
Aprendizaje de matemáticas mediado por tecnología en la escolaridad obligatoria: análisis bibliométrico

Technology-mediated mathematics learning in compulsory education: a bibliometric analysis

义务教育中以技术为媒介的数学学习:文献计量分析

Технологически опосредованное обучение математике в обязательном школьном образовании: библиометрический анализ

Ernesto Colomo Magaña

Universidad de Málaga
ecolomo@uma.es
<https://orcid.org/0000-0002-3527-7937>

Vicente Gabarda Méndez

Universitat de València
vicente.gabarda@uv.es
<https://orcid.org/0000-0001-6159-5173>

Julio Ruiz Palmero

Universidad de Málaga
julio@uma.es
<https://orcid.org/0000-0002-6958-0926>

Francisco David Guillén Gámez

Universidad de Córdoba
dguillen@uco.es
<https://orcid.org/0000-0001-6470-526X>

Fechas · Dates

Recibido: 2022/01/13
Aceptado: 2022/04/14
Publicado: 2022/10/03

Cómo citar este trabajo · How to Cite this Paper

Colomo, E., Gabarda, V., Ruiz, J., & Guillén, F. D. (2022). Aprendizaje de matemáticas mediado por tecnología en la escolaridad obligatoria: análisis bibliométrico. *Publicaciones*, 52(1), 13–34. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v52i1.22298>

Resumen

Introducción: La integración de la tecnología en los procesos formativos se ha ido consolidando como una realidad en cualquier contexto, etapa y materia. Esta integración, más allá de vincularse a la inclusión de contenidos específicos y al reconocimiento de la competencia digital como una destreza básica, se vincula con la consideración de la tecnología como una herramienta al servicio del aprendizaje, asociada a su potencial como recurso metodológico.

Método: Bajo esta consideración, este trabajo analiza, desde una perspectiva bibliométrica, la producción científica sobre el uso de la tecnología como herramienta para el aprendizaje de las matemáticas en la escolarización obligatoria en la base de datos Scopus. La muestra está conformada por 132 artículos publicados entre 2015 y 2021, a los que se aplican diferentes técnicas bibliométricas (acoplamiento bibliográfico, co-citación y co-ocurrencia).

Resultados: Los resultados muestran una tendencia al alza de la producción científica sobre el fenómeno de estudio, con mayor indexación en las áreas de ciencias sociales y ciencias de la computación. Aunque las publicaciones se encuentran de manera mayoritaria en revistas anglófonas, la mayor parte de las investigaciones están contextualizadas en España, seguidas de las realizadas en Estados Unidos. La co-ocurrencia identifica la Educación Secundaria como contexto mayoritario, aunque hay una presencia notable también de la Educación Primaria, habiendo presencia de diferentes propuestas metodológicas. Destaca, por último, una repercusión notable (en número de citas) de las publicaciones vinculadas al tema de estudio.

Conclusiones: Se concluye, de este modo, la relevancia del aprendizaje de las matemáticas mediado por tecnología en la escolaridad obligatoria, dibujando una línea de acción prioritaria en los próximos años.

Palabras clave: análisis bibliométrico, matemáticas, tecnología educativa, escolaridad obligatoria.

Abstract

Introduction: The integration of technology in educational processes has been consolidated as a reality in any context, at any stage and in any subject. This integration, beyond being linked to the inclusion of specific content and the recognition of digital competence as a basic skill, is linked to the consideration of technology as a tool at the service of learning, associated with its potential as a methodological resource.

Method: Under this consideration, this paper analyses, from a bibliometric perspective, the scientific production on the use of technology as a tool for learning mathematics in compulsory schooling in the Scopus database. The sample is made up of 132 articles published between 2015 and 2021, to which different bibliometric techniques (bibliographic coupling, co-citation and co-occurrence) are applied.

Results: The results show an upward trend in scientific production on the phenomenon under study, with higher indexation in the areas of social sciences and computer science. Although most of the publications are in English-language journals, most of the research is contextualised in Spain, followed by the United States. The co-occurrence identifies Secondary Education as the main context, although there is also a notable presence of Primary Education, with the presence of different methodological proposals. Finally, there is a notable impact (in terms of number of citations) of the publications linked to the topic of study.

Conclusions: Thus, we conclude the relevance of technology-mediated mathematics learning in compulsory schooling, outlining an area of study of priority projection in the coming years.

Keywords: bibliometric study, mathematics, educational technology, compulsory education.

摘要

引言: 技术在培训过程中的整合在任何背景、阶段和主题中都已成为现实。这种整合, 除了与包含特定内容和承认数字能力作为一项基本技能相关之外, 还与将技术视为服务于学习的工具以及其作为方法资源的潜力相关联。

研究方法: 在此考虑下, 本研究从文献计量学的角度分析了Scopus数据库中使用技术作为义务教育数学学习工具的科学产出。该样本由 2015 年至 2021 年间发表的 132 篇文章组成, 其中应用了不同的文献计量技术(书目耦合、共引分析和共现分析)。

研究结果: 结果显示, 所研究现象的科学产出呈上升趋势, 在社会科学和计算机科学领域的索引度更高。尽管大多数出版物都出现在英语期刊上, 但大多数研究都是在西班牙进行的, 其次是在美国进行的。同现分析将中学教育确定为主要背景, 尽管小学教育也有显著存在, 但存在不同的方法建议。最后, 与研究主题相关的出版物有显著影响(引用次数)。

结论: 综上所述, 我们总结了以技术为中介的数学学习在义务教育中的相关性, 概述了未来几年优先预测的研究领域。

关键词: 文献计量分析, 数学, 教育技术, 义务教育。

Резюме

Введение: Интеграция технологий в образовательные процессы становится реальностью в любом контексте, на любом этапе и в любом предмете. Эта интеграция, помимо включения конкретного содержания и признания цифровой компетентности в качестве базового навыка, связана с рассмотрением технологии как инструмента на службе обучения, связанного с ее потенциалом в качестве методологического ресурса.

Метод: В соответствии с этим соображением в данной статье проводится библиометрический анализ научной продукции по использованию технологии как инструмента для изучения математики в обязательном школьном образовании в базе данных Scopus. Выборка состоит из 132 статей, опубликованных в период с 2015 по 2021 год, к которым были применены различные библиометрические методы (библиографическая связь, совместное цитирование и совпадение).

Результаты: Результаты показывают тенденцию к росту научной продукции по изучаемому явлению, с более высокой индексацией в областях социальных наук и информатики. Хотя большинство публикаций публикуется в англоязычных журналах, большинство исследований посвящено Испании, затем следуют исследования, проведенные в США. Совместное использование определяет среднее образование как основной контекст, хотя также заметно присутствие начального образования, с наличием различных методологических предложений. Наконец, выделяется заметное влияние (по количеству цитирований) публикаций, связанных с темой исследования.

Выводы: Таким образом, делается вывод об актуальности технологически опосредованного обучения математике в обязательном школьном образовании.

Ключевые слова: библиометрический анализ, математика, образовательные технологии, обязательное школьное образование.

Introducción

Durante las últimas décadas, la tecnología ha ido ganando un peso específico en el desarrollo de nuestra vida diaria. Tanto es así, que muchas de nuestras actividades cotidianas en los diferentes ámbitos de nuestra vida (académico, profesional, social o personal) están mediadas por ella, convirtiéndola en un eje para el desarrollo de funciones diversas en el ámbito laboral, formativo e, incluso, para la comunicación, la socialización y la construcción de relaciones interpersonales.

