



Revisión bibliográfica sobre materiales didácticos y estrategias pedagógicas para la enseñanza de las matemáticas a personas estudiantes con algún grado de discapacidad visual

| Bibliographic review about teaching materials and pedagogical strategies for students with visual impairments |

| Revisão bibliográfica sobre materiais didáticos e estratégias pedagógicas para o ensino da matemática a estudantes com algum grau de deficiência visual |

 **Alexander Borbón Alpízar**

aborbon@itcr.ac.cr

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica

Recibido: 9 junio 2025

Aceptado: 20 diciembre 2025

Resumen: La enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual plantea desafíos únicos que requieren estrategias pedagógicas inclusivas, materiales didácticos accesibles y el uso de tecnologías adaptativas. Este artículo presenta una revisión comprensiva de los fundamentos teóricos de la educación inclusiva, teorías de aprendizaje aplicadas al contexto visual, investigaciones previas sobre el tema, y una recopilación detallada de materiales táctiles, digitales y en braille utilizados en el aula. También se analizan instrumentos de evaluación adaptados, estrategias pedagógicas eficaces y casos de implementación exitosa en diferentes países. A través de testimonios y buenas prácticas, se evidencia el impacto positivo de estas adaptaciones en la comprensión matemática, la autonomía y la participación estudiantil. Las conclusiones destacan la necesidad de una formación docente especializada y de un enfoque interdisciplinario para garantizar el derecho a una educación matemática equitativa y de calidad para todas las personas estudiantes, sin importar su condición visual.

Palabras Clave: Educación inclusiva, discapacidad visual, enseñanza de las matemáticas, materiales táctiles, tecnología asistiva, evaluación adaptada, accesibilidad educativa.

Abstract: Teaching mathematics to students with visual impairments presents unique challenges that require inclusive pedagogical strategies, accessible teaching materials, and adaptive technologies. This article offers a comprehensive review of the theoretical foundations of inclusive education, learning theories adapted to visual disability, previous research findings, and a detailed inventory of tactile, digital, and braille-based instructional tools used in math education. It also examines adapted assessment instruments, effective teaching practices, and successful implementation cases from various countries. Through personal testimonies and examples of best practices, the article highlights the

¹Alexander Borbón Alpízar. Profesor de la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Dirección postal: Central, Cartago, Costa Rica. Código postal: 30101. Correo electrónico: aborbon@itcr.ac.cr.

positive impact of these approaches on mathematical understanding, student autonomy, and participation. The conclusions emphasize the need for specialized teacher training and an interdisciplinary perspective to ensure the right to equitable and high-quality mathematics education for all students, regardless of visual ability.

Keywords: Inclusive education; visual impairment; mathematics education; tactile materials; assistive technology; adapted assessment; educational accessibility.

Resumo: O ensino da matemática para pessoas com deficiência visual apresenta desafios únicos que exigem estratégias pedagógicas inclusivas, materiais didáticos acessíveis e o uso de tecnologias adaptativas. Este artigo apresenta uma revisão abrangente dos fundamentos teóricos da educação inclusiva, teorias de aprendizagem aplicadas ao contexto visual, pesquisas anteriores sobre o tema e uma compilação detalhada de materiais táteis, digitais e em braile utilizados em sala de aula. Também são analisados instrumentos de avaliação adaptados, estratégias pedagógicas eficazes e casos de implementação bem-sucedida em diferentes países. Por meio de depoimentos e boas práticas, evidencia-se o impacto positivo dessas adaptações na compreensão matemática, na autonomia e na participação estudantil. As conclusões destacam a necessidade de uma formação docente especializada e de uma abordagem interdisciplinar para garantir o direito a uma educação matemática equitativa e de qualidade para todos os estudantes, independentemente de sua condição visual.

Palavras-chave: Educação inclusiva; deficiência visual; ensino de matemática; materiais táteis; tecnologia assistiva; avaliação adaptada; acessibilidade educacional.

1. Introducción

La enseñanza de las matemáticas es fundamental para el desarrollo cognitivo, la autonomía y la inclusión social de todas las personas, incluidas aquellas con discapacidad visual. Las matemáticas no solo son una herramienta esencial para la vida cotidiana, sino que también abren puertas a oportunidades académicas y profesionales. Para las personas con discapacidad visual, el dominio de esta disciplina representa un desafío particular, pero también una oportunidad de empoderamiento y equidad.

En un mundo cada vez más orientado hacia la tecnología y los datos, las habilidades matemáticas son clave para acceder a campos como la ciencia, la ingeniería, la economía y la informática. Sin embargo, las personas con discapacidad visual enfrentan barreras significativas en su aprendizaje debido a la naturaleza altamente visual de muchos conceptos y representaciones matemáticas. Gráficos, diagramas, fórmulas y símbolos suelen presentarse en formatos no accesibles, dificultando su comprensión y aplicación.

Enseñar matemáticas a personas con discapacidad visual no solo requiere adaptaciones en los materiales y métodos, sino también un enfoque pedagógico que promueva la exploración táctil, el desarrollo de la imaginación espacial y el razonamiento abstracto. Es fundamental que los educadores cuenten con herramientas y estrategias adecuadas que permitan a estos estudiantes no solo adquirir conocimientos, sino también desarrollar confianza en sus capacidades y participar activamente en su entorno académico y profesional.

La enseñanza de esta materia a estudiantes con discapacidad visual implica una serie de desafíos específicos que deben abordarse con atención y compromiso. Entre los más relevantes se encuentran:

- **Representación de conceptos visuales y espaciales:** Las matemáticas dependen en gran medida de representaciones como gráficos, diagramas y tablas. La inaccesibilidad de estos recursos representa un obstáculo importante para la comprensión de temas como geometría, funciones y álgebra. La escasez de materiales táctiles adecuados y la dificultad para traducir contenidos visuales a formatos accesibles (táctiles o auditivos) agravan esta situación.

- **Acceso a materiales didácticos:** Muchos materiales tradicionales, como libros de texto, pizarras y presentaciones digitales, no están diseñados para ser accesibles. La limitada disponibilidad de recursos en braille o de herramientas tecnológicas adaptadas restringe el acceso equitativo a la educación matemática.
- **Formación docente:** Frecuentemente, el personal docente carece de formación específica para atender las necesidades de estudiantes con discapacidad visual. Esto incluye tanto el conocimiento de estrategias pedagógicas como el uso de recursos y tecnologías asistivas.
- **Evaluación y retroalimentación:** Las formas tradicionales de evaluación, centradas en lo visual, pueden poner en desventaja a las personas estudiantes con discapacidad visual. Adaptar instrumentos de evaluación y ofrecer retroalimentación significativa y accesible requiere tiempo, creatividad y preparación especializada.
- **Desarrollo de habilidades espaciales y abstractas:** Estas habilidades, esenciales para el aprendizaje matemático, pueden resultar más complejas de desarrollar en ausencia de estímulos visuales. Es necesario implementar enfoques multisensoriales —táctiles, auditivos y kinestésicos— que favorezcan su construcción.
- **Inclusión en el aula regular:** En contextos inclusivos, donde conviven estudiantes con y sin discapacidad visual, es un reto equilibrar las necesidades de todos. El equipo docente deben adaptar sus prácticas sin comprometer el ritmo general del grupo.

Ante este panorama, la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual exige un enfoque multifacético que considere el desarrollo de materiales accesibles, la capacitación del profesorado, la adaptación de métodos de evaluación y la implementación de estrategias pedagógicas inclusivas. Solo así se puede garantizar el acceso equitativo a una educación matemática de calidad.

Este artículo tiene como su principal objetivo recopilar y analizar los materiales didácticos, instrumentos y estrategias pedagógicas más recientes utilizados en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual. En particular, se propone:

- Presentar una revisión detallada de materiales táctiles, tecnológicos y digitales efectivos en la enseñanza de las matemáticas, destacando sus ventajas, limitaciones y aplicabilidad en distintos contextos educativos.
- Analizar enfoques pedagógicos exitosos que han facilitado la inclusión de estudiantes con discapacidad visual, y proporcionar recomendaciones prácticas para la adaptación metodológica.
- Examinar el rol de la tecnología asistiva —como lectores de pantalla, calculadoras parlantes y aplicaciones especializadas— en la mejora del aprendizaje y la accesibilidad de los contenidos matemáticos.
- Promover la creación de entornos educativos inclusivos, donde todo el cuerpo estudiantil tenga igualdad de oportunidades para aprender y sobresalir, y resaltar la importancia de la formación continua del profesorado en este ámbito.
- Ofrecer una recopilación bibliográfica actualizada que sirva como base para futuras investigaciones sobre enseñanza inclusiva de las matemáticas.

Se espera que este artículo constituya un recurso valioso para educadores, investigadores y desarrolladores de materiales didácticos, al ofrecer una visión integral de las herramientas y estrategias disponibles para la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual. Al hacerlo, se busca contribuir al fortalecimiento de un sistema educativo más justo, accesible e inclusivo, donde cada estudiante pueda alcanzar su máximo potencial.

2. Marco teórico

La construcción de una educación matemática inclusiva para personas con discapacidad visual requiere una base conceptual sólida que permita comprender los principios pedagógicos que la sustentan, así como los enfoques y estrategias que han demostrado ser eficaces. En este marco teórico se abordan los fundamentos de la educación inclusiva, las principales teorías del aprendizaje aplicadas a este contexto, y una revisión de investigaciones previas que han explorado diversas metodologías, materiales didácticos y recursos tecnológicos para la enseñanza de las matemáticas a estudiantes con discapacidad visual.

El propósito de este apartado es ofrecer un sustento teórico que oriente la selección y análisis de materiales didácticos e instrumentos pedagógicos, destacando los desafíos existentes y las oportunidades de mejora en la práctica docente. Este análisis busca aportar elementos clave para la implementación de estrategias que promuevan la equidad, la participación y el aprendizaje significativo en entornos educativos diversos.

2.1. Fundamentos de la educación inclusiva

La *educación inclusiva* es un enfoque pedagógico que busca garantizar que todas las personas estudiantes, independientemente de sus capacidades, discapacidades, origen étnico, género, estatus socioeconómico u otras características, tengan acceso a una educación de calidad en entornos comunes. Este enfoque se basa en varios principios fundamentales (Ainscow & César, 2006; Booth & Ainscow, 2011; Florian & Black-Hawkins, 2011; Hehir & Katzman, 2012; Mitchell, 2014; Rose & Meyer, 2002) que son esenciales para comprender y aplicar la inclusión en el ámbito educativo, especialmente en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, estos se resumen a continuación.

Derecho a la educación: La educación inclusiva se fundamenta en el derecho universal a la educación, reconocido en diversos tratados internacionales como la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD) de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2006). Este derecho implica que todas las personas, incluidas aquellas con discapacidad visual, deben tener acceso a una educación que les permita desarrollar al máximo sus potencialidades.

Equidad e igualdad de oportunidades: La equidad en la educación no significa tratar a todos por igual, sino proporcionar los recursos y apoyos necesarios para que cada estudiante pueda alcanzar sus objetivos educativos. Esto implica adaptar los métodos de enseñanza, los materiales didácticos y las evaluaciones a las necesidades específicas de la persona estudiante con discapacidad visual.

Participación y sentido de pertenencia: La educación inclusiva promueve la participación activa del estudiantado en el proceso educativo, fomentando un sentido de pertenencia y comunidad. Para las personas estudiantes con discapacidad visual, esto implica no solo estar presentes en el aula, sino también participar plenamente en las actividades de aprendizaje y socialización.

Diversidad como valor: La inclusión reconoce y valora la diversidad como un elemento enriquecedor del proceso educativo. Las diferencias individuales, incluidas las discapacidades, se consideran oportunidades de aprendizaje y crecimiento tanto para las y los estudiantes como para el personal educativo.

Aprendizaje centrado en la persona estudiante: Este enfoque sitúa a la persona estudiante en el centro del proceso educativo, reconociendo que cada individuo posee necesidades, intereses y estilos de aprendizaje únicos. En el caso de las personas estudiantes con discapacidad visual, esto exige diseñar experiencias de aprendizaje accesibles y significativas, utilizando métodos y materiales que se ajusten a sus capacidades y preferencias.

Colaboración y trabajo en equipo: La educación inclusiva requiere la colaboración de diversos actores: docentes, especialistas, familias y comunidad. Este trabajo conjunto es fundamental para identificar y proporcionar los apoyos necesarios que favorezcan el éxito de las personas estudiantes con discapacidad visual en el aprendizaje de las matemáticas.

Accesibilidad universal: La accesibilidad constituye un principio clave de la inclusión. Implica eliminar barreras físicas, sensoriales, cognitivas y actitudinales que puedan limitar el acceso y la participación. En el contexto de la enseñanza de las matemáticas, la accesibilidad se traduce en la disponibilidad de materiales táctiles, tecnologías asistivas y métodos didácticos comprensibles y utilizables por todo el estudiantado.

Formación y desarrollo profesional docente: Para implementar con éxito la educación inclusiva, es indispensable que el equipo docente reciba formación continua. Esto incluye estrategias pedagógicas inclusivas, uso de tecnologías y materiales adaptados, y comprensión profunda de las necesidades de las y los estudiantes con discapacidad visual.

Estos principios orientan la construcción de entornos educativos en los que toda la comunidad estudiantil, independientemente de sus capacidades, puedan aprender, desarrollarse y prosperar académicamente.

2.2. Teorías de aprendizaje aplicadas a personas con discapacidad visual

Las teorías del aprendizaje proporcionan un marco conceptual para comprender cómo las personas adquieren conocimientos y desarrollan habilidades. En el caso de las personas con discapacidad visual, estas teorías deben interpretarse y aplicarse considerando las formas en que la ausencia o limitación de visión modifica las experiencias sensoriales y cognitivas. A continuación, se presentan algunas de las teorías más relevantes y su aplicación en la enseñanza de las matemáticas a este grupo de estudiantes.

Constructivismo

El constructivismo, desarrollado por teóricos como Jean Piaget y Lev Vygotsky, sostiene que los aprendices construyen activamente su conocimiento mediante la interacción con el entorno y la reflexión sobre sus experiencias (Vygotsky, 1978).

Para las personas estudiantes con discapacidad visual, esta perspectiva implica el diseño de experiencias de aprendizaje que prioricen lo táctil y lo auditivo, facilitando el contacto directo con los objetos matemáticos. El uso de materiales como regletas, ábacos y maquetas táctiles permite que los conceptos se internalicen a través de la exploración sensorial concreta.

Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel

Ausubel (1968) postuló que el aprendizaje se vuelve significativo cuando la nueva información se integra de manera sustancial y no arbitraria en la estructura cognitiva del estudiantado, es decir, cuando se relaciona con conocimientos previos.

En el caso de personas con discapacidad visual, esto implica vincular nuevos conceptos matemáticos con experiencias sensoriales conocidas, utilizando analogías accesibles desde lo táctil o auditivo. Por ejemplo, al introducir fracciones, se pueden usar objetos divisibles o sonidos rítmicos que representen particiones.

Teoría del Aprendizaje Social de Bandura

Bandura (1977) enfatiza que el aprendizaje ocurre en gran medida por observación, imitación y modelado, en un proceso influido también por factores cognitivos y motivacionales.

Dado que la observación visual directa no siempre es posible para estudiantes con discapacidad visual, es esencial promover el aprendizaje social mediante descripciones verbales detalladas, retroalimentación explícita y modelado táctil de procedimientos matemáticos. Las actividades colaborativas también pueden fomentar el aprendizaje por interacción.

Teoría de las Inteligencias Múltiples de Gardner

H. Gardner (1983) propuso que existen múltiples tipos de inteligencia, entre ellas la lógico-matemática, lingüística, espacial, musical y kinestésica, y que cada persona posee un perfil único de fortalezas.

En la enseñanza de las matemáticas a estudiantes con discapacidad visual, es fundamental identificar y potenciar otras inteligencias que puedan apoyar el aprendizaje. Por ejemplo, utilizar el ritmo y la música para enseñar patrones, o actividades físicas manipulativas para abordar conceptos geométricos mediante la inteligencia kinestésica.

Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL)

El Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL, por sus siglas en inglés) es un enfoque propuesto por Rose y Meyer (2002) que promueve la creación de entornos educativos flexibles, ofreciendo múltiples formas de representación, expresión y compromiso.

En el contexto de la discapacidad visual, aplicar el UDL significa proporcionar materiales en braille, representaciones táctiles, descripciones auditivas, y permitir diversas formas de demostrar el aprendizaje, como respuestas orales, grabaciones o manipulaciones físicas.

Teoría del Aprendizaje Experiencial de Kolb

Kolb (1984) conceptualizó el aprendizaje como un ciclo compuesto por experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa.

Esta teoría se adapta especialmente bien al contexto de estudiantes con discapacidad visual, al enfatizar la importancia del contacto directo con los contenidos. Actividades como la manipulación de figuras tridimensionales, la exploración de gráficos en relieve o la simulación de situaciones matemáticas mediante experiencias reales permiten vivenciar y consolidar aprendizajes de manera significativa.

Las teorías descritas anteriormente ofrecen un marco conceptual para diseñar estrategias pedagógicas que respondan a las necesidades del estudiantado con discapacidad visual. Su adecuada aplicación permite crear entornos de aprendizaje accesibles, significativos y enriquecedores, donde todas las personas estudiantes puedan desarrollar su potencial matemático.

2.3. Investigaciones previas sobre la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual

La enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual ha sido objeto de múltiples investigaciones que buscan identificar estrategias efectivas, materiales adecuados y enfoques pedagógicos

que favorezcan el aprendizaje. Sin embargo, no todos los estudios han reportado resultados positivos. En varios casos, los hallazgos revelan desafíos, limitaciones o resultados mixtos, lo que refleja la complejidad de este campo y la necesidad de seguir profundizando en prácticas inclusivas eficaces.

A continuación, se presentan algunas investigaciones relevantes y sus hallazgos principales, incluyendo tanto resultados prometedores como aquellos que evidencian limitaciones importantes.

Karshmer y Bledsoe (2002) estudiaron el uso de materiales táctiles, como gráficos en relieve y regletas, para la enseñanza de conceptos matemáticos a estudiantes con discapacidad visual. Encontraron que estos materiales mejoran significativamente la comprensión de ideas abstractas y espaciales. No obstante, Edwards y Lewis (1998) advirtieron que la efectividad de los materiales táctiles depende en gran medida de la experiencia previa del estudiantado con este tipo de representación y de su habilidad para interpretar información táctil ya que, en su investigación, determinaron que algunos participantes tuvieron dificultades para comprender representaciones complejas, como gráficos tridimensionales o diagramas abstractos.

Lahav et al. (2012) analizaron el impacto de la tecnología asistiva, como los lectores de pantalla y calculadoras parlantes, en el aprendizaje matemático. Sus resultados indicaron que estas herramientas mejoran la accesibilidad y fomentan la autonomía del estudiantado. Sin embargo, Baker et al. (2015) señalaron que, aunque la tecnología asistiva puede ser beneficiosa, su implementación no siempre es efectiva, en particular, algunos estudiantes encontraron que el software no representaba con precisión la notación matemática compleja, lo que generó confusiones y errores. Esto sugiere la necesidad de evaluar cuidadosamente la idoneidad tecnológica según el contenido matemático.

Dick y Kubiak (1997) exploraron estrategias pedagógicas como la enseñanza multisensorial y el aprendizaje cooperativo, hallando que ambas mejoran la participación y el rendimiento académico de estudiantes con discapacidad visual. Por su parte, Ferrell et al. (2006) también examinaron el uso de estrategias multisensoriales, en este caso, aunque algunos estudiantes mostraron avances notables, otros —especialmente aquellos con discapacidades adicionales o limitaciones cognitivas— no se beneficiaron en igual medida, lo que apunta a la necesidad de enfoques diferenciados.

En cuanto a las adaptaciones curriculares, Amato et al. (2013) investigaron el uso de ejemplos concretos y la simplificación de problemas matemáticos, concluyendo que estas adaptaciones facilitan la comprensión y retención de conceptos clave. Sin embargo, Smith y Smothers (2012) observaron que, aunque necesarias, muchas adaptaciones curriculares resultan superficiales debido a la falta de tiempo, recursos y formación docente, impidiendo atender adecuadamente las necesidades de las personas estudiantes.

El código Nemeth, un sistema de notación matemática en braille, fue evaluado por su creador Nemeth (1972), quien concluyó que su uso mejora la precisión y eficiencia en la resolución de ejercicios matemáticos. No obstante, Rosenblum et al. (2011) encontraron que su complejidad y la falta de formación específica por parte del profesorado dificultaban su implementación efectiva, especialmente para estudiantes principiantes.

Respecto al aprendizaje cooperativo, D. W. Johnson y Johnson (1999) evidenciaron que esta estrategia mejora la comprensión, la motivación y la interacción social entre estudiantes con discapacidad visual.

En relación con la formación docente, Smith y Kelley (2007) concluyeron que aquellas personas docentes que recibieron capacitación en estrategias inclusivas y uso de materiales adaptados logran mejores resultados con sus estudiantes. Sin embargo, Amato et al. (2013) encontraron que muchas personas del personal docente no reciben formación suficiente en estos temas, lo cual limita la calidad de la enseñanza e incluso puede llevar a la exclusión inadvertida de ciertos alumnos.

Finalmente, Healy y Fernandes (2011) destacaron que el estudiantado con discapacidad visual enfrenta desafíos particulares en el aprendizaje de conceptos abstractos, como el álgebra y la geometría avanzada. Incluso con materiales táctiles y tecnología asistiva, algunas personas estudiantes no logra-

ron comprender plenamente estos contenidos.

Estos estudios evidencian tanto avances significativos como barreras persistentes en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual. Entre los desafíos más frecuentes identificados se encuentran:

- La complejidad en la interpretación de materiales táctiles.
- Limitaciones tecnológicas para representar notación matemática avanzada.
- Falta de formación docente en estrategias inclusivas y uso de recursos adaptados.
- Dificultades en la enseñanza de contenidos abstractos y de nivel avanzado.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de continuar investigando, desarrollando e implementando enfoques pedagógicos innovadores, así como de fortalecer la formación docente y el acceso a recursos educativos inclusivos, para garantizar una enseñanza de las matemáticas verdaderamente accesible y efectiva.

3. Materiales Didácticos

Los materiales didácticos son herramientas clave para hacer que los conceptos matemáticos sean accesibles y comprensibles para estudiantes con discapacidad visual. En esta sección, se describen los materiales más utilizados -muchos mencionados en las investigaciones de la sección anterior-, como regletas, ábacos, gráficos en relieve y tecnología asistiva. Además, se analiza cómo estos recursos pueden adaptarse a las necesidades individuales de las personas estudiantes, facilitando su participación activa en el proceso de aprendizaje.

3.1. Materiales táctiles

Los materiales táctiles constituyen una de las herramientas más importantes en la enseñanza de las matemáticas a estudiantes con algún grado de discapacidad visual, ya que permiten la manipulación concreta y la exploración activa de conceptos que, tradicionalmente, se presentan de forma visual. Estos recursos transforman las ideas abstractas en experiencias sensoriales accesibles, facilitando la comprensión de relaciones numéricas, operaciones, formas geométricas y estructuras espaciales.

El uso de materiales táctiles no solo promueve el aprendizaje significativo, sino que también favorece la autonomía, la motivación y la participación activa de cada estudiante. Además, permite a las personas docentes adaptar sus estrategias pedagógicas al ritmo y estilo de aprendizaje de cada estudiante, fomentando un entorno inclusivo y equitativo.

A continuación, se describen algunos de los materiales táctiles más utilizados en la práctica educativa con estudiantes con discapacidad visual, sus aplicaciones didácticas y ejemplos de uso concreto.

Regletas

Las regletas Cuisenaire (1954) son materiales manipulativos rectangulares de distintos tamaños y colores, diseñadas para representar valores numéricos mediante su longitud (Figura 1). Aunque fueron originalmente desarrolladas para apoyar el aprendizaje de las matemáticas en general, su valor



Figura 1: De Cuisenaire rods, por Joxemai4, 2009, Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cuisenaire_zotzak.jpg). Dominio público.

didáctico se ha demostrado especialmente útil en la enseñanza a personas con discapacidad visual, al permitir la representación táctil de operaciones y relaciones numéricas.

Cada regleta tiene una longitud proporcional a un número entero del 1 al 10, lo que facilita la exploración táctil de conceptos como suma, resta, multiplicación, división y fracciones. Al prescindir del canal visual, la persona estudiante puede manipular las regletas para construir equivalencias, descubrir patrones numéricos y establecer relaciones de magnitud de forma tangible. Por ejemplo, al unir una regleta de longitud 2 y una de longitud 1, la persona estudiante puede comprobar, por comparación táctil, que juntas igualan a la regleta de longitud 3 (Figura 2a).

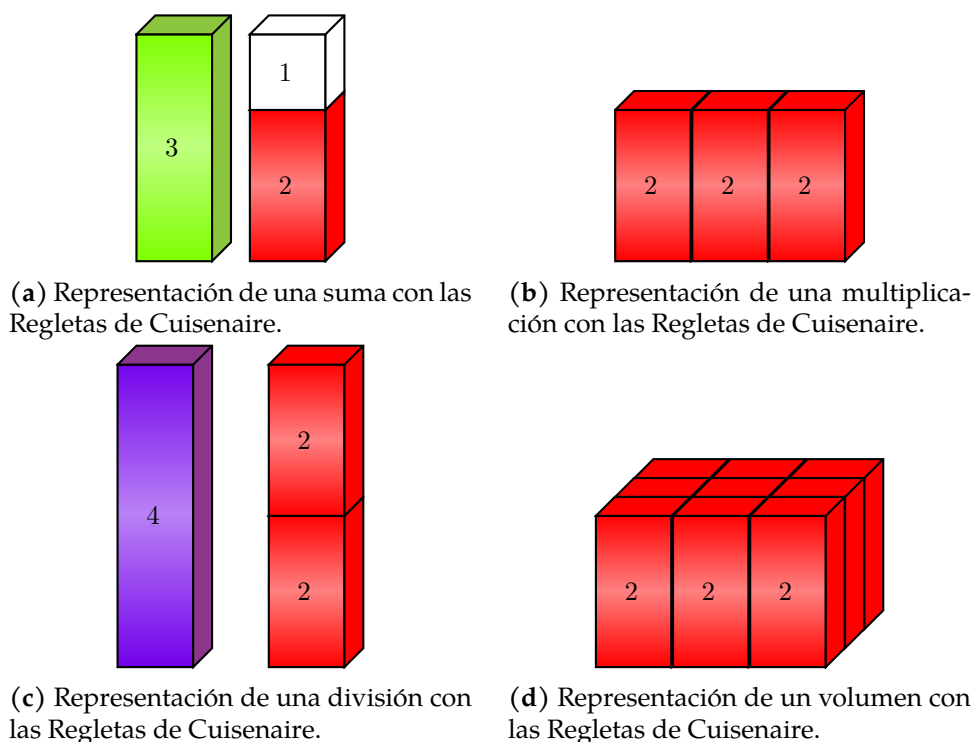


Figura 2: Representación de operaciones con las Regletas de Cuisenaire. Fuente: elaboración propia.

Este tipo de experiencia concreta favorece la construcción de significados matemáticos, en línea con el enfoque constructivista del aprendizaje, donde el conocimiento se genera a partir de la interacción activa con el entorno (Ausubel, 1968; Vygotsky, 1978). En el caso de estudiantes con discapacidad visual, estas interacciones requieren medios sensoriales alternativos, siendo el tacto una vía privilegiada.

Las regletas son particularmente eficaces en las primeras etapas del aprendizaje, ya que ayudan a desarrollar nociones de cardinalidad, descomposición numérica, comparación y relaciones proporcionales. Sin embargo, su uso puede extenderse a niveles más avanzados, mediante actividades de modelado algebraico, resolución de problemas y exploración de patrones.

Como un ejemplo didáctico, para enseñar la operación $2 + 3$, la persona estudiante puede colocar la regleta del número 2 junto a la del número 3 y, por comparación táctil, buscar la regleta cuya longitud coincida con la suma total, es decir, la del número 5. Esta acción permite internalizar el concepto de adición de manera sensorial y significativa.

Ábacos

El ábaco, según Sorrell (2006), es una herramienta milenaria que ha demostrado ser altamente eficaz en la enseñanza de conceptos numéricos y operaciones aritméticas. En el contexto de la educación matemática para personas con discapacidad visual, el ábaco —especialmente el ábaco Cranmer (Figura 3)— se adapta perfectamente a las necesidades táctiles de cada estudiante, permitiendo una representación clara y manipulable del valor posicional de los números.

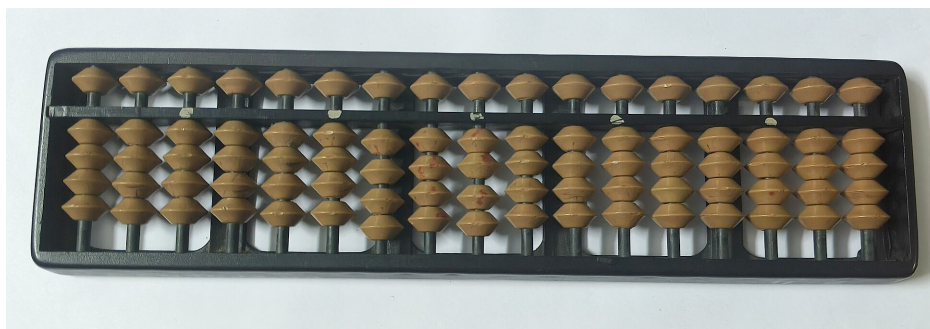


Figura 3: De This is Abacus kit which is used for calculation, por Manju Thilagavathi, 2024, Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abacus_Kit.jpg). Dominio Público.

Este instrumento consta de un marco con varillas, cada una de las cuales representa una categoría posicional (unidades, decenas, centenas, etc.). Las cuentas móviles se desplazan a lo largo de las varillas y su posición determina el valor numérico. A través del tacto, las personas estudiantes pueden configurar y operar números, realizar cálculos y comprender la estructura del sistema decimal sin depender de la vista.

Su uso fomenta la autonomía y fortalece habilidades de cálculo mental, ya que obliga al estudiantado a pensar en la lógica de las operaciones y en el valor de cada posición. Además, se alinea con teorías como el aprendizaje significativo de Ausubel (1968), al conectar nuevos conceptos con estructuras cognitivas previas mediante la experiencia sensorial directa.

Se puede utilizar el ábaco para representar la suma de $23 + 15$, por ejemplo, la persona estudiante coloca 2 cuentas en la varilla de las decenas y 3 en la de las unidades para el primer número, luego suma 1 decena y 5 unidades para el segundo. Al combinar las cuentas y aplicar la lógica del valor posicional, obtiene el resultado final: 3 decenas y 8 unidades (38).

