



**ESCALAS PSICOMÉTRICAS Y TECNOLOGÍAS
EMERGENTES PARA MEDICIÓN Y TRATAMIENTO DE LA
ANSIEDAD MATEMÁTICA**Psychometric Scales and Emerging Technologies for the
Measurement and Treatment of Mathematical Anxiety**M Orozco-Guzmán**Universidad Simón Bolívar.
Barranquilla, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-0587-3738>**Anderson Díaz-Pérez**Universidad Simón Bolívar.
Barranquilla, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2448-0953>**Rafael García-Jiménez**

Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia.

 <https://orcid.org/0000-0001-6700-686X>

Este trabajo está depositado en Zenodo:

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19267427>**RESUMEN**

La ansiedad matemática (AM) ha impactado negativamente el rendimiento académico y el bienestar socioemocional de los estudiantes. Durante las últimas décadas, se han explorado los factores que contribuyen a su desarrollo, así como las herramientas y tecnologías para su evaluación y manejo. Esta revisión analiza la evolución de las metodologías y herramientas utilizadas para medir la AM, enfocándose en la Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS) y las interfaces cerebro-computadora (BCI), además de examinar el papel de las tecnologías emergentes para reducir el impacto negativo de la AM. La metodología empleada consistió en una búsqueda sistemática en bases de datos de alto impacto como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, empleando palabras clave como "ansiedad matemática", "escala MARS" e "interfaz cerebro-computadora". Se incluyeron estudios publicados en los últimos 20 años, complementados con investigaciones seminales que establecieron las bases teóricas de la AM. Se revisaron tanto estudios empíricos como teóricos, evaluando escalas psicométricas y tecnologías aplicadas al tratamiento de la AM. Esta revisión concluye que, aunque se han logrado avances significativos en la evaluación de la AM, es necesario optimizar las intervenciones combinando enfoques tradicionales con tecnologías emergentes. Las futuras investigaciones deberían centrarse en estrategias que aborden tanto las causas profundas como los síntomas manifiestos de la AM.

Palabras claves: Escalas psicométricas, intervención educativa, tecnología adaptativa, evaluación neurofisiológica.

ABSTRACT

Mathematical anxiety (MA) has negatively impacted the academic performance and socio-emotional well-being of students. Over the past few decades, researchers have explored the factors contributing to its development, as well as the tools and technologies for its evaluation and management. This review analyzes the evolution of the methodologies and tools used to measure MA, focusing on the Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS) and brain-computer interfaces (BCI), while also examining the role of emerging technologies in reducing the negative impact of MA. The methodology employed consisted of a systematic search in high-impact databases such as PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, using keywords like "mathematical anxiety," "MARS scale," and "brain-computer interface." Studies published in the last 20 years were included, complemented by seminal research that established the theoretical foundations of MA. Both empirical and theoretical studies were reviewed, evaluating psychometric scales and technologies applied to the treatment of MA. This review concludes that, although significant advances have been made in the assessment of MA, it is necessary to optimize interventions by combining traditional approaches with emerging technologies. Future research should focus on strategies that address both the root causes and the manifest symptoms of MA.

Keywords: Psychometric scales, educational intervention, adaptive technology, neurophysiological assessment.

INTRODUCCIÓN

La ansiedad matemática (AM) ha captado una atención significativa en los ámbitos educativo y psicológico debido a su influencia negativa en el rendimiento académico y el bienestar socioemocional de los estudiantes (Leudo Romaña, 2021). A lo largo de los años, numerosos estudios han demostrado cómo la AM se convierte en un obstáculo importante, afectando tanto el aprendizaje como las decisiones educativas y profesionales, lo que restringe las oportunidades en campos relacionados con las matemáticas y ciencias (Wang et al., 2015). Este fenómeno no solo se manifiesta en el entorno escolar, sino que también tiene implicaciones duraderas en la vida cotidiana y en el desarrollo de habilidades cognitivas críticas, especialmente en tareas que requieren razonamiento lógico y resolución de problemas (OCDE, 2019).