En el ámbito educativo, la digitalización se ha ido materializando de diferentes modos. Por un lado, a nivel físico, los centros escolares han transformado, progresivamente, sus espacios para albergar dispositivos y software al servicio de la enseñanza y el aprendizaje. De este modo, ordenadores de sobremesa o portátiles, proyectores, pizarras digitales o tablets son una realidad visible en la mayor parte de los centros educativos a nivel internacional. Por otro lado, la tecnología se ha integrado curricularmente, bien como área de conocimiento independiente o bien como una cuestión transversal que se aborda en el desarrollo de otras áreas. Esta realidad pone de manifiesto el interés político e institucional en que los estudiantes, de las diferentes etapas educativas, desarrollen unas capacidades específicas. Por último, y ligado a esta cuestión, hay un reconocimiento explícito a nivel supranacional de la competencia digital como una destreza que todo ciudadano ha de desarrollar a lo largo de su vida. De esta manera, y más allá del ámbito educativo de carácter formal, se considera que los ciudadanos han de contar con una serie de habilidades que les permitan desarrollarse de un modo adecuado en la sociedad hiperconectada en que vivimos.

Estas tres cuestiones han influido de un modo diverso en el fenómeno de estudio que se analiza en esta propuesta: el aprendizaje de las matemáticas mediado por tecnología en la escolaridad obligatoria. En primer lugar, y atendiendo de los aspectos más globales a los más específicos, cabe partir de las directrices comunitarias que han identificado las competencias clave para la ciudadanía. Tomamos como referencia, en este sentido, las directrices comunitarias propuestas por la Comisión y el Consejo Europeo en 2006, y revisadas en 2018, donde los dos principales ejes de nuestra propuesta aparecían de manera explícita. Por un lado, las matemáticas han constituido tradicionalmente un área de conocimiento del currículum académico, teniendo una presencia histórica en diferentes contextos y etapas educativas. Esta relevancia se recoge en los documentos comunitarios, identificando la competencia matemática en sinergia con las destrezas en ciencia, tecnología e ingeniería. Concretamente, la habilidad matemática se describe como la habilidad para desplegar y emplear el razonamiento matemático para la resolución de problemas en la vida cotidiana, tomando forma específicamente en el cálculo, el pensamiento lógico y espacial y la representación (fórmulas, gráficos, etc.). Por otro lado, las competencias relacionadas con la tecnología y la ingeniería se orientarían a la aplicación de los conocimientos de estas áreas a la vida diaria, como individuo y como ciudadano. Asimismo, y más allá de estas propuestas, la competencia digital se identifica como otra de las destrezas para el aprendizaje permanente, considerándose una habilidad con entidad propia. Ésta se relaciona con cuestiones de tipo instrumental y de alfabetización (comunicación, creación de contenidos, participación, resolución de problemas, etc.), pero también con otras de índole actitudinal, siendo claves el uso seguro y crítico de las tecnologías, el bienestar digital y la ciberseguridad.

Esta realidad ofrece un marco general que reconoce no solo la relevancia de la tecnología en el desarrollo individual y social, sino la necesidad de que todo ciudadano

se muestre competente, tanto en el área matemática como en el área tecnológica. Además, este marco ha servido como referencia para que los sistemas educativos de diferentes países conformen sus currículos en las diferentes etapas. De este modo, las matemáticas constituyen una asignatura de carácter obligatorio en la escolaridad obligatoria (Educación Primaria y Educación Secundaria), mientras que la tecnología se trabaja habitualmente de un modo transversal en la educación primaria, mientras que en la Educación Secundaria adquiere una doble función: por un lado, sigue manteniéndose como una cuestión de carácter transversal, integrándose en el resto de materias; mientras que, por otro, se articula como una asignatura de entidad propia.

Además, más allá de lo estrictamente curricular, el vínculo de las dos áreas que se analizan en este trabajo (matemáticas y tecnología) se materializa en una metodología en auge, STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts & Mathematics), que se focaliza en el aprendizaje de las disciplinas científicas a través de metodologías activas, con una finalidad práctica y potenciando el desarrollo de las competencias desde una perspectiva transversal, dirigiéndose así a la satisfacción de las demandas sociales (Arabit & Prendes, 2020; Lindín et al., 2021). Las matemáticas juegan un papel fundamental en esta metodología, puesto que se consideran el fundamento para el desenvolvimiento del resto de áreas (Maass et al., 2019).

Partiendo del hecho de que tenemos el espacio curricular para la integración de la tecnología en las matemáticas, hay otra cuestión que condiciona de un modo inequívoco la posibilidad de llevar a cabo estrategias para ello: la disponibilidad de equipamiento y recursos digitales (dispositivo, software y cualquier otro tipo de herramienta tecnológica). Cabe reseñar, en relación con esta cuestión, que la tecnología puede implementarse mediante diferentes formatos, aportando posibilidades diversas a la puesta en marcha de los procesos formativos mediados. De este modo, existe tecnología de carácter general (cuya finalidad no es de manera directa el aprendizaje de las matemáticas) que se utiliza para este fin, pero también existen herramientas de carácter específico que se han diseñado ad hoc para ello. En el primer caso, hay estudios que apuestan por la utilización de la realidad aumentada (Jesionkowska et al., 2020; Petrov & Atanasova, 2020), que ha demostrado un potencial destacable, por ejemplo, para la comprensión de las cuestiones de carácter conceptual, la motivación, el aprendizaje autónomo, las habilidades investigadoras o la socialización, aspectos que también son potenciados por el uso de la robótica (Aris & Orcos, 2019). Asimismo, el uso de la realidad virtual (Buentello-Montoya et al., 2021), así como la realidad virtual inmersiva (Menjivar et al., 2021; Silva-Díaz et al., 2021), contribuye a la mejora de las actitudes hacia el área matemática, mientras que se constata que el uso de herramientas de carácter genérico como Youtube, buscadores, blogs, foros o mensajería instantánea en las acciones formativas relacionadas con las matemáticas (García-Martín & Cantón-Mayo, 2019; Gil-Quintana et al., 2021; Juárez et al., 2020) inciden en la mejora del rendimiento académico, así como en la interacción y el nivel de aprendizaje desarrollado para la expresión del pensamiento matemático. No pueden obviarse, dado el auge de su integración en los procesos educativos de cualquier área y nivel, los videojuegos y la gamificación como recursos metodológicos. En esta línea, hay estudios como el de Curto et al. (2019) o Umboh et al. (2021) que evalúan el uso de Kahoot, concluyendo que favorece el desarrollo de competencias como la autorregulación del trabajo individual y autónomo, y la consecución de los objetivos académicos del área. Otros evidencian la utilidad de simuladores (Díaz, 2018) para la mejora del rendimiento académico en matemáticas. Asimismo, propuestas como la de Kim y Fe (2017), Molina et al. (2020) o Pellas et al. (2021) concluyen que, de manera genérica, estos recursos

lúdicos contribuyen a que el aprendizaje sea más significativo y tienen una incidencia directa en la mejora de la resolución de problemas aritméticos.

