento es externa (Gresalfi et al., 2008). Por el contrario, las aplicaciones pueden proporcionar un marco que legitime la participación de los estudiantes, teniendo la necesidad de dominar el contenido si se quiere resolver una situación problemática, y ello implique aplicar conocimiento disciplinario. Estos contextos proporcionan a los usuarios la oportunidad de determinar cuándo utilizar un determinado contenido (Barab et al., 2010).

Como hemos señalado de manera previa, es necesario tener en cuenta las características del diseño y cómo estas influyen en el aprendizaje. Moyer-Packenham et al. (2019) examinaron cómo las características de diseño de doce apps comerciales de matemáticas influyeron en el aprendizaje de los niños. Tras el análisis se reconoce que es importante que los estudiantes conozcan las características del diseño, y que usen este conocimiento para navegar de manera efectiva en el entorno. Las posibilidades que ofrecen estas aplicaciones permiten a los niños aprender conceptos matemáticos, al mismo tiempo que participan en un juego que les resulta motivador y agradable. En este sentido, es importante identificar en qué medida las características de diseño proporcionan ayuda u obstaculizan las experiencias que contribuyen al aprendizaje (Moyer-Packenham et al., 2018).

Las aplicaciones educativas de matemáticas tienen su base en varios principios de la psicología de la instrucción, la instrucción directa a través de retroalimentación, repetición y recompensa y el juego libre a través de la oportunidad de autorregulación y control del estudiante (Gray, 2015). Estas características, combinadas y consideradas en el diseño de la aplicación, permiten reconocer la intención del aprendizaje, incluyendo una evaluación continua del conocimiento que se va adquiriendo (Dunlosky et al., 2013; Grimaldi & Karpicke, 2014). Esto genera un aprendizaje basado en la recuperación, que ha mostrado mejoras en los resultados (Outhwaite et al., 2019a).

Hirsh-Pasek et al. (2015) muestran cómo el diseño y el uso de aplicaciones educativas se alinean con los procesos conocidos de aprendizaje y desarrollo de los niños, definiendo las aplicaciones educativas como aquellas que promueven el aprendizaje activo, comprometido, significativo y socialmente interactivo en relación con un objetivo de aprendizaje.

El desarrollo de un juego matemático digital hace que los niños desarrollen imágenes mentales (Presmeg et al., 2016) que se convierten en un objeto conceptual a través de su percepción y acción con el juego, de esta forma este conocimiento se mapea dentro del sistema sensoriomotor a través de la actividad física mientras se juega (Gallese & Lakoff, 2005).

En este sentido, otro aspecto que hemos de considerar en relación al aprendizaje es la posibilidad que estas aplicaciones ofrecen, para utilizarlas de manera guiada en entornos no propiamente educativos. Tomamos como ejemplo la experiencia de Berkowitz et al. (2015), al diseñar y evaluar una aplicación para usarla en el hogar, obteniendo resultados positivos en los logros de los estudiantes en el área de matemáticas. Varias características pueden haber contribuido a su efectividad, como la naturaleza básica para evitar distraer elementos, y su

diseño para alinearse con los objetivos de los Common Core State Standards (National Governors Association Center for best practices, 2010) en diferentes niveles de grado.

Otro de los aspectos a tener en cuenta en la implementación de las apps en el aula de matemáticas es la distancia entre tecnología y matemáticas, que puede variar dependiendo de las características de las aplicaciones y de los estudiantes. Entendiendo por distancia la diferencia entre lo que es requerido para una práctica previsiblemente exitosa y la práctica real que se realiza; se ha observado que, a mayor distancia en las interacciones más dificultad para el aprendizaje de las matemáticas (Tucker, 2015).

Finalmente, en relación con la influencia de la tecnología en el aprendizaje temprano, destaca la revisión sistemática de la literatura relacionada con estudios empíricos en este ámbito realizada por Hsin et al. (2014). En su análisis, identificaron 87 artículos entre 2008 y 2013 que abordan contenidos de diferentes áreas de conocimiento. La mayoría de los estudios revelaron que la tecnología tenía efectos positivos sobre el rendimiento de los niños en el dominio cognitivo, pero especialmente en el dominio social ya que aumentaba la colaboración e interacción entre iguales.

2. Metodología

Durante este estudio se planteó la búsqueda de respuesta a una serie de preguntas de investigación partiendo de la literatura existente sobre el tema: ¿Cuáles son los estudios relacionados con el aprendizaje a través de aplicaciones educativas en el área de matemáticas en educación primaria? ¿Qué tipo de estudios han abordado esta cuestión? ¿Con qué objetivos y resultados? ¿Cuál es el diseño de intervención en el aula usando como herramienta las aplicaciones móviles?

Partiendo de la búsqueda de respuesta a estas preguntas, se formuló el objetivo de la revisión sistemática (RS) como categorizar e integrar los resultados de las investigaciones sobre el rendimiento en el área de matemáticas tras el uso de aplicaciones móviles educativas, con el fin de avanzar en su comprensión.

2.1. Búsqueda y selección de estudios

El proceso de selección de los estudios se desarrolló en tres fases (Figura 1). En la primera fase, se seleccionaron publicaciones en distintas bases de datos (Eric, Scopus, Web of Science, Google Scholar) sobre estudios que hacían referencia, en su título, resumen y/o palabras clave, a los siguientes términos: aplicación móvil; dispositivo móvil; enseñanza multimedia; enseñanza de las matemáticas; aprendizaje electrónico, todas ellas en lengua castellana y sus correspondientes equivalentes en inglés (mobile applications; mobile devices; M-learning; mathematics education; electronic learning). También se incluyó en el estudio dada la importancia en este campo del conocimiento, la 12ª Conferencia Internacional IADIS sobre Sistemas de Información 2019, la 19ª Conferencia Internacional de Tecnologías de Aprendizaje Avanzado ICALT 2017, International Conference on Education, Mathematics and Science (ICEMS) de 2016, IV Congreso Virtual Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa y Quinta Conferencia Internacional sobre Innovación Educativa a través de la Tecnología, EITT 2016.