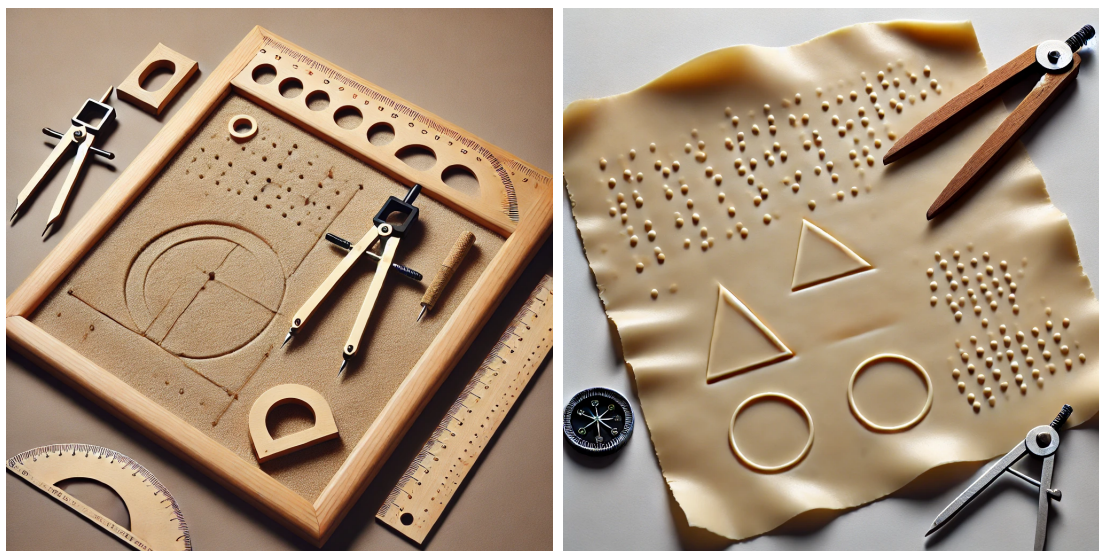
Gráficos en Relieve

Los gráficos en relieve, de acuerdo con Edman (1992), son representaciones táctiles de elementos visuales como diagramas, funciones matemáticas, figuras geométricas, tablas o mapas. Constituyen un recurso didáctico esencial en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual,

ya que permiten la exploración espacial mediante el sentido del tacto, facilitando la comprensión de estructuras y relaciones que de otro modo serían inaccesibles.

Estos materiales pueden elaborarse mediante papel termoformado (se puede ver un video del proceso en <https://www.youtube.com/watch?v=foyc4KzmG9g>), impresoras braille gráficas, punzones y papel microcápsula y otros medios que permitan generar texturas, líneas, puntos y superficies elevadas (Figura 4). Su uso está especialmente indicado en temas como geometría, funciones, estadística y álgebra, donde la organización espacial de los elementos es clave para el aprendizaje.

Los gráficos en relieve, al proporcionar una experiencia sensorial directa, favorecen el desarrollo de habilidades como la percepción espacial, la orientación táctil y la interpretación simbólica. Se alinean con principios del aprendizaje experiencial (Kolb, 1984) y del diseño universal para el aprendizaje (Rose & Meyer, 2002), al ofrecer una forma alternativa de representación que respeta la diversidad estudiantil.



(a) Tablero de fieltro.

(b) Lámina de caucho.

Figura 4: Distintas figuras realizadas con material en relieve. Fuente: Representaciones conceptuales generadas mediante IA.

Por ejemplo, se puede utilizar para enseñar el concepto de pendiente en una función lineal, se puede proporcionar un gráfico en relieve donde la persona estudiante pueda seguir con los dedos la inclinación de una recta trazada sobre un plano cartesiano táctil. Esto le permitirá comprender cómo varía la pendiente y cómo se relaciona con la razón de cambio entre dos puntos.

Geoplano Táctil

El geoplano táctil (Gattegno, 1971) es una herramienta didáctica compuesta por una superficie cuadrículada con clavijas o puntos en relieve, sobre los cuales pueden colocarse bandas elásticas para construir figuras geométricas (ver Figura 5). En la enseñanza de las matemáticas a estudiantes con discapacidad visual, este recurso permite explorar activamente conceptos relacionados con la geometría, como forma, perímetro, área, simetría, ángulos y coordenadas.

A través del uso del tacto, las personas estudiantes pueden formar triángulos, cuadrados, rectángulos, paralelogramos y otras figuras, percibiendo sus características estructurales mediante la tensión de las bandas y la ubicación de las clavijas. Esta interacción sensorial favorece la comprensión espacial, el razonamiento geométrico y el aprendizaje experiencial, como plantean las teorías de Kolb (1984) y H. Gardner (1983).



Figura 5: De Close-Up Photo of Kids Playing Geoboard, por I. S., 2021, Pexels (<https://www.pexels.com/photo/close-up-photo-of-kids-playing-geoboard-8504340/>). CC.

El geoplano táctil también es útil para representar funciones y relaciones en coordenadas, y puede ser empleado tanto en actividades individuales como cooperativas. Su bajo costo, facilidad de uso y versatilidad lo convierten en un recurso accesible y potente dentro del aula inclusiva.

Por ejemplo, el geoplano se puede utilizar para enseñar el concepto de perímetro, así, se le solicita a la persona estudiante que forme un rectángulo de 3×2 unidades sobre el geoplano y que luego cuente las clavijas o mida con una cuerda la longitud total de los lados formados con bandas elásticas. Esta actividad ayuda a interiorizar la noción de perímetro a través del tacto.

Cubos y bloques de construcción

Los cubos y bloques de construcción (Moyer et al., 2002) son materiales manipulativos versátiles que permiten representar y explorar conceptos matemáticos de forma concreta, especialmente útiles en la enseñanza a estudiantes con discapacidad visual (ver Figura 6). Estos elementos, al ser tridimensionales, permiten al estudiantado percibir a través del tacto propiedades como forma, volumen, cantidad, simetría y patrones espaciales, favoreciendo así el desarrollo del razonamiento lógico y geométrico.

Su uso didáctico abarca desde la introducción de operaciones básicas (como la suma y la multiplicación mediante agrupaciones de bloques) hasta el modelado de cuerpos geométricos, estructuras simétricas y resolución de problemas vinculados al volumen y al espacio. Esta forma de representación sensorial se enmarca dentro del enfoque del aprendizaje experiencial de Kolb (1984), en el que la persona estudiante construye su conocimiento a partir de la manipulación activa del entorno.

Además, el uso de bloques fomenta el trabajo cooperativo y el pensamiento crítico, ya que pueden integrarse en actividades de construcción libre, estimación, medición y comparación. Estas experiencias enriquecen el aprendizaje matemático, especialmente cuando se combinan con el lenguaje oral, permitiendo descripciones y razonamientos que complementan la percepción táctil.

Este material se puede utilizar, por ejemplo, para enseñar la multiplicación 3×4 , la persona estudiante puede construir tres filas de cuatro bloques y luego contar el total de piezas mediante el tacto.



Figura 6: De Bloque de juguete, por PxHere, 2017, PxHere (<https://pxhere.com/es/photo/738497>).CC0.

Esta experiencia concreta fortalece la comprensión del producto como suma repetida y como arreglo rectangular.

Tableros de Fracciones

Los tableros de fracciones (véase la Figura 7), de acuerdo con Cramer y Wyberg (2009), son materiales manipulativos —generalmente elaborados en madera— diseñados para representar, de forma visual y táctil, distintas fracciones mediante piezas circulares, rectangulares o lineales que pueden ensamblarse para completar un todo. En el contexto de la educación matemática para personas con discapacidad visual, estos tableros permiten al estudiantado experimentar de manera concreta conceptos abstractos como la equivalencia, la comparación, la suma, la resta y la conversión de fracciones.

$\frac{1}{1}$									
$\frac{1}{2}$					$\frac{1}{2}$				
$\frac{1}{3}$			$\frac{1}{3}$			$\frac{1}{3}$			
$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{4}$	
$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$
$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$
$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$

Figura 7: Tablero de Fracciones. Fuente: elaboración propia.

Cada pieza del tablero representa una fracción (por ejemplo, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$) y puede ser manipulada táctilmente para formar combinaciones que visualicen cómo distintas fracciones se relacionan entre sí y con la unidad. Esta interacción directa promueve el aprendizaje significativo (Ausubel, 1968) y apoya el desarrollo de la noción de parte-todo, esencial en la comprensión de las fracciones.

El uso de tableros de fracciones también estimula el pensamiento lógico y la resolución de problemas, además de facilitar la transición hacia la comprensión de fracciones equivalentes, decimales y porcentajes. Su aplicación puede adaptarse a diversos niveles de complejidad según las necesidades de cada estudiante.

Como ejemplo, para representar la suma $\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$, la persona estudiante coloca en el tablero la pieza de $\frac{1}{2}$ y la de $\frac{1}{4}$, y luego observa (táctilmente) que juntas ocupan tres cuartos del total. Esta experiencia sensorial facilita la comprensión de la adición de fracciones con distinto denominador.

Rectas Numéricas Táctiles

Las rectas numéricas táctiles (Siegler & Booth, 2004) son representaciones lineales en relieve que permiten explorar secuencias numéricas y operaciones aritméticas mediante el sentido del tacto. Están diseñadas con marcas elevadas o texturizadas que indican valores numéricos espaciados regularmente, a menudo acompañadas de referencias en braille o símbolos táctiles.

Este recurso es especialmente útil para estudiantes con discapacidad visual, ya que facilita la comprensión de conceptos como la suma, la resta, la multiplicación por desplazamiento, y la ubicación de números enteros, fracciones o decimales en la recta numérica. También permite representar relaciones de orden y comprender la magnitud relativa de los números de forma concreta.

La manipulación de rectas numéricas táctiles fortalece la orientación espacial, el pensamiento lógico y la estructuración mental del sistema numérico. Desde el enfoque del aprendizaje constructivista, estas herramientas permiten que la persona estudiante descubra por sí mismo patrones y relaciones entre números a través de la exploración activa.

Por ejemplo, para representar la operación $7 - 3$, la persona estudiante coloca su dedo sobre la marca correspondiente al número 7 y se desplaza tres posiciones hacia la izquierda, hasta llegar al número 4. Esta acción táctil permite internalizar el proceso de la resta como un desplazamiento en la recta numérica.

Con los ejemplos anteriores se desea mostrar que los materiales táctiles son una parte fundamental de la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, ya que permiten al estudiante interactuar con conceptos abstractos de manera concreta y accesible. Sin embargo, su efectividad depende en gran medida de la calidad del material, la capacitación del profesorado y la adaptación a las necesidades individuales de cada estudiante.

En conjunto, los materiales táctiles ofrecen oportunidades valiosas para que las personas estudiantes con discapacidad visual construyan el conocimiento matemático de manera concreta, activa y significativa. Estos recursos permiten compensar la falta de acceso visual mediante el tacto, favoreciendo el desarrollo del pensamiento lógico, la percepción espacial y la comprensión profunda de los conceptos.

No obstante, su efectividad depende en gran medida de la calidad del diseño, la contextualización didáctica y la mediación pedagógica de la persona docente. Es fundamental que los materiales se adapten a las necesidades individuales del estudiantado y que se integren en prácticas inclusivas que promuevan la participación y el aprendizaje de todos. En este sentido, los materiales táctiles no son únicamente ayudas técnicas, sino instrumentos que amplían las posibilidades de acceso, equidad y empoderamiento en el aprendizaje matemático.

3.2. Tecnología asistiva: software de lectura de pantalla, calculadoras parlantes, etc.

La tecnología asistiva ha transformado profundamente el acceso a la educación para las personas con discapacidad visual, especialmente en áreas como las matemáticas, donde tradicionalmente predominan representaciones visuales. Este conjunto de herramientas, dispositivos y aplicaciones digitales está diseñado para compensar limitaciones sensoriales y potenciar la autonomía, la participación y el rendimiento académico de la comunidad estudiantil.

En el contexto matemático, la tecnología asistiva permite al estudiantado acceder a materiales didácticos, procesar información simbólica compleja, realizar cálculos, representar gráficamente funciones y resolver problemas de forma independiente. A través de lectores de pantalla, calculadoras parlantes, software de notación matemática en braille y aplicaciones móviles, se han ampliado significativamente las oportunidades de aprendizaje y expresión para las personas estudiantes con discapacidad visual.

El uso efectivo de estas tecnologías requiere no solo la disponibilidad del recurso, sino también formación docente adecuada y una planificación didáctica que integre las herramientas dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, es esencial considerar la compatibilidad de estas tecnologías con los estilos de aprendizaje del estudiantado, así como su nivel de alfabetización digital y braille.

En esta sección se presentan algunas de las tecnologías asistivas más utilizadas en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, describiendo su funcionalidad, ejemplos de uso en el aula y evidencia sobre su impacto educativo.

Software de Lectura de Pantalla

Los lectores de pantalla (Lazar et al., 2007) son programas informáticos que convierten el contenido visual de la pantalla en información auditiva o braille, permitiendo a las personas con discapacidad visual acceder a textos, menús, comandos, gráficos y otros elementos digitales. Entre los lectores de pantalla más utilizados se encuentran JAWS (Job Access With Speech), NVDA (NonVisual Desktop Access) y VoiceOver (integrado en los dispositivos de Apple).

En el ámbito educativo, estos programas resultan fundamentales para el acceso a contenidos matemáticos en formato digital, siempre que estos estén correctamente estructurados y codificados. A través de lectores de pantalla, las personas estudiantes pueden navegar por documentos, escuchar ecuaciones, resolver ejercicios, completar evaluaciones e incluso programar o interactuar con plataformas educativas.

Uno de los principales desafíos del uso de lectores de pantalla en matemáticas es la correcta interpretación de la notación matemática. Para ello, se requiere el uso de lenguajes de marcado como MathML o formatos compatibles con LaTeX, así como software adicional que permita una lectura lineal o jerárquica de expresiones matemáticas complejas.

Como ejemplo, una persona estudiante puede usar NVDA junto con un lector de archivos PDF accesibles para escuchar la ecuación $2x + 5 = 15$, navegando con comandos de teclado por cada elemento de la expresión y resolver la ecuación paso a paso mientras recibe retroalimentación auditiva.

Calculadoras Parlantes

Las calculadoras parlantes, en relación con Smith y Smothers (2012), son dispositivos diseñados para proporcionar retroalimentación auditiva durante la realización de operaciones matemáticas. Estas herramientas permiten a aquellas personas con discapacidad visual realizar cálculos de forma autónoma, verificando cada entrada y resultado a través de la voz sintetizada del dispositivo. Existen

versiones físicas, como la Orion TI-36X Talking Scientific Calculator, así como aplicaciones móviles, como Talking Calculator, accesibles desde teléfonos y tabletas.

Estas calculadoras son especialmente útiles en la enseñanza de aritmética, álgebra básica y operaciones con porcentajes, fracciones y raíces. Permiten al estudiantado validar el proceso paso a paso, escuchar los números y operadores introducidos, y corregir errores antes de obtener la respuesta final. Además, fomentan la independencia en la resolución de tareas y evaluaciones matemáticas.

El uso de calculadoras parlantes también representa una ventaja en contextos donde el acceso a tecnologías braille es limitado, ya que requieren menos entrenamiento y son de uso inmediato. No obstante, su implementación debe ir acompañada de estrategias pedagógicas que promuevan la comprensión conceptual y no el uso mecánico del dispositivo.

Un ejemplo del uso didáctico de estos dispositivos puede ser para resolver una expresión como $(3 + 5) \times 2$, la persona estudiante puede introducir los datos en una calculadora parlante, escuchar cada número y operación confirmados por voz, y obtener como resultado el número 16. Esta retroalimentación continua favorece la autoverificación y refuerza el aprendizaje.

Software de Notación Matemática en Braille

El software de notación matemática en braille, según J. A. Gardner y Bulatov (2011), permite a las personas con discapacidad visual escribir, editar y leer expresiones matemáticas utilizando el código braille especializado, como el código Nemeth (ver, por ejemplo, la línea braille electrónica en la Figura 8). Estos programas convierten notación matemática visual en braille y viceversa, facilitando así el acceso a contenidos matemáticos complejos, tanto en la lectura como en la producción de trabajos académicos.



Figura 8: De Persona que usa Braille Writer, por Sigmund, 2019, Unsplash (<https://unsplash.com/es/fotos/persona-que-usa-braille-writer-4MolpDcSlr4>). Licencia Unsplash.

Entre los programas más utilizados se encuentran MathType con complementos para braille, Braille-Math, y editores integrados en dispositivos como Duxbury Braille Translator o los anotadores Orbit Reader. Estas herramientas permiten la representación precisa de ecuaciones, fracciones, exponentes, raíces, matrices y otros elementos propios del lenguaje matemático, siguiendo la sintaxis del código Nemeth o su equivalente en otros sistemas braille.