Por otro lado, si ponemos el foco sobre tecnologías diseñadas *ad hoc* para el aprendizaje de las matemáticas, hay propuestas genéricas que avalan su potencial también para la mejora del rendimiento académico (Martínez-Garrido, 2018) y para el aprendizaje significativo (Zeynivandnezhad et al., 2020). Haciendo hincapié sobre recursos específicos, destaca, por encima del resto, la utilización de Geogebra (Del Cerro & Morales, 2021; Weinhandl et al., 2021), herramienta sobre la que versa gran parte de la literatura científica de nuestro fenómeno de estudio. Autores como Alabdulaziz et al. (2021), Birgin y Acar (2020) y Zulniadi et al. (2019) constatan que su uso mejora las habilidades matemáticas en las diferentes etapas educativas, así como el rendimiento académico. Además, propuestas como la de García et al. (2020) apuntan que sus beneficios contribuyen, de igual modo, a la mejora de las relaciones interpersonales entre los agentes.

Asimismo, y más allá de Geogebra, otros estudios como el de Rodríguez-Cubillo et al. (2021) o Kristianti et al. (2017) ponen de relieve la existencia de otros recursos, como las aplicaciones móviles diseñadas específicamente para las matemáticas, que contribuyen a la mejora de la actitud hacia esta área académica, fomentando la motivación y el desarrollo del pensamiento crítico.

Este análisis permite concluir que, independientemente de cómo se materialice la tecnología, lo que sí parece constatar la literatura científica es que hay un uso extendido de ella en el aprendizaje de las matemáticas (Gómez-García et al., 2020), especialmente tras la situación de pandemia derivada de la COVID-19 (Hossein-Mohand et al., 2021; Iglesias et al., 2020), que ha puesto de manifiesto algunas necesidades básicas en la implementación de estrategias mediadas por tecnología (Rodríguez-Sabiote et al., 2020).

Por todo ello, el objetivo de este estudio es analizar bibliométricamente la producción científica sobre el aprendizaje de las matemáticas, mediado por tecnología y en la educación obligatoria, alojada en la base de datos internacional Scopus.

Partiendo de ello, se dará respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

1. Considerando las variables año de publicación, área de indexación, publicaciones periódicas, país y publicaciones más citadas, ¿cuáles son las características de la producción científica del objeto de estudio?
2. ¿Cuáles son las principales líneas de investigación relacionadas con el tema de estudio?
3. ¿Quiénes son los autores con las publicaciones más influyentes en el ámbito académico?

Métodos

El presente estudio, que se orienta a conocer las investigaciones sobre el aprendizaje de las matemáticas en la escolaridad obligatoria mediante la tecnología, se desarrolla a partir de un estudio bibliométrico. Esta técnica se fundamenta en la realización de un metaanálisis de la producción científica (González et al., 2020) y su evolución, a par-

tir de una serie de criterios preestablecidos. Estos criterios, de naturaleza cuantitativa y descriptiva, ponen de relevancia cuestiones como el área de conocimiento donde se indexan las publicaciones, el año en que se publican o la autoría. Esta técnica ha sido validada por investigaciones previas que avalan su utilidad y eficacia (Colomo et al., 2020; Ros-Garrido & Chisvert-Tarazona, 2018).

Partiendo de que cada base de datos no cubre igual los campos científicos y las revistas de la misma manera (Aria & Cuccurullo, 2017), y que, por lo tanto, la elección no es neutral (Waltman, 2016), la búsqueda de publicaciones se ha contextualizado en la base de datos internacional Scopus. Para el objeto de estudio, la especificidad del uso de tecnologías en el proceso educativo con la asignatura de matemáticas en las etapas de escolarización obligatoria, junto con los parámetros y filtros que se quisieron aplicar a la búsqueda, redujeron la cantidad de artículos que conformaron la potencial muestra. En este sentido, se optó por utilizar exclusivamente la base de datos Scopus atendiendo a su reconocimiento como herramienta de calidad académica por su globalidad y criterios académicos (Caviglioli & Ughetto, 2019). Y es que Scopus posee una producción científica sometida a rigurosos criterios de calidad, siendo un factor relevante para considerarla de forma exclusiva (Khanra et al., 2020), junto con su mayor amplitud, en comparación con Web of Science, respecto al hallazgo de descriptores de campos científicos más concretos (Rodríguez-Sabiote et al., 2020), como el caso que nos ocupa. Junto a ello, se declinó utilizar otras bases de datos de forma simultánea ya que la mayoría de los artículos estaban duplicados o incorporaban investigaciones publicadas en revistas que no cumplían los requisitos y criterios de calidad de las bases de datos internacionales más prestigiosas.

Los descriptores y booleanos utilizados para el comando de búsqueda, fueron "Mathematics" OR "Maths" AND "Learning" AND "Primary education" OR "Secondary education" OR "Compulsory education" OR "Obligatory education" AND "Technology" OR "ICT". La búsqueda fue realizada dentro del título, palabras claves y resúmenes, ofreciendo un total de 317 documentos hasta el 27 de agosto de 2021, encontrándose entre las publicaciones multitud de artículos, ponencias o capítulos de libros o, entre otros.

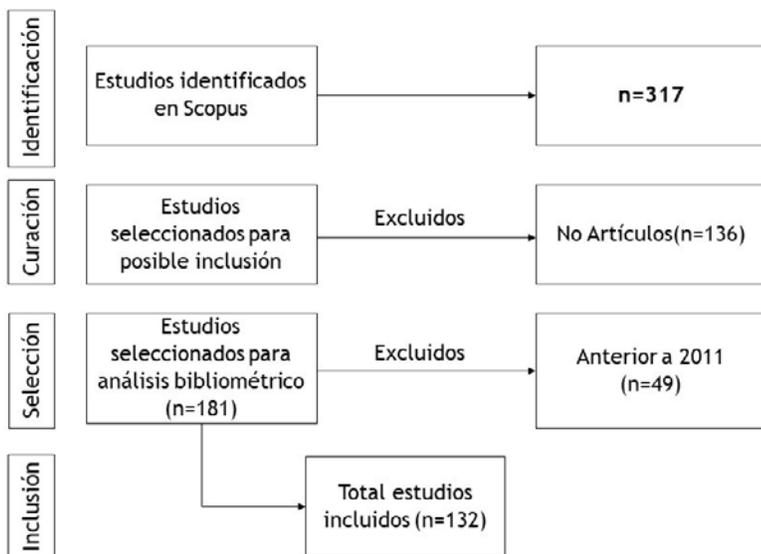
Entre los 317 documentos que aparecieron, se aplicaron diferentes criterios de cribado en función del objeto de estudio, siguiendo la declaración PRISMA (Figura 1). Inicialmente, el tipo de publicaciones se restringió solo a artículos, obviando los documentos referentes a libros, capítulos de libros, revisiones o ponencias. Esto redujo la muestra a 181 documentos. Junto a ello, se incluyeron solo los artículos publicados desde 2015 hasta el momento actual (rango de 7 años), declinando los que fueron publicados anteriores a dicho año. La muestra final, tras la aplicación de los diferentes filtros y restricciones, quedó conformada por 132 artículos (120 en inglés, 9 en español; 1 en portugués, 1 en chino y 1 en turco) la cual fue exportada desde Scopus, en valores separados por comas (.csv), para el posterior análisis bibliométrico.

