



Perfiles educativos

ISSN: 0185-2698

ISSN: 2448-6167

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de
Investigaciones sobre la Universidad y la Educación

Llamazares de Prado, José Enrique; Arias Gago, Ana Rosa
Enseñanza de las matemáticas en invidentes desde la revisión sistemática
Perfiles educativos, vol. XLIV, núm. 176, 2022, Abril-Junio, pp. 169-184
Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto
de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación

DOI: <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2022.176.57947>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13275463011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Enseñanza de las matemáticas en invidentes desde la revisión sistemática

JOSÉ ENRIQUE LLAMAZARES DE PRADO* | ANA ROSA ARIAS GAGO**

El objetivo que se plantea en este estudio es analizar la relación de las matemáticas con el uso de las TIC y su adecuación a la educación, a través de la realización de una revisión sistemática de los estudios de matemáticas en estudiantes con problemas de visión. Se partió de 416 artículos examinados hasta llegar a 36 artículos finales. Para ello se utilizó el gestor bibliográfico Mendeley. En los resultados se destaca la escasez de estudios en idioma español frente a los internacionales, la necesidad de cooperación entre familia y escuela, así como la implementación de las mejoras internacionales en modelos nacionales y la integración de asignaturas en el modelo STEM. En las conclusiones se evidencia la importancia del desarrollo matemático de los estudiantes con problemas de visión para mejorar el procesamiento del pensamiento y la resolución de problemas, así como la relación entre la memoria a corto y largo plazo.

The objective of this study is to analyze the relationship of mathematics with the use of ICT and their adaptation to education, through a systematic review of mathematics studies in students with vision problems. We parted from 416 articles examined up to 36 final articles using the Mendeley Reference manager. The results highlight the scarcity of studies in Spanish compared to international ones, the need for cooperation between family and school, as well as the implementation of international improvements in national models and the integration of subjects in the STEM model. The conclusions show the importance of the mathematical development of students to improve thought processing and problem solving, as well as the relationship between short and long-term memory.

Palabras clave

Educación
Discapacidad visual
Matemáticas
Enseñanza
Tecnologías de la información y la comunicación

Keywords

Education
Visual disability
Math
Teaching
Information and communication technologies

Recepción: 12 de agosto de 2020 | Aceptación: 12 de junio de 2021

DOI: <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2022.176.57947>

- * Docente de la Facultad de Educación de la Universidad de León (España). Doctor en Investigación en Psicología y Educación. Línea de investigación: proyectos inclusivos educativos internacionales. Publicación reciente: (2021), "Sign Language Teaching Technological Advances and Differences in International Contexts", *The International Journal of Information and Learning Technology*, vol. 38, núm. 5, pp. 433-453. CE: leonl@hotmail.es
- ** Directora del Departamento de Didáctica General, Específicas y Teoría de la Educación de la Universidad de León (España). Doctora en Psicología y Ciencias de la Educación. Líneas de investigación: gestión de la calidad en educación; educación inclusiva y diseño universal de aprendizaje; formación del profesora. Publicación reciente: (2022, en coautoría con A. Rodríguez-García), "Características bibliométricas de la literatura internacional sobre métodos docentes: una taxonomía multidisciplinar", *Revista Complutense de Educación*, vol. 33, núm. 1, pp. 93-106. CE: ana.arias@unileon.es

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el número de estudiantes invidentes que dirige su trayectoria académica hacia las matemáticas se ha incrementado notablemente (Arzoumanian y Dalibard, 2015), lo cual demanda de parte del equipo docente mayor grado de disciplina y orientación, al igual que una asistencia especializada para el equipo docente. Para esto, se requiere saber el nivel de conocimiento del profesorado en la asignatura de matemáticas y las formas de adecuación del material necesario para la enseñanza.

Actualmente el número de invidentes que alcanza los niveles universitarios es escaso y es menor aún el que opta por las ciencias en general, tanto naturales como exactas, sociales o humanas. Esto se debe, en parte, al desconocimiento de las nuevas mejoras e implementaciones didácticas, además de la ausencia de una aplicación real de los planes escolares inclusivos actuales con la trasmisión y conversión de la notación en matemáticas (Sauer, 2020; White, 2020).

Por otro lado, se ha empezado a valorar e implementar el potencial de la interrelación de las disciplinas y la aplicabilidad de la metodología STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, arte, matemáticas). Las matemáticas tienen una gran importancia en nuestras vidas, junto con el aprendizaje de la escritura y la lectura. Son un pilar esencial en la formación y adquisición de conocimientos. Es fundamental vincular la enseñanza de las matemáticas, elemento clave del enfoque STEAM, con otras asignaturas como plástica, física, química, etc., para el éxito de la educación. En el camino de mejorar la educación desde la inclusión de todas las personas, las matemáticas tienen un papel integrador y crucial en el aprendizaje de hoy en día; es por ello que el interés de este estudio es el análisis de la enseñanza de las matemáticas en personas con discapacidad visual y su aprendizaje desde las primeras etapas de la educación escolar.

Parte de la comprensión matemática se basa en la abstracción, como en el caso del álgebra, y otra parte se basa en la visualización, como en la geometría y la topología; la enseñanza de estos elementos es clave, ya que sus bases serán utilizadas en diversas materias, como la Física.

El presente artículo tiene como principal objetivo realizar una revisión sistemática de los estudios disponibles con el fin de plantear un marco teórico sobre la relación de las matemáticas con el uso de las TIC y su adecuación a la educación; en esta parte se incluyen algunas valoraciones personales al respecto. Más adelante se presentan las posibles ventajas de las innovaciones educativas existentes y la aplicabilidad a los entornos académicos para posibilitar la inclusión real de las personas con discapacidad visual en cualquier grado o área específica dentro del abanico de las ofertas académicas.

Los estudios que se presentan en esta revisión se caracterizan principalmente por formar parte de contextos internacionales ($n=80$; 56 por ciento), con escasa presencia de estudios en el contexto latino (Latinoamérica y España) ($n=19$; 44 por ciento). Lo anterior evidencia la producción científica en el contexto internacional, así como la necesidad de creación de más literatura científica en español, por ser la segunda lengua más hablada en el mundo. El número total de variables es de 16, distribuidas en dos categorías: enseñanza y aprendizaje. A su vez, en cada una de ellas hay diferentes factores sobre los que se categorizan los subfactores de cada variable. En el Cuadro 1 se pueden ver las variables identificadas y su detallada categorización.