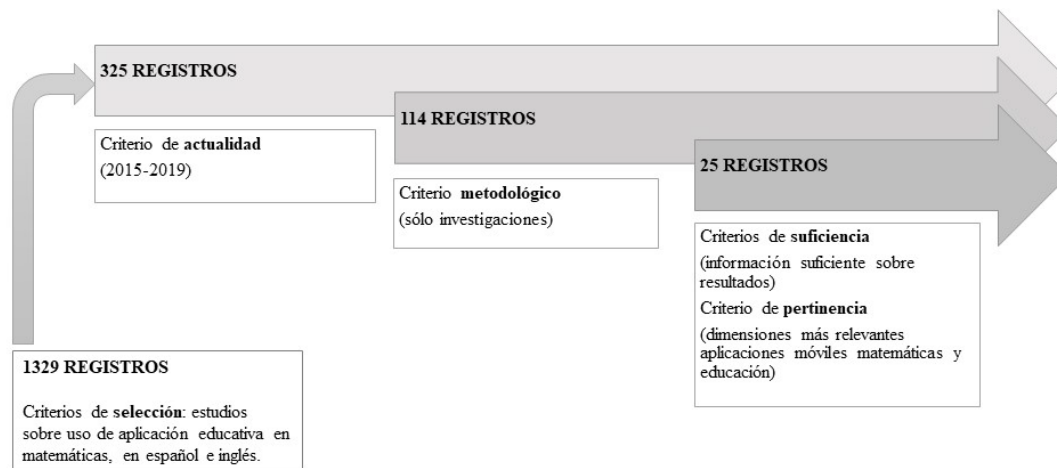


Figura 1. Fases del proceso de selección de estudios.

Debido a problemas de viabilidad, se excluyeron los estudios realizados en lenguas diferentes al castellano e inglés. Los términos de búsqueda para la revisión de la literatura relacionada con el uso de aplicaciones móviles para el rendimiento matemático se encuentran en la Figura 2.

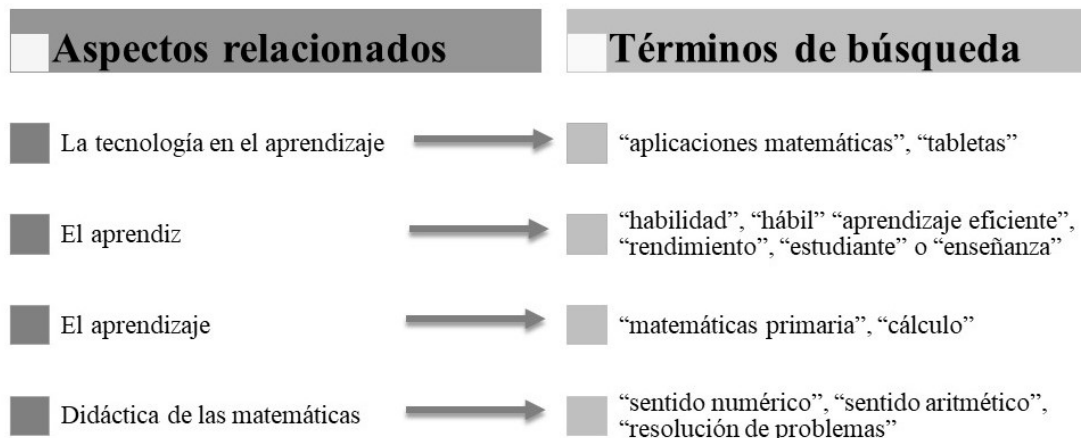


Figura 2. Palabras clave relacionadas con el uso de aplicaciones móviles en matemáticas.

Con el objetivo de filtrar los documentos encontrados en esta primera fase de búsqueda, se estableció el siguiente procedimiento: a) utilización de la lógica booleana para la búsqueda combinada de conceptos; b) operadores de proximidad o posición (and, or, not).

Una vez realizada esta primera fase, se localizaron 1329 publicaciones, que componen la población objeto de investigación. Para la eliminación de coincidencias en los estudios candidatos, se realizó una doble revisión manual y de búsqueda informática de la base de datos creada.

En una segunda fase, se realizaron varios filtros del total de las publicaciones. En un primer filtro de las 1329 publicaciones se descartaron las anteriores al año 2015, ante lo cual quedaron 325 publicaciones, que consideramos el punto de partida de nuestro trabajo. Al tratarse de

publicaciones basadas en herramientas tecnológicas el objetivo era considerar las referencias más actuales posible. De estas en un segundo filtro se excluyeron las que no respondían a investigaciones, sino que eran reflexiones teóricas sobre el tema central del trabajo o manuales de instrumentos.

Finalmente, en una tercera fase, con los 114 registros resultantes se realizó un tercer filtro desde los criterios de suficiencia y pertinencia. Se seleccionaron 25, teniendo en cuenta la presencia de resultados sobre el cálculo en las dimensiones educativa y tecnológica.

Todo ello dio como resultado un conjunto de 25 artículos disponibles para el análisis, que cumplían los criterios de selección y que conforman la muestra objeto de este estudio.