Se aplicaron diferentes técnicas bibliométricas: por un lado, el análisis de la producción científica, que nos permite conocer la tendencia de publicaciones en función de variables como el año de publicación, el área de indexación, la periodicidad, el país o el número de citas. Tras ello se han aplicado análisis bibliométricos manteniendo la estructura conceptual, intelectual y social (Aria & Cuccurullo, 2017). La estructura conceptual se trabajó mediante el análisis de co-ocurrencia, donde el hecho de examinar el conjunto de palabras contribuye a identificar los descriptores o keywords clave que comprenden los contenidos de las propuestas analizadas. En cuanto a la estructura intelectual se examinó mediante el análisis de co-citación, lo que permite conocer la

frecuencia con la que diferentes artículos se citan conjuntamente. Para terminar, la estructura social se obtuvo mediante la aplicación de la técnica de acoplamiento bibliográfico, la cual permite conocer el impacto de una publicación en el ámbito científico en función de su similaridad (referencias compartidas) con otros estudios de la misma temática.

Figura 1

Fases del proceso de selección de publicaciones en función de la declaración PRISMA.



Para indagar en las relaciones que se producen entre los artículos que conforman la muestra, se usó el software VOSviewer, el cual permite representar visualmente los nodos relacionales que existen en función del factor examinado, siendo especialmente útil para mostrar grandes mapas bibliométricos (Aria & Cuccurullo, 2017).

Respecto al análisis de la producción científica, se incluyeron como variables las siguientes: año de publicación, para valorar la evolución de la producción científica en el tiempo; áreas de indexación, para conocer a qué campos temáticos pertenecen los artículos; publicaciones periódicas, para señalar cuáles son las revistas que más artículos publicaron sobre el ámbito de estudio; país, para saber en qué lugares se le ha concedido más relevancia a la investigación sobre el aprendizaje de las matemáticas en la educación obligatoria; publicaciones más citadas, para identificar las publicaciones con más impacto en el campo de estudio. Para ello, se exponen los criterios de inclusión/exclusión para cada una de las variables comentadas de cara a la realización del análisis de la producción científica (Tabla 1).

Tabla 1

Variables de análisis y criterios de inclusión/exclusión.

Variables	Criterios de inclusión/exclusión
Año de publicación	Todas las publicaciones entre el 2015 y el 2021
Área de indexación	Todas las áreas con 12 o más publicaciones
Publicaciones periódicas	Todas las revistas con 4 o más publicaciones
País	Todos los países con 6 o más publicaciones
Publicaciones más citadas	Todas las publicaciones con 38 o más citas

Resultados

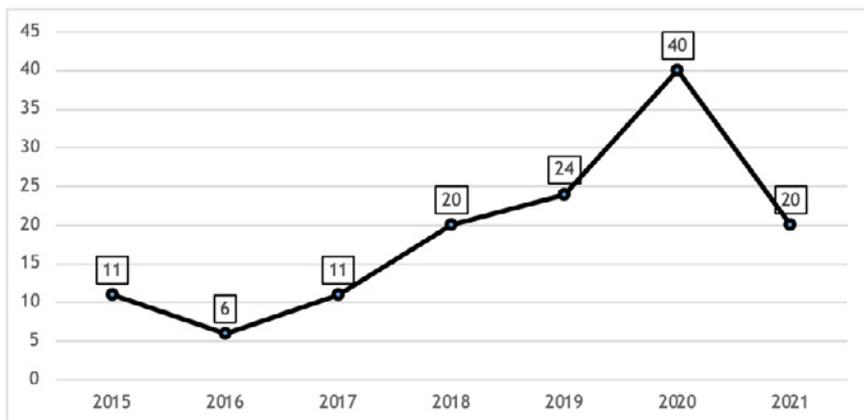
A fin de atender de manera específica a los objetivos del artículo, los resultados que se presentan a continuación se estructuran en función de las técnicas bibliométricas utilizadas para dar respuesta a las preguntas de investigación. De este modo, se analiza, en primer lugar, la producción científica, atendiendo posteriormente a los resultados que arrojan el acoplamiento bibliográfico y, finalmente, la co-citación y la co-ocurrencia

Análisis de la producción científica

Tomando como punto de partida los 132 artículos que componen la muestra, se expone a continuación el análisis de las diferentes variables de estudio propuestas anteriormente.

Figura 2

Artículos por año de publicación.



En relación al año de publicación, el rango temporal de este estudio abarca desde el año 2015 hasta el año 2021. En este tiempo, la producción científica ha seguido una tendencia al alza, considerando que en el primer año analizado había 11 artículos y, en el último, 20. Durante este periodo, a excepción de una caída de publicaciones en 2016 (donde hubo 6), ha habido un crecimiento progresivo de artículos, encontrando 11 en 2017, 20 en 2018, 24 en 2019 y 40 en 2020, donde alcanza su cuota máxima. En el último año analizado (2021) se han encontrado 20 artículos, algo comprensible si se tiene en cuenta que no se ha analizado el año completo.

Respecto al área de indexación, el criterio de inclusión para esta variable, tal y como se apuntaba anteriormente, se establece en un mínimo de 12 publicaciones. Ha de tenerse en cuenta, además, que una propuesta puede estar adscrita a más de un área de conocimiento (criterio de multclasificación) e incluida en varias de ellas. Es por este motivo por el cual la suma de los artículos en las diferentes áreas es superior a las 132 propuestas analizadas (Tabla 2).

Tabla 2

Área de indexación

Área	Número de publicaciones
Social Sciences	108
Computer Science	46
Engineering	18
Psychology	18
Mathematics	12

El área donde se adscribió un mayor número de propuestas es en Ciencias Sociales (108), representando la mayor parte de la distribución. En segundo lugar, los artículos están adscritos al área de Ciencias de la Computación (46), seguido por Ingeniería (18) y Psicología (18) y, por último, en Matemáticas (12). Esta distribución responde a dos cuestiones fundamentales: por un lado, gran parte de los artículos se centran en el planteamiento de propuestas didácticas que analizan el impacto de diversas metodologías en el aprendizaje de las matemáticas, respondiendo al área de conocimiento más pedagógico y, por tanto, de conocimiento social y, en parte, psicológico. Por otro lado, la adscripción a las áreas tecnológicas (computación e ingeniería) responde a que se pone especial hincapié en el uso de tecnología para el aprendizaje y, por tanto, la utilización de equipamiento, software y otros recursos digitales. Resulta curioso, no obstante, que la adscripción al área matemática resulte residual, considerando que todas las propuestas se vinculan con esta área de conocimiento.

Por otro lado, atendiendo a las publicaciones periódicas y tomando como punto de partida el criterio de exclusión de un mínimo de 4 artículos sobre el fenómeno de estudio (Tabla 3), hay cinco revistas que cumplen con él, todas ellas en lengua inglesa. Destaca, de manera reseñable, la revista *Computers and Education* del Grupo Elsevier

(Reino Unido) con 15 publicaciones, seguida por dos revistas del grupo suizo MDPI (Education Sciences y Sustainability), con 8 y 7 publicaciones respectivamente. Cierran el grupo la revista International Journal of Technology and Design Education (del Grupo Springer) y Mathematics (nuevamente del MDPI) con 4 publicaciones

Tabla 3

Revistas indexadas en Scopus más prolíficas sobre el tema de estudio

Nombre de la revista	Número de publicaciones
Computers and Education	15
Education Sciences	8
Sustainability	7
International Journal of Technology and Design Education	4
Mathematics	4

En relación al país, hay un total de seis países que cumplen con el criterio de inclusión relativo a esta cuestión, teniendo 6 o más publicaciones sobre el tema objeto de estudio (Tabla 4). Tal y como puede observarse, hay un predominio de los artículos cuyos autores están afiliados a instituciones sitas en España, con un total de 43, seguido por Estados Unidos con 21 propuestas.