METODOLOGÍA

El método de trabajo utilizado para llevar a cabo este estudio consistió en una revisión sistemática de la literatura científica. Se trata de un diseño de investigación basado en la recapitulación de información sobre un tema

Cuadro 1. Categorización de las variables

Variables	Factores	Subfactores	Artículos
Enseñanza	Diseño currículo	Procesos de enseñanza	Martín, 2010; Macho, 2013
		Creación de materiales	Florentino, 2010; Xu's, 2013
		Adaptación del currículo escolar	Beltrán <i>et al.</i> , 2012; Konecki <i>et al.</i> , 2017
	Contenidos	Metodología en profesorado	Energici, 2014
		Innovación pedagógica	Ochoviet y López, 2014; Osterhaus, 2006; Rosenblum <i>et al.</i> , 2013; Brawand y Johnson, 2016; Rosenblum y Smith, 2012; Syafitri <i>et al.</i> , 2016)
		Tecnología asistiva	Smith <i>et al.</i> , 2011; Lowenfeld, 1973, cit. en Lugone, 2018; Maćkowski <i>et al.</i> , 2014; Spinczyk <i>et al.</i> , 2019; Battista, 2007, cit. en Babai y Lahav, 2020)
Aprendizaje	Pensamiento geométrico	Espacio y forma	Klingenberg, 2012
		Percepción y movimiento	Radford, 2005; Gentilucci, 2003; Goldin, 2003; Rizzolatti, 2006, cit en Del Zozzo, 2010
		Comprensión del espacio	Fischbein y Nachlieli, 1998, cit. en Roth, 2020
		Herramientas multitáctiles	Ladel y Kortenkamp, 2013
		Metacognición	Mevarech y Kramarski, 2017
		Educación secundaria	Arneton <i>et al.</i> , 2016; Vojtech, 2015
		Limitaciones en el acceso	Chakraborty <i>et al.</i> , 2017; Fajardo y Archambault, 2014, cit. en White, 2020; Maguvhe's, 2015; Darly <i>et al.</i> , 2016
		Materiales fáciles de manejar	Uilina, 2013; Braz <i>et al.</i> , 2014, cit. en Darly <i>et al.</i> , 2016
		Adaptación y técnicas en primaria	Viginheski <i>et al.</i> , 2017
		Directrices en clase	Oliveira, 2012; Sanches, 2012; Walichinski, 2012; Semmer y Pereira, 2013, cit. en Viginheski <i>et al.</i> , 2017; Pinho <i>et al.</i> , 2016

Fuente: elaboración propia.

específico con el fin de resolver una cuestión de investigación. Así, a partir de una pregunta se utiliza el diagrama PRISMA para sintetizar la búsqueda realizada (Moher *et al.*, 2009). El propósito de la investigación es analizar los artículos publicados en revistas científicas sobre la enseñanza de las matemáticas en estudiantes ciegos, y valorar la importancia de los nuevos modelos educativos con la incorporación de elementos de adaptación a la enseñanza de las matemáticas para todos los públicos. La búsqueda se realizó utilizando nueve bases de datos: ScienceDirect, 1Findr, Dialnet, Eric,

Redalyc, Scopus, Google Scholar, Teacher Reference y Wos.

Se utilizaron las palabras booleanas “and/y” y “or/o”: TI= (“blind” OR “disability” OR “matemáticas” OR “TIC” OR “deficiência”) y TI= (“blind” OR “inclusive education” OR “impairment”). Para la base de datos de Dialnet, Eric y Redalyc se utilizó la siguiente sintaxis: TI= (“discapacidad” OR “matemáticas” OR “enseñanza” OR “TIC” OR “educación”) y TI= (“educación inclusiva”).

En la selección de los estudios se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Sólo se consideraron los artículos que tratan sobre matemáticas, enseñanza de las matemáticas y tecnologías que mejoran la accesibilidad.
- Se consideraron artículos en inglés, italiano, francés, tagalo y español.

Se obtuvieron, en principio, 416 artículos sometidos a los siguientes criterios de exclusión: se descartaron aquéllos que no estaban relacionados con la inclusión en escuelas con personas ciegas ($n=32$), seguidos de los estudios que no contenían participantes ciegos en relación con la inclusión tecnológica de las matemáticas ($n=36$) y, finalmente, se desecharon los artículos que trataban de la educación inclusiva en el hogar y en la escuela, pero sin incluir las matemáticas ($n=39$). Posteriormente, entre los seleccionados se descartaron los que analizaban la formación de profesores para estudiantes ciegos, pero no se centraban en la enseñanza de las matemáticas ($n=18$), y también aquellas investigaciones que no incluyen el tema de la diversidad inclusiva ($n=19$), así como las investigaciones que se basan en la tecnología en la escuela, pero no abordan la enseñanza de las matemáticas ($n=17$).

Se utilizó la herramienta Mendeley en la gestión de los recursos bibliográficos. Se realizó un proceso inductivo que partió de una primera lectura de los textos seleccionados; luego se marcó el texto que contenía las distintas variables y se hicieron asociaciones según el contenido (por ejemplo, si la variable encontrada tenía que ver con la enseñanza de las matemáticas y su uso a través de la tecnología). Una vez hechas las agrupaciones, se hizo una segunda lectura para verificar y, si fuese necesario, modificar la clasificación final.

MUESTRA

Como ya se dijo, en las nueve bases de datos utilizadas se encontraron 416 estudios que fueron almacenados en la biblioteca de Mendeley. De los 416 estudios, 189 fueron eliminados por

duplicación y 197 fueron seleccionados para la lectura del resumen. Después de esta lectura, 107 fueron eliminados, ya que no estaban relacionados con el tema de la investigación.

La selección final consistió en 90 artículos de investigación, de los cuales 54 fueron excluidos por criterios como: exámenes sistemáticos no centrados en el tema de estudio o la interpretación del tema principal. Así pues, la muestra final sobre la que giró el examen sistemático fue de 36.

Se analizó el contenido del resumen de los 36 artículos, ya que éstos proporcionaban información suficiente para identificar la información pertinente sobre la enseñanza de las matemáticas y su aplicabilidad a los sujetos ciegos.

ANTECEDENTES

Los procesos de enseñanza en el alumnado invidente son limitados en el campo de las matemáticas y las disciplinas científicas, dado que para ello se requieren competencias específicas que son de difícil adquisición (Martín, 2010). Por este motivo es necesario ahondar en la actualidad científica del estado de la enseñanza de matemáticas para los invidentes y las herramientas empleadas para facilitar la adquisición de conocimientos.

Los precedentes los encontramos en el diálogo de Molyneux, entre Locke y un filósofo, sobre la hipótesis de una persona que nació con ceguera y que recupera la visión, en relación con el nuevo entorno: las figuras de la geometría, los cubos, las esferas, etc., que anteriormente reconocía por el tacto (Macho, 2013).

Aún en la actualidad, el aprendizaje de las matemáticas con estudiantes invidentes en los ciclos de secundaria y bachillerato se desarrolla mediante el descubrimiento y la creación de recursos didácticos, así como mediante el uso de diversos ejemplos prácticos con papiroflexia y diagramas de flujo (Florentino, 2010).

Florentino (2010) define tres tipos de exigencias en la didáctica matemática con invidentes: 1) estructura matemática, valoración

del sistema háptico, vinculación con tareas cotidianas y empleo tanto de representaciones tridimensionales como bidimensionales; 2) estructura psicológica general, autodescubrimiento, aprendizaje gradual, de lo concreto a lo abstracto, y conformación de esquemas empíricos; 3) adecuación del grado de discapacidad empleando exploración visual sistemática en casos de baja visión o comunicación de contenidos matemáticos a través del sistema háptico.

Es importante situar las actividades desarrolladas por los alumnos como pilar en el desarrollo de la docencia. En la obra de Beltrán *et al.* (2012) se sistematizan diversas experiencias sobre educación inclusiva, acerca del pensamiento espacial y numérico, así como sobre las relaciones numéricas y geométricas. Los resultados del estudio reflejan las ventajas que conlleva que el docente sea mediador en los procesos de inclusión y de enseñanza al facilitar el conocimiento con ejemplos hápticos.