El uso de este tipo de software es fundamental para el desarrollo de la alfabetización matemática en braille, especialmente en niveles educativos intermedios y avanzados. También permite al cuerpo

docente crear materiales accesibles y evaluar tareas con base en la notación estandarizada utilizada por el estudiantado.

Como un ejemplo, una persona estudiante puede utilizar un editor braille para escribir la suma $\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$, revisar la estructura de la expresión y luego traducirla automáticamente al código Nemeth. Esta representación puede ser impresa en braille o revisada en una línea braille electrónica.

Gráficos Táctiles Digitales

Los gráficos táctiles digitales (Edman, 1992) representan una evolución significativa en la accesibilidad del contenido visual para personas con discapacidad visual. Estos gráficos permiten explorar representaciones matemáticas —como funciones, figuras geométricas, diagramas y datos estadísticos— mediante pantallas hápticas o impresión en relieve, combinando retroalimentación táctil y auditiva.

Herramientas como el Tactile Graphics Assistant (TGA) o el software TactileView permiten a docentes y estudiantes crear representaciones gráficas que luego pueden imprimirse en papel termoformado o microcápsula, o explorarse mediante pantallas dinámicas. Estos gráficos no solo reproducen la forma, sino que pueden incluir descripciones verbales, etiquetas en braille y marcas de orientación.

Su utilidad en el aula de matemáticas es amplia: desde la representación de una parábola o una función lineal, hasta la lectura de histogramas, diagramas de Venn, polígonos o estructuras algebraicas. Estos gráficos facilitan el desarrollo del pensamiento espacial, la visualización conceptual y la comprensión de relaciones entre variables.

Por ejemplo, al estudiar una función cuadrática, la persona estudiante puede explorar un gráfico en relieve que represente la curva de la parábola. Mediante el tacto, puede seguir la trayectoria ascendente y descendente, identificar el vértice y ubicar los puntos de corte con los ejes, mientras escucha las descripciones auditivas asociadas a cada componente.

Aplicaciones Móviles para Matemáticas

Las aplicaciones móviles diseñadas para personas con discapacidad visual representan una vía accesible, portátil y eficaz para el aprendizaje de las matemáticas (Ahmetovic et al., 2014). Estas aplicaciones combinan retroalimentación auditiva, interacción táctil y a menudo funciones de inteligencia artificial para facilitar el acceso a operaciones, gráficos, ejercicios y resolución de problemas desde dispositivos móviles.

Entre las más destacadas se encuentran Math Melodies, que integra juegos sonoros y actividades interactivas orientadas a niños; Seeing AI, que permite escanear ecuaciones impresas y describir su contenido verbalmente; y BlindToolKit, un conjunto de utilidades matemáticas accesibles. Estas herramientas permiten a todo el estudiantado trabajar con números, reconocer texto impreso, resolver cálculos y recibir retroalimentación inmediata desde cualquier lugar.

El valor educativo de estas aplicaciones radica en su accesibilidad inmediata, su portabilidad y su capacidad para adaptarse a distintos niveles de habilidad. También fomentan la autonomía y la motivación, al ofrecer un entorno amigable y dinámico para el estudio de las matemáticas.

Como ejemplo del uso de estas aplicaciones, una persona estudiante puede utilizar Seeing AI para escanear un problema impreso como “Resolver la ecuación: $x^2 = 25$ ”. La aplicación lo convierte en texto digital, lo lee en voz alta y, si se conecta con una calculadora parlante o simbólica, puede ayudar a resolverlo o verificar la respuesta.

Impresoras Braille

Las impresoras braille (Karshmer & Bledsoe, 2002) son dispositivos especializados que permiten la producción de textos y gráficos en braille, transformando documentos digitales en materiales táctiles accesibles para personas con discapacidad visual. En el contexto educativo, son herramientas fundamentales para la elaboración de libros de texto, ejercicios, evaluaciones y materiales de consulta que incluyan tanto notación matemática como representaciones gráficas.

Existen modelos de impresoras braille que permiten imprimir no solo caracteres en braille lineal, sino también gráficos en relieve, combinando texto y elementos visuales adaptados. Entre las más utilizadas se encuentran la Juliet Pro, la Index Braille y las impresoras de papel microcápsula o termoforado utilizadas junto con software como Duxbury o TactileView.

Estas impresoras hacen posible la creación de materiales personalizados según el nivel y el ritmo de aprendizaje de cada estudiante, y son esenciales para garantizar el derecho a una educación equitativa y accesible. También facilitan la evaluación individual, permitiendo que los exámenes sean presentados en el formato más adecuado para el alumnado.

Como ejemplo, una persona docente puede imprimir un examen de álgebra que incluya ecuaciones en braille y gráficos táctiles de funciones. La persona estudiante con discapacidad visual puede leer, interpretar y resolver cada ítem de forma autónoma, utilizando su línea braille o sus dedos para explorar el material impreso.

Sistemas de Realidad Aumentada

Los sistemas de realidad aumentada (RA), de acuerdo con Lahav et al. (2012), son aplicados a la educación inclusiva ofrecen nuevas formas de explorar conceptos matemáticos a través de la combinación de estímulos auditivos, táctiles y, en algunos casos, hápticos. Estas tecnologías superponen información digital a objetos físicos o espacios reales, generando entornos interactivos que pueden ser accesibles para personas con discapacidad visual mediante interfaces sensoriales adaptadas.

En el ámbito matemático, los sistemas de RA permiten representar objetos tridimensionales —como cuerpos geométricos, funciones espaciales o diagramas— que pueden ser manipulados virtualmente. Algunos desarrollos experimentales incluyen el uso de hologramas táctiles o dispositivos con retroalimentación háptica que simulan la percepción de superficies, aristas y volúmenes, como el sistema *Touchable Holograms* o los entornos virtuales diseñados por Lahav et al. (2012).

Estas experiencias inmersivas estimulan la percepción espacial y el pensamiento abstracto, especialmente en la enseñanza de geometría, álgebra tridimensional, cálculo vectorial o física matemática. Aunque aún son recursos en desarrollo y de disponibilidad limitada, representan un campo prometedor para ampliar el acceso a contenidos visualmente complejos.

Por ejemplo, se puede utilizar un sistema de realidad aumentada con retroalimentación táctil para que el estudiantado puede explorar las caras, aristas y vértices de un cubo en 3D, desplazando sus manos sobre un espacio virtual donde recibe estímulos hápticos que simulan el contorno del objeto. Además, puede escuchar descripciones auditivas de las propiedades del sólido mientras interactúa con él.

De esta manera, la tecnología asistiva constituye un pilar fundamental para garantizar el acceso equitativo a la educación matemática de las personas con discapacidad visual. Su diversidad —que abarca desde herramientas tradicionales como las calculadoras parlantes hasta sistemas avanzados de realidad aumentada— ofrece múltiples vías para representar, manipular y comprender los conceptos matemáticos. No obstante, su implementación efectiva exige más que la mera disponibilidad de dispositivos: requiere una planificación pedagógica inclusiva, formación docente continua, y una cuidadosa

adecuación a las necesidades, preferencias y estilos de aprendizaje de cada estudiante.

Al integrar estas tecnologías en el aula, se favorece no solo la adquisición de conocimientos, sino también la autonomía, la autoestima y la participación activa de la persona estudiante con discapacidad visual en el proceso educativo. El avance constante en el desarrollo de tecnologías accesibles representa una oportunidad valiosa para repensar las prácticas tradicionales y construir entornos de aprendizaje más justos, dinámicos y universales.

3.3. Materiales impresos en braille: libros de texto, cuadernos de ejercicios, etc.

El sistema braille ha sido, históricamente, el medio principal de acceso a la lectura y escritura para personas con discapacidad visual. En el ámbito de la educación matemática, los materiales impresos en braille permiten representar tanto texto como notación simbólica especializada, garantizando así la participación activa de la persona que estudia en su proceso de aprendizaje.

Entre estos materiales se incluyen libros de texto, cuadernos de ejercicios, hojas de trabajo, tablas de fórmulas, y gráficos en relieve, todos ellos adaptados mediante el uso del braille estándar o el código Nemeth para notación matemática. Estos recursos no solo facilitan el estudio individual y la resolución de problemas, sino que también permiten la evaluación y producción académica de las y los estudiantes de manera autónoma y digna.

Aunque el uso del braille se ha visto complementado —e incluso en algunos casos desplazado— por tecnologías digitales asistivas, sigue siendo una herramienta insustituible para muchos estudiantes, especialmente en contextos donde se requiere precisión, manipulación simbólica avanzada o aprendizaje táctil estructurado. Esta sección describe los distintos tipos de materiales impresos en braille utilizados en la enseñanza de las matemáticas, sus aplicaciones y su relevancia en el contexto actual.

Libros de Texto en Braille

Los libros de texto en braille, en relación con Amato et al. (2013), son adaptaciones completas de materiales curriculares convencionales, que transforman tanto el contenido textual como los símbolos matemáticos en una versión accesible para personas con discapacidad visual. Estos libros se elaboran utilizando el braille literario y, en el caso de contenidos matemáticos, el código Nemeth u otros sistemas de notación braille especializados, como el braille técnico europeo.

Estos materiales permiten a las personas estudiantes leer de forma autónoma explicaciones, definiciones, ejercicios, ejemplos y problemas, lo que favorece su participación en el aula, el estudio independiente y la preparación para evaluaciones. Su formato puede ser impreso en papel especial mediante impresoras braille de alto relieve o, alternativamente, accedido digitalmente mediante líneas braille electrónicas.

Además, los libros de texto en braille suelen incorporar gráficos en relieve cuando se requiere representar diagramas, figuras geométricas o funciones. En conjunto, estos recursos permiten abordar la matemática con la misma profundidad y rigor que en su versión visual, asegurando el principio de equidad educativa.

De esta manera, por ejemplo, un libro de geometría en braille puede presentar el Teorema de Pitágoras acompañado de un gráfico en relieve de un triángulo rectángulo. La persona estudiante puede leer la explicación con los dedos y explorar las relaciones entre los lados mediante el tacto, interiorizando la fórmula $a^2 + b^2 = c^2$ a través de una experiencia multisensorial.

Cuadernos de Ejercicios en Braille

Los cuadernos de ejercicios en braille, de acuerdo a Karshmer y Bledsoe (2002), son materiales impresos que contienen actividades matemáticas diseñadas para ser leídas y resueltas por estudiantes con discapacidad visual. A diferencia de los libros de texto, estos cuadernos se centran en la práctica de habilidades y procedimientos, presentando en braille los enunciados de los problemas y dejando espacios para que el estudiantado registre sus respuestas también en braille.

Estos materiales son esenciales para desarrollar la fluidez en operaciones aritméticas, la resolución de ecuaciones, la aplicación de fórmulas, y el razonamiento matemático. Su diseño debe considerar la claridad en la disposición de los ejercicios, la correcta transcripción de símbolos matemáticos según el código Nemeth, y la posibilidad de retroalimentación táctil organizada.

El uso de estos cuadernos también fomenta la autonomía, ya que permite al estudiantado practicar de forma independiente y almacenar evidencia de su progreso. Además, pueden ser utilizados para tareas, exámenes y actividades de refuerzo, tanto en el aula como en el hogar.

Por ejemplo, un cuaderno de ejercicios en braille puede presentar una serie de problemas de álgebra lineal, como “Resuelva la ecuación: $3x + 5 = 20$ ”, dejando suficiente espacio para que la persona estudiante escriba los pasos y el resultado utilizando una regla y punzón o un anotador braille.

Gráficas y Diagramas en Braille

Las gráficas y diagramas en braille (Edman, 1992) son representaciones táctiles de contenido visual que han sido adaptadas para ser exploradas mediante el tacto. Incluyen figuras geométricas, gráficas de funciones, diagramas de Venn, tablas de datos, ejes coordenados y otras visualizaciones utilizadas en la enseñanza de las matemáticas. Estas representaciones son elaboradas mediante técnicas de impresión en relieve, termoformado o papel microcápsula, y pueden incluir etiquetas en braille o indicaciones auditivas complementarias.

Este tipo de material es fundamental para el desarrollo del pensamiento espacial, la comprensión de relaciones funcionales y la interpretación de datos visuales. Permiten el acceso a estudiantes con discapacidad visual a la dimensión gráfica de la matemática, que suele representar una barrera significativa en su aprendizaje.

El diseño de gráficos táctiles efectivos requiere considerar aspectos como el espaciado, la textura, el contraste táctil y la simplicidad del diseño. Su inclusión en materiales curriculares o de evaluación fortalece la equidad educativa y promueve una experiencia sensorial rica y significativa.

Como ejemplo didáctico, una gráfica en braille puede representar la función $y = 2x + 1$ mediante una línea en relieve sobre un plano cartesiano con ejes también marcados táctilmente. La persona estudiante puede seguir la pendiente de la recta con los dedos, identificar su intersección con el eje y y reconocer el crecimiento constante de la función.

Hojas de Trabajo en Braille

Las hojas de trabajo en braille (Smith & Kelley, 2007) son recursos didácticos impresos que presentan ejercicios, problemas o actividades matemáticas diseñadas para ser resueltas de forma individual por estudiantes con discapacidad visual. A diferencia de los cuadernos estructurados, estas hojas suelen estar enfocadas en objetivos específicos, como la práctica de una habilidad puntual, la evaluación formativa o el refuerzo de contenidos previamente abordados.

El contenido se presenta utilizando notación braille adecuada, especialmente el código Nemeth para

matemáticas, y puede estar acompañado de gráficos en relieve o diagramas simples cuando se requiere apoyo visual-táctil. Estas hojas promueven la ejercitación autónoma, la autoevaluación y la participación activa en clase, además de facilitar la adaptación de evaluaciones escritas a formatos accesibles.

El diseño de estas hojas debe asegurar claridad, orden lógico, y espacio suficiente para que el estudiante registre sus respuestas utilizando regleta y punzón, máquina Perkins o dispositivos electrónicos. También pueden formar parte de secuencias didácticas diferenciadas que atienden a la diversidad en el aula.

Un ejemplo puede ser una hoja de trabajo en braille para fracciones, que puede incluir cinco problemas como “¿Cuál es mayor: $\frac{3}{4}$ o $\frac{2}{3}$?” o “Convierte $\frac{5}{8}$ a decimal”. La persona estudiante resuelve los ejercicios en el mismo documento utilizando su método de escritura braille preferido.

Tablas y Fórmulas en Braille

Las tablas y fórmulas en braille, en relación con Nemeth (1972) son recursos de referencia impresos o digitales que presentan información matemática esencial en formato accesible para estudiantes con discapacidad visual. Incluyen tablas de multiplicar, fórmulas geométricas, constantes matemáticas (como π o e), propiedades algebraicas, conversiones métricas y otros contenidos fundamentales para la resolución de ejercicios y problemas.

Estos materiales permiten al estudiantado consultar rápidamente información clave durante clases, exámenes o tareas, fomentando la autonomía en la resolución de problemas y la verificación de resultados. Su diseño debe ser claro, organizado y preciso, respetando las convenciones del código Nemeth o del sistema braille técnico empleado en el país o región.

Además, estas tablas pueden integrarse en libros de texto, hojas de trabajo o cuadernos, o entregarse como material adicional plastificado o impreso en hojas resistentes al desgaste táctil. También existen versiones electrónicas que pueden visualizarse en líneas braille digitales o dispositivos portátiles.

Por ejemplo, una persona estudiante puede consultar una tabla en braille con las fórmulas para calcular el área de figuras geométricas básicas (cuadrado, triángulo, círculo) durante un examen. Gracias a este recurso, puede aplicar la fórmula correspondiente y resolver los problemas sin apoyo externo.

3.4. La Tendencia hacia la Tecnología Asistiva

En las últimas décadas, el uso de materiales impresos en braille en el ámbito educativo ha experimentado una transformación significativa debido al avance de la tecnología asistiva. Si bien el braille continúa siendo una herramienta valiosa e insustituible para muchos estudiantes, especialmente en el aprendizaje profundo y estructurado de la notación matemática, su uso exclusivo ha disminuido con la introducción de dispositivos y aplicaciones digitales accesibles.