2.2. Criterios de selección

Para poder ser incluidos en la revisión, los artículos tenían que ser publicados en revistas o actas de congresos a partir de enero de 2015. Además de incluir como objeto de investigación la competencia matemática a través de las aplicaciones móviles. Los criterios de selección utilizados son:

- Estudios con metodología cualitativa y cuantitativa.
- Solo artículos publicados entre enero 2015 y junio 2019.
- La variable de estudio sea el uso de aplicaciones móviles en el área de matemáticas, en Educación Infantil y Primaria. Si ambos grupos el experimental y el grupo de control usan las aplicaciones educativas móviles y se compara el método de enseñanza entonces el estudio será excluido (Hsu et al., 2013; Jeong & Hong, 2013; Ryu & Parsons, 2012).
- Las investigaciones donde el logro de aprendizaje matemático es la variable principal, y las variables secundarias tienen una tipología afectiva como actitud hacia el aprendizaje, la motivación o la interacción entre iguales.
- Han sido criterios de exclusión los artículos que no han utilizado aplicaciones móviles educativas.

2.3. Categorización de los documentos

La categorización de los artículos se ha realizado de acuerdo al impacto de los estudios revisados. La primera categoría se define como el rendimiento matemático a nivel cognitivo con estudios que se relacionan con la efectividad de aplicaciones de matemáticas educativas y su eficacia en los niveles iniciales de escolarización (Outhwaite et al., 2017, 2019b; Pitchford, 2015; Schacter & Jo, 2016, 2017; Van Der Ven et al., 2017).

Otra categoría es la relacionada con el aprendizaje del dominio afectivo-social y psicomotor con estudios como el de Volk et al. (2017) que aportaron resultados positivos en el grupo experimental en los dominios de aprendizaje cognitivo, afectivo-social y psicomotor tras el uso de las tabletas.

La última categoría se refiere a la relación del diseño de la app con el rendimiento matemático. Estos estudios enfocaron sus resultados en las características del diseño y cómo estas influyen en el aprendizaje (Cheung & Slavin, 2013; Hirsh-Pasek et al., 2015; Moyer-Packenham et al., 2018, 2019).

3. Resultados

En la revisión fueron incluidos 25 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión que se han especificado en el apartado de criterios de selección. El análisis se realizó siguiendo la categorización antes indicada. Los datos de recuento se recogen de manera global en la Tabla 1.

Tabla 1.

Número de artículos identificados en cada base de datos e incluidos/excluidos en la revisión.

		Eric	Scopus	Web of Science	Google Scholar	Total
Identificación	Búsqueda palabra clave	72	55	78	120	325
Cribado	Publicaciones excluidas antes del 2015	35	21	48	75	179
	Duplicados Eliminados	2	3	4	23	32
	Investigados	35	31	26	22	114
Elegibilidad	Publicaciones excluidas por el título y resumen	25	15	13	17	70
	Publicaciones excluidas en base al artículo completo	5	10	2	2	19
Incluido	Número final artículos incluidos	5	6	11	3	25

- De acuerdo al número de estudios publicados en 2015 (n=6), 2016 (n=6), 2017 (n=6), 2018 (n=5), 2019 (n=2).
- De acuerdo a la etapa educativa del alumnado la revisión incluye: investigaciones de estudiantes de Educación Infantil (n=6), de Educación Primaria (n=17), y de Educación Infantil y Primaria (n=2).
- La muestra de estudio varió de 0-50 participantes (n=7), 51-100 participantes (n=7), 101-200 participantes (n=4), más de 201 (n=7).
- Los estudios fueron diseñados con las comparaciones entre grupo de control y grupo experimental (n=12), mientras que algunos no incorporan esa comparación de resultados (n=13).
- Los indicadores de interés incluidos en los estudios fueron: la mejora del rendimiento en matemáticas a través del uso de apps (n=22), y mejora de resultados de aprendizaje a nivel cognitivo, afectivo-social y psicomotor (n=3).
- Se encontraron resultados de tipos de estudios que mejoran la capacidad de comunicación matemática del docente a través de las aplicaciones móviles (n=1), mejora de la capacidad de resolución de problemas a través de aplicaciones móviles (n=1), y efectividad del uso del juego digital (n=22), mejora del rendimiento matemático por la mejora de habilidades visoespaciales a través de aplicaciones móviles educativas (n=1).

La metodología utilizada en los estudios es la siguiente:

- Metodología cuasi experimental (n=12)
- Estudio de caso (n= 4)
- Ensayo control aleatorio (n=2)

- Análisis exploratorio (n=2)
- Métodos mixtos paralelos convergentes (n=2)
- Cuasiexperimental vídeos observaciones entrevistas (n=1)
- Diseño cualitativo entrevistas docentes (n=1)
- Cuestionarios y entrevistas estudiantes (n=1)

Como síntesis, 22 estudios mostraron una mejora de los participantes con respecto al rendimiento en matemáticas a través del uso de aplicaciones móviles educativas, mientras que 3 estudios señalaron las aplicaciones educativas como herramienta eficaz para aumentar significativamente los resultados de aprendizaje a nivel cognitivo, afectivo-social y psicomotor.

Dentro de estos estudios se reflejan mejoras en la capacidad de la comunicación matemática a través de aplicaciones móviles, mejora de la capacidad de resolución de problemas y mejora de habilidades visoespaciales a través de aplicaciones móviles educativas.

4. Discusión

En el presente estudio se ha llevado a cabo una revisión sistemática con el objetivo principal de ofrecer un análisis descriptivo actualizado sobre las potencialidades de las aplicaciones educativas como herramienta en el aula para la eficacia del aprendizaje de las matemáticas en educación primaria. Durante esta revisión se han analizado cuáles son los principales beneficios relacionados con la competencia matemática en los estudiantes.

Tras el análisis de los artículos se deduce que la mayoría de los autores muestran preocupación por mejorar la prestación de las aplicaciones, y aumentar el rendimiento matemático durante la educación primaria.