Además de lo anterior, la creación de material educativo en el aula por parte del profesorado no sólo mejora la adquisición de conceptos, sino que facilita la participación del alumnado.

TECNOLOGÍAS QUE MEJORAN LA EDUCACIÓN

La tecnología nos ayuda a comunicarnos, a comprender problemas complejos y a acceder a la información. En el caso de la docencia en matemáticas hemos de señalar el uso de modelos de formación educativa en la instrucción de las matemáticas inclusivas. En este sentido, cabe resaltar la metodología de barras (MBRP), aplicado por Energici (2014), que empleó material pictórico con invidentes de primaria, basado en un juego de educación inversa con herramientas TIC (empleando *tablets*) en el que se desarrollan problemas matemáticos y se generan representaciones gráficas traducidas a vibraciones y sonidos. Los resultados no mostraron cambios notables, pero sí se demostró que los sonidos tienen

mayor importancia cuando se asocian a lugares o acciones concretas en mayor grado que el sonido por sí solo. Es esencial comprender las novedades en materia de innovación educativa para desarrollar programas de mejora que puedan ser un referente tanto a nivel nacional como internacional.

Dentro del campo de la representación de datos matemáticos, señalaremos problemas tales como la representación de gráficas para invidentes, la ausencia de datos acerca de la realización de dibujos o los métodos y herramientas para la realización gráfica de los ejercicios. En la obra de Xu (2013) se analiza el movimiento de los dedos en la creación de diversos dibujos en *tablets* con *software* braille; se encontró que los invidentes pueden dibujar en el contorno y que tienen un buen sentido del espacio y la forma tridimensional. Por medio del sistema de recogida de información se generan datos xml a través del dibujo, a los que se accede fácilmente mediante servicios web; éste es el primer sistema automático que proporciona servicios web para recoger y acceder a dichos datos.

En el campo de la percepción, Konecki *et al.* (2017) analizan el papel de las TIC en invidentes; para ello, señalan la necesidad de tener presentes dos aspectos fundamentales: primero, la necesidad de sustituir la información sensorial visual por otro tipo, como el háptico o auditivo; y, en segundo, tratar de mejorar o rehabilitar partes de la capacidad cognitiva, ya que el deterioro visual no sólo afecta a una parte de la información sensorial, sino que también conduce a un deterioro espacial y cognitivo. El estudio llega a la conclusión de que, aunque hay diversas herramientas accesibles, únicamente se emplean ciertas —y reiterativas— herramientas en la representación de ecuaciones, gráficas y medios para la mejora de la navegación.

Como puede verse, en el caso de las tecnologías también ha de valorarse su implementación en la enseñanza; deben conocerse las mejores herramientas para ser utilizadas en cada representación en el centro docente.

En el campo de la innovación docente está el “Proyecto de capacitación a docentes para la enseñanza accesible en matemáticas” desarrollado por Ochoviet y López (2014), que se lleva a cabo mediante las siguientes unidades: 1) didáctica de la matemática, como especialidad científica; 2) las representaciones y los lenguajes en relación con las matemáticas; 3) proceso de enseñanza, debate científico; 4) aprendizaje de ecuaciones lineales con dos incógnitas; y 5) lograr unas matemáticas accesibles. Los resultados evidencian dificultades en el alumnado invidente respecto del diseño de las tareas relacionadas a ecuaciones lineales con dos incógnitas a través del geoplano. En el diseño deben tenerse presentes las variables didácticas, tales como: el tipo de numeración (decimales, fraccionarios, enteros) y ecuaciones complejas (signo de coeficiente de variables, con o sin denominadores).

En el campo internacional en instrucción matemática cabe resaltar la colaboración entre países asiáticos y los Estados Unidos en la mejora del profesorado y su instrucción en matemáticas inclusivas. En el manual “*Mathematics Made Easy for Children with Visual Impairment*” (Osterhaus, 2006) se hace una distinción entre los métodos generales de enseñanza en matemáticas y la enseñanza a invidentes y se explican los métodos para la preparación de material; el manual propone aprender de las características propias de los niños y aborda los procedimientos de evaluación. Este material apuesta por la creatividad matemática, e incluye el uso del ábaco.

En cuanto al uso de este recurso, la obra de Rosenblum *et al.* (2013), referida a Estados Unidos y Canadá, indaga sobre una muestra de 196 maestros de invidentes por medio de encuestas de opinión en línea acerca de la adecuada instrucción en el uso del ábaco y las habilidades que se adquieren con él mediante un seguimiento de dos años (2012 a 2013). De acuerdo con los resultados, más de dos tercios

de los profesores encuestados reportaron mejoras en operaciones de suma y resta por medio de la enseñanza de habilidades de computación en el ábaco, desde preescolar hasta segundo grado.

Respecto al uso de métodos de instrucción de matemáticas en invidentes, cabe señalar el trabajo de Brawand y Johnson (2016), el cual caracteriza diversos recursos como el ábaco, el braille, los materiales concretos y los gráficos táctiles. El estudio también aborda la preparación universitaria, estudiada por Rosenblum y Smith (2012), quienes indagan acerca de la adecuada instrucción de las variables anteriores en el campo universitario de Estados Unidos y Canadá.

Por otro lado, en el proceso de pensamiento matemático, el trabajo de Syafitri *et al.* (2016) en la zona de Tunanetra (Indonesia) refleja que el pensamiento de los sujetos invidentes parte del estímulo, y que este estímulo se expresa en forma de problema matemático y es percibido a través del oído y el tacto, así como en la memoria a corto plazo, después de pasar una fase de percepción selectiva y atención. En la memoria a corto plazo, la información preexistente se encuentra en forma de conceptos necesarios en la resolución de problemas, ligada a la memoria de largo plazo (recuperación). Cuando la información sale de la memoria de corto plazo hay dos posibles caminos: que la información pase a la memoria de largo plazo (codificación) y/o sea reenviada hacia el entorno en forma de respuestas de los estudiantes.

La investigación realizada en Suribaya (Indonesia) en 2017 a cargo de Hidayati (2018) reafirma lo anterior respecto del análisis del proceso de pensamiento de los estudiantes ciegos en la resolución de problemas matemáticos basado en la teoría del procesamiento de la información. Este trabajo, de corte descriptivo cualitativo, utiliza el método “pensar en voz alta” y la entrevista para la recopilación de datos. Los resultados muestran que la atención se produce después de leer el problema y en la percepción. En esta última etapa los

estudiantes recuperan los conceptos necesarios de la memoria a largo plazo para resolver el problema. Por consiguiente, para el alumnado con poca capacidad matemática los conceptos necesarios para la memoria a corto plazo no se almacenan de forma adecuada en la memoria de largo plazo, por lo que a menudo cometen errores y ocurren olvidos.

En la investigación sobre las metodologías en matemáticas y su instrucción en invidentes, Malasig y Zhang (2016) profundizan en las habilidades de matemáticas básicas y su aplicación en la resolución de problemas en la vida cotidiana. En la comparativa realizada sobre la implementación de material sonoro para la docencia se evidenció que, al trabajar pistas auditivas de ayuda con libros digitales o con ordenador sí hay una mejora notable que se expresa en un mayor número de aciertos en problemas matemáticos y en la resolución de un mayor número de ecuaciones.

Así, mejorar los diseños implica la necesidad de implementar las tecnologías de apoyo actuales para incrementar la adquisición de los aprendizajes en el alumnado invidente.