Tabla 4

Países con mayor producción científica en Scopus

País	Número de publicaciones
España	43
Estados Unidos	21
Australia	8
Turquía	8
Reino Unido	7
Grecia	6

Por último, respecto a las publicaciones más citadas, El análisis del impacto y relevancia de las publicaciones según el número de citas se rige por el criterio de inclusión de un mínimo de 38 citas totales o más (Tabla 5).

Tabla 5

Artículos más citados en Scopus

Autores	Año	Título	Revista	Citas	Número medio de citas por año
Lo, C.K., Lie, C.W., Hew, K.F.	2018	Applying “First Principles of Instruction” as a design theory of the flipped classroom: Findings from a collective study of four secondary school subjects	Computers and Education 118, 150-165	56	14
Bray, A., Tangney, B.	2017	Technology usage in mathematics education research – A systematic review of recent trends	Computers and Education 114, 255-273	50	10
Dorouka, P., Papadakis, S., Kalogiannakis, M.	2020	Tablets and apps for promoting robotics, mathematics, STEM education and literacy in early childhood education	International Journal of Mobile Learning and Organisation 14(2), 255-274	44	22
Sinclair, N., Bartolini Bussi, M.G., de Villiers, M., (...), Leung, A., Owens, K.	2016	Recent research on geometry education: an ICME-13 survey team report	ZDM - Mathematics Education 48(5), 691-719	40	6.7
Nadelson, L.S., McGuire, S.P., Davis, K.A., (...), Nagarajan, R., Wang, S.	2017	Am I a STEM professional? Documenting STEM student professional identity development	Studies in Higher Education 42(4), 701-720	38	7.6
Cascales-Martínez, A., Martínez-Segura, M.-J., Pérez-López, D., Contero, M.	2017	Using an augmented reality enhanced tabletop system to promote learning of mathematics: A case study with students with special educational needs	Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education 13(2), 355-380	38	7.6

Cabe destacar, en primer lugar, que, entre los artículos que cumplen con este criterio, podemos encontrar propuestas desde 2016 hasta 2020, no constituyendo la antigüedad una variable de respuesta inequívoca para una mayor citación. Asimismo, destaca la autoría de carácter internacional en este criterio, habiendo solamente un artículo de autoría española entre los más citados. Asimismo, todas las propuestas con mayor impacto están publicadas en revistas de ámbito internacional, siendo la revista *Computers and Education* la que destaca por haber publicado los dos artículos con mayor impacto (106 citas entre los dos).

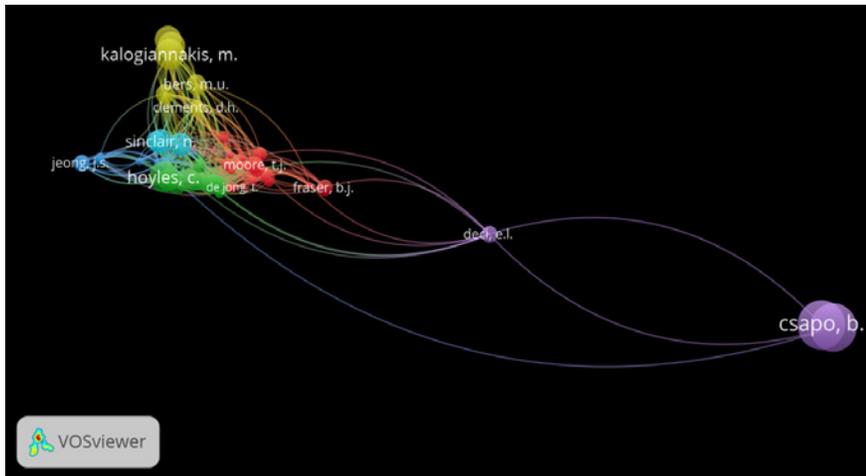
Los términos con mayor concurrencia han sido Secondary education (47) y Mathematics (27), concordando con los descriptores de la búsqueda, junto a Students (27), que es la palabra clave con mayor intensidad de concurrencia (total link strength 133). Cabe también destacar la presencia de la palabra clave STEM (31 concurrencias se agrupamos las siglas, junto con el descriptor en que aparecen los términos que la conforman), como enfoque pedagógico para el aprendizaje global y holístico de las ciencias. Otros descriptores, como e-learning (7), robótica (7) y realidad aumentada (5), reflejan distintas estrategias y propuestas metodológicas para abordar el aprendizaje de las matemáticas mediante la tecnología.

Estructura intelectual: análisis de co-citación

Por su parte, la estructura intelectual favorece identificar la base de conocimiento de un tema, aplicando para ello el análisis de co-citación. Este permite permitiendo identificar los tópicos vinculados en la literatura existente sobre un fenómeno en concreto. Este análisis complementa al de co-ocurrencia, de forma que los artículos citados conjuntamente nos arrojan información sobre ejes temáticos de investigación.

Atendiendo a la co-citación, se fijó como criterio para el análisis tener 10 citas o más, el cual fue satisfecho por 52 ítems (Figura 4). Fruto de ello, se generaron 6 clústers de co-citaciones a partir de los artículos que aparecen citados conjuntamente. Cabe recalcar la intensidad de co-citación en los artículos de Csapo (total link strength 871), Molnar (total link strength 876) (Csapó & Molnár, 2019), y Hoyles (total link strength 440) (Hoyles, 2018), siendo los autores que ocupan el segundo, tercer y cuarto lugar respecto a citas (33, 26 y 23, respectivamente). El autor con más citas es Fraser (Koul et al., 2018), siendo su intensidad de co-citación inferior (total link strength 180).

Figura 4
Co-citación, unidad de análisis "autores"



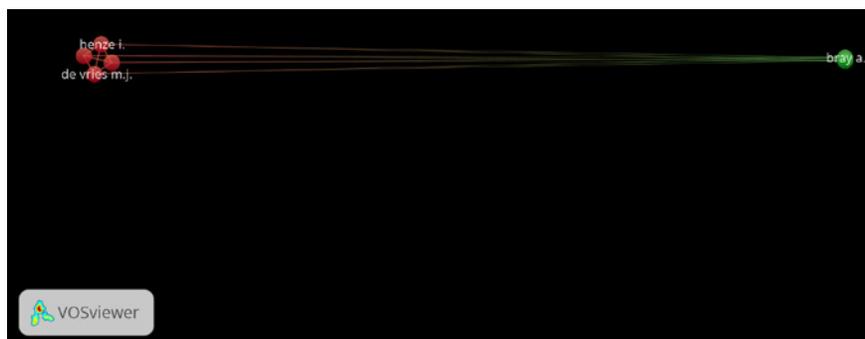
Estructura social: análisis de acoplamiento bibliográfico

La estructura social favorece el hecho de conocer a los principales autores y sus relaciones dentro de una comunidad temática, usando para ello la técnica del acoplamiento bibliográfico. Este análisis permite identificar la influencia de un artículo en el conjunto de la producción científica analizada. Concretamente, se considera la relación y la similitud con el resto de publicaciones, atendiendo a la cantidad de referencias en común entre las publicaciones objeto de estudio, fijando un encadenamiento de citas hacia atrás. Esta técnica permite, de este modo, reconocer autores que puedan ser considerados referentes en el fenómeno de estudio. De esta manera, se utilizó a los autores como unidad de análisis para el acoplamiento bibliográfico, fijando como criterio de inclusión al menos 2 documentos y 8 citas por autor, el cual fue satisfecho por 10 ítems. La Figura 5 refleja los nodos relacionales que se produjeron.