En primer lugar, hay un elevado número de investigaciones en nuestro estudio que han analizado el uso de aplicaciones educativas matemáticas y su efecto positivo en el rendimiento matemático (Hussain et al., 2017; Miller, 2018). Este rendimiento podemos considerarlo como una medida de las capacidades de aprendizaje que proceden de la formación. Los trabajos de Outhwaite y sus colaboradores (2017, 2019a) han mostrado como uno de los aspectos que favorecen el rendimiento matemático es que el uso de las apps ofrece una oportunidad para desarrollar bases sólidas en el aprendizaje de las matemáticas con la instrucción uno-a-uno. Además, los resultados mostraron ganancias significativas en razonamiento matemático y resolución de problemas después de las intervenciones, principalmente en estudiantes de bajo rendimiento. Otros estudios (Salminen et al., 2015) sugieren que el uso de las apps con contenidos relacionados con las matemáticas va más allá de la práctica basada en la recuperación de los procedimientos ya que además ayudan a construir una base sólida que permite asimilar y automatizar en un alto nivel de conceptualización matemática los procedimientos matemáticos y los conceptos básicos (Coddling et al., 2010; Gersten & Chard, 1999; Karmiloff-Smith, 1994; Mayfield & Chase, 2002; Van Der Heyden & Burns, 2005). Una de las razones por las que las tabletas apoyan el aprendizaje es que proporcionan una práctica individualizada (Musti-Rao & Plati, 2015) y oportunidades de colaboración (Hwang et al., 2015).

Yang et al. (2016) coincidieron que la tutoría recíproca entre pares apoyada por tabletas fue más efectiva que la práctica realizada con materiales tradicionales. Otro de los estudios revisado fue el de Schacter y Jo (2017) en el que se comprobó si a través de un plan de estudios basados en una app de matemáticas se mejoraba el rendimiento matemático de estudiantes en riesgo de abandono. En los resultados se mostró un efecto significativo y considerable en la prueba posterior de matemáticas para los estudiantes que habían usado la aplicación. Estos estudiantes

aprendieron aproximadamente los contenidos de un año más de matemáticas que los del grupo de control.

Sin embargo, hay estudios como el realizado por Larkin (2015) que señala que la mayoría de las apps de matemáticas estudiadas en su investigación para comprobar la efectividad en la escuela primaria solo aportan entretenimiento, mientras que un grupo de apps fueron altamente eficaces para los estudiantes en su aprendizaje matemático.

Otros de los aspectos relacionados con el aprendizaje de matemáticas a través de las aplicaciones educativas es la influencia del diseño de la aplicación. Moyer-Packenham et al. (2018) observaba que la misma característica de diseño podría ser beneficiosa o podría ser una distracción dependiendo del estudiante. Moyer-Packenham y Westenskow (2016) señalaron que la vinculación simultánea es una característica de diseño de las aplicaciones que afecta positivamente a los resultados de aprendizaje. Muchas de las apps utilizadas en este estudio tenían buen equilibrio entre las características de diseño que promueven las matemáticas y las características de diseño que promueven el entorno de juego. Otro de los aspectos relacionados con el diseño de la aplicación es la adaptación del nivel competencial correcto del estudiante, ya que cuando una aplicación se convierte en una actividad demasiado difícil para el estudiante, abandonan la aplicación o utilizan un método de ensayo y error para pasar al siguiente nivel (Miller, 2018). Otro de los aspectos que se observaron en este estudio fue que cuando se les da a los niños la opción de elegir, se sienten más atraídos por las aplicaciones creativas y de entretenimiento, en lugar de aplicaciones más pedagógicas y menos creativas.

Otros estudios se enfocaron en el interés y actitud positiva hacia las matemáticas (Godfrey & Mtebe, 2018), concluyendo que los juegos tradicionales pueden rediseñarse en forma digital y utilizarse para estimular el interés de los estudiantes en aprender habilidades de cálculo, en este caso, en países en vías de desarrollo. Los maestros indicaron que las apps eran pedagógicamente efectivas para las habilidades aritméticas, y los estudiantes señalaron que eran divertidas y fáciles de jugar.

Además, esta revisión nos aporta otra de las dificultades que se encuentran los docentes en las aulas y es el diseño de instrucción, es decir, como usar las tabletas en las aulas. Algunos de los estudios seleccionados nos informan como el profesorado no sabe cómo utilizar con eficacia las tabletas en las aulas de matemáticas y que los estudiantes no están comprometidos con la aplicación elegida, o que las aplicaciones disponibles en el momento del estudio no son de calidad (Desoete et al., 2016), y surgen preguntas sobre cómo el desarrollo profesional de los docentes puede ayudar a usar las apps para la instrucción y como dicha integración podría afectar al rendimiento de los estudiantes (Callaghan et al., 2017). En relación con lo anterior los estudiantes no suelen estar acostumbrados a utilizar aplicaciones educativas a pesar de su extensa experiencia con las aplicaciones móviles (Kyriakides et al., 2016). Este estudio indicaba que dos tercios de los estudiantes encuestados nunca jugaba a juegos educativos ni aplicaciones educativas de matemáticas. Larkin (2015) indicaba en su estudio relacionado con la efectividad del uso de aplicaciones matemáticas para trabajar la geometría, que los resultados iniciales mostraban una capacidad limitada para ayudar a los estudiantes a desarrollar la comprensión conceptual geométrica, pero que algunas aplicaciones eran muy apropiadas, concluyendo que es importante realizar un estudio descriptivo inicial sobre la calidad de las aplicaciones, para decidir si se usan o no.