TECNOLOGÍA DE APOYO

En el caso de las herramientas tecnológicas de apoyo en invidentes, la investigación de Smith *et al.* (2011) aborda la necesidad de utilizarlas para apoyar el aprendizaje de los estudiantes, en el entendido de que su utilización deberá ser adecuada, pues se trata de una tecnología específicamente de asistencia, que deberá estar regulada para unas necesidades concretas por parte de los educadores, y estar acompañada de evaluaciones y diagnósticos continuos. Esta instrucción apoyada en herramientas tecnológicas está dirigida hacia objetivos específicos referidos al desarrollo de las destrezas académicas, vocacionales e independientes en invidentes. Dado que existe una gran diversidad de grados en baja visión, los educadores deberán estar altamente formados, no sólo en sus competencias didácticas y de manejo de

los contenidos, sino también respecto de las novedades y mejoras de implementación educativa para este tipo de alumnado.

Dentro de las dificultades que presenta el alumnado invidente para la adquisición de información, Lowenfeld (1973, cit. en Smith *et al.*, 2011) delimitó tres tipos de problemática: el acceso a la información, los viajes independientes y la ausencia de experiencias significativas. La tecnología asistencial permite tanto el acceso a la información como el desarrollo profesional del alumnado para lograr éxitos académicos y laborales; el reto actual es seleccionar de manera eficiente los programas asistenciales que puedan ser más útiles, y adecuarlos al grado de pérdida de visión, además de tener en cuenta la aplicabilidad de las evaluaciones individualizadas y el seguimiento del alumnado respecto al uso de la tecnología.

El desarrollo de plataformas *e-learning* para dotar de una educación a distancia idónea resolvería la problemática de la accesibilidad sólo parcialmente. Maćkowski *et al.* (2014) descomponen los ejercicios matemáticos en una serie de secuencias de subejercicios básicos que pueden resolverse y ser evaluados de manera interactiva. Los resultados confirman una buena comprensión de las fórmulas matemáticas descritas por los estudiantes, independientemente del nivel de complejidad de éstas, así como el hecho de que el nivel de comprensión es mayor en las descripciones alternativas; las descripciones alternativas resultan muy útiles en los estudiantes de baja visión en tanto que usan ampliadores y funciones adicionales sonoras.

Hay cierta controversia sobre cómo debería implementarse más eficientemente la asignatura de matemáticas con estudiantes invidentes ante la dificultad de generar nuevas estrategias y materiales didácticos para la enseñanza de matemáticas en la educación especial. En la investigación de Spinczyk *et al.* (2019) se analizan los factores que influyen en el proceso de aprendizaje del alumnado invidente en matemáticas y el grado de mejora que

implica el uso de la tecnología. Los autores desarrollan una evaluación sobre la instrucción y la comprensión de las matemáticas con ordenadores mediante siete factores: emocionales, conductuales, sociales, cognitivos, de modelación, de motivación y de distracción. Para ello emplearon el método de enseñanza alternativo, y obtuvieron resultados significativamente mejores en seis de los siete factores de evaluación propuestos. Lo anterior expresa la ventaja de utilizar tecnología para optimizar el aprendizaje de las matemáticas.

Dentro del aprendizaje matemático juega especial relevancia el uso de la geometría, sobre todo con alumnado invidente, tanto en relación con la concepción de las formas como de las estructuras, por lo que tenemos que abordar esta disciplina como una red de conceptos que nos ayudan a describir y representar nuestros entornos físicos (Battista, 2007 cit. en Babai y Lahav, 2020). Los conceptos de forma y espacio son frecuentes en el desarrollo de muchas asignaturas, por lo tanto, es importante saber cómo los estudiantes pueden comprender la forma y el espacio, y cómo puede ayudarles conocer la lectura en braille.

PENSAMIENTO GEOMÉTRICO

En el estudio sobre la comprensión conceptual del espacio y la forma de Klingenberg (2012) se analizaron las formas en las que los estudiantes noruegos invidentes lograban completar tareas geométricas, así como la representación mental de las formas. Se hizo uso de la metodología de estudio de caso para comparar dos alumnos de diez años en competencias matemáticas, y se encontró que el movimiento y las posturas de las múltiples exploraciones manuales en el alumnado invidente correspondían con las características de las formas de los objetos. En las conclusiones el autor señala la necesidad de emplear el cuerpo como un instrumento más de exploración. Respecto al profesorado, éstos han de dotar de formas y objetos a los estudiantes, y

no solamente de prototipos; han de desafiarlos a verbalizar sus sensaciones y su percepción sobre las dimensiones, como elemento previo al estudio de unidades de medida.

Por su parte Radford (2014) delimita el proceso de aprendizaje de las matemáticas como una objetivación, y distingue entre sus componentes la capacidad de aprender, cómo hacer objetivo algún elemento y, finalmente, el aprendizaje: el acto en el cual el sujeto intencionalmente convierte en consciente el objeto matemático por medio del conocimiento adquirido.

La estrecha conexión entre movimiento y percepción avala los resultados en las diversas investigaciones neurocientíficas y la implicación de las neuronas espejo (Gentilucci, 2003; Goldin, 2003; Rizzolatti, 2006 cit. en Del Zozzo, 2010), especialmente lo que se refiere a las funciones gestuales y cognitivas. Rizzolatti (2006, cit. en Del Zozzo, 2010) examina las funciones motoras y sensoriales perceptivas en las zonas de los hemisferios, y evidencia dos tipos de neuronas en relación con la percepción de los objetos: las que están ligadas a la visión, que dotan de información acerca de los elementos incluso antes de agarrarlos (tamaño, forma y peso) y nos dan la oportunidad de entrar en interacción con la forma y calibrar la fuerza y la ubicación de nuestra mano para lograr nuestro objetivo; y, posteriormente, la activación de las neuronas espejo, ligada a la acción que realiza otra persona ante la observación de la realización de la acción y el intento de emularla.

Siguiendo con la premisa sobre la comprensión del espacio y la forma del pensamiento geométrico, Fischbein y Nachlieli (1998 cit. en Watson *et al.*, 2013), desarrollaron una investigación sobre la relación entre el aspecto figurativo y el aspecto conceptual de las figuras geométricas. Éstas se caracterizan por sus propiedades conceptuales y sensoriales; una figura geométrica es una entidad mental abstracta, ideal, cuyo significado está gobernado por una definición. Al mismo tiempo, es una imagen: posee espacialidad, forma y

magnitud. En el razonamiento geométrico, las dos categorías de propiedades deben fusionarse con los componentes sensoriales que proporcionan la dinámica de la invención y el componente conceptual que garantiza el curso lógico del proceso matemático.

En cuanto a la aplicabilidad de las herramientas multitacto en matemáticas, la investigación de Ladel y Kortenkamp (2013) se desarrolló desde la perspectiva de la teoría de la actividad, con el fin de captar las complejas situaciones que se desarrollan en las aulas. Los autores analizan las interacciones del alumnado con los objetos virtuales manipulables y las relaciones entre los objetos, con el fin de incorporarlos al contenido matemático de las clases con las herramientas multitacto.

Estas herramientas abarcan más actividades que los modelos tradicionales y son propicias para el aprendizaje colaborativo. La evaluación de la progresión del alumno puede centrarse en el objeto o en el propio proceso a través del estudio computarizado de operaciones, entre ellas los eventos más granulares y la identificación de las acciones típicas que definen los niveles de competencia en la resolución de operaciones numéricas, los cuales son muy variables.