Se generaron 2 conjuntos de autorías a partir de la relación de acoplamiento. Subrayar la intensidad de acoplamiento (total link strength 532) generado entre los documentos cuya autoría pertenecen al clúster de color rojo (Vossen et al., 2018, 2020a, 2020b), pese a que no son los documentos con más citas compartidas. Por el contrario, el clúster verde (Bray & Tangney, 2016, 2017), presenta menor intensidad (acoplamiento) aunque son los que más citas comparten (79).

Figura 3

Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis "autores"



Discusión y conclusiones

El análisis bibliométrico de la literatura científica sobre aprendizaje de matemáticas mediante tecnología en la escolaridad obligatoria nos ha permitido constatar que se trata de un fenómeno al alza a nivel internacional. Es relevante reseñar, en vista a los resultados, la hegemonía de las revistas con política de publicación en lengua anglosajona, independientemente del contexto geográfico de los autores y de los países donde se contextualizan las investigaciones.

De este modo, a nivel general la producción científica ha crecido de forma progresiva en los últimos cinco años (a expensas de conocer los datos completos del año 2021), asociándose mayoritariamente a las ciencias sociales y las ciencias de la computación como áreas predominantes de indexación. Es precisamente la revista más prolífica

en publicaciones y en citas (Computers and Education) el ejemplo de sinergia entre estas áreas de conocimiento, convirtiéndose en un referente sobre la utilización de la tecnología como herramienta para el aprendizaje de las matemáticas en Educación Primaria y Secundaria. Precisamente los artículos con mayor impacto en número de citas analizan esta cuestión, poniendo de relieve el potencial de posibilidades como el flipped classroom (Lo et al., 2018), la robótica (Dorouka et al., 2020), la realidad aumentada (Cascales-Martínez et al., 2017) u otras tendencias (Bray & Tangney, 2017) en los procesos formativos en esta área, así como en el desarrollo de la identidad profesional (Nadelson et al., 2017).

Si atendemos a cuáles son las principales líneas de investigación vinculadas al campo de estudio, predominan los trabajos en los que las tecnologías se convierten en un medio para la mejora del aprendizaje de las matemáticas (Benton et al., 2018; Bray & Tangney, 2017; Hoyles, 2018; Larkin & Calder, 2016; Papadakis et al., 2016), siendo clave las investigaciones respecto al profesorado y los factores que afecten a esta praxis (McCulloch et al., 2018). Junto a ellos, es preciso atender a los que sitúan a las matemáticas como el centro de la investigación (Benton et al., 2017; Leroy & Bresoux, 2016), de forma que las propuestas de mejora con tecnologías sean resultado de conocer la magnitud y realidad del problema con esta materia. Vinculado a ello, son múltiples las referencias a investigaciones sobre STEM como forma de abordar el ámbito de conocimiento matemático, integrando a las matemáticas y la tecnología, las ciencias y la ingeniería (Dasgupta et al., 2019; Dorouka et al., 2020; Nadelson et al., 2017; Psycharis, 2018). Por último, destacar investigaciones en la que se apuesta por herramientas o metodologías concretas para el aprendizaje de las matemáticas mediadas por tecnología, como el uso del Flipped Classroom (Adams & Dove, 2016; Bhagat et al., 2016; Clark, 2015; Kirvan et al., 2015); la realidad aumentada (Cascales-Martínez et al., 2017; Demitriadou et al., 2020); o el impacto de la utilización de iPads (Harrison & Lee, 2018) o tablets (Schacter & Jo, 2017) en el proceso formativo matemático.

En cuanto a la autoría de los artículos más influyentes entre los que conforman la muestra, cabe resaltar los trabajos de Bray y Tangney (2016, 2017), centrados en el uso de las tecnologías como medio para el aprendizaje de las matemáticas, siendo el de 2017 uno de los más citados (ocupa el 2º lugar). También son relevantes los de Vossen et al (2018, 2020a, 2020b), cuyo foco de estudio gira principalmente sobre el método STEM, abordando el desarrollo del conocimiento, las actitudes y percepciones que tienen del mismo tanto el alumnado como el profesorado

Una de las limitaciones, y a su vez líneas de trabajo futuro, es la consideración de una única base de datos para el estudio bibliométrico (Scopus), considerando relevante ampliar el estudio con otros recursos como ERIC o Web of Science, Esto permitirá tener una visión más global del tópico analizado, aunque como comentamos en el apartado de métodos, la característica de esta búsqueda nos llevaron a decantarnos por utilizar solo Scopus. Otra opción también a contemplar es utilizar como software Biblioshiny para los análisis bibliométricos, debido a la posibilidad de incluir pruebas estadísticas con R.

Por otro lado, sería relevante poder analizar la literatura previa a 2015, así como analizar en su totalidad el año 2021, pudiendo poner de relieve tanto la proyección de la literatura científica, como la evolución de la tecnología como herramienta al servicio del aprendizaje de las matemáticas.

Al hilo de esta última cuestión, una revisión sistemática de la literatura centrada en los artículos objeto del presente estudio podría contribuir a dotar profundizar y ma-

terializar las herramientas específicas que se están implementando para las acciones educativas vinculados a la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, así como el impacto específico que tienen sobre los procesos formativos.

Financiación

Este artículo forma parte del Proyecto Erasmus + IMAS (Increasing Mathematical Attainment in Schools), con referencia 2019-1-ES01-KA201-065104 (2019-2022), financiado por la Unión Europea.

Referencias

- Adams, C., & Dove, A. (2016). Flipping calculus: The potential influence, and the lessons learned. *Electronic Journal of Mathematics & Technology*, 10(3),154-164.
- Alabdulaziz, M. S., Aldossary, S. M., Alyahya, S. A., & Althubiti, H. M. (2021). The effectiveness of the GeoGebra Programme in the development of academic achievement and survival of the learning impact of the mathematics among secondary stage students. *Education and Information Technologies*, 26, 2685–2713. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10371-5>
- Arabit, J., & Prendes, M. P. (2020). Metodologías y Tecnologías para enseñar STEM en Educación Primaria: análisis de necesidades. *Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación*, 57, 107-128. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2020.i57.04>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Aris, N., & Orcos, L. (2019). Educational Robotics in the Stage If Secondary Education: Empirical Study on Motivation and STEM skills. *Education Sciences*, 9(2), e73. <https://doi.org/10.3390/educsci9020073>
- Benton, L., Hoyles, C., Kalas, I., & Noss, R. (2017). Bridging Primary Programming and Mathematics: Some Findings of Design Research in England. *Digit. Exp. Math. Educ*, 3, 115-138. <https://doi.org/10.1007/s40751-017-0028-x>
- Benton, L., Saunders, P., Kalas, I., Hoyles, C., & Noss, R. (2018). Designing for learning mathematics through programming: A case study of pupils engaging with place value. *Int. J. Child-Comput. Interact*, 16, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2017.12.004>
- Bhagat, K. K., Chang, C. N., & Chang, C. Y. (2016). The impact of the flipped classroom on mathematics concept learning in high school. *Educational Technology & Society*, 19(3), 134-142.
- Birgin, O., & Acar, H. (2020) The effect of computer-supported collaborative learning using GeoGebra software on 11th grade students' mathematics achievement in exponential and logarithmic functions. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. <http://doi.org/10.1080/0020739X.2020.1788186>
- Bray, A., & Tangney, B. (2016). Enhancing student engagement through the affordances of mobile technology: a 21st century learning perspective on Realistic Mathematics Education. *Mathematics Education Research Journal*, 28, 173-197. <https://doi.org/10.1007/S13394-015-0158-7>

- Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research – A systematic review of recent trends. *Computers and Education*, 114, 255-273. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.004>
- Buentello-Montoya, D. A., Lomelí-Plascencia, M. G., & Medina-Herrera, L. M. (2021). The role of reality enhancing technologies in teaching and learning of mathematics. *Computers & Electrical Engineering*, 94, e107287. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107287>
- Cascales-Martínez, A., Martínez-Segura, M.-J., Pérez-López, D., & Contero, M. (2017). Using an augmented reality enhanced tabletop system to promote learning of mathematics: A case study with students with special educational needs. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 355-380. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00621a>
- Caviggioli, F., & Ughetto, E. (2019). A Bibliometric Analysis of the Research Dealing with the Impact of Additive Manufacturing on Industry, Business and Society. *International Journal of Production Economics*, 208, 254-268. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.022>
- Clark, K. R. (2015). The effects of the flipped model of instruction on student engagement and performance in the secondary mathematics classroom. *Journal of Educators Online*, 12(1), 91-115.
- Colomo, E., Sánchez, E., Fernández, J. M., & Trujillo, J. M. (2020). SPOC y formación del profesorado: Aproximación bibliométrica y pedagógica en Scopus y Web of Science. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 23(2), 37-51. <https://doi.org/10.6018/reifop.413541>
- Comisión Europea. (2006). Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. *Diario Oficial*, 394, de 30 de diciembre de 2006. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32006H0962>
- Consejo Europeo. (2018). Recomendación del Consejo de 22 de mayo de 2018 relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, de 4 de junio de 2018. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)&from=SV](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=SV)
- Csapó B., & Molnár G. (2019). Online diagnostic assessment in support of personalized teaching and learning: The eDia system. *Frontiers in Psychology*, 10, e1522. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01522>
- Curto, M., Orcos, L., Blázquez, P. J., & Molina, F. J. (2019). Student Assessment of the Use of Kahoot in the Learning Process of Science and Mathematics. *Education Sciences*, 9(1), e73. <https://doi.org/10.3390/educsci9020073>
- Dasgupta C., Magana A. J., & Vieira C. (2019). Investigating the affordances of a CAD enabled learning environment for promoting integrated STEM learning. *Computers and Education*, 129, 122-142. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.014>
- Del Cerro, F., & Morales, G. (2021). Application in Augmented Reality for Learning Mathematical Functions: A Study for the Development of Spatial Intelligence in Secondary. Education Students. *Mathematics*. 9(4), e369. <https://doi.org/10.3390/math9040369>
- Demitriadou E., Stavroulia K.-E., & Lanitis A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381-401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>

- Díaz, J. E. (2018). Aprendizaje de las matemáticas con el uso de simulación. *Sophia*, 14(1), 22-30. <https://doi.org/10.18634/sophiaj.14v.1i.519>
- Dorouka, P., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2020). Tablets and apps for promoting robotics, mathematics, STEM education and literacy in early childhood education. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 14(2), 255-274. <https://doi.org/10.1504/IJMLO.2020.106179>
- García, M. M., Romero, I. M., & Gil, F. (2020). Efectos de trabajar con GeoGebra en el aula en la relación afecto-cognición. *Enseñanza de las Ciencias*, 1-22. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3299>
- García-Martín, S., & Cantón-Mayo, I. (2019). Uso de tecnologías y rendimiento académico en estudiantes adolescentes. *Comunicar. Revista Científica de Comunicación y Educación*, 59(27), 73-81. <https://doi.org/10.3916/C59-2019-07>
- Gil-Quintana, J., Malvasi, V., Castillo-Abdul, B., & Romero-Rodríguez, L. M. (2020). Learning Leaders: Teachers or Youtubers? Participatory Culture and STEM Competencies in Italian Secondary School Students. *Sustainability*, 12(18), e7466. <https://doi.org/10.3390/su12187466>
- Gómez-García, M., Hossein-Mohand, H., Trujillo-Torres, J. M., Hossein-Mohand, H., & Aznar-Díaz, I. (2020). Technological Factors That Influence the Mathematics Performance of Secondary School Students. *Mathematics*, 8(11), e1935. <https://doi.org/10.3390/math8111935>
- González, E., Colomo, E., & Cívico, A. (2020). Quality Education as a Sustainable Development Goal in the Context of 2030 Agenda: Bibliometric Approach. *Sustainability*, 12(15), e5884. <https://doi.org/10.3390/su12155884>
- 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>
- Hossein-Mohand, H., Gómez-García, M., Trujillo-Torres, J. -M., Hossein-Mohand, H., & Boumadan-Hamed, M. (2021). Uses and Resources of Technologies by Mathematics Students Prior to COVID-19. *Sustainability*, 13(4), e1630. <https://doi.org/10.3390/su13041630>
- Hoyles, C. (2018). Transforming the mathematical practices of learners and teachers through digital technology. *J Res Math Educ*, 20(3), 209-228. <https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1484799>
- Iglesias, L. M., Pascual, I., & Arteaga-Martínez, B. (2020). El aprendizaje del álgebra en Educación Secundaria: Las estrategias metacognitivas desde la tecnología digital. *Dialogia*, (36), 49-72. <http://dx.doi.org/10.5585/dialogia.n36.18279>
- Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active Learning Augmented Reality for STEAM Education - A Case Study. *Education Sciences*, 10(8), e198. <https://doi.org/10.3390/educsci10080198>
- Juárez, J. A., Chamoso, J. M., & González, M.T. (2020). Interacción en foros virtuales al integrar modelización matemática para formar ingenieros. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 161-178. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3041>
- Khanra, S., Dhir, A., & Mäntymäki, M. (2020). Big data analytics and enterprises: a bibliometric synthesis of the literature. *Enterprise Information Systems*, 14(6), 737-768. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1734241>