La elección correcta de la app es uno de los aspectos que se repite en los estudios seleccionados como el de Harrison y Lee (2018) que concluía tras su estudio, que una app con interacciones significativas y alta calidad en contenido hace más fácil para los docentes diseñar una tarea efectiva relacionada con la aplicación. Otro de los aspectos importantes que destacaba, era que las aplicaciones deben ser sencillas de usar, para que los estudiantes centren la atención en los conceptos matemáticos más que en la tecnología. Deben proveer feedback a tiempo para

permitir a los estudiantes mantener la autonomía y permitir que el docente aporte ayuda cuando sea necesario. Una app efectiva no suplanta las necesidades de una enseñanza efectiva, aunque sí podría hacer más fácil el proceso de enseñanza-aprendizaje (Harrison & Lee, 2018).

Una de las conclusiones más importantes del estudio de Calder y Murphy (2018) fue que la calidad de la pedagogía y práctica de los docentes fue más influyente que la calidad de la app, y que como herramienta las aplicaciones tienen un potencial considerable que ofrecen a los estudiantes nuevas formas de involucrarse con las matemáticas.

5. Conclusiones

El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas es una temática en constante evolución. Esto implica que en el futuro inmediato se llevarán a cabo numerosas investigaciones que nos ofrecerán la posibilidad de avanzar en este campo. El interés por incorporar tecnologías en la educación y reducir las brechas digitales, especialmente en los nuevos escenarios educativos generados tras el inicio de la pandemia.

La conclusión más importante de esta revisión es que las investigaciones analizadas muestran el enorme potencial de las aplicaciones educativas para la mejora del rendimiento en matemáticas. También demuestran que hay mejoras en funciones ejecutivas, motoras y motivacionales, entre otras, por lo que los educadores se pueden beneficiar del uso de esta herramienta para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes. Fishman et al. (2014) confirma que los maestros se inclinan por usar más juegos digitales y que se sienten moderadamente cómodos con los juegos en sus aulas.

De hecho, las aplicaciones educativas han resultado una herramienta eficaz y viable para la adquisición de la competencia matemática en las etapas de educación infantil y primaria, al facilitar situaciones de aprendizaje adaptativas para cada estudiante (Outhwaite et al., 2017).

A partir de la revisión sistemática realizada en este trabajo, se puede concluir que una de las características que poseen las apps es el poder de motivar y captar la atención de los estudiantes (Dickey, 2007; Garris et al., 2002). Además, uno de los mayores desafíos para conseguir éxito en el aprendizaje de los estudiantes es superar la desconexión (Appleton & Lawrenz, 2011; Parsons et al., 2014). Pero no podemos considerar válida cualquier aplicación educativa ya que es importante identificar cuando una aplicación es de alta calidad y cuando no. Si se identifica como app de alta calidad, se conseguirá mejorar el rendimiento académico (Hwang et al., 2015; Musti-Rao & Plati, 2015; Yang et al., 2016).

Por otra parte, no es suficiente con profundizar en la dimensión tecnológica, es esencial revisar qué métodos pedagógicos basados en las tabletas pueden ser generalizables para obtener un aprendizaje de calidad.

Las aplicaciones educativas pueden ser un instrumento para reducir las diferencias que pueden ocasionarse en los estudiantes, relacionadas con la adquisición del aprendizaje formal e informal de las matemáticas. Clark et al. (2016) concluyeron en su estudio que los juegos digitales promueven mejores resultados de aprendizaje ya que proporcionan andamios, comentarios visuales y de audio, que proporcionan información sobre la precisión del rendimiento.

Además, los resultados de las investigaciones revisadas muestran cómo no solo aumenta el rendimiento matemático en los estudiantes a través del uso de aplicaciones educativas (Schacter & Jo, 2016; Kay & Kwak, 2018) sino que también se concluyen mejoras de resultados en el aprendizaje a nivel cognitivo, afectivo-social y psicomotor (Volk et al., 2017), así como en otras capacidades. En este sentido, Chu y Hung (2015) proporcionan evidencias de que el uso de

aplicaciones educativas puede mejorar la capacidad de resolución de problemas, y la mejora de actividades visoespaciales en los estudiantes (Freina et al., 2017).

Poco a poco las investigaciones han ido dando respuesta al uso de tecnología matemática en las aulas, afirmando que el diseño de las herramientas digitales debe corresponder con el objetivo de la tarea, explotando el potencial pedagógico de las herramientas digitales. El rol del docente y el contexto educacional también son aspectos importantes a tener en cuenta en el diseño de intervención (Drijvers, 2015).

En resumen, una buena formación en el manejo crítico y responsable de las aplicaciones móviles puede influir respecto a una eficiente y significativa adquisición de la competencia matemática. De este modo la incorporación de aplicativos educativos de alta calidad constituye una importante y poderosa herramienta a disposición de los profesionales de la educación primaria e infantil.

5.1. Prospectiva

Desde este trabajo se ofrece una visión sistemática del estado actual de conocimiento que permite identificar una variedad de oportunidades para la investigación futura que podrían contribuir a optimizar el valor de las aplicaciones educativas, tanto en el aprendizaje de contenidos como de procedimientos matemáticos. Con respecto al conjunto de investigaciones que se han analizado en este artículo, hemos visto que muchas de ellas utilizan muestras considerables, algo que refuerza los resultados obtenidos, aunque se ha detectado una cierta carencia en lo que se refiere a estudios longitudinales que permitan comprobar las mejoras a largo plazo en el rendimiento matemático de los estudiantes. Hay evidencias que verifican los logros de aprendizaje de los estudiantes en matemáticas, pero el mayor desafío para el futuro es un trabajo conjunto entre docentes y desarrolladores que ayude a conseguir un aprendizaje matemático más contextualizado y comprensivo, para dar lugar a herramientas que se adapten a usos individuales y grupales. También sería conveniente establecer un correcto diseño de intervención y por otro lado especificar las características principales que deberían tener las aplicaciones para que ayudaran a los docentes a escoger las opciones más adecuadas para la elección de la aplicación.