En la última década, se ha avanzado significativamente en la comprensión de la ansiedad matemática y sus efectos. Sin embargo, las herramientas de medición tradicionales, que incluyen tanto escalas estandarizadas como la Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS), como técnicas cualitativas tales como entrevistas y observación en el aula, aunque ampliamente utilizadas, presentan limitaciones importantes. La MARS se basa en autoinformes, lo que introduce una alta dependencia de la subjetividad del participante. Las respuestas pueden estar influenciadas por diversos factores contextuales y emocionales, lo que dificulta la obtención de una medición precisa y en tiempo real de los niveles de ansiedad (Furnham & Henderson, 1982). De igual forma, tanto las entrevistas como las observaciones en el aula, aunque permiten recoger información cualitativa valiosa, están sujetas a la interpretación del investigador y al sesgo del observador, lo que puede comprometer la

objetividad de los datos (Angrosino, 2007). Además, estas herramientas, si bien pueden aplicarse en contextos reales como el aula, tienden a adoptar un enfoque estático que no permite capturar adecuadamente la naturaleza dinámica de la AM, la cual puede variar significativamente según la situación o la tarea matemática específica (del Valle & Zamora, 2021). Estas limitaciones resaltan la necesidad de métodos más objetivos y adaptativos para la evaluación de la AM.

En este contexto, las tecnologías emergentes, como las interfaces cerebro-computadora (BCI), ofrecen un enfoque prometedor para superar estas limitaciones. Las BCI, combinadas con el uso de electroencefalografía (EEG), permiten la captura de datos neurofisiológicos en tiempo real, proporcionando una evaluación continua y más precisa de las respuestas emocionales y cognitivas asociadas con la ansiedad matemática (Wolpaw et al., 2002). A diferencia de los autoinformes, estas tecnologías permiten observar directamente las respuestas cerebrales durante la realización de tareas matemáticas, lo que elimina el sesgo inherente a la percepción subjetiva del participante. Investigaciones recientes han demostrado que el uso de BCI puede no solo identificar los momentos en los que los estudiantes experimentan ansiedad, sino también adaptar las intervenciones pedagógicas en tiempo real para mitigar sus efectos (Armani et al., 2023).

La revisión crítica de la literatura actual sobre la ansiedad matemática evidencia varios aspectos insuficientemente explorados y áreas de oportunidad que requieren mayor atención. En primer lugar, la mayoría de los estudios se han centrado en la identificación de correlaciones entre la ansiedad matemática y el rendimiento académico, pero pocos han investigado los mecanismos neurofisiológicos que explican estas relaciones. Además, aunque se han desarrollado diversas escalas psicométricas, como

la MARS, hay una falta de adaptación cultural de estas herramientas, lo que limita su validez en contextos multi-culturales. Por otro lado, la incorporación de tecnologías emergentes en la evaluación de la AM sigue siendo un campo incipiente, con un enfoque limitado en estudios de laboratorio y poca evidencia de su efectividad en entornos educativos reales. Estos vacíos evidencian la necesidad de profundizar en investigaciones que exploren no solo la efectividad de las tecnologías emergentes para medir la AM, sino también cómo estas pueden integrarse en contextos educativos diversos para proporcionar intervenciones personalizadas y culturalmente adecuadas. De igual manera, hay una falta de estudios longitudinales que permitan observar cómo la ansiedad matemática evoluciona a lo largo del ciclo de vida educativo y cómo las intervenciones tempranas podrían mitigar sus efectos a largo plazo.

El objetivo de este artículo de revisión es analizar la evolución de las metodologías utilizadas para la evaluación de la ansiedad matemática, centrándose en la integración de tecnologías emergentes como las interfaces cerebro-computadora (BCI). Este análisis se centra en cómo estas tecnologías, en combinación con enfoques psicométricos tradicionales como la Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS), pueden optimizar tanto la medición como el tratamiento de la AM. Además, se propone revisar los modelos teóricos que explican el origen y las manifestaciones de la AM, y explorar estrategias de intervención que combinen enfoques tradicionales y tecnológicos para ofrecer una comprensión más precisa de la AM y mejorar las intervenciones educativas dirigidas a mitigar sus efectos. La combinación de métodos avanzados y emergentes tiene el potencial de transformar significativamente la manera en que se aborda la ansiedad matemática, proporcionando una base más sólida para futuras investigaciones e implementaciones prácticas.

El artículo se organiza en varias secciones principales. Primero, se abordarán los antecedentes y la importancia de la AM en distintos contextos educativos, marcando su impacto en diferentes grupos demográficos. Luego, se analizarán los modelos teóricos que han intentado explicar la ansiedad matemática, integrando diferentes perspectivas que permitan entender su complejidad. A continuación, se discutirá la evolución de las metodologías psicométricas para su evaluación, incluyendo los desafíos asociados a su aplicación en diversos contextos culturales. Finalmente, se explorará el papel de las tecnologías emergentes en la evaluación de la AM, considerando tanto sus beneficios como las implicaciones éticas y prácticas de su implementación.