En el caso de las mejoras desarrolladas en el campo de las matemáticas, actualmente se busca la incorporación de la metacognición, término central en la investigación “Matemáticas críticas para sociedades innovadoras. El rol de las pedagogías cognitivas” (Mevarech y Kramarski, 2017).

Estas didácticas permiten al alumnado desarrollarse sobre los propios pensamientos durante el proceso de aprendizaje. Son eficaces para la mejora, no únicamente de los logros escolares, sino también de la motivación, el autoconocimiento y la reducción de la ansiedad. Esta fuerte relación entre la metacognición y los resultados de la escolarización tiene implicaciones para la comunidad educativa. En lo que nos compete, las matemáticas metacognitivas son más eficientes en

entornos colaborativos y su efectividad mejora cuando abarca los aspectos emocionales y cognitivos del aprendizaje, por lo que resultan excelentes candidatas para iniciarse en los conocimientos de la inteligencia emocional y su interrelación con las diversas asignaturas que conforman el currículo escolar.

En el contexto internacional sobresale el método Singapur, focalizado en el desarrollo de habilidades de resolución de problemas para la vida real. Este método requiere que docentes y alumnado colaboren en torno a la comprensión, el diseño y el desarrollo de los problemas; con su aplicación se logran avances considerables en innovación educativa, resolución de problemas y gestión de inseguridades. Este método, no obstante, también presenta sombras, ya que no considera al alumnado invidente; este hecho deberá subsanarse si pretendemos a una educación en igualdad.

Otro aspecto de mejora que destaca del método Singapur es su potencial para indagar sobre las ventajas y aplicabilidad de la capacidad creativa en la resolución de problemas, ya que es capaz de engarzar la enseñanza de las artes con las áreas más matemáticas de su metodología. Consideramos que, tanto desde la perspectiva de la inclusión como de la innovación educativa, es esencial implementar estas áreas.

A continuación, en el campo de los modelos internacionales educativos y de inclusión de las matemáticas en educación secundaria cabe destacar los implementados por Francia, la República Checa, Bangladesh, Sudáfrica, Polonia y Brasil.

Para el caso de Francia, en el estudio de Arneton *et al.* (2016) se señala que la situación más usual suele ser la inclusión individual en la propia clase de referencia, pero de los resultados del estudio se concluye que algunos estudiantes invidentes franceses aún no dominan técnicas como el braille, la mecanografía y la locomoción, o las aprenden posteriormente, a consecuencia de las diversas habilidades que están forzados a adquirir en

un entorno ordinario y con menores apoyos a nivel público. En estos casos, son los propios maestros los que se implican en proyectos individuales, acompañados por profesionales, para reducir el impacto y la desigualdad en las clases normales empleando técnicas y modelos adaptados. Los maestros principiantes emplean un enfoque más psicoemocional o inciden más en los aspectos materiales, a diferencia de los más experimentados, que discrepan entre el propio aprendizaje en matemáticas y la dificultad física.

Por su parte, en la República Checa, también en relación con el alumnado de educación secundaria, está la obra de Vojtech (2015), realizada en 11 centros educativos de estudiantes invidentes. Según los resultados, sólo 27 por ciento del profesorado encuestado conocía el uso de herramientas para la mejora educativa en la escritura de expresiones matemáticas. Así mismo, el profesorado y los consejeros de las escuelas de invidentes manifestaron tener un acceso débil o inexistente a la información y a los recursos para la enseñanza de las matemáticas, por lo que recurrían a métodos poco eficaces o incluso a la eliminación de contenidos relacionados con la percepción visual.

Todo lo anterior muestra la importancia de la mejora continua del profesorado, con el fin de que adquiera o actualice sus conocimientos —y sea capaz de adecuarlos— para llegar a todo el alumnado, mediante técnicas y herramientas que faciliten la enseñanza, y que apuesten por la participación activa tanto del personal docente como de los consejeros en el uso del código braille para la notación directa de expresiones matemáticas.

En la investigación de Chakraborty *et al.* (2017), realizada en zonas geográficas de Bangladesh con grandes desventajas económicas, se analizaron las limitaciones en el acceso a la educación aritmética en el alumnado invidente con el propósito de contribuir a solventarlas a partir de la creación de materiales fáciles de usar y de bajo costo. De la evaluación obtenida se confirmó la capacidad de adaptación y el

potencial del alumnado para el desempeño de las tareas, por lo cual los investigadores afirman que sí es posible eliminar ciertas barreras que enfrenta la enseñanza de las matemáticas en invidentes en zonas de bajo nivel socioeconómico, y que esta experiencia podría servir para enfrentar retos similares en regiones cercanas.

A la hora de comunicar eficientemente un contenido didáctico resulta esencial la colaboración entre los estudiantes y el profesorado. En el trabajo realizado por Fajardo y Archambault (2014 cit. en White, 2020) se implementó una interfaz para realizar las actividades del curso por medio del uso de imágenes, braille y audio. La investigación evidenció que de esa manera se facilita y mejora la comunicación, la manipulación de elementos y la escritura. Tras la realización de una segunda modalidad de pruebas sobre instrucción cognitiva aplicada a los docentes de matemáticas con experiencia en alumnado invidente, se contrastó la pertinencia de la interfaz en cuanto a los aspectos didácticos. Si bien los datos fueron relevantes en el nivel educativo estudiado, es necesario tener presentes otras alternativas para ser implantadas en niveles superiores.

Por otro lado, en Sudáfrica, la investigación de Maguvhe (2015) determinó los factores que influyen en la participación del alumnado invidente en matemáticas y en ciencias. Por medio de un estudio de caso se consideró el rol del docente como mediador del conocimiento en la enseñanza de primaria y la participación del alumnado dentro y fuera del aula; este estudio permitió discernir sobre los diversos elementos didácticos que acercan al alumnado al estudio de ciencias y el papel activo de los docentes correspondientes. Los resultados reflejan falta de motivación docente y escasez de tutorías; los maestros parecían carecer de las habilidades necesarias para plasmar la pasión por las matemáticas y la ciencia, y para ejercer una didáctica eficaz y adecuada.

En Pernambuco (Brasil), Darly *et al.* (2016) analizaron el campo de la geometría en relación con el uso adecuado de materiales

manipulables mediante la creación de material didáctico específico y su evaluación a través de las reflexiones de profesionales en inclusión. Al igual que en otras investigaciones, Uliana (2013) y Braz *et al.* (2014, cit. en Darly *et al.*, 2016) crearon material táctil para la didáctica matemática haciendo uso de materiales de diversas texturas y tamaños. La metodología empleada fue el estudio de caso, con entrevistas semiestructuradas. De acuerdo con los resultados, los docentes poseen escaso interés en las técnicas y herramientas que favorecen el aprendizaje; por consiguiente, será necesario considerar la adecuación de la pedagogía con la implementación de métodos estructurados eficientes en las prácticas docentes.