Numerosos estudios (L. Johnson, 2015; Rosenblum et al., 2011; Smith & Smothers, 2012) han documentado una creciente preferencia de estudiantes con discapacidad visual por tecnologías como lectores de pantalla, calculadoras parlantes, aplicaciones móviles y líneas braille electrónicas, debido a su portabilidad, velocidad de uso y capacidad para integrarse fácilmente a entornos digitales. Esta tendencia es particularmente evidente en contextos donde se privilegia la inmediatez, la flexibilidad y la integración con plataformas educativas en línea.

Sin embargo, esta transición no implica una sustitución total del braille, sino una transformación en su papel dentro del ecosistema de recursos accesibles. Diversos autores señalan que el braille y la tecnología asistiva deben entenderse como herramientas complementarias, y no excluyentes, en la

enseñanza de las matemáticas. Mientras que el braille ofrece precisión, permanencia y estructura espacial, la tecnología aporta dinamismo, conectividad y acceso a entornos virtuales.

La elección entre uno u otro recurso debe basarse en las características individuales de cada estudiante, su nivel de alfabetización en braille, sus preferencias personales y las exigencias de las tareas académicas. Así, se promueve un enfoque inclusivo, flexible y centrado en el estudiantado, donde la accesibilidad no se define por un solo formato, sino por la diversidad de medios que faciliten el aprendizaje significativo.

De esta manera, los materiales impresos en braille siguen siendo una herramienta valiosa en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, especialmente para conceptos que requieren precisión y representación táctil. Sin embargo, la tendencia hacia la tecnología asistiva refleja la necesidad de adaptarse a las preferencias y necesidades cambiantes del estudiantado. Ambas herramientas pueden coexistir y complementarse para ofrecer una educación más inclusiva y efectiva.

3.5. Herramientas digitales: aplicaciones y programas especializados

Las herramientas digitales han abierto nuevas posibilidades para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas en contextos inclusivos, especialmente para estudiantes con discapacidad visual. A través de programas especializados, editores de ecuaciones accesibles, software de representación gráfica y entornos de aprendizaje adaptativos, estas herramientas permiten superar muchas de las limitaciones impuestas por la naturaleza visual de los contenidos matemáticos.

El valor de estas aplicaciones no radica únicamente en su capacidad para representar símbolos matemáticos de forma accesible, sino también en su potencial para generar entornos interactivos que promuevan la comprensión conceptual, el pensamiento crítico y la autonomía de la persona estudiante. Algunas de estas herramientas incorporan inteligencia artificial, accesibilidad web, integración con lectores de pantalla, compatibilidad con braille y representaciones táctiles o auditivas que se adaptan a distintos estilos de aprendizaje.

En esta sección se describen algunas de las aplicaciones y programas digitales más utilizados en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, destacando su funcionalidad, ventajas y posibles limitaciones. Se presentan ejemplos concretos de uso en el aula y se discute su papel dentro de un enfoque pedagógico inclusivo, centrado en la accesibilidad y la personalización del aprendizaje.

MathML (Mathematical Markup Language)

MathML (Mathematical Markup Language) es un lenguaje de marcado basado en XML diseñado específicamente para representar expresiones matemáticas de manera estructurada en documentos digitales (Soiffer, 2005). Su principal objetivo es facilitar la accesibilidad, interoperabilidad y correcta visualización de fórmulas matemáticas en la web y en documentos electrónicos, lo que resulta fundamental para estudiantes con discapacidad visual que utilizan lectores de pantalla o dispositivos braille electrónicos.

Una de las principales ventajas de MathML es que permite describir de forma semántica cada componente de una expresión matemática, desde fracciones y exponentes hasta matrices o integrales. Esto lo convierte en un formato ideal para que los lectores de pantalla puedan interpretar y verbalizar las expresiones de forma lógica y comprensible, siguiendo una jerarquía estructurada que respeta el orden y la relación entre los elementos matemáticos.

MathML es compatible con algunos navegadores, editores de ecuaciones y lectores de pantalla especializados. También puede integrarse en plataformas educativas, libros electrónicos y sistemas de

gestión de aprendizaje accesibles. Su uso promueve la creación de contenido matemático verdaderamente inclusivo y estandarizado, facilitando la enseñanza y el estudio autónomo.

Por ejemplo, si una persona estudiante accede a un libro de texto digital con fórmulas escritas en MathML, al seleccionar la expresión $(x + 1)^2$, su lector de pantalla verbaliza “abre paréntesis, x más uno, cierra paréntesis, al cuadrado”, de esta manera, le permite comprender la estructura de la expresión y analizarla paso a paso.

MathTrax

MathTrax es una aplicación interactiva desarrollada por la NASA que permite a estudiantes con discapacidad visual explorar representaciones gráficas de funciones matemáticas mediante descripciones auditivas y formatos accesibles (NASA, 2006). Diseñada originalmente para estudiantes de secundaria interesados en matemáticas y ciencias, MathTrax transforma los gráficos visuales en experiencias auditivas y táctiles, permitiendo la comprensión de conceptos como pendiente, intersección, continuidad y comportamiento de funciones.

La aplicación permite ingresar funciones matemáticas, generar sus gráficas correspondientes y recibir descripciones verbales detalladas de sus características, como crecimiento, decrecimiento, máximos, mínimos y puntos de intersección. Cuando se conecta con impresoras en relieve o líneas braille, también es posible representar estas funciones de manera táctil.

MathTrax es especialmente útil en la enseñanza de funciones lineales, cuadráticas, polinomiales y trigonométricas, ya que permite al estudiantado analizar sus propiedades sin requerir una interpretación visual directa. Además, su diseño accesible fomenta la exploración autónoma, el pensamiento analítico y el vínculo entre álgebra y geometría.

Así, si se ingresa la función $y = x^2$ en MathTrax, el programa genera una descripción auditiva que indica: “Función cuadrática con vértice en el origen. Curva simétrica que se abre hacia arriba. La pendiente aumenta conforme x se aleja de cero”. Esta retroalimentación guía a la persona estudiante en la comprensión de la forma y comportamiento de la parábola.

MathMelodies

MathMelodies es una aplicación móvil interactiva diseñada específicamente para enseñar matemáticas a niños con discapacidad visual mediante una combinación de audio, música y retroalimentación táctil (Ahmetovic et al., 2014). Desarrollada con principios de diseño universal, esta herramienta integra el aprendizaje matemático con elementos lúdicos y multisensoriales, lo que la convierte en una alternativa accesible y motivadora para el trabajo con estudiantes en niveles iniciales.

La aplicación presenta actividades como conteo, operaciones básicas, geometría elemental y lógica, todas ellas estructuradas en forma de juegos sonoros. Los ejercicios están acompañados de narraciones claras, efectos auditivos estimulantes y respuestas inmediatas que refuerzan la comprensión y mantienen la atención del usuario. Además, MathMelodies está diseñada para ser compatible con lectores de pantalla y puede utilizarse tanto en casa como en el aula, en contextos de aprendizaje formal e informal.

El uso de esta herramienta contribuye al desarrollo de habilidades numéricas tempranas, al reconocimiento de patrones, al pensamiento secuencial y al razonamiento lógico, aspectos clave en la educación matemática básica. También favorece la inclusión al ofrecer un entorno interactivo accesible que respeta los tiempos y estilos de aprendizaje individuales.

Así, por ejemplo, un niño con discapacidad visual puede jugar con una actividad de conteo en Math-

Melodies, donde debe arrastrar objetos sonoros a una caja. Cada vez que un objeto es movido, la aplicación emite un sonido único y anuncia el número total actualizado. Así, el niño construye la noción de cantidad y suma mediante interacción auditiva y secuencial.

TactileView

TactileView es un software especializado que permite crear y editar gráficos táctiles accesibles para personas con discapacidad visual (Edman, 1992). A través de una interfaz intuitiva y adaptable, este programa posibilita el diseño de representaciones gráficas —como figuras geométricas, diagramas, funciones matemáticas, mapas o tablas— que luego pueden imprimirse en relieve o explorarse mediante pantallas hápticas y líneas braille dinámicas.

TactileView es compatible con diversos dispositivos de impresión en braille y termoformado, y ofrece herramientas que garantizan la legibilidad táctil del diseño, como la simplificación de trazos, la incorporación de texturas diferenciadas, la gestión de escalas y la inclusión de etiquetas en braille. Además, permite importar datos de otras aplicaciones y convertir automáticamente fórmulas matemáticas y objetos gráficos en formatos accesibles.

Su uso en el aula facilita la enseñanza de contenidos como geometría, estadística, álgebra y análisis de funciones, al brindar a las y los estudiantes la posibilidad de interactuar con representaciones gráficas que usualmente serían inaccesibles. También resulta útil para docentes que desean adaptar sus materiales de forma personalizada y profesional.

De esta manera, una persona docente puede diseñar en TactileView, por ejemplo, un gráfico que representa una función lineal y lo imprime en relieve para una persona estudiante con discapacidad visual. La persona puede seguir con los dedos la trayectoria de la recta, identificar su pendiente, ubicar los ejes y explorar los puntos de intersección, construyendo así una comprensión táctil del concepto.

Desmos (con Accesibilidad)

Desmos es una plataforma digital ampliamente utilizada para la representación gráfica de funciones, la exploración de conceptos algebraicos y la resolución de ecuaciones (Desmos, 2021). Recientemente, esta herramienta ha incorporado mejoras significativas en accesibilidad, permitiendo su uso por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante lectores de pantalla, teclas de navegación y descripciones auditivas integradas.

Entre sus funcionalidades accesibles se encuentran el soporte para la navegación por teclado, la lectura de ecuaciones en formato verbal estructurado, la descripción de las características de los gráficos (como intersecciones, crecimiento, simetría), y la posibilidad de utilizar líneas braille dinámicas. Estas adaptaciones convierten a Desmos en una herramienta poderosa no solo para representar funciones, sino también para comprender sus propiedades a través del análisis auditivo y textual.

El entorno de trabajo de Desmos favorece la exploración autónoma y el aprendizaje constructivo, permitiendo a las personas estudiantes modificar parámetros en tiempo real, realizar comparaciones entre funciones y visualizar los efectos de cambios algebraicos en el plano cartesiano. Esto resulta especialmente útil en la enseñanza de funciones lineales, cuadráticas, exponenciales y trigonométricas.

Así, por ejemplo, una persona estudiante con discapacidad visual utiliza Desmos para explorar la función $y = \sin(x)$. La plataforma verbaliza las características principales: “Función periódica. Amplitud: uno. Período: 2π . Intersección con el eje x en $0, \pi, 2\pi, \dots$ ”, lo que le permite la forma de la función a través del lenguaje.

Orbit Research (Calculadoras y Dispositivos)

Orbit Research es una empresa especializada en el desarrollo de dispositivos tecnológicos accesibles para personas con discapacidad visual, entre los que destacan las calculadoras científicas parlantes y anotadores braille portátiles (Research, 2020). Estas herramientas combinan funcionalidad matemática avanzada con retroalimentación auditiva y táctil, facilitando el acceso autónomo a contenidos curriculares complejos.

Uno de los productos más conocidos de esta empresa es la *Orion TI-36X Talking Scientific Calculator*, una versión adaptada de la calculadora científica TI-36X de Texas Instruments, equipada con voz sintetizada que verbaliza cada número, operador y resultado introducido. Este dispositivo es útil para realizar cálculos algebraicos, trigonométricos, estadísticos y científicos, permitiendo al estudiantado verificar cada paso del proceso.

Adicionalmente, el *Orbit Reader 20* es un anotador braille con teclado Perkins y línea braille dinámica, que permite tomar apuntes, leer documentos digitales y realizar operaciones matemáticas utilizando software compatible con notación Nemeth. Su portabilidad y conectividad lo convierten en un recurso versátil tanto dentro como fuera del aula.

Estos dispositivos favorecen la participación activa de estudiantes con discapacidad visual en actividades académicas de nivel intermedio y avanzado, promoviendo la autonomía y reduciendo la dependencia de adaptaciones externas.

Durante una clase de geometría analítica, por ejemplo, una persona estudiante puede utilizar la calculadora Orion TI-36X para resolver la fórmula de distancia entre dos puntos. A medida que introduce los valores, la calculadora repite en voz alta cada número y operador, permitiendo la verificación inmediata del procedimiento y del resultado.

Accessible Equation Editor

El *Accessible Equation Editor* es una herramienta digital diseñada para permitir a estudiantes con discapacidad visual escribir, editar y explorar ecuaciones matemáticas de manera accesible, utilizando lectores de pantalla o líneas braille (J. A. Gardner & Bulatov, 2011). Este tipo de editor facilita la interacción con notación matemática compleja, respetando las reglas de sintaxis del código Nemeth, MathML o LaTeX, y permite una navegación estructurada por componentes (términos, operadores, exponentes, fracciones, etc.).

A diferencia de los editores visuales convencionales, el Accessible Equation Editor está diseñado para brindar retroalimentación auditiva o braille en tiempo real. Esto permite que quienes estudian puedan identificar errores de escritura, verificar la organización jerárquica de una ecuación y entender las relaciones entre los elementos matemáticos sin necesidad de representación visual.

Su implementación en entornos de aprendizaje inclusivos permite a las personas estudiantes con discapacidad visual participar en actividades de resolución de problemas, toma de apuntes, elaboración de tareas y evaluaciones escritas de forma autónoma. También puede ser integrado en plataformas educativas accesibles o como complemento de herramientas como MathType o TactileView.

Para ilustrar con un ejemplo, una persona estudiante utiliza el Accessible Equation Editor para escribir la ecuación cuadrática $x^2 - 5x + 6 = 0$. A medida que la redacta, el editor verbaliza: “x al cuadrado, menos cinco x, más seis, igual a cero”, lo que permite a dicho estudiante revisar y corregir la ecuación antes de resolverla.

Seeing AI (Matemáticas)

Seeing AI es una aplicación móvil desarrollada por Microsoft que utiliza inteligencia artificial para describir el entorno a personas con discapacidad visual (Ahmetovic et al., 2016). Aunque originalmente fue diseñada para reconocer texto, rostros, colores y billetes, ha evolucionado para incluir funciones específicas aplicables al aprendizaje de las matemáticas, como el escaneo y lectura de ecuaciones impresas.

La aplicación permite al estudiantado capturar con la cámara del dispositivo un problema matemático impreso —ya sea una operación aritmética, una ecuación algebraica o un enunciado de texto— y recibir una lectura en voz alta del contenido detectado. Esto convierte a *Seeing AI* en una herramienta útil para acceder rápidamente a materiales impresos, tareas, exámenes o libros de texto que no se encuentren disponibles en formato digital accesible.

Además, puede utilizarse en conjunto con otras aplicaciones, como calculadoras parlantes o editores de ecuaciones, para resolver los problemas escaneados, promoviendo la independencia de la persona estudiante y facilitando su integración en contextos escolares convencionales.

Para ilustrar, una persona estudiante escanea un problema impreso con *Seeing AI*: “Resuelve la ecuación: $2x + 3 = 11$ ”. La aplicación lee el enunciado en voz alta. Posteriormente, dicho estudiante resuelve la ecuación utilizando una calculadora parlante o escribiéndola en un editor braille.

Las herramientas digitales especializadas han ampliado considerablemente las oportunidades de aprendizaje matemático para las personas con discapacidad visual. Gracias al desarrollo de lenguajes de marcado accesibles, editores interactivos, aplicaciones móviles, software de gráficos táctiles y dispositivos inteligentes, es posible representar, explorar y construir conocimiento matemático más allá de los límites impuestos por la representación visual tradicional.

Estas tecnologías no solo facilitan el acceso a contenidos complejos, sino que también promueven la autonomía, la participación activa y la personalización del proceso de aprendizaje. Sin embargo, su implementación efectiva requiere acompañamiento pedagógico, formación docente continua, y una adecuada adaptación a los perfiles individuales de cada estudiante. En este sentido, las herramientas digitales deben considerarse como recursos complementarios a otras estrategias inclusivas, y no como soluciones únicas.