La pregunta central que orienta esta revisión es: ¿Cómo han evolucionado las metodologías para evaluar la ansiedad matemática y cómo pueden integrarse tecnologías emergentes para mejorar dicha evaluación? Este análisis busca no solo consolidar el conocimiento actual, sino también identificar áreas clave para futuras investigaciones que contribuyan a mejorar las estrategias de intervención y los resultados educativos en estudiantes afectados por la AM.

ASPECTO METODOLÓGICO

Este estudio adoptó un enfoque de revisión sistemática para asegurar la identificación exhaustiva, selección rigurosa y análisis crítico de la literatura científica sobre la ansiedad matemática (AM), con un énfasis particular en las herramientas de medición psicométrica y las tecnologías emergentes. Este método también se enfocó en identificar herramientas y tecnologías específicas, como la Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS), las interfaces cerebro-computadora y sus aplicaciones en la medición y manejo de la AM.

La búsqueda de fuentes se realizó utilizando bases de datos académicas

INVESTIGACIÓN

reconocidas, como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, para asegurar la inclusión de literatura relevante y de alta calidad. Se emplearon palabras clave específicas como “ansiedad matemática,” “escala MARS”, “interfaz cerebro-computadora BCI,” “modelos teóricos de ansiedad,” e “intervenciones en educación matemática” para ampliar el alcance de la búsqueda y cubrir diversos aspectos del tema, incluyendo las herramientas y tecnologías mencionadas. Además, se aplicaron filtros de

búsqueda para limitar los resultados a artículos publicados en los últimos 20 años, garantizando la actualidad de los estudios considerados, aunque también se incluyeron trabajos seminales anteriores que fundamentan las bases teóricas del tema.

Tabla 1: Características y Justificación del Nivel de Impacto de las Referencias Bibliográficas en el Estudio de la Ansiedad Matemática.

Referencia Bibliográfica	Tipo de Estudio	Período Temporal	Idioma	Nivel de Impacto Científico	Vicios de Conocimiento	Complementariedad	Escalas Psicométricas Utilizadas	Tecnología Emergente Utilizada	Nivel de Impacto (Abstracción)	Justificación del Nivel de Impacto
Lang (1968)	Teórico	1965-1970	Inglés	Medio Impacto (O2)	No explora la ABI ni tecnologías emergentes.	Aporta teoría sobre la ansiedad.	No utiliza	No utiliza	Medio	Estudio teórico influyente en su época, pero sin relevancia directa en el campo de la ABI o el uso de tecnologías emergentes.
Richardson & Gales (1975)	Psicométrico	1970-1975	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda tecnologías emergentes.	Desarrollo de MARS para medir ABI.	MARS	No utiliza	Alto	Desarrollo fundacional de la escala MARS, una de las herramientas más citadas para medir ABI, publicada en O1.
Conover & Sherman (1976)	Psicométrico	1970-1980	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda tecnologías emergentes.	Evalúa actitudes hacia matemáticas.	FSMAG	No utiliza	Alto	Publicación fundacional en el desarrollo de escalas psicométricas (FSMAG) para medir actitudes hacia matemáticas, en una revista influyente.
Carroll & Henderson (1982)	Teórico	1980-1985	Inglés	Medio Impacto (O2)	No explora innovación tecnológica.	Aporta teoría sobre su uso en autoformas.	No utiliza	No utiliza	Medio	Publicación teórica en una revista O2, aporta discusiones relevantes sobre su uso en autoformas, pero no incluye metodologías actuales.
Alexander & Marney (1986)	Empírico	1980-1990	Inglés	Medio Impacto (O2)	Escasa actualización sobre tecnologías emergentes.	Proporciona una versión breve de la MARS.	MARS	No utiliza	Medio	Publicado en una revista de impacto moderado y su aportación clave es al desarrollo de una versión abreviada de MARS, aunque sin nuevas tecnologías.
Johnson & Kirk (2001)	Empírico	2000-2005	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda tecnologías emergentes para medir la ABI.	Complementa teoría cognitiva sobre la ABI.	MARS	No utiliza	Alto	Publicación influyente en una revista de alto impacto (O1) que proporciona bases teóricas clave sobre ABI y métodos de trabajo.
Holopainen et al. (2002)	Experimental (neurofisiología)	2000-2005	Inglés	Alto Impacto (O1)	Falta exploración en educación.	Desarrolla interfaces cerebro-computadora (BCI).	No utiliza	BCI	Alto	Artículo fundacional en O1 sobre el desarrollo de BCI con aplicaciones relevantes en la educación (García-Jiménez et al., 2023).
Holopainen et al. (2003)	Psicométrico	2000-2005	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda nuevas tecnologías.	Desarrolla la ABAS para medir ABI.	ABAS	No utiliza	Alto	Desarrollo de ABAS, una de las escalas psicométricas más citadas para medir ABI, en una