En el trabajo de Viginheski *et al.* (2017) sobre la adaptación y las técnicas empleadas en las matemáticas en la etapa de primaria en Ponta Grossa (Brasil) se presentan los ajustes metodológicos imprescindibles para la enseñanza de las matemáticas en invidentes; para ello el profesorado deberá emplear los recursos disponibles y promover los ajustes necesarios en los materiales, así como desarrollar nuevos elementos, previo a lo cual habrá de adquirir los conocimientos pertinentes. Los resultados del estudio reflejan que las técnicas de producción pueden desarrollarse también con los estudiantes ciegos, siempre y cuando se efectúen las adaptaciones adecuadas en el material y éste se ajuste al grado de pérdida de visión.

Los trabajos que abordan las técnicas actuales de la enseñanza de matemáticas (Oliveira, 2012; Sanches, 2012; Walichinski, 2012; Semmer, 2013 y Pereira, 2013, citados en Viginheski *et al.* (2017), ejemplifican las pautas a seguir en el aula para una adecuada didáctica; se subraya la importancia de la participación de

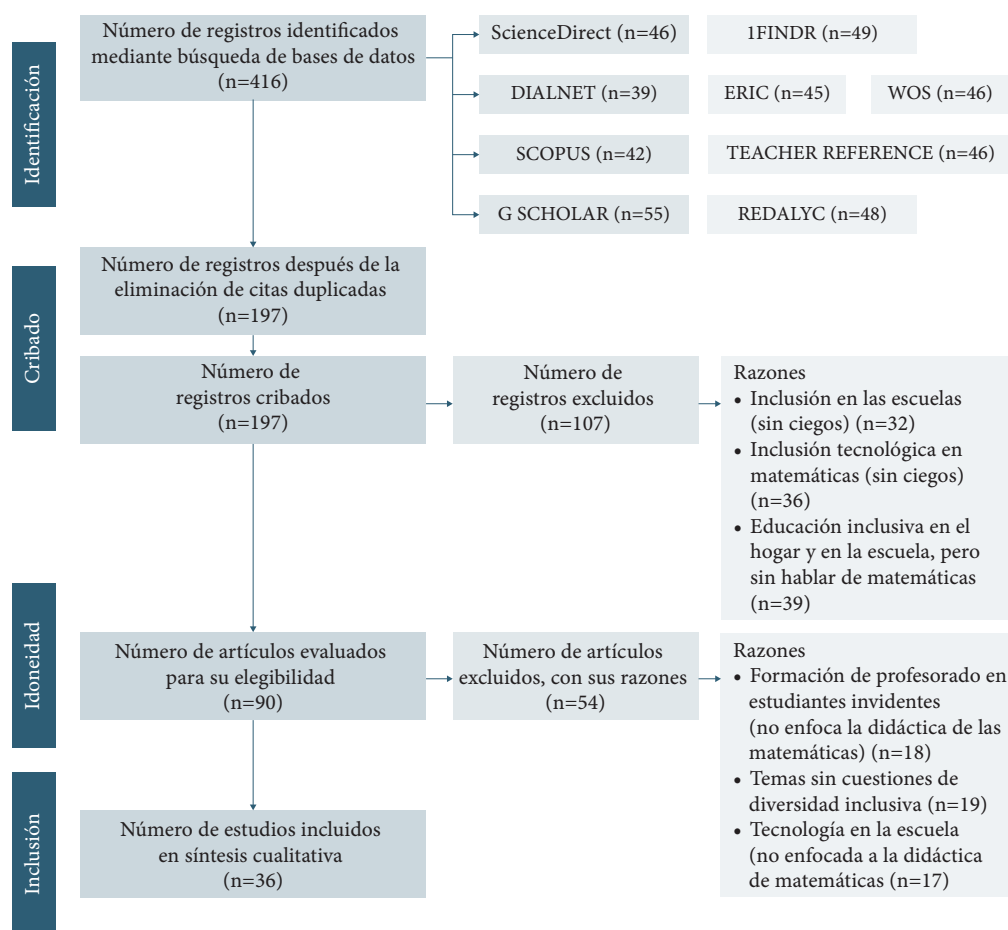
los propios estudiantes, el tiempo de desarrollo de las actividades —que debe aumentarse en el caso de que se requiera— y la ejecución de adaptaciones por parte de los docentes que posibiliten una inclusión real.

Dentro de las necesidades educativas detectadas en la investigación podemos resaltar la necesidad de estrategias didácticas adecuadas que incidan en la mejora de la educación; estos parámetros se observaron también en la investigación de Pinho *et al.* (2016) sobre la educación de las matemáticas en alumnado invidente de Brasil. Los resultados señalan la necesidad de desarrollar un mayor número de estrategias didácticas para la adecuación de la enseñanza para el desarrollo de una educación de calidad. Además, se afirma que los estudios analizados sobre las matemáticas en invidentes no son tan útiles en el aula cuando se trata del paso de la teoría a la práctica y que se requiere aumentar el número de materiales para mejorar la calidad de la enseñanza, así como una mayor diferenciación de éstos para que se adecúen a la diversidad de grados de visión entre estudiantes con ceguera total y baja visión.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los estudios seleccionados se caracterizan por su alcance internacional ($n=80$; 56 por ciento), con escasa presencia de estudios en el contexto hispano hablante ($n=19$; 44 por ciento). En los 36 estudios seleccionados se encontraron variables que intervienen en la relación entre las matemáticas, su enseñanza, las herramientas utilizadas para la docencia y el uso de la tecnología para llegar a todo el alumnado (Fig. 1).

Figura 1. Diagrama de flujo de PRISMA 2009



Fuente: elaboración propia a partir de Moher et al. (2009).

En el caso de los estudios analizados sobre el análisis práctico de la enseñanza de las matemáticas en estudiantes ciegos, los datos obtenidos en las entrevistas con personas con conocimiento directo de la enseñanza en el aula no son suficientes para recoger toda la información deseada sobre las experiencias de los estudiantes con ceguera total y baja visión. Se requiere un trabajo conjunto entre profesores y familias, así como entre investigadores y técnicos de educación especial para lograr datos óptimos. Otro punto por destacar es la necesidad de optimizar la adaptación de los materiales para obtener mejores resultados y adquirir conocimientos de manera más eficiente e instructiva. Asimismo, una comparación

entre las enseñanzas de los distintos países proporcionaría una perspectiva de las diversas políticas educativas para discernir entre lo que funciona y lo que no funciona, así como para promover el intercambio de información a fin de aportar mejoras en los programas y currículos escolares. De esta manera, el estudio de la metodología STEAM y la interconexión con otras asignaturas escolares no sólo podría mejorar el actual modelo de enseñanza, sino que también alentaría a los lectores y participantes con discapacidad visual a interesarse por las matemáticas y las ciencias.

El análisis realizado muestra que todos los estudios cuentan con una reducida muestra de participantes debido a la dispersión

geográfica o a la ausencia de políticas inclusivas en los diversos países de los estudios; a ello se suma la inexistente diferenciación entre alumnado con baja visión, ceguera total, ceguera adquirida o ceguera congénita; también cabe destacar la escasez de estudios comparativos, tanto a nivel trasnacional como mediante réplicas de investigaciones, que de producirse aportarían mayor variedad e innovación al estado del arte del tema.

CONCLUSIONES

La importancia del aprendizaje matemático para el desarrollo del aprendizaje integral del alumnado es innegable, tanto en el plano de la resolución de problemas como para favorecer la creatividad del sujeto. El tema central es solventar cualquier problema o limitación a través de una enseñanza matemática que apueste por la incorporación de modelos tan revolucionarios como el modelo Singapur, donde se favorece este aspecto. Hay que enfatizar, más concretamente, aspectos específicos de las matemáticas para que, por medio de juegos, se pueda desarrollar realmente la adquisición de conocimientos sobre el uso y la función de este campo y no tanto —por poner un ejemplo— lograr el resultado de las raíces cuadradas en sí mismas.