- Kim, H., & Ke, F. (2017) Effects of game-based learning in an OpenSim-supported virtual environment on mathematical performance. *Interactive Learning Environments*, 25(4), 543–557. <https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1167744>
- Kirvan, R., Rakes, C. R., & Zamora, R. (2015). Flipping an algebra classroom: Analyzing, modeling, and solving systems of linear equations. *Computers in the Schools*, 32(3-4), 201-223. <https://doi.org/10.1080/07380569.2015.1093902>
- Koul, R. B., Fraser, B. J., Maynard, N., & Tade, M. (2018). Evaluation of engineering and technology activities in primary schools in terms of learning environment, attitudes and understanding. *Learning Environments Research*, 21(2), 285-300. <http://doi.org/10.1007/s10984-017-9255-8>
- Kristianti, Y., Prabawanto, S., & Suhendra, S. (2017). Critical Thinking Skills of Students through Mathematics Learning with ASSURE Model Assisted by Software Autograph. *Journal of Physics*, 895, e012063. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/895/1/012063>
- Larkin, K., & Calder, N. (2016). Mathematics education and mobile technologies. *Mathematics Education Research Journal*, 28(1), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s13394-015-0167-6>
- Leroy, N., & Bressoux, P. (2016). Does amotivation matter more than motivation in predicting mathematics learning gains? A longitudinal study of sixth-grade students in France. *Contemporary Educational Psychology*, 44-45, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.001>
- Lindín, C., Coma, L., Vanegas, Y., Martín-Piñol, C., & Bartolomé, A. (2021). Propuesta formativa en STREAM: Una aproximación a la perspectiva global desde Cataluña. *Didacticae*, (10), 91-108. <https://doi.org/10.1344/did.2021.10.91-108>
- Lo, C. K., Lie, C. W., & Hew, K. F. (2018). Applying “First Principles of Instruction” as a design theory of the flipped classroom: Findings from a collective study of four secondary school subjects. *Computers and Education*, 118, 150-165. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.12.003>
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R., & Goos, M. (2019). The role of mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM. Mathematics Education*, 51, 869-884. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01100-5>
- Martínez-Garrido, C. (2018). Impacto del uso de los recursos tecnológicos en el rendimiento académico. *Innoeduca: international journal of technology and educational innovation*, 4(2), 138-149. <https://doi.org/10.24310/innoeduca.2018.v4i2.4956>
- McCulloch, A. W., Hollebrands, K., Lee, H., Harrison, T., & Mutlu, A. (2018). Factors that influence secondary mathematics teachers’ integration of technology in mathematics lessons. *Computers and Education*, 123, 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.04.008>
- Menjivar, E., Sánchez, E., Ruiz, J., & Linde Valenzuela, T. (2021). Revisión de la producción científica sobre la realidad virtual entre 2016 y 2020 a través de Scopus y WoS. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 10(2), 26-55. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v10i2.13422>
- Molina, Á., Adamuz, N., & Brancho, R. (2020). La resolución de problemas basada en el método de Pólya usando el pensamiento computacional y Scratch con estudiantes de Educación Secundaria. *Aula abierta*, 49(1), 83-90. <https://doi.org/10.17811/rifie.49.1.2020.83-90>

- Nadelson, L. S., McGuire, S. P., Davis, K. A., Farid, A., Hardy, K. K., Hsu, Y. -C., Kaiser, U., Nagarajan, R., & Wang, S. (2017). Am I a STEM professional? Documenting STEM student professional identity development. *Studies in Higher Education, 42*(4), 701-720. <https://doi.org/10.1080/03075079.2015.1070819>
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2016). Comparing tablets and PCs in teaching mathematics: An attempt to improve mathematics competence in early childhood education. *Preschool and Primary Education, 4*(2), 241-253. <https://doi.org/10.12681/ppej.8779>
- Pellas, N., Mystakidis, S., & Christopoulos, A. A. (2021). Systematic Literature Review on the User Experience Design for Game-Based Interventions via 3D Virtual Worlds in K-12 Education. *Multimodal Technologies and Interaction, 5*(6), e28. <https://doi.org/10.3390/mti5060028>
- Petrov, P. D., & Atanasova T. V. (2020). The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. *Information, 11*(4), e209. <https://doi.org/10.3390/info11040209>
- Psycharis, S. (2018). STEAM in education: A literature review on the role of computational thinking, engineering epistemology and computational science: Computational STEAM pedagogy (CSP). *Scientific Culture, 4*(2), 51-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1214565>
- 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), 17-34. <https://doi.org/10.18239/ensayos.v36i1.2631XX>
- Rodríguez-Sabiote, C., Úbeda-Sánchez, Á. M., Álvarez-Rodríguez, J., & Álvarez-Ferrándiz, D. (2020). Active Learning in an Environment of Innovative Training and Sustainability. Mapping of the Conceptual Structure of Research Fronts through a Bibliometric Analysis. *Sustainability, 12*(19), e8012. <http://dx.doi.org/10.3390/su12198012>
- Ros-Garrido, A., & Chisvert-Tarazona, M. J. (2018). Las investigaciones sobre las teorías implícitas del profesorado de Formación Profesional en el estado español. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado, 22*(1), 97-115. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i1.9920>
- Schacter, J., & Jo, B. (2017). Improving pre-schoolers' mathematics achievement with tablets: A randomized controlled trial. *Mathematics Education Research Journal, 29*(3), 313-327. <https://doi.org/10.1007/s13394-017-0203-9>
- Silva-Díaz, F., Carrillo-Rosua, J., & Fernández-Plaza, J. (2021). Uso de tecnologías inmersivas y su impacto en las actitudes científico-matemáticas del estudiantado de Educación Secundaria Obligatoria en un contexto en riesgo de exclusión social. *EDUCAR, 57*(1), 119-138. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1136>
- Sinclair, N., Bartolini Bussi, M. G., de Villiers, M., Jones, K., Kortenkamp, U., Leung, A., & Owens, K. (2016). Recent research on geometry education: an ICME-13 survey team report. *ZDM - Mathematics Education, 48*(5), 691-719. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0796-6>
- Umboh, D., Tarasu, D., Marini, A., & Sumantri, M. S. (2021). Improvement of student mathematics learning outcomes through Kahoot learning games application at Elementary school. *Journal of Physics: Conference Series, 1869*, 012124. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012124>

- Vossen, T. E., Henze, I., Rippe, R. C. A., Van Driel, J. H., & De Vries, M. J. (2018). Attitudes of secondary school students towards doing research and design activities. *International Journal of Science Education*, 40(13), 1629-1652. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1494395>
- Vossen, T. E., Henze, I., De Vries, M. J., & Van Driel, J. H. (2020a). Finding the connection between research and design: the knowledge development of STEM teachers in a professional learning community. *International Journal of Technology and Design Education*, 30(2), 295-320. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09507-7>
- Vossen T. E., Tigelaar E. H., Henze I., De Vries M. J., & Van Driel, J. H. (2020b). Student and teacher perceptions of the functions of research in the context of a design-oriented STEM module. *International Journal of Technology and Design Education*, 30(4), 657-686. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09523-7>
- Waltman, L. (2016). A review of the literature on citation impact indicators. *Journal of Informetrics*, 10(2), 365-391. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.02.007>
- Weinhandl, R., Lavicza, Z., Houghton, T., & Hohenwarter, M. (2021). A look over students' shoulders when learning mathematics in home-schooling. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. <http://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1912423>
- Zeynivandnezhad, F., Mousavi, A., & Kotabe, H. (2020). The Mediating Effect of Study Approaches between Perceptions of Mathematics and Experiences Using Digital Technologies. *Computers in the Schools*, 37(3), 168-195. <https://doi.org/10.1080/07380569.2020.1793050>
- Zulnaldi, H., Oktavika, E., & Hidayat, R. (2019). Effect of use of GeoGebra on achievement of high school mathematics students. *Education and Information Technologies*, 25, 51-72. <http://doi.org/10.1007/s10639-019-09899-y>