La integración consciente y crítica de estas tecnologías en el aula es un paso clave hacia una educación matemática verdaderamente inclusiva, equitativa y centrada en el estudiantado. El potencial transformador de estas herramientas dependerá, en última instancia, del compromiso de los educadores y de las políticas educativas para garantizar su acceso, uso adecuado y sostenibilidad.

4. Instrumentos de Evaluación

La evaluación es una parte esencial del proceso de enseñanza y aprendizaje, ya que permite valorar los conocimientos adquiridos, las habilidades desarrolladas y el progreso individual de cada estudiante. En el caso de las personas con discapacidad visual, los instrumentos de evaluación deben ser cuidadosamente diseñados para garantizar que la discapacidad no interfiera con la posibilidad de demostrar lo aprendido. Esto implica no solo adaptar el formato de las pruebas, sino también reconsiderar los métodos, criterios e indicadores utilizados.

Una evaluación verdaderamente inclusiva no consiste únicamente en traducir una prueba a braille o en leerla en voz alta, sino en asegurar que el estudiantado tenga acceso equitativo a la comprensión de las consignas, a la manipulación de los datos y a la expresión de sus respuestas. Para ello, es necesario considerar aspectos como el tipo de representación simbólica utilizada, la claridad de las

instrucciones, el uso de apoyos tecnológicos y la diversificación de medios para responder.

Esta sección presenta una revisión de instrumentos y estrategias de evaluación adaptadas para la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual. Se analizan sus características, ventajas, limitaciones y criterios de aplicación, con el fin de ofrecer al equipo docente una guía práctica y fundamentada para implementar evaluaciones justas, accesibles y significativas.

4.1. Pruebas escritas adaptadas

Las pruebas escritas adaptadas constituyen una de las formas más comunes de evaluación utilizadas en contextos educativos inclusivos. En el caso de estudiantes con discapacidad visual, estas evaluaciones deben ser modificadas en formato, contenido y presentación para garantizar la comprensión de las consignas, la legibilidad de los elementos matemáticos y la posibilidad de responder de manera autónoma y efectiva.

Las adaptaciones pueden incluir la transcripción del examen al código braille (generalmente en Nemeth para contenidos matemáticos), la ampliación del texto para personas con baja visión, el uso de papel de alto contraste o el acompañamiento de descripciones auditivas. También es posible emplear versiones digitales accesibles compatibles con lectores de pantalla o dispositivos braille.

Un aspecto clave es la conversión de gráficos, tablas y diagramas a versiones táctiles en relieve, cuando estos sean necesarios para responder. Así mismo, deben evitarse formulaciones ambiguas o altamente visuales que no puedan ser interpretadas correctamente sin el apoyo correspondiente.

En cuanto a la respuesta, la persona estudiante puede utilizar regleta y punzón, una máquina Perkins, un dispositivo digital, o bien dictar oralmente su solución a una persona asistente, siempre que se garantice la fidelidad de la respuesta.

Como ejemplo práctico, una prueba sobre funciones lineales puede ser adaptada imprimiendo la tabla de valores y el gráfico en relieve, acompañado de una explicación en braille. Las preguntas deben plantearse de forma clara y sin ambigüedad visual, como “Determina si la función es creciente o decreciente según el gráfico”.

A continuación se enuncian algunas recomendaciones para este tipo de pruebas:

- Incluir tiempo adicional si la prueba lo requiere por la modalidad de acceso.
- Consultar con la persona estudiante su formato preferido.
- Verificar la correcta transcripción de los símbolos matemáticos.
- Usar ejemplos previos similares al formato del examen para familiarizar a la persona estudiante.

4.2. Evaluación oral y manipulativa

La evaluación oral y manipulativa constituye una alternativa eficaz y flexible para valorar el aprendizaje de estudiantes con discapacidad visual, especialmente en aquellos casos en los que la lectura o escritura en braille no es el medio preferido o disponible, o cuando se requiere observar habilidades prácticas y razonamiento matemático en acción.

Este tipo de evaluación permite al estudiantado expresar sus conocimientos verbalmente, resolver problemas en voz alta, justificar procedimientos y utilizar materiales táctiles o manipulativos (como regletas, ábacos o geoplano) para demostrar la comprensión de conceptos matemáticos. Además,

posibilita que la persona docente evalúe el proceso de pensamiento y no solo el resultado final, fomentando una evaluación más auténtica y centrada en el estudiantado.

Las evaluaciones orales y manipulativas pueden aplicarse tanto en contextos formales (como exámenes individuales) como en evaluaciones continuas o diagnósticas. También son útiles para evaluar competencias que involucran el uso de estrategias, estimación, razonamiento proporcional o visualización espacial.

Por ejemplo, en lugar de pedir al estudiantado que resuelva por escrito el problema “¿Cuál es el área de un rectángulo de 3 cm por 5 cm?”, la persona docente presenta un rectángulo táctil y solicita a la persona estudiante que explore la figura con las manos, explique el procedimiento y dé la respuesta verbalmente.

Este tipo de evaluación se adapta al estilo de comunicación del estudiantado, favorece la observación del razonamiento matemático en tiempo real y reduce barreras relacionadas con la escritura o lectura de símbolos complejos.

En la evaluación oral y manipulativa se recomienda:

- Registrar las respuestas oralmente o mediante notas estructuradas.
- Evitar sugerencias o reacciones que influyan en las respuestas de la persona estudiante.
- Asegurar que los materiales manipulativos estén claramente organizados y accesibles.

Este tipo de evaluación no solo ofrece una vía accesible para demostrar conocimientos, sino que también fortalece la confianza de la persona estudiante al brindarle un espacio de interacción directa, personalizado y participativo. Utilizada de manera planificada, la evaluación oral y manipulativa se convierte en una herramienta valiosa dentro de un enfoque inclusivo, justo y centrado en el potencial de cada estudiante.

4.3. Rúbricas adaptadas

Las rúbricas son instrumentos de evaluación que permiten valorar el desempeño del estudiantado mediante criterios y descriptores definidos previamente. En contextos inclusivos, su uso debe adaptarse para garantizar que los indicadores de logro reflejen el proceso de aprendizaje de forma equitativa, sin penalizar las diferencias en la forma de acceso, representación o expresión de los contenidos.

Las *rúbricas adaptadas* consideran no solo lo que se evalúa, sino cómo se evidencia el aprendizaje en estudiantes con discapacidad visual. Esto implica rediseñar algunos descriptores para valorar el uso de materiales táctiles, la verbalización de procedimientos, el manejo de tecnologías asistivas, o la participación en actividades colaborativas cuando se utilizan métodos no convencionales.

Asimismo, las rúbricas deben estar disponibles en formatos accesibles para las y los estudiantes (braille, texto digital, audio), permitiéndoles comprender los criterios de evaluación desde el inicio del proceso. De esta forma, se fomenta la metacognición, la autoevaluación y la transparencia.

Así, por ejemplo, en una rúbrica para evaluar la resolución de problemas, un descriptor como “presenta la solución con notación matemática clara y ordenada” puede adaptarse a “comunica con claridad el procedimiento utilizando notación matemática en formato accesible (braille, audio o verbal)”.

Los componentes clave de una rúbrica adaptada son:

- Inclusión de criterios que valoren estrategias de resolución y no solo el resultado final.

- Reconocimiento del uso adecuado de tecnologías y materiales accesibles.
- Flexibilidad en los medios de presentación de la evidencia (oral, táctil, escrita, digital).
- Énfasis en el pensamiento matemático, la argumentación y la comprensión conceptual.

Las rúbricas adaptadas permiten visibilizar el potencial de cada estudiante más allá de las limitaciones impuestas por el formato tradicional de evaluación. Integrarlas en la práctica docente contribuye a construir una cultura evaluativa centrada en la equidad, el reconocimiento de la diversidad y el aprendizaje significativo.

La evaluación inclusiva en el contexto de la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual requiere mucho más que ajustes formales. Implica una transformación profunda en la forma de concebir el acto evaluativo, pasando de un enfoque centrado exclusivamente en los productos hacia uno que valore los procesos, las estrategias y los medios utilizados por la persona estudiante para demostrar su comprensión.

Los instrumentos de evaluación —ya sean escritos, orales, manipulativos o digitales— deben ser diseñados de manera flexible, equitativa y coherente con las necesidades individuales. Esto requiere no solo adaptaciones técnicas (como el uso de braille, lectores de pantalla o gráficos táctiles), sino también una revisión crítica de los criterios de éxito y las expectativas de desempeño, asegurando que la persona estudiante pueda demostrar lo que sabe y sabe hacer, sin que su discapacidad sea un obstáculo.

La implementación de estos instrumentos adaptados no solo mejora la validez y la equidad de las evaluaciones, sino que también envía un mensaje claro de inclusión y respeto por la diversidad. En este sentido, la evaluación deja de ser una simple medición del rendimiento y se convierte en una herramienta poderosa para promover el aprendizaje, fortalecer la autoestima y garantizar el derecho a una educación matemática de calidad para todos.

5. Estrategias Pedagógicas Inclusivas

El éxito en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual no depende únicamente de los materiales didácticos o de las adaptaciones técnicas, sino del uso de estrategias pedagógicas que promuevan la participación activa, la comprensión significativa y el desarrollo del pensamiento matemático desde una perspectiva accesible e inclusiva.

Estas estrategias deben ir más allá de transmitir contenidos. Han de crear entornos de aprendizaje que reconozcan y valoren las distintas formas de percibir, procesar y expresar el conocimiento matemático. La persona docente debe asumir un rol flexible y creativo, adaptando sus métodos a las características de cada estudiante y favoreciendo experiencias multisensoriales, colaborativas y desafiantes.

En esta sección se presentan estrategias concretas y fundamentadas que han demostrado ser eficaces en la enseñanza de las matemáticas a estudiantes con discapacidad visual. Se incluyen metodologías centradas en el aprendizaje activo, el uso del lenguaje descriptivo y táctil, el trabajo cooperativo, la construcción de conceptos a través de la manipulación y la integración de la tecnología como apoyo pedagógico. Estas prácticas no solo benefician a estudiantes con discapacidad visual, sino que enriquecen el proceso educativo para todo el grupo, al fomentar una cultura de inclusión, equidad y respeto por la diversidad.

5.1. Uso del lenguaje descriptivo y preciso

En la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, el lenguaje oral se convierte en uno de los principales vehículos para acceder al conocimiento. Por esta razón, es esencial que la persona docente emplee un lenguaje descriptivo, claro y matemáticamente riguroso, que permita sustituir o complementar la información que otros estudiantes obtienen por vía visual.

El uso de descripciones detalladas permite representar mentalmente objetos, relaciones espaciales, gráficas y procedimientos. Por ejemplo, al referirse a un triángulo rectángulo, no basta con decir “este lado es el más largo”, sino que se debe especificar: “el cateto opuesto al ángulo recto mide 4 cm, el otro cateto mide 3 cm y la hipotenusa mide 5 cm”. Este tipo de comunicación precisa reduce la ambigüedad, mejora la comprensión conceptual y apoya el desarrollo del razonamiento matemático.

Florian y Black-Hawkins (2011) destacan que una pedagogía inclusiva debe permitir el acceso al contenido mediante múltiples formas de representación, siendo el lenguaje oral una herramienta central para estudiantes con discapacidad visual. De igual forma, Healy y Fernandes (2011) señalan que los gestos, las expresiones verbales y las instrucciones espaciales claras son claves para la participación efectiva de estudiantes ciegos en actividades matemáticas.

Es recomendable evitar expresiones vagas como “esto va aquí” o “como pueden ver”, y sustituirlas por enunciados explícitos del tipo “el número 7 se ubica a la izquierda del número 9 en la línea numérica”. Asimismo, las instrucciones deben organizarse en secuencias claras, enfatizando relaciones espaciales, temporales y funcionales.

Otro ejemplo práctico puede ser en una clase de geometría donde la persona docente puede explicar un gráfico diciendo: “Imagina un plano cartesiano con el eje x horizontal y el eje y vertical. La función que vamos a graficar es $y = 2x + 1$, una recta que cruza el eje y en el punto $(0,1)$ y sube dos unidades por cada unidad que avanza hacia la derecha”.

Así, resumiendo las recomendaciones se tiene:

- Utilizar sistemáticamente lenguaje técnico y relacional (mayor que, paralelo a, simétrico respecto a, entre, adyacente a).
- Evitar las referencias exclusivamente visuales.
- Practicar la retroalimentación verbal estructurada, permitiendo a la persona estudiante reconstruir los pasos del proceso.
- Incorporar descripciones auditivas en recursos digitales y materiales impresos.

El lenguaje descriptivo y preciso no solo actúa como una herramienta de acceso, sino también como una estrategia para profundizar en el pensamiento matemático, apoyar la abstracción y construir significados compartidos en el aula. Su uso sistemático y reflexivo fortalece el rol docente como mediador entre el conocimiento y la experiencia individual de la persona estudiante con discapacidad visual.

5.2. Construcción multisensorial de conceptos matemáticos

La construcción de conceptos matemáticos en estudiantes con discapacidad visual requiere estrategias que integren múltiples canales sensoriales, especialmente el tacto, el oído y, cuando es posible, el movimiento. Estas experiencias multisensoriales permiten sustituir la información visual mediante formas alternativas de percepción, facilitando la representación mental de objetos, relaciones, patrones y estructuras abstractas.

El aprendizaje multisensorial ha demostrado ser efectivo para estudiantes con diversas necesidades educativas, ya que promueve la participación activa, fortalece las conexiones neuronales y estimula diferentes estilos de aprendizaje H. Gardner, 1983; Kolb, 1984. En el caso de estudiantes ciegos o con baja visión, este enfoque no solo es beneficioso, sino esencial para el acceso equitativo al conocimiento matemático.

Entre las estrategias más comunes se encuentran el uso de materiales táctiles (regletas, geoplano, cubos, tableros de fracciones), la incorporación de descripciones auditivas y la ejecución de movimientos físicos para representar magnitudes o relaciones geométricas. Estas prácticas permiten que el alumnado interactúe de forma directa con los conceptos, generando aprendizajes significativos a través de la experiencia concreta.

Como señalan Hehir y Katzman (2012), un entorno inclusivo debe facilitar múltiples formas de participación sensorial, reconociendo que las y los estudiantes aprenden de distintas maneras. Además, Cramer y Wyberg (2009) enfatizan que las representaciones manipulativas favorecen la comprensión profunda de nociones como la equivalencia y las operaciones con fracciones, al hacer visibles —y en este caso, palpables— las estructuras subyacentes.

Para enseñar el concepto de volumen, por ejemplo, la persona docente puede proporcionar cubos de diferentes tamaños que el estudiantado debe llenar y comparar. A través de la exploración táctil y la manipulación directa, la persona estudiante infiere la relación entre unidades cúbicas y el espacio tridimensional que ocupan.

Se recomienda:

- Seleccionar materiales que respeten principios de diseño táctil (claridad, contraste de texturas, escala adecuada).
- Utilizar verbalizaciones que acompañen la exploración táctil.
- Permitir tiempo suficiente para la manipulación individual de objetos.
- Estimular el uso de la imaginación espacial mediante descripciones guiadas.

La construcción multisensorial de conceptos matemáticos permite a las personas estudiantes con discapacidad visual que se apropien del conocimiento de forma activa, significativa y autónoma. Lejos de simplificar el contenido, estas estrategias enriquecen la experiencia de aprendizaje y promueven una comprensión más profunda, al vincular lo abstracto con lo concreto a través del cuerpo y los sentidos.

5.3. Trabajo cooperativo y aprendizaje entre pares

El trabajo cooperativo y el aprendizaje entre pares son estrategias fundamentales para fomentar la inclusión, la interacción social y el desarrollo de habilidades cognitivas y comunicativas en estudiantes con discapacidad visual. Al participar activamente en grupos de trabajo, estos estudiantes no solo acceden al conocimiento matemático, sino que también se integran en dinámicas que promueven el respeto mutuo, la responsabilidad compartida y la valoración de la diversidad.