En este sentido, algunos de los retos que podemos abordar desde la investigación estarían orientados a realizar una evaluación de los efectos de las investigaciones con apps educativas de manera longitudinal, para aumentar el rendimiento y los estudios futuros centrarse en la adquisición de nuevas habilidades de alfabetización digital. La investigación puede dirigirse hacia las estrategias para utilizar la app como un instrumento para transformar el aula, y que el estudiante pueda implicarse más en la tarea creando su propia aplicación educativa adaptada a sus características personales. La realidad aumentada y dispositivos de juegos portátiles están emergiendo como posibles plataformas alternativas de las aplicaciones móviles, y debería encaminarse hacia la investigación en bloques de contenidos concretos.

Referencias bibliográficas

- Appleton, J. J. & Lawrenz, F. (2011). Student and teacher perspectives across mathematics and science classrooms: The importance of engaging contexts. *School Science and Mathematics*, 111(4), 143-155.
- Baker, S., Gersten, R. & Lee, D. S. (2002). Una síntesis de la investigación empírica sobre la enseñanza de las matemáticas a estudiantes de bajo rendimiento. *The Elementary School Journal*, 103(1), 51-73. <http://dx.doi.org/10.1086/499715>

- Barab, S. A., Gresalfi, M. & Ingram-Goble, A. (2010). Transformational play: Using games to position person, content, and context. *Educational researcher*, 39(7), 525-536. <https://doi.org/10.3102/0013189X10386593>
- Barzel, B., Ball, L. & Klinger, M. (2019). Students' Self-Awareness of Their Mathematical Thinking: Can Self-Assessment Be Supported Through CAS-Integrated Learning Apps on Smartphones? In G. Aldon & J. Trgalová (eds). *Technology in Mathematics Teaching. Mathematics Education in the Digital Era* (pp. 75-91). Springer.
- Berkowitz, T., Schaeffer, M. W., Maloney, E. A., Peterson, L., Gregor, C., Levine, S. C. & Beilock, S. L. (2015). Math at home adds up to achievement in school. *Science*, 350(6257), 196-198.
- Buendía, F., Benlloch, J. V., Zahonero, I. & Cubel, A. (2016). Experiencias en la aplicación de tabletas en Secundaria. *Education in The Knowledge Society (EKS)*, 17(4), 75-89. <https://doi.org/10.14201/eks20161747589>
- Calder, N. & Murphy, C. (2018). Using apps for teaching and learning mathematics: A socio-technological assemblage. In J. Hunter, P. Perger & L. Darragh. (Eds.). *Proceedings of the 41st annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia* (pp. 194-201). Conference held at Massey University Albany Auckland: Mathematics Education Research Group of Australasia (MERGA).
- Callaghan, M. N., Long, J. J., Van Es, E. A., Reich, S. M. & Rutherford, T. (2017). How teachers integrate a math computer game: Professional development use, teaching practices, and student achievement. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(1), 10-19. <https://doi.org/10.1111/jcal.12209>
- Cheung, A. C. K. & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational research review*, 9, 88-113. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.001>
- Chion, C. & Shuler, C. (2010). *Learning: Is there an app for that? Investigations of young children's usage and learning with mobile devices and apps*. The Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop.
- Chu, H. C. & Hung, C. M. (2015). Effects of the digital game-development approach on elementary school Students' learning motivation, problem solving, and learning achievement. *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*, 13(1), 87-102.
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E. & Killingsworth, S. S. (2016). Digital games, design, and learning: A systematic review and meta-analysis. *Review of educational research*, 86(1), 79-122.
- Codding, R. S., Archer, J. & Connell, J. (2010). A systematic replication and extension of using incremental rehearsal to improve multiplication skills: An investigation of generalization. *Journal of Behavioral Education*, 19, 93-105. <https://doi.org/10.1007/s10864-010-9102-9>
- Desoete A., Praet, M., Van De Velde, C., De Craene, B. & Hantson, E. (2016). Enhancing Mathematical Skills Through Interventions with Virtual Manipulatives. In P. Moyer-Packenham (ed.) *International Perspectives on Teaching and Learning Mathematics with Virtual Manipulatives. Mathematics Education in the Digital Era*. Springer.
- Dickey, M. D. (2007). Game design and learning: A conjectural analysis of how massively multiple online role-playing games (MMORPGs) foster intrinsic motivation. *Educational Technology Research and Development*, 55(3), 253-273.