									revista de alto impacto.	
Guinn, & Winston (2003)	Psicométrico	2000-2005	Inglés	Medio Impacto (O2)	Falta explorar su aplicación en nuevos contextos tecnológicos	Complementa con versiones abreviadas de MARS	MARS-B	No utiliza	Medio	Desarrollo de una versión abreviada de MARS, relevante pero en una revista de impacto moderado (O2).
Ashcraft & Sicley (2005)	Teórico	2000-2005	Inglés	Medio Impacto (O2)	No aborda tecnologías emergentes	Aporta teoría sobre consecuencias cognitivas de ABI	No utiliza	No utiliza	Medio	Publicación teórica en revista de medio impacto (O2), relevante en su tiempo pero sin incorporación de nuevas metodologías.
Dovelec (2005)	Teórico	2000-2005	Inglés	Medio Impacto (O2)	No explora tecnologías emergentes en educación	Complementa estudios sobre diferencias individuales	No utiliza	No utiliza	Medio	Publicación teórica en una revista O2, explora las diferencias individuales en ABI pero no presenta novedades tecnológicas.
Dobson (2006)	Teórico	2005-2010	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda intervención tecnológica	Proporciona teoría control-valor para ABI	No utiliza	No utiliza	Alto	Estudio teórico publicado en una revista O1, aporta la teoría del control-valor para las emociones en el aprendizaje, relevante en ABI.
Ashcraft & Krause (2007)	Empírico (cuantitativo)	2005-2010	Inglés	Alto Impacto (O1)	Falta explorar intervención con tecnologías	Aporta información sobre memoria de trabajo y ABI	No utiliza	No utiliza	Alto	Estudio empírico clasificado en O1 sobre la relación entre ABI y funciones cognitivas, con impacto significativo en el campo.
Ashcraft & Moore (2009)	Teórico	2005-2010	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda la evaluación neurofisiológica	Complementa estudios sobre habilidades y ABI	No utiliza	No utiliza	Alto	Artículo teórico en revista O1, proporciona una base conceptual importante para intervenciones en ABI.
Ballock et al. (2010)	Empírico (cuantitativo)	2005-2010	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda intervención tecnológica	Relaciona ABI y rendimiento en estudiantes	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicación en una revista de alto impacto (O1), influyente en estudios sobre ABI y su relación con el rendimiento escolar.
Mo & IS (2011)	Psicométrico	2010-2015	Inglés	Alto Impacto (O1)	No aborda tecnologías emergentes	Desarrolla MAGG para estudiantes	MAGG	No utiliza	Alto	Desarrollo de la escala MAGG, una herramienta clave para evaluar ABI en estudiantes, publicada en una revista de alto impacto.

Dekker et al. (2011)	Psicométrico	2005-2011	Inglés	Alto impacto (Q1)	No explora tecnologías emergentes.	Desarrolla el ADO para medir emociones.	ADO	No utiliza	Alto	Desarrollo de la escala ADO, ampliamente utilizada en la evaluación de emociones académicas, publicado en una revista de alto impacto.
Giuliano et al. (2013)	Empírico (cuantitativo)	2010-2015	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda nuevas tecnologías.	Relaciona ABl y memoria de trabajo	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicación empírica dada en una revista Q1, sobre la relación entre ABl y memoria de trabajo en niños pequeños.
Melouchiet et al. (2013)	Empírico (cuantitativo)	2010-2015	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda tecnologías emergentes.	Relaciona ABl con el apoyo parental	No utiliza	No utiliza	Alto	Estudio en Q1, importante en la relación entre ABl y el entorno familiar, muy citado en el campo educativo.
Wang et al. (2015)	Empírico (cuantitativo)	2010-2015	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda tecnologías emergentes.	Relaciona ABl y motivación en el aprendizaje	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicación en revista de alto impacto (Q1), análisis detallado de la relación entre motivación y ABl, muy citado.
Dowker et al. (2016)	Empírico (cuantitativo)	2010-2015	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda tecnologías emergentes.	Estudia ABl y habilidades aritméticas.	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicado en revista Q1, análisis empírico dado sobre la relación entre ABl y habilidades aritméticas.
Suárez-Balboa et al. (2016)	Revisión	2010-2015	Inglés	Alto impacto (Q1)	No explora tecnologías emergentes.	Revisión de consecuencias cognitivas de ABl	No utiliza	No utiliza	Alto	Revisión teórica publicada en Q1, ofrece un análisis detallado de las consecuencias cognitivas y fisiológicas de la ABl.
Carry et al. (2017)	Empírico (cuantitativo)	2015-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	No explora la intervención con tecnologías en tiempo real	Complementa estudios sobre ABl en niños.	ABMAG	No utiliza	Alto	Artículo en una revista de alto impacto, validación clave del ABMAG para niños. Muy citado en estudios y lecturas sobre ABl.
Wladimir et al. (2017)	Experimental (neurofisiológico)	2015-2020	Inglés	Medio impacto (Q2)	Falta replicación en contextos culturales diferentes.	Complementa el uso de EEG en la medición de ABl	No utiliza	EEG	Medio	Investigación experimental en una revista Q2, con uso innovador de EEG para detectar ABl, aunque falta replicación en diversos contextos.
Genov et al. (2017)	Empírico (cuantitativo)	2010-2017	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda tecnologías emergentes.	Relaciona habilidades aritméticas y ABl en niños.	No utiliza	No utiliza	Alto	Estudio empírico en Q1, relevante para la relación entre habilidades básicas y ABl en la educación primaria.