Según D. W. Johnson y Johnson (1999), el aprendizaje cooperativo mejora significativamente la comprensión conceptual en matemáticas, al permitir que la persona estudiante explique, discuta y reconstruya significados junto con sus compañeros. Esta metodología puede adaptarse fácilmente a contextos inclusivos, siempre que se establezcan normas claras de colaboración y que todo el grupo de estudiantes tenga oportunidades equitativas para participar.

En el caso de estudiantes con discapacidad visual, es importante asignar roles que les permitan contribuir activamente: por ejemplo, como encargados de plantear preguntas, verificar procedimientos,

dictar resultados o utilizar materiales táctiles durante la resolución de problemas. Estas interacciones fomentan no solo el aprendizaje académico, sino también la autonomía, la autoestima y el sentido de pertenencia.

Además, la interacción entre pares facilita la construcción de representaciones mentales mediante el lenguaje compartido. Cuando un compañero describe verbalmente un gráfico o un objeto matemático, contribuye a construir una imagen conceptual accesible para una persona estudiante con discapacidad visual, al tiempo que refuerza su propia comprensión.

Como ejemplo, en una actividad sobre razones y proporciones, se organiza al grupo de estudiantes en tríos. Uno de ellos explica los pasos para resolver un problema, otro realiza los cálculos, y el tercero (que es la persona estudiante con discapacidad visual) verifica los resultados usando una calculadora parlante y propone otra situación proporcional.

Para el trabajo cooperativo y el aprendizaje entre pares se recomienda:

- Promover la rotación de roles para evitar estigmatización o dependencia.
- Capacitar al estudiantado en el uso de lenguaje inclusivo y descripciones claras.
- Supervisar las interacciones para asegurar la participación equitativa.
- Valorar el proceso de colaboración en la evaluación formativa.

El aprendizaje cooperativo no solo favorece la adquisición de contenidos matemáticos, sino que también actúa como una herramienta de inclusión social y académica. Al facilitar entornos colaborativos y respetuosos, el equipo docente contribuye al desarrollo integral de todas las personas estudiantes, reconociendo que la diversidad en el aula es una oportunidad pedagógica y no una barrera.

5.4. Integración del uso de tecnología en el proceso pedagógico

Tal como se indicó en la sección sobre materiales didácticos, la tecnología desempeña un papel crucial en la creación de entornos de aprendizaje accesibles e inclusivos para estudiantes con discapacidad visual. Más allá de los materiales físicos o manipulativos, la integración efectiva de herramientas tecnológicas en la práctica pedagógica permite personalizar el aprendizaje, superar barreras de acceso a la información y fomentar la autonomía de la persona estudiante.

El uso de software de lectura de pantalla, editores de ecuaciones accesibles, calculadoras parlantes, plataformas de graficación con soporte para lectores de pantalla (como Desmos) y aplicaciones móviles como MathTrax o Seeing AI, permite a la persona estudiante explorar, resolver y representar problemas matemáticos con independencia. Estas herramientas no solo facilitan el acceso a contenidos curriculares, sino que también estimulan la construcción de habilidades digitales transferibles a otros contextos académicos y profesionales (Smith & Smothers, 2012).

Sin embargo, para que la tecnología tenga un impacto real en el aprendizaje, debe integrarse de manera pedagógicamente significativa. Esto implica que la persona docente conozca las herramientas disponibles, seleccione las que se ajustan a los objetivos de aprendizaje, y acompañe al estudiantado en su uso crítico y reflexivo. También es fundamental asegurar que los recursos digitales estén correctamente diseñados según principios de accesibilidad (por ejemplo, con ecuaciones en MathML o gráficos con descripciones alternativas), tal como lo recomienda Soiffer (2005).

Por ejemplo, durante una unidad sobre funciones cuadráticas, la persona docente propone al estudiantado explorar la función $y = x^2 - 4x + 3$ en Desmos. La persona estudiante con discapacidad visual accede a la plataforma con su lector de pantalla, escucha la descripción de los puntos de intersección con el eje x y el vértice de la parábola, y luego discute sus observaciones con el grupo.

Para la integración de la tecnología en el proceso pedagógico se resaltan las siguientes recomendaciones:

- Verificar la compatibilidad de los recursos digitales con lectores de pantalla y dispositivos braille.
- Planificar actividades que incluyan tecnología como medio de representación y no solo como apoyo adicional.
- Enseñar explícitamente el uso de herramientas tecnológicas accesibles dentro del currículo.
- Promover el uso de la tecnología como herramienta de creación, exploración y resolución de problemas.

La tecnología no debe considerarse un sustituto del acompañamiento docente, sino un recurso complementario que amplía las posibilidades de aprendizaje y participación. Integrada de manera intencional, crítica y contextualizada, se convierte en una herramienta poderosa para garantizar el derecho a una educación matemática de calidad y equitativa para todos.

5.5. El rol de la persona docente y la formación necesaria

El papel de la persona docente es fundamental en la implementación de una educación matemática verdaderamente inclusiva. Más allá de conocer los contenidos curriculares, el profesional de la enseñanza debe poseer competencias didácticas, tecnológicas y actitudinales que le permitan adaptar su práctica a las necesidades de estudiantes con discapacidad visual, promoviendo su participación activa, el desarrollo de su autonomía y el acceso equitativo al conocimiento.

La formación inicial y continua del profesorado debe incluir conocimientos sobre accesibilidad educativa, diseño universal para el aprendizaje (DUA), uso de materiales y tecnologías asistivas, y estrategias pedagógicas inclusivas en el área matemática (Hehir & Katzman, 2012; Mitchell, 2014). Es también esencial que las y los docentes desarrollen una actitud abierta al trabajo colaborativo, al aprendizaje constante y a la reflexión crítica sobre sus propias prácticas.

Una persona docente inclusiva no necesariamente debe tener todas las respuestas, pero sí debe estar dispuesto a investigar, innovar y colaborar con especialistas, familias y estudiantes en la búsqueda de soluciones pedagógicas pertinentes. Según Booth y Ainscow (2011), la inclusión no depende únicamente de los recursos, sino de las decisiones, acciones y convicciones del profesorado y de la cultura escolar que los rodea.

Además, como señalan Smith y Kelley (2007), uno de los principales desafíos identificados por docentes de estudiantes con discapacidad visual es la falta de formación específica en la enseñanza de las matemáticas utilizando braille, representaciones táctiles o tecnologías adaptadas. Esto refuerza la necesidad de desarrollar programas de formación docente que aborden estas temáticas de forma práctica y contextualizada.

Así, es posible imaginar que en una sesión de formación continua, un grupo de docentes de matemáticas aprenda a transcribir expresiones algebraicas al código Nemeth, a utilizar el geoplano táctil para enseñar simetría, y a integrar Desmos accesible en actividades colaborativas.

Como recomendaciones adicionales se pueden enumerar las siguientes:

- Incluir formación sobre discapacidad visual y estrategias inclusivas en programas de formación inicial docente.
- Promover el trabajo interdisciplinario con especialistas en tecnología, braille y accesibilidad.

- Fomentar espacios de reflexión, intercambio de experiencias y comunidades de práctica entre docentes.
- Generar políticas institucionales que respalden la capacitación y el acceso a recursos inclusivos.

La persona docente es un agente clave en la transformación de la educación. Su compromiso, sensibilidad y preparación inciden directamente en la calidad del aprendizaje de las y los estudiantes con discapacidad visual. Invertir en su formación y acompañamiento profesional es, por tanto, una condición necesaria para garantizar una educación matemática inclusiva, equitativa y de calidad.

Las estrategias pedagógicas inclusivas constituyen el corazón de una enseñanza verdaderamente equitativa. En el caso de las matemáticas para personas con discapacidad visual, su aplicación no solo implica el uso de materiales adaptados o tecnologías accesibles, sino, sobre todo, un cambio en la mirada del docente y en la forma en que se concibe el aprendizaje.

La inclusión se concreta en las decisiones cotidianas: en cómo se describen los conceptos, en cómo se permite que el estudiantado represente lo aprendido, en cómo se construyen experiencias multisensoriales y en cómo se promueve la colaboración dentro del aula. Cada una de estas estrategias reconoce a la persona estudiante como protagonista de su aprendizaje, y busca eliminar barreras desde una pedagogía de la posibilidad, no de la limitación.

Además, el compromiso del docente y su formación continua son elementos fundamentales para garantizar que estas estrategias se apliquen con sensibilidad, eficacia y coherencia. Formar docentes capaces de enseñar matemáticas con un enfoque inclusivo es invertir en una educación que no deja a nadie atrás.

Así, al implementar estas estrategias no solo se asegura el derecho al aprendizaje de las personas estudiantes con discapacidad visual, sino que se transforma la práctica educativa en un acto de justicia, respeto y celebración de la diversidad.

6. Casos de Estudio y Experiencias Prácticas

La implementación de estrategias inclusivas en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual ha demostrado su efectividad en diversos contextos internacionales. Esta sección presenta una selección de estudios y experiencias prácticas documentadas en la literatura especializada, que ilustran cómo el uso de tecnología asistiva, materiales táctiles, formación docente y enfoques pedagógicos inclusivos han impactado positivamente el aprendizaje matemático.

Tecnología y aplicaciones móviles

El desarrollo de aplicaciones como MathMelodies ha demostrado cómo combinar elementos auditivos y táctiles para enseñar aritmética. Investigaciones desarrolladas en Italia indican que este enfoque gamificado puede aumentar la participación activa del alumnado (Ahmetovic et al., 2014).

Materiales manipulativos y cognición

Estudios realizados en Brasil por Healy y Fernandes (2011) destacan cómo el uso de gestos y materiales manipulativos permite a los estudiantes desarrollar habilidades matemáticas complejas, favoreciendo un aprendizaje multisensorial. Asimismo, autores clásicos como Edman (1992) han documentado ampliamente las técnicas para la creación efectiva de gráficos táctiles.

Formación docente y Código Nemeth

La competencia del profesorado es vital. Investigaciones sobre el código Nemeth revelan que la formación específica de los docentes en códigos de braille matemático impacta directamente en su confianza y capacidad para adaptar lecciones (Rosenblum et al., 2011).

Aprendizaje Cooperativo

El trabajo en equipos heterogéneos es una estrategia poderosa. Según los principios del aprendizaje cooperativo descritos por D. W. Johnson y Johnson (1999), la interacción entre pares fortalece la comprensión y la cohesión grupal, elementos esenciales para una inclusión efectiva.

Diseño universal y experiencias docentes

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) ofrece un marco para crear currículos de matemáticas con materiales multisensoriales y estrategias de representación múltiple, lo cual es fundamental para incrementar la accesibilidad y motivación de estudiantes con discapacidad visual (Rose & Meyer, 2002).

La experiencia docente resalta la importancia de la adaptabilidad. Diversos estudios señalan que las políticas de inclusión deben alinearse con prácticas de evaluación justas para permitir que los estudiantes demuestren su verdadero potencial (Thurlow et al., 2013).

Por su parte, la formación es crítica. Investigaciones como la de Amato et al. (2013) indican que muchos profesores inician sin el conocimiento específico necesario sobre herramientas táctiles, pero desarrollan competencias clave a través de la práctica y el uso de tecnología asistiva, lo cual resulta determinante para el éxito de sus estudiantes.

Estos casos muestran que la inclusión efectiva en la enseñanza de las matemáticas es posible mediante enfoques diversos y contextualizados. Las experiencias exitosas demuestran la importancia de integrar tecnología, materiales adaptados, metodologías participativas y formación docente continua para garantizar que estudiantes con discapacidad visual accedan de forma plena y significativa a la educación matemática.

Los testimonios recopilados evidencian que la inclusión no es solo una política educativa, sino una vivencia transformadora. La aplicación de estrategias adecuadas, el acceso a materiales y tecnologías adaptadas, y la actitud del profesorado inciden profundamente en el bienestar y la trayectoria académica de estudiantes con discapacidad visual. Estas voces reafirman la necesidad de construir aulas más accesibles, humanas y comprometidas con la equidad.

7. Conclusión

La enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual representa un desafío pedagógico significativo, pero también una oportunidad para avanzar hacia una educación verdaderamente inclusiva, equitativa y centrada en la persona estudiante. A lo largo de este artículo se ha demostrado que, mediante el uso de materiales táctiles, tecnología asistiva, estrategias pedagógicas multisensoriales y una formación docente adecuada, es posible garantizar el acceso efectivo a los contenidos matemáticos para estudiantes con discapacidad visual en diversos niveles educativos.

Los marcos teóricos revisados subrayan la importancia de comprender la diversidad como un va-

lor educativo, reconociendo que las personas estudiantes con discapacidad visual no solo requieren adaptaciones técnicas, sino también propuestas didácticas que promuevan la exploración, la autonomía y el pensamiento abstracto. Las investigaciones previas y los casos de estudio muestran avances importantes en el desarrollo de recursos accesibles y el impacto positivo de iniciativas que integran tecnología, materiales manipulativos y colaboración docente.

Además, los testimonios presentados reflejan de forma elocuente cómo la inclusión educativa transforma no solo los aprendizajes académicos, sino también las trayectorias vitales de estudiantes y educadores. Las lecciones aprendidas a partir de estas experiencias ofrecen un marco práctico valioso para la mejora continua de la enseñanza inclusiva en matemáticas.

No obstante, persisten desafíos importantes: la escasez de recursos accesibles, la necesidad de formación especializada para docentes, la falta de políticas institucionales sólidas y las barreras actitudinales que aún dificultan la participación plena de estos estudiantes en entornos educativos. Superar estas limitaciones exige un compromiso sostenido desde la investigación, la práctica pedagógica, el diseño curricular y la política educativa.

En suma, este trabajo reafirma que enseñar matemáticas a estudiantes con discapacidad visual no es únicamente una cuestión de accesibilidad técnica, sino un acto pedagógico profundamente humano que requiere sensibilidad, creatividad y compromiso con la equidad. Promover entornos matemáticos inclusivos implica transformar nuestras concepciones sobre la enseñanza, el aprendizaje y la diversidad, avanzando hacia una escuela que garantice el derecho a aprender a todos y cada uno de sus estudiantes.

A lo largo de este artículo, se han explorado diversas estrategias, materiales, tecnologías y enfoques pedagógicos que son esenciales para la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual. A continuación, se resumen los puntos clave:

Los materiales táctiles, como regletas, ábacos y gráficos en relieve, son fundamentales para hacer que los conceptos matemáticos sean accesibles.

La tecnología asistiva, incluyendo software de lectura de pantalla y calculadoras parlantes, ha revolucionado el acceso al contenido matemático.

Los materiales impresos en braille y las herramientas digitales especializadas, como aplicaciones y programas de notación matemática, son recursos valiosos para el aprendizaje.

Las adaptaciones en exámenes y pruebas estandarizadas, como el uso de braille, formatos digitales accesibles y tiempo adicional, son cruciales para garantizar una evaluación justa.

Los instrumentos para evaluar el progreso en habilidades matemáticas deben ser variados y adaptados, incluyendo pruebas adaptadas, portafolios de trabajo y evaluaciones basadas en proyectos.

Los enfoques pedagógicos recomendados, como la enseñanza multisensorial, el aprendizaje basado en problemas y el diseño universal para el aprendizaje (DUA), son efectivos para crear entornos de aprendizaje inclusivos.

Las adaptaciones curriculares y la formación docente son esenciales para responder a las necesidades individuales del estudiantado.

Ejemplos de implementación exitosa, como el uso de tecnología asistiva en escuelas de Estados Unidos y el proyecto MathMelodies en Italia, demuestran el impacto positivo de estas estrategias.

Los testimonios de estudiantes y educadores resaltan la importancia de la paciencia, la adaptación y la colaboración en el proceso educativo.

La formación docente, el uso de materiales táctiles y tecnología asistiva, y la colaboración entre todos

los actores involucrados son clave para el éxito.

Así, la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual presenta desafíos únicos que requieren soluciones innovadoras y adaptadas. Sin embargo, como se ha demostrado a lo largo de este artículo, existen numerosas estrategias y herramientas que pueden facilitar este proceso. La combinación de materiales táctiles, tecnología asistiva y enfoques pedagógicos inclusivos ha demostrado ser efectiva para mejorar el acceso, la comprensión y la motivación de las y los estudiantes.