- Drijvers, P. (2015). Digital Technology in Mathematics Education: Why It Works (Or Doesn't). In S. Cho (ed.). *Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_8
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E.J., Nathan, M. J. & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4-58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>
- Falloon, G. (2013). Young students using iPads: App design and content influences on their learning pathways. *Computers & Education*, 68, 505-521. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.006>
- Fishman, B., Riconscente, M., Snider, R., Tsai, T. & Plass, J. (2014). *Empowering Educators: Supporting Student Progress in the Classroom with Digital Games*. University of Michigan.
- Freina, L., Bottino, R., Ferlino, L. & Tavella, M. (2017). Training of Spatial Abilities with Digital Games: Impact on Mathematics Performance of Primary School Students. En J. Dias, P. A. Santos & R. C. Veltkamp (Eds.), *Games and Learning Alliance* (pp. 25-40). Springer International Publishing.
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Powell, S. R., Seethaler, P. M., Cirino, P. T. & Fletcher, J. M. (2008). Intensive intervention for students with mathematics disabilities: Seven principles of effective practice. *Learning Disability Quarterly*, 31(2), 79-92. <https://doi.org/10.2307/20528819>
- Gallese, V. & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479. <https://doi.org/10.1080/02643290442000310>
- Garris, R., Ahlers, R. & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & gaming*, 33(4), 441-467.
- Gersten, R. & Chard, D. (1999). Number sense: Rethinking arithmetic instruction for students with mathematical disabilities. *The Journal of Special Education*, 33, 18-28. <https://doi.org/10.1177/002246699903300102>
- Gersten, R., Chard, D. J., Jayanthi, M., Baker, S. K., Morphy, P. & Flojo, J. (2009). Mathematics instruction for students with learning disabilities: A meta-analysis of instructional components. *Review of Educational Research*, 79(3), 1202-1242. <https://doi.org/10.3102/0034654309334431>
- Ginsburg, H. P., Jamalian, A. & Creighan, S. (2013). Cognitive guidelines for the design and evaluation of early mathematics software: the example of MathemAntics. In L.D. English & J.T. Mulligan (Eds.). *Reconceptualizing early mathematics learning* (pp. 83-120). Springer.
- Godfrey, Z. & Mtebe, J. (2018). Redesigning Local Games to Stimulate Pupils' Interest in Learning Numeracy in Tanzania. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 14(3), 17-37.
- Gray, P. (2015). *Free to Learn: why unleashing the instinct to play will make our children happier, more self-reliant, and better students for life*. Basic Books.
- Gresalfi, M. S. (2009). Taking up opportunities to learn: Constructing dispositions in mathematics classrooms. *Journal of the Learning Sciences*, 18(3), 327-369, <https://doi.org/10.1080/10508400903013470>

- Gresalfi, M. S., Martin, T., Hand, V. & Greeno, J. G. (2008). Constructing competence: An analysis of students' participation in the activity system of mathematics classrooms. *Educational Studies in Mathematics*, 70, 49–70. <https://doi.org/10.1007/s10649-008-9141-5>
- Grimaldi, P. & Karpicke, J. (2014). Guided Retrieval Practice of Educational Materials Using Automated Scoring. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 58-68. <https://doi.org/10.1037/a0033208>
- Gröger, C., Silcher, S., Westkämper, E. & Mitschang, B. (2013). Leveraging apps in manufacturing. A framework for app technology in the enterprise. *PROCEDIA CIRP 7. Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems* (pp. 664 – 669). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.050>
- Harrison, T.R. & Lee, H.S. (2018). iPads in the mathematics classroom: Developing criteria for selecting appropriate learning apps. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 6(2), 155-172. <https://doi.org/10.18404/ijemst.408939>
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B. & Kaufman, J. (2015). Putting Education in “Educational” Apps: Lessons From the Science of Learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3-34. <https://doi.org/10.1177/1529100615569721>
- Hsin, C. T., Li, M. C. & Tsai, C. C. (2014). The influence of young children's use of technology on their learning: A review. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 85-99.
- Hsu, C. K., Hwang, G. J. & Chang, C. K. (2013). A personalized recommendation-based mobile learning approach to improving the reading performance of EFL students. *Computers & Education*, 63, 327-336.
- Hussain, S. Y. B. S., Hoe, T. W. & Idris, M. Z. B. (2017). Digital game based learning: A new method in teaching and learning mathematics. In *AIP conference proceedings*, 1847(1), 030016. AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.4983894>
- Hwang, W. Y., Shadiey, R., Tseng, C. W. & Huang, Y. M. (2015). Exploring effects of multitouch tabletop on collaborative fraction learning and the relationship of learning behavior and interaction with learning achievement. *Educational Technology & Society*, 18(4), 459–473.
- Ingram, N., Williamson-Leadley, S. & Pratt, K. (2015). Showing and telling: using tablet technology to engage students in mathematics. *Mathematics Education Research Journal*, 28, 123-147. <https://doi.org/10.1007/s13394-015-0162-y>
- Jeong, H. & Hong, B. (2013). A practical use of learning system using user preference in ubiquitous computing environment. *Multimed Tools Appl*, 64, 491–504. <https://doi.org/10.1007/s11042-012-1026-z>
- Karmiloff-Smith, A. (1994). Précis of beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 693–745, <https://doi.org/10.1017/S0140525X00036621>
- Kay, R. & Kwak, J. (2018). Comparing Types of Mathematics Apps Used in Primary School Classrooms: An Exploratory Analysis. *Computers in Education Journal*, 5, 349-371. <https://doi.org/10.1007/s40692-018-0109-x>
- Kyriakides, A., Meletiου-Mavrotheris, M. & Prodromou, T. (2016). Mobile technologies in the service of students' learning of mathematics: The example of game application A.L.E.X. in the context of a primary school in cyprus. *Mathematics Education Research Journal*, 28(1), 53-78. <https://doi.org/10.1007/s13394-015-0163-x>