En la gran mayoría de los países analizados los profesores carecen de titulaciones específicas y no muestran voluntad de adquirirlas. Además, no saben instruir eficazmente a los alumnos cuando se habla de materias específicas o troncales. Asimismo, se carece de currículos abiertos que posibiliten la implantación de mejoras educativas internacionales en el ámbito de la inclusión.

Detectamos también que no se hace hincapié en la colaboración entre diversos profesionales cualificados que puedan asesorar e instruir al profesorado ni se promueve la colaboración entre centros, de manera que, en la gran mayoría de los casos, se recurre a profesores itinerantes que tienen que desplazarse a distintas zonas con una considerable

dispersión, lo que disminuye la calidad y eficacia de la enseñanza.

Es visible la generación de una discriminación positiva hacia los alumnos sin discapacidad, más aún cuando hablamos de centros específicos de educación especial sin inclusión. A partir de los estudios analizados sobre el profesorado, los investigadores de la educación en América Latina, Europa del Este, Asia y África alegan la ausencia de recursos para la correcta enseñanza inclusiva.

Consideramos que los entornos escolares han de contar con un currículo escolar abierto para incorporar metodologías inclusivas e implementar los recursos que se requieran y que hayan probado ser eficaces, como el uso de la inteligencia emocional, o favorecer la creatividad, así como analizar las limitaciones que puede tener el método Singapur.

El profesorado ha de ser consciente de la importancia de propiciar didácticas escolares centradas en la mnemotecnia, el punto más destacado en alumnado invidente, pero que favorezcan la interacción con el entorno y la configuración de los diversos elementos para el aprendizaje matemático; esto supone el siguiente paso en la mejora de las enseñanzas en matemáticas en lo referente al alumnado invidente. Generalmente las tecnologías en la generación de gráficos suelen tener un costo elevado, por ello, en países en vías de desarrollo deberá producirse material propio adecuado, con costos accesibles para los invidentes; también deberá tomarse en consideración que el profesorado juega un papel importante, y que también debe formarse para enseñar matemáticas a invidentes.

En el periodo de aprendizaje escolar en el campo de las matemáticas los alumnos deberán adquirir una comprensión profunda acerca de los conceptos. En la escuela, los problemas matemáticos generalmente se enfocan en hallar el resultado final, de manera que se incentiva el interés del alumnado durante el proceso que conlleva la deducción para lograr un proceso de razonamiento adecuado.

Por ello, hay que apostar por modelos educativos que conecten las asignaturas para generar un conocimiento mucho más efectivo y práctico que fomente el pensamiento crítico, la reflexión y la curiosidad por aprender. En el caso de la enseñanza para ciegos, la unión del modelo clásico y el interconectado es una ventaja, ya que favorecer la educación inclusiva con elementos de la ciencia mnemotécnica y su entrenamiento supone incidir en el punto más importante de los alumnos ciegos: su excelente memoria, ejercitada diariamente para interrelacionarse con su entorno, así como la generación de conceptos e ideas al recordar elementos del pasado.

La enseñanza no debe basarse exclusivamente en los medios materiales; también depende de las prácticas pedagógicas adecuadas

y pensadas para estimular el interés de los alumnos y para descubrir nuevos elementos que aporten un valor añadido y que se relacionen con otras materias o asignaturas. Todo ello con el fin de lograr una mejor comprensión y aplicabilidad de todos los conocimientos adquiridos de una manera útil y práctica.

En este estudio hemos expuesto algunos de los precedentes internacionales en cuanto el uso de las asignaturas STEM, ya que éstas propician la interrelación del conocimiento y las materias a impartir. El uso de nuevas acciones pedagógicas, como puede ser el uso de la música ligado al estudio de las matemáticas o las ciencias generales, inaugura nuevos horizontes a la hora de implementar un currículo escolar abierto a los avances pedagógicos internacionales.

REFERENCIAS

- ARNETON, Melissa, Nathalie Lewi-Dumont y Minna Puustinen (2016), "Comment des professeurs de mathématiques s'adaptent-ils aux besoins des élèves déficients visuels?", *Carrefours de l'éducation*, vol. 42, núm. 2, pp. 119-132.
- ARZOUAMANIAN, Philippe y Étienne Dalibard (2015), "CEDRE 2014-Mathématiques en fin de collège: une augmentation importante du pourcentage d'élèves de faible niveau", *Note d'Information*, núm. 19, p. 4, en: <https://www.epsilon.insee.fr/jspui/handle/1/38043> (consulta: 18 de julio de 2020).
- BABAI, Reuven y Orly Lahav (2020), "Interference in Geometry among People who are Blind", *Research in Developmental Disabilities*, vol. 96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2019.103517>
- BELTRÁN, Doly, Luis Cerón y Paola Pineda (2012), *Aproximación a algunos aspectos curriculares en relación con la formación docente y la enseñanza de las matemáticas a estudiantes con limitación visual*, Tesis de Doctorado, Santiago de Cali (Colombia), en: <https://library.co/document/y4w5l8rq-aproximacion-curriculares-formacion-ensenanza-matematicas-estudiantes-limitacion-electronico.html> (consulta: 18 de julio de 2020).
- BRAWAND, Anne y Nicole Johnson (2016), "Effective Methods for Delivering Mathematics Instruction to Students with Visual Impairments", *JBIR*, vol. 6, núm. 1, pp. 1-3, en: <https://nfb.org/images/nfb/publications/jbir/jbir16/jbir060101.html> (consulta: 18 de julio de 2020).
- CHAKRABORTY, Tusher, Taslim Arefin y Al Islam Alim (2017), "Towards Devising a Low-cost and Easy-to-use Arithmetic Learning Tool for Economically Less-privileged Visually-impaired Children", *ACM Transactions on Accessible Computing*, vol. 11, núm. 4, pp. 1-31.
- DARLY, Mayra, Liliane Carvalho y Cristiane Pessoa (2016), "Conhecimentos de Professores sobre o Ensino de Geometria com Material Manipulável para Estudantes Cegos", XX EBRAPEM - Encontro brasileiro de estudantes de pós-graduação em Educação Matemática, pp. 1-9, en: https://www.researchgate.net/publication/312091821_Conhecimentos_de_Professores_Sobre_o_Ensino_de_Geometria_com_Material_Manipulavel_para_Estudantes_Cegos (consulta: 18 de julio de 2020).
- DEL ZOZZO, Agnese (2010), *Percezione aptica e apprendimento della geometria: immagini mentali, ostacoli e misconcezioni in presenza di deficit visivo*, Tesis de Doctorado, Bolonia, Universidad de Bolonia (Italia), en: http://amslaurea.unibo.it/1268/1/Del_Zozzo_Agnese_tesi.pdf (consulta: 18 de julio de 2020).
- ENERGICI, Ignacio Javier (2014), *Construcción de un juego educativo para el aprendizaje de matemáticas en niños con discapacidades visuales*, Tesis de Doctorado, Santiago de Chile, Universidad de Chile, en: <https://xurl.es/kbvhe> (consulta: 18 de julio de 2020).