Yáñez-Manguina & Valdeolmillos-Callejo (2017)	Psicométrico	2015-2020	Español	Medio impacto (Q2)	No aborda tecnologías emergentes	Desarrollo de la SAMAS para estudiantes de secundaria	SAMAS	No utiliza	Medio	Publicación relevante en Q2, aporta una escala para medir en educación secundaria, siempre sin uso de tecnologías emergentes.
Gunderson et al. (2018)	Empírico (cuantitativo)	2015-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda tecnologías emergentes	Relación AM con motivación y rendimiento	AMAS	No utiliza	Alto	Estudio empírico en una revista Q1, analiza AM y su relación con la motivación en educación primaria, con impacto significativo.
Luthenberg et al. (2018)	Empírico (cuantitativo)	2015-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	No explora tecnologías emergentes como posibles soluciones	Complementa estudios demográficos de AM	FSMAS	No utiliza	Alto	Estudio empírico publicado en una revista Q1, relevante en el análisis de AM en diferentes grupos demográficos, usando escalas psicométricas.
Rivero et al. (2018)	Empírico (cuantitativo)	2015-2018	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda tecnologías emergentes	Relación AM con intervenciones tempranas	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicación en Q1, muy citada por proponer intervenciones tempranas para múltiples AM en estudiantes jóvenes.
Alfonso et al. (2019)	Empírico (cuantitativo)	2015-2020	Inglés	Medio impacto (Q2)	No explora nuevas tecnologías en la intervención de la AM	Evalúa la ansiedad en la enseñanza de matemáticas	MTAS	No utiliza	Medio	Publicación en revista Q2 y desarrollo de una escala psicométrica (MTAS), sin innovación tecnológica significativa.
Sabatelli et al. (2019)	Experimental (neurobiología)	2015-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	Falta implementación en educación masiva	Complementa la investigación sobre actividad perenne	No utiliza	EEG	Alto	Investigación experimental en Q1, con innovación en el uso de EEG para estudiar la AM. Aporta datos valiosos sobre actividad cerebral.
Wardle et al. (2019)	Experimental (neurobiología)	2015-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	Falta exploración intervenciones educativas	Estudia el impacto de AM en la memoria de trabajo	No utiliza	EEG	Alto	Publicación en Q1 que conecta la AM con la memoria de trabajo, utilizando técnicas neurobiológicas avanzadas (EEG).
OCDE (2019)	Técnico	2015-2019	Inglés	Alto impacto (Q1)	No aborda la evolución específica de AM	Aporta contexto educativo y rendimiento	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicación en una institución influyente (OCDE), ofrece un contexto educativo general de alto impacto, pero no se centra exclusivamente en AM.