- Larkin, K. (2015). The Search for Fidelity in Geometry Apps: An Exercise in Futility? In M. Marshman, M., V. Geiger & Bennison, A. (Eds.). *Mathematics education in the margins. Proceedings of the 38th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia* (pp. 341–348). MERGA.
- Lindahl, G. & Folkesson, A. (2012). ICT in preschool: Friend or foe? The significance of norms in a changing practice. *International Journal of Early Years Education*, 20, 422-436. <https://doi.org/10.1080/09669760.2012.743876>
- Mayfield, K. H. & Chase, P. N. (2002). The effects of cumulative practice on mathematics problem solving. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 35, 105–123. <https://doi.org/10.1901/jaba.2002.35-105>
- Miller, T. (2018). Developing numeracy skills using interactive technology in a play-based learning environment. *International Journal of STEM Education*, 5(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0135-2>
- Moyer, P. S., Bolyard, J. & Spikell, M. A. (2002). What are virtual manipulatives? *Teaching Children Mathematics*, 8(6), 372-377.
- Moyer-Packenham, P. S. & Westenskow, A. (2016). Revisiting the effects and affordances of virtual manipulatives for mathematics learning. In P.S. Moyer-Packenham & A. Westenskow. *Utilizing virtual and personal learning environments for optimal learning* (pp. 186-215). IGI Global.
- Moyer-Packenham, P. S., Lommatsch, C. W., Litster, K., Ashby, J., Bullock, E. K., Roxburgh, A. L., Shumway, J.F., Speed, E., Covington, B., Hartmann, C., Clarke-Midura, J., Skaria, J., Westenskow, A., Macdonald, B., Symanzik, J. & Jordan, K. (2019). How design features in digital math games support learning and mathematics connections. *Computers in Human Behavior*, 91, 316-332. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.036>
- Moyer-Packenham, P., Lommatsch, C., Litster, K., Ashby, M.J. & Roxburgh, A. (2018). The Role of Design Features in the Affordances of Digital Math Games. In E. Langran & J. Borup (Eds.). *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 465-473). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Musti-Rao, S. & Plati, E. (2015). Comparing two classwide interventions: Implications of using technology for increasing multiplication fact fluency. *Journal of Behavioral Education*, 24(4), 418–437. <https://doi.org/10.1007/s10864-015-9228-x>
- National Governors Association Center for best practices (2010). *Common core state standards*. Autores.
- Neumann, M. M. (2014). An examination of touch screen tablets and emergent literacy in Australian pre-school children. *Australian Journal of Education*, 58(2), 109-122. <https://doi.org/10.1177/0004944114523368>
- Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A. & Pitchford, N. J. (2019a). Raising early achievement in math with interactive apps: A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology*, 111(2), 284-298. <https://doi.org/10.1037/edu0000286>
- Outhwaite, L. A., Gulliford, A. & Pitchford, N. J. (2017). Closing the gap: Efficacy of a tablet intervention to support the development of early mathematical skills in UK primary school children. *Computers & Education*, 108, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.01.011>

- Outhwaite, L. A., Gulliford, A. & Pitchford, N. J. (2019b). A new methodological approach for evaluating the impact of educational intervention implementation on learning outcomes. *International Journal of Research & Method in Education*, 43(3), 225-242. <https://doi.org/10.1080/1743727X.2019.1657081>
- Parsons, S. A., Nuland, L. R. & Parsons, A. W. (2014). The ABCs of student engagement. *Phi Delta Kappan*, 95(8), 23-27.
- Pitchford, N. J. (2015). Development of early mathematical skill with a tablet intervention: a randomized control trial in Malawi. *Frontiers in psychology*, 6(485), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00485>
- Presmeg, N., Radford, L., Roth, W. & Kadunz, G. (2016). Semiotics in mathematics education. *ICME-13*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31370-2>
- Rideout, V. & Saphir, M. (2013). *Zero to eight. Children's Media Use in America 2013*. Common Sense.
- Ryu, H. & Parsons, D. (2012). Risky business or sharing the load? Social flow in collaborative mobile learning. *Computers & Education*, 58(2), 707-720.
- Salminen, J. B., Koponen, T. K., Leskinen, M., Poikkeus, A. M. & Aro, M. T. (2015). Individual variance in responsiveness to early computerized mathematics intervention. *Learning and Individual Differences*, 43, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.09.002>
- Schacter, J. & Jo, B. (2016). Improving low-income preschoolers mathematics achievement with math shelf, a preschool tablet computer curriculum. *Computers in Human Behavior*, 55(A), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.09.013>
- Schacter, J. & Jo, B. (2017). Improving preschoolers' mathematics achievement with tablets: a randomized controlled trial. *Mathematics Education Research Journal*, 29, 313-327. <https://doi.org/10.1007/s13394-017-0203-9>
- Segal, A. (2011). *Do gestural interfaces promote thinking? Embodied interaction: Congruent gestures and direct touch promote performance in math*. Unpublished dissertation. Columbia University.
- Sheehy, K., Kukulka-Hulme, A., Twining, P., Evans, D., Cook, D. & Jelfs, A. (2005). *Tablet PCs in Schools: A Review of Literature and Selected Projects*. Becta.
- Tucker, S. I. (2015) *An exploratory study of attributes, affordances, abilities and distance in student's use of mathematics virtual manipulative iPad apps* (Doctoral dissertation). Utah State University.
- Tucker, S. I., Moyer-Packenham, P., Shumway, J. & Jordan, K. (2016). Zooming in on children's thinking: How a number line app revealed, concealed, and developed children's number understanding. *Australian Primary Mathematics Classroom*, 21, 23-28.
- Van Der Heyden, A. M. & Burns, M. K. (2005). Using curriculum-based assessment and curriculum-based measurement to guide elementary mathematics instruction: Effect on individual and group accountability scores. *Assessment for Effective Intervention*, 30, 15-31. <https://doi.org/10.1177/073724770503000302>
- Van Der Ven, F., Segers, E., Takashima, A. & Verhoeven, L. (2017). Effects of a tablet game intervention on simple addition and subtraction fluency in first graders. *Computers in Human Behavior*, 72, 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.031>

- Volk, M., Cotič, M., Zajc, M. & Starcic, A. I. (2017). Tablet-based cross-curricular maths vs. traditional maths classroom practice for higher-order learning outcomes. *Computers & Education*, 114, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.06.004>
- Yang, E., Chang, B., Cheng, H. & Chan, T. (2016). Improving pupils' mathematical communication abilities through computer - supported reciprocal peer tutoring. *Educational Technology & Society*, 19(3), 157–169.