- FLORENTINO, Antonio (2010), "Enseñar matemáticas a disminuidos visuales", *Innovación y Experiencias Educativas*, núm. 34, septiembre, pp. 1-11.
- HIDAYATI, Ni'matul (2018), *Analisis proses berpikir siswa dalam menyelesaikan masalah Matematika berdasarkan Teori Pemrosesan Informasi*, Tesis de Doctorado, UIN Sunan Ampel Surabaya (Filipinas).
- KLINGENBERG, Oliv (2012), "Conceptual Understanding of Shape and Space by Braille-reading Norwegian Students in Elementary School", *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 106, núm. 8, pp. 453-462.
- KONECKI, Mario, Sandra Lovrenčić, JooYoung Seo y Charles Lapierre (2017), "The Role of ICT in Aiding Visually Impaired Students and Professionals", Jiri Vopava, Vladimir Douda, Radek Kratochvil y Mario Konecki (eds.), *Proceedings of The 11th MAC 2017*, Praga, MAC, Prague consulting, pp. 148-154.
- LADEL, Silke y Ulrich Kortenkamp (2013), "An Activity-Theoretic Approach to Multi-Touch Tools in Early Maths Learning", *The International Journal for Technology in Mathematics Education*, vol. 20, núm. 1, pp. 3-8, en: <https://cermat.org/sites/default/files/Lade-Kortenkamp-AAMTEML-2011a.pdf> (consulta: 18 de julio de 2020).
- MACHO, Manuel (2013), "El problema de William Molyneux", *ZTFNews*, en: <https://xurl.es/4hn7k> (consulta: 18 de julio de 2020).
- MAĆKOWSKI, Micjal, Piotr Brzoza y Dominick Spinczyk (2014), "Tutoring Math Platform Accessible for Visually Impaired People", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 95, pp. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbio.med.2017.06.003>
- MAGUVHE, Mbulaheni (2015), "Teaching Science and Mathematics to Students with Visual Impairments: Reflections of a visually impaired technician", *African Journal of Disability*, vol. 4, núm. 1, pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.4102/ajod.v4i1.194>
- MALASIG, Joan y Dake Zhang (2016), "A Review of Literature: Mathematics instruction for students with visual impairments", *Journal of Childhood & Developmental Disorders*, vol. 2, núm. 1, pp. 1-4.
- MARTÍN, Pablo (2010), *Alumnos con discapacidad visual. Necesidades y respuesta educativa*, Madrid, Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), Documentación: Guías y Manuales, en: <http://www.iphe.gob.pa/menu2/crelb/servlb/2.pdf> (consulta: 18 de julio de 2020).
- MEVARECH, Zemira y Bracha Kramarski (2017), *Matemáticas críticas para las sociedades innovadoras. El papel de las pedagogías metacognitivas*, México, OECD.
- MOHER, David, Alessandro Liberati, Jennifer Tetzlaff, Douglas Altman y Prisma Group (2009), "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement", *PLoS Med*, vol. 6, núm. 6. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- OCHOVIET, Cristina y Alicia Beatriz López (2014), "Capacitación a docentes para enseñanza accesible de la matemática: una experiencia en universidades de América Latina", ponencia presentada en el V Congreso Internacional sobre Calidad y Accesibilidad de la Formación Virtual, Guatemala, CAFVIR, 14-16 de mayo de 2014.
- OSTERHAUS, Susan (2006), "Mathematics Made Easy for Children with Visual Impairment", *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 100, núm. 8, pp. 495-496.
- PINHO, Telma, Helena Castro, Lidio Alvez y Natalia Lima (2016), "Mathematics and Blindness: Let's try to solve this problem?", *International Journal of Multidisciplinary & Allied Studies*, vol. 3, núm. 10, pp. 215-225. DOI: <https://doi.org/10.19085/journal.sijmas031002>
- RADFORD, Luis (2014), "Towards an Embodied, Cultural, and Material Conception of Mathematics Cognition", *ZDM Mathematics Education*, núm. 46, pp. 349-361. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-014-0591-1>
- ROSENBLUM, Penny y Derrick Smith (2012), "Instruction in Specialized Braille Codes, Abacus, and Tactile Graphics at Universities in the United States and Canada", *Journal of Visual Impairment & Blindness*, núm. 106, pp. 339-350.
- ROSENBLUM, Penny, Sunggye Hong y Sheila Amato (2013), "The Abacus: Teachers' preparation and beliefs about their abacus preservice preparation", *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 107, núm. 4, pp. 274-285.
- ROTH, Michael (2020), "Interdisciplinary Approaches in Mathematics Education", *Encyclopedia of Mathematics Education*, Springer, pp. 415-419.
- SAUER, Laura (2020), *Mathematics for Visually Impaired Students: Increasing accessibility of mathematics resources with LaTeX and Nemeth MathSpeak*, Tesis de Doctorado, Hammond/Novato, Liberty University, en: <https://digitalcommons.liberty.edu/honors/954> (consulta: 18 de julio de 2020).
- SMITH, Derrick, Stacy Kelly y Gaylen Kapperman (2011), "Assistive Technology for Students with Visual Impairments. A Position Paper of the Division on Visual Impairments", position paper of the Division on Visual Impairments, Arlington, Council for Exceptional Children, pp. 1-6.
- SPINCZYK, Dominik, Michal Maćkowski, Wojciech Kempa y Katarzyna Rojewska (2019), "Factors Influencing the Process of Learning Mathematics among Visually Impaired and Blind People", *Computers in Biology and*

- Medicine*, núm. 104, pp. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.10.025>
- SYAFITRI, Indah, Subanji Subanji y Dwiyan Dwiyan (2016), "Proses Berpikir Siswa Tunanetra dalam Menyelesaikan Masalah Matematika Ditinjau dari Teori Pemrosesan Informasi", *Journal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, vol. 1, núm. 7, pp. 1265-1278.
- ULIANA, Maria Rorsa (2013), "Inclusão de estudantes cegos nas aulas de matemática: a construção de um kit pedagógico/Inclusion of Blind Students in Mathematics Classes: Development of a teaching kit", *Bolema*, vol. 27, núm. 46, pp. 597-605.
- VIGINHESKI, Lucia, João Aires, Sani Da Silva, Luis Pilatti, Antonio Frasson y Elsa Shimazaki (2017), "Análise de produtos desenvolvidos no mestrado profissional na área de matemática: possibilidades de adaptações para o uso com estudantes cegos", *Revista Diálogo Educacional*, vol. 17, núm. 51, pp. 223-250. DOI: <https://doi.org/10.7213/1981-416x.17.051.ao05>
- VOJTECH, Regec (2015), "Mathematics in Inclusive Education of Blind Students in Secondary Schools in the Czech Republic", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, núm. 174, pp. 3933-3939. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1136>
- WATSON, Anne, Keith Jones y Dave Pratt (2013), *Key Ideas in Teaching Mathematics: Research-based guidance for ages 9-19*, Oxford, OUP.
- WHITE, James (2020), "The Accessibility of Mathematical Notation on the Web and Beyond", *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, vol. 23, núm. 1, pp. 1-14.
- XU, Hao (2013), *A Support System for Graphics for Visually Impaired People*, Tesis de Doctorado, Electronic Thesis and Dissertation (Canadá) Repository 1124, en: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/1124> (consulta: 18 de julio de 2020).