Es importante destacar que no existe una solución única para todas las personas estudiantes. Cada individuo tiene necesidades y preferencias únicas, por lo que es esencial personalizar las estrategias y materiales según estas necesidades. Además, la colaboración entre docentes, especialistas, estudiantes y familias es crucial para crear un entorno de aprendizaje verdaderamente inclusivo.

La formación docente continua y el desarrollo profesional son componentes clave para garantizar que las personas educadoras estén equipadas con las habilidades y conocimientos necesarios para enseñar matemáticas de manera efectiva a estudiantes con discapacidad visual. Asimismo, la innovación y la adaptación continua son necesarias para responder a las necesidades cambiantes y aprovechar las nuevas tecnologías.

La enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual es un campo en constante evolución que requiere un enfoque multifacético y colaborativo. A través de la implementación de materiales táctiles, tecnología asistiva, estrategias pedagógicas inclusivas y adaptaciones curriculares, es posible crear entornos de aprendizaje que sean accesibles, equitativos y efectivos.

Las lecciones aprendidas y las mejores prácticas resaltan la importancia de la formación docente, la colaboración y la innovación en el proceso educativo. Al adoptar estas prácticas, el personal educativo puede empoderar al estudiantado con discapacidad visual para que alcancen su máximo potencial en el ámbito de las matemáticas y más allá.

En última instancia, el objetivo es garantizar que todas las personas estudiantes, independientemente de su capacidad visual, tengan la oportunidad de aprender, crecer y triunfar en un mundo cada vez más orientado hacia la tecnología y los datos. Este artículo espera contribuir a este objetivo proporcionando un marco teórico y práctico para la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual.

Este artículo espera servir como un recurso valioso para educadores, investigadores y desarrolladores de materiales didácticos, contribuyendo a la creación de un sistema educativo más inclusivo y equitativo para todos.

La enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual es un campo dinámico que requiere una inversión continua en investigación y desarrollo de materiales. Así, a medida que avanzan las tecnologías y se comprenden mejor las necesidades de las personas estudiantes, es esencial mantener un enfoque proactivo en la innovación y la mejora de las prácticas educativas. Siempre hay espacio para mejorar, tanto en las herramientas tecnológicas táctiles (regleta, ábaco, etc.) como en las aplicaciones y herramientas digitales o en la tecnología asistiva.

La continuidad en la investigación y el desarrollo de materiales es esencial para mantener y mejorar la calidad de la educación matemática para personas con discapacidad visual. A medida que avanzan las tecnologías y se comprenden mejor las necesidades del estudiantado, es crucial seguir invirtiendo en innovación, formación docente y colaboración. Al mantener un enfoque proactivo en la investigación y el desarrollo, se podrá garantizar que todo el cuerpo estudiantil, independientemente de su capacidad visual, tengan acceso a una educación matemática de calidad que les permita alcanzar su máximo potencial.

8. Recomendaciones

Para educadores:

1. Adoptar enfoques pedagógicos inclusivos: Las personas educadoras deben adoptar y promover enfoques pedagógicos inclusivos, como el diseño universal para el aprendizaje (DUA) y la enseñanza multisensorial.
2. Participar en formación continua: El personal docente debe comprometerse con la formación y el desarrollo profesional continuo para mantenerse actualizados sobre las mejores prácticas y las nuevas tecnologías.
3. Colaborar con especialistas y familias: Las personas educadoras deben colaborar con especialistas en discapacidad visual y las familias de las personas estudiantes para diseñar e implementar adaptaciones efectivas.

Para desarrolladores de materiales:

1. Innovar en tecnología asistiva: Deben continuar innovando en tecnología asistiva, creando herramientas y aplicaciones que sean accesibles, intuitivas y efectivas.
2. Desarrollar materiales táctiles de alta calidad: Las y los desarrolladores deben crear materiales táctiles de alta calidad que sean precisos, duraderos y fáciles de usar.
3. Garantizar la accesibilidad en herramientas digitales: Las personas que desarrollan materiales deben asegurarse de que las herramientas digitales, como software de lectura de pantalla y aplicaciones educativas, sean completamente accesibles y compatibles con estándares como MathML.

Para investigadores:

1. Conducir estudios longitudinales: Las personas investigadoras deben llevar a cabo estudios longitudinales para entender el impacto a largo plazo de las estrategias y materiales en el éxito académico y personal de estudiantes con discapacidad visual.
2. Explorar nuevas estrategias pedagógicas: Se deben explorar y evaluar nuevas estrategias pedagógicas y métodos de enseñanza que puedan mejorar el aprendizaje de matemáticas para personas con discapacidad visual.

Para instituciones educativas:

1. Invertir en recursos y capacitación: Las instituciones educativas deben invertir en recursos y capacitación para asegurar que el cuerpo docente tenga acceso a materiales y tecnologías adaptadas, así como a formación continua.
2. Fomentar la colaboración y las redes de apoyo: Las instituciones deben fomentar la colaboración y la creación de redes de apoyo entre docentes, especialistas, investigadores y desarrolladores.

El llamado a la acción para personas educadoras y desarrolladoras es claro: es esencial un esfuerzo coordinado y sostenido para garantizar que todo el estudiantado, independientemente de su capacidad visual, tenga acceso a una educación matemática de calidad. Al adoptar enfoques pedagógicos inclusivos, innovar en tecnología asistiva, participar en formación continua y fomentar la colaboración, podemos crear un entorno educativo más inclusivo y equitativo.

Referencias

- Ahmetovic, D., Bernareggi, C., & Mascetti, S. (2014). MathMelodies: Inclusive design of a didactic game to practice mathematics. *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 323-324.
- Ahmetovic, D., Gleason, C., Kitani, K. M., & Asakawa, C. (2016). NavCog: Turn-by-turn smartphone navigation assistant for people with visual impairments or blindness. *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 90-99.
- Ainscow, M., & César, M. (2006). Inclusive education ten years after Salamanca: Setting the agenda. *European Journal of Psychology of Education*, 21(3), 231-238.
- Amato, S., Hong, S., & Rosenblum, L. P. (2013). Teaching mathematics to students with visual impairments: A survey of practices. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 107(4), 287-299.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart; Winston.
- Baker, C. M., Milne, L. R., & Ladner, R. E. (2015). StructJumper: A tool to help blind programmers navigate and understand the structure of code. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3043-3052.
- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Prentice Hall.
- Booth, T., & Ainscow, M. (2011). *Index for Inclusion: Developing learning and participation in schools*. CSIE.
- Cramer, K., & Wyberg, T. (2009). The role of representations in fraction addition and subtraction. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 15(1), 4-11.
- Cuisenaire, G. (1954). *Les nombres en couleurs: Une méthode pour l'enseignement de l'arithmétique*. Delachaux et Niestlé.
- Desmos. (2021). Accessibility at Desmos.
- Dick, T., & Kubiak, E. (1997). Issues and aids for teaching mathematics to the blind. *The Mathematics Teacher*, 90(5), 344-349.
- Edman, P. K. (1992). *Tactile graphics*. American Foundation for the Blind.
- Edwards, B. J., & Lewis, S. (1998). The use of tactile diagrams in mathematics education for visually impaired students. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 92(3), 151-162.
- Ferrell, K. A., Buettel, M., Sebold, A. M., & Pearson, R. (2006). Mathematics instruction for students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 100(3), 151-163.
- Florian, L., & Black-Hawkins, K. (2011). Exploring inclusive pedagogy. *British Educational Research Journal*, 37(5), 813-828.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. Basic Books.
- Gardner, J. A., & Bulatov, V. (2011). Scientific diagrams made easy with the Tactile Graphics Assistant. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(7), 415-418.

- Gattegno, C. (1971). *Geoboard geometry: A discovery approach*. Educational Solutions Worldwide.
- Healy, L., & Fernandes, S. H. A. A. (2011). The role of gestures in the mathematical practices of those who do not see with their eyes. *Educational Studies in Mathematics*, 77(2), 157-174.
- Hehir, T., & Katzman, L. I. (2012). *Effective inclusive schools: Designing successful schoolwide programs*. Jossey-Bass.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). *Learning together and alone: Cooperative, competitive, and individualistic learning*. Allyn; Bacon.
- Johnson, L. (2015). The decline of braille: Implications for literacy and independence. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 109(3), 173-184.
- Joxemai4. (2009, noviembre). Cuisenaire rods [[Imagen]. Wikimedia Commons]. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Cuisenaire_zotzak.jpg
- Karshmer, A. I., & Bledsoe, C. (2002). Access to mathematics by blind students: Introduction to the special thematic session. *Computers Helping People with Special Needs*, 2398, 471-476.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Lahav, O., Schloerb, D. W., & Srinivasan, M. A. (2012). Virtual environments for people who are visually impaired: A new framework for the design and evaluation of assistive technology. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106(5), 266-278.
- Lazar, J., Allen, A., Kleinman, J., & Malarkey, C. (2007). What frustrates screen reader users on the web: A study of 100 blind users. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 22(3), 247-269.
- Mitchell, D. (2014). *What really works in special and inclusive education: Using evidence-based teaching strategies*. Routledge.
- Moyer, P. S., Bolyard, J. J., & Spikell, M. A. (2002). What are virtual manipulatives? *Teaching Children Mathematics*, 8(6), 372-377.
- Naciones Unidas. (2006). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad.
- NASA. (2006). MathTrax: A graphing tool for the blind.
- Nemeth, A. (1972). The Nemeth Code of Braille Mathematics and Scientific Notation. *The New Outlook for the Blind*, 66(3), 81-86.
- PxHere. (2017, febrero). Bloque de juguete [[Imagen]. PxHere]. <https://pxhere.com/es/photo/738497>
- Research, O. (2020). Orion TI-36X Talking Scientific Calculator.
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age: Universal design for learning*. ASCD.

- Rosenblum, L. P., Amato, S., & Hong, S. (2011). Preparation in and use of the Nemeth braille code for mathematics by teachers of students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(7), 402-414.
- S, I. (2021, junio). Close-up photo of kids playing geoboard [[Fotografía]. Pexels]. <https://www.pexels.com/photo/close-up-photo-of-kids-playing-geoboard-8504340/>
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, 75(2), 428-444.
- Sigmund. (2019, noviembre). Persona que usa braille writer [[Fotografía]. Unsplash]. <https://unsplash.com/es/fotos/persona-que-usa-braille-writer-4MolpDcSlr4>
- Smith, D. W., & Kelley, P. (2007). A survey of assistive technology and teacher preparation programs for individuals with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 101(7), 429-433.
- Smith, D. W., & Smothers, S. M. (2012). The role of technology in the education of students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106(10), 638-652.
- Soiffer, N. (2005). MathPlayer: Web-based math accessibility. *Proceedings of the 7th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 204-205.
- Sorrell, C. A. (2006). The abacus: A tool for learning mathematics. *Teaching Children Mathematics*, 12(5), 238-243.
- Thilagavathi, M. (2024, octubre). This is abacus kit which is used for calculation [[Imagen]. Wikimedia Commons]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abacus_Kit.jpg
- Thurlow, M. L., Lazarus, S. S., & Christensen, L. L. (2013). Accommodations for students with disabilities on state English language proficiency assessments: A review of 2011 state policies. *Journal of Special Education Leadership*, 26(1), 3-14.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

A. Recursos del artículo

Para apoyar a educadores, desarrolladores, investigadores y familias en la enseñanza de las matemáticas a personas con discapacidad visual, es esencial contar con recursos accesibles y de calidad. A continuación, se presenta un listado de organizaciones, sitios web y publicaciones que ofrecen información, herramientas y apoyo en este campo que se mencionaron en el artículo, se consideró útil y conveniente presentarlos todos juntos en un anexo final.

A.1. Organizaciones

American Foundation for the Blind (AFB)

La AFB es una organización sin fines de lucro que ofrece recursos, investigación y apoyo para personas con discapacidad visual.

Recursos: Publicaciones, webinars, herramientas educativas.

Sitio Web: <https://www.afb.org>

National Federation of the Blind (NFB)

La NFB promueve la igualdad y la independencia de las personas ciegas a través de programas educativos y de defensa.

Recursos: Programas de capacitación, recursos educativos, becas.

Sitio Web: <https://www.nfb.org>

Perkins School for the Blind

Perkins es una escuela y organización que ofrece recursos y capacitación para educadores y familias de personas con discapacidad visual.

Recursos: Cursos en línea, materiales didácticos, publicaciones.

Sitio Web: <https://www.perkins.org>

Royal National Institute of Blind People (RNIB)

RNIB es una organización del Reino Unido que ofrece apoyo, recursos y defensa para personas con discapacidad visual.

Recursos: Guías educativas, tecnología asistiva, publicaciones.

Sitio Web: <https://www.rnib.org.uk>

A.2. Sitios Web

Desmos Accessibility

Desmos es una plataforma en línea para graficar funciones matemáticas, con mejoras de accesibilidad para estudiantes con discapacidad visual.

Recursos: Calculadora gráfica accesible, guías de uso.

Sitio Web: <https://www.desmos.com/accessibility>

MathML

MathML es un lenguaje de marcado para representar notación matemática en formato digital, compatible con lectores de pantalla.

Recursos: Documentación, ejemplos, herramientas de desarrollo.

Sitio Web: <https://www.w3.org/Math/>

TactileView

TactileView es un software para crear y explorar gráficos táctiles digitales.

Recursos: Tutoriales, materiales de apoyo, herramientas de diseño.

Sitio Web: <https://www.tactileview.com>

Orbit Research

Orbit Research desarrolla dispositivos y tecnología asistiva para personas con discapacidad visual, como calculadoras parlantes y anotadores braille.

Recursos: Productos, guías de usuario, soporte técnico.

Sitio Web: <https://www.orbitresearch.com>

A.3. Recursos Adicionales

MathMelodies

Descripción: Una aplicación móvil diseñada para enseñar matemáticas a niños con discapacidad visual a través de juegos interactivos y retroalimentación auditiva.

Sitio Web: <https://www.mathmelodies.com>

Seeing AI

Descripción: Una aplicación de Microsoft que utiliza inteligencia artificial para describir el mundo visual, incluyendo texto matemático.

Sitio Web: <https://www.microsoft.com/en-us/seeing-ai>

National Library Service for the Blind and Print Disabled (NLS)

Descripción: El NLS ofrece libros y publicaciones en braille y audio para personas con discapacidad visual.

Sitio Web: <https://www.loc.gov/nls/>

Braille Institute

Descripción: El Braille Institute ofrece programas educativos, recursos y apoyo para personas con discapacidad visual.

Sitio Web: <https://www.brailleinstitute.org>

Agradecimientos: Al profesor Lic. Christian Antonio Duarte Mayorga y la profesora Lic. Fiorella del Rosario Moya Brenes, quienes me permitieron ser asesor en su trabajo de graduación, el cuál me abrió el camino para conocer e investigar sobre los temas tratados en este artículo.

Contribución de las personas autoras: Este trabajo fue elaborado únicamente por Alexander Borbón Alpízar, quien asumió la responsabilidad de todas las etapas de desarrollo del artículo.

Accesibilidad de datos: El artículo no es de investigación, en el sentido que no se tomaron datos como tales, ni se hicieron análisis cuantitativos sobre datos.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial: El autor declara haber utilizado herramientas de inteligencia artificial (ChatGPT y Gemini) como apoyo en la redacción, estructuración y corrección de estilo y gramática del presente manuscrito. Estas herramientas también se emplearon para la traducción del título y el resumen, así como para la búsqueda exploratoria de referencias bibliográficas. Las figuras 4a y 4b fueron generadas mediante IA.

Todo el contenido sugerido por estas herramientas fue sometido a una revisión humana exhaustiva y crítica para asegurar su precisión, coherencia y originalidad. El autor asume la total responsabilidad sobre el contenido final del artículo y garantiza que este cumple con los estándares éticos y de calidad de la revista.