Chu et al. (2020)	Experimental (neurobiología)	2019-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	Escasa replicación en contextos educativos	Estudio neurobiológico de AM en adolescentes	No utiliza	EEG durante sesiones	Alto	Investigación experimental en Q1, usa EEG para medir respuestas neurobiológicas durante sesiones matemáticas, innovador en AM.
Socorro & Nieto-Vázquez (2020)	Psicométrico	2019-2020	Español	Medio impacto (Q3)	Escasa replicación en otras publicaciones	Desarrolla un cuestionario para AM en ingeniería	No utiliza	No utiliza	Medio	Publicación en revista de medio impacto (Q3), relevante para la medición de AM en estudiantes de ingeniería, aunque con aplicaciones limitadas.
Fernández et al. (2021)	Empírico (cuantitativo)	2019-2020	Inglés	Alto impacto (Q1)	No explora tecnologías emergentes	Relaciones habituales de estudio y AM	No utiliza	No utiliza	Alto	Publicación en Q1, conecta AM con hábitos de estudio en estudiantes latinos, con alta relevancia en el contexto educativo actual.
Leudo-Normata (2021)	Empírico	2020-2021	Español	Bajo impacto (Q4)	No aborda tecnologías emergentes	Relaciones estereotipadas de AM y AM	No utiliza	No utiliza	Bajo	Publicación en una revista de bajo impacto, con contribuciones limitadas al contexto global de la AM y sin uso de tecnologías.
del Valle & Zamora (2022)	Técnico	2020-2022	Español	Medio impacto (Q3)	No aborda tecnologías emergentes	Complementa estudios sobre medidas automáticas	No utiliza	No utiliza	Medio	Publicación técnica en revista Q3, contribuye con revisión sobre métodos automáticos, aunque sin innovación tecnológica.
Soyeşi et al. (2022)	Empírico (machine learning)	2020-2022	Inglés	Alto impacto (Q1)	Necesita mayor validación con grandes muestras	Uso de machine learning en la medición de AM	No utiliza	Machine Learning	Alto	Publicación innovadora en Q1, utiliza machine learning para analizar variables complejas relacionadas con AM.
Ammari et al. (2023)	Experimental	2020-2023	Inglés	Alto impacto (Q1)	Falta replicación en contextos educativos	Explora sistemas multidisciplinarios de aprendizaje	No utiliza	EEG	Alto	Publicado en una conferencia de alto impacto, propone una metodología innovadora basada en EEG, con alto potencial en neuroeducación.
Stanton-Loy et al. (2023)	Empírico (longitudinal)	2020-2023	Inglés	Alto impacto (Q1)	No explora tecnologías emergentes	Análisis AM en relación con decisiones de carrera	No utiliza	No utiliza	Alto	Artículo longitudinal en Q1 que conecta AM con trayectorias de carrera. Influyente en educación y estudios vocacionales.

Mendoza et al. (2023)	Psicométrico	2020-2023	Implic	Medio Impacto (Q2)	Falla estudios longitudinales	Validación de AMAS en contextos ámbos	AMAS	No utiliza	Medio	Publicación en revista Q2, importante por validar el AMAS en publicaciones ámbos, aunque carece de un enfoque tecnológico.
Núñez Peña & Guisasa, Ferré (2023)	Psicométrico	2020-2023	Español	Medio Impacto (Q2)	No aborda tecnologías emergentes	Desarrolla una versión breve de AMAS	AMAS	No utiliza	Medio	Publicación en una revista Q2, desarrolla una escala psicométrica nueva (AMAS) con aplicaciones limitadas pero útiles en AM.
Rosa et al. (2023)	Empírico (modelo neuronal)	2020-2023	Implic	Alto Impacto (Q1)	Necesita más validación en contextos educativos	Propone una red neuronal de AM	No utiliza	Redes Neuronales	Alto	Publicación en una revista de alto impacto (Q1), presenta modelos neuronales innovadores para la evaluación de AM, aunque falta replicación.
Núñez Peña & Campos-Rodríguez (2024)	Experimental (longitudinal)	2020-2024	Implic	Alto Impacto (Q1)	No explora nuevas tecnologías en la intervención de AM	Análisis de control cognitivo en tareas aritméticas	AMAS	No utiliza	Alto	Estudio longitudinal en una revista de alto impacto (Q1), analiza AM y control cognitivo con gran relevancia académica.
Schwarz et al. (2024)	Empírico (machine learning)	2020-2024	Implic	Alto Impacto (Q1)	Necesita más validación educativa	Predicción de ansiedad mediante machine learning	No utiliza	Machine Learning	Alto	Estudio innovador en Q1, explora la predicción de AM utilizando machine learning con aplicaciones transformadoras.

Se incluyeron estudios empíricos, revisiones sistemáticas y meta-análisis publicados entre 2000 y 2023, que abordan la medición y tratamiento de la ansiedad matemática, particularmente mediante el uso de escalas psicométricas y tecnologías emergentes. Se excluyeron estudios con metodologías poco rigurosas, tamaños muestrales pequeños (<50), o aquellos que no proporcionaran datos suficientes para la replicabilidad de los resultados.

Para llevar a cabo una revisión rigurosa y transparente, se siguió la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). A continuación, se presenta un diagrama que resume el proceso de selección de estudios, incluyendo las fases de identificación, selección, evaluación de elegibilidad e inclusión de los estudios considerados relevantes para esta revisión. Este enfoque asegura la trazabilidad y calidad en la identificación de la literatura pertinente para el análisis de la

ansiedad matemática y su evaluación mediante tecnologías emergentes y enfoques psicométricos tradicionales.

Figura 1. Diagrama de Selección de Estudios: Metodología PRISMA



Antecedentes y Relevancia de la Ansiedad Matemática

La ansiedad matemática (AM) ha sido un tema de creciente interés en la investigación desde que Richardson y Suinn (1972) la definieran como “sentimientos de tensión y ansiedad que interfieren con la manipulación de números y la resolución de problemas matemáticos en diversas situaciones académicas y de la vida diaria”. Desde entonces, la AM ha sido reconocida

como un factor significativo que afecta tanto el rendimiento académico como el bienestar socioemocional de los estudiantes (Ashcraft & Krause, 2007).

Desde la definición original de la AM, el concepto ha evolucionado considerablemente, integrando enfoques de la neurociencia y la tecnología. Inicialmente, la AM se comprendía principalmente desde perspectivas emocionales y comportamentales, pero estudios recientes, como los de Klados et al. (2017) y Qu et al. (2020), han añadido una dimensión neurofisiológica, utilizando tecnologías como la electroencefalografía (EEG) para medir respuestas cerebrales durante tareas matemáticas. Este cambio ha permitido avanzar desde un enfoque meramente psicológico hacia una visión más integral, que también considera la actividad cerebral durante el aprendizaje matemático.

En las últimas décadas, la relevancia de la AM ha aumentado a medida que los investigadores han profundizado en su impacto en diferentes grupos demográficos y niveles educativos. Luttenberger et al. (2018) muestran que la AM afecta a una proporción considerable de adolescentes en varios países, influenciada por factores ambientales, como las actitudes de los maestros (Beilock et al., 2010) y de los padres (Vukovic et al., 2013) hacia las matemáticas, así como por estereotipos de género y factores personales, como la autoeficacia y la motivación. Estos elementos no solo contribuyen al desarrollo de la AM, sino que también perpetúan su presencia a lo largo de la vida académica de los estudiantes (Ashcraft & Ridley, 2005).

Recientes avances en la evaluación de la AM incluyen el uso de medidas neurofisiológicas y aprendizaje automático. Estos métodos han demostrado ser más precisos que las escalas basadas en autoinformes, las cuales, aunque ampliamente utilizadas (Hopko et al., 2003; Richardson & Suinn, 1972), presentan limitaciones

debido a la subjetividad de los participantes (del Valle & Zamora, 2021). Por ejemplo, el EEG y las interfaces cerebro-computadora (BCI) permiten obtener datos objetivos y en tiempo real sobre la AM.

Con la introducción de enfoques neurocientíficos, la comprensión de la AM ha evolucionado significativamente. Investigaciones que emplean EEG y otras tecnologías neurofisiológicas han proporcionado una perspectiva más profunda sobre las respuestas emocionales y cognitivas durante tareas matemáticas, algo que antes no era posible con herramientas psicométricas tradicionales.

Además, la aparición de tecnologías como el aprendizaje automático ha permitido el desarrollo de modelos adaptativos que no solo evalúan la ansiedad, sino que también proponen intervenciones en tiempo real para mitigar sus efectos (Armani et al., 2023). Estas innovaciones representan un cambio de paradigma, pasando de un enfoque descriptivo y basado en autoinformes a uno interactivo y adaptativo, con el potencial de personalizar las intervenciones según las necesidades de cada estudiante.

La detección temprana de la AM es crucial, ya que está asociada no solo con dificultades matemáticas, sino también con problemas socioemocionales. Ramirez et al. (2018) encontraron que un alto porcentaje de estudiantes de 15 años reportan sentimientos de desamparo y ansiedad al enfrentarse a problemas matemáticos complejos, lo que resalta la importancia de intervenir desde etapas tempranas del desarrollo educativo.

Estudios como los de Gunder-son et al. (2018) y Sorvo et al. (2017) sugieren que la AM temprana tiene efectos duraderos en el rendimiento matemático y el desarrollo académico. Estos efectos son especialmente pronunciados cuando los estudiantes carecen de estrategias efectivas para manejar su ansiedad, lo que refuerza

la necesidad de implementar programas educativos que aborden tanto la enseñanza de las matemáticas como el manejo de la ansiedad desde una edad temprana.

En el contexto de la educación superior y las decisiones de carrera, Fernández et al. (2021) analizaron la influencia de los hábitos de estudio en la AM, mientras que Eidlin-Levy et al. (2023) exploraron su impacto en las elecciones profesionales. Estos estudios destacan que la AM no solo afecta el rendimiento académico, sino que también influye en las trayectorias profesionales, limitando oportunidades en campos relacionados con las matemáticas y la ciencia.

La AM impacta negativamente las funciones ejecutivas, comprometiendo habilidades críticas como la atención sostenida, la memoria de trabajo y el control cognitivo. Los estudiantes con altos niveles de AM tienden a tener dificultades para concentrarse en problemas matemáticos complejos, lo cual disminuye su capacidad para procesar y retener información, afectando su rendimiento académico general. Estos efectos se acentúan en situaciones de alta presión, como los exámenes, donde el control cognitivo es fundamental (Núñez-Peña & Campos-Rodríguez, 2024).

La relevancia de la AM trasciende el ámbito académico, ya que también afecta las decisiones de carrera y las oportunidades laborales. Eidlin-Levy et al. (2023) demostraron que los estudiantes con altos niveles de AM tienden a evitar carreras relacionadas con las matemáticas y las ciencias, limitando así sus oportunidades en campos STEM. Este impacto socioeconómico subraya la importancia de abordar la AM desde etapas tempranas para mitigar sus efectos a largo plazo en el bienestar y en las trayectorias profesionales.

Teorías y Modelos de la Ansiedad Matemática

La AM es un fenómeno complejo que puede entenderse a través de diversas teorías y modelos explicativos. Cada modelo ofrece una perspectiva única, pero también se complementan para proporcionar una comprensión más completa de cómo esta ansiedad se desarrolla y se manifiesta.

Teoría Tridimensional de Lang

La teoría tridimensional de Lang sugiere que la ansiedad es el resultado de la interacción entre tres sistemas interrelacionados: el sistema cognitivo, el sistema fisiológico y el sistema comportamental (Lang, 1968). En el contexto de la ansiedad matemática, el sistema cognitivo se refiere a los pensamientos y creencias que los estudiantes tienen sobre su capacidad para realizar tareas matemáticas, los cuales suelen ser negativos y amplifican la ansiedad. El sistema fisiológico involucra las respuestas físicas al estrés, como la sudoración y el aumento del ritmo cardíaco, que se activan en situaciones percibidas como amenazantes. Finalmente, el sistema comportamental abarca las acciones que los estudiantes realizan en respuesta a su ansiedad, como evitar tareas matemáticas o procrastinar, lo que refuerza el ciclo de ansiedad (Suárez-Pellicioni et al., 2016).

Modelo de Deficiencia de Habilidades

El modelo de deficiencia de habilidades propone que la ansiedad matemática se origina en la falta de habilidades matemáticas fundamentales. Según este enfoque, los estudiantes que carecen de una base sólida en matemáticas son más propensos a experimentar ansiedad cuando se enfrentan a tareas matemáticas, lo que a su vez disminuye aún más su rendimiento (Ashcraft & Moore, 2009). Dowker et al. (2016) encontraron que las intervenciones centradas en fortalecer las habilidades aritméticas

básicas pueden reducir significativamente la ansiedad matemática en estudiantes de primaria, lo que sugiere que una mejor preparación en matemáticas desde una edad temprana puede mitigar la ansiedad.

Teoría de la Interferencia Cognitiva

La teoría de la interferencia cognitiva propone que la ansiedad matemática interfiere con el procesamiento cognitivo al consumir recursos de la memoria de trabajo necesarios para realizar tareas matemáticas (Ashcraft & Kirk, 2001). Esta interferencia cognitiva puede llevar a errores en la ejecución de tareas matemáticas y a un bajo rendimiento académico. Ramirez et al. (2013) confirmaron que la ansiedad matemática está asociada con una menor capacidad de memoria de trabajo, lo que a su vez afecta negativamente el rendimiento matemático, especialmente en tareas que requieren una alta carga cognitiva.

Teoría del Desarrollo Acumulativo

La teoría del desarrollo acumulativo sugiere que la ansiedad matemática se desarrolla a lo largo del tiempo a través de experiencias repetidas de fracaso y frustración en matemáticas. Estas experiencias negativas se acumulan, llevando a una mayor ansiedad y a una evitación cada vez mayor de las matemáticas (Dowker, 2005). Este modelo enfatiza la importancia de las intervenciones tempranas para prevenir la acumulación de experiencias negativas y reducir la ansiedad matemática desde una edad temprana.

Modelo de Control-Valor

El modelo de control-valor, propuesto por Pekrun (2006), sostiene que las emociones académicas, incluida la ansiedad matemática, son el resultado de las percepciones de control y valor que los estudiantes atribuyen a las tareas matemáticas. Según este modelo, los estudiantes

que sienten que tienen poco control sobre su rendimiento en matemáticas y que no valoran la materia tienden a experimentar mayores niveles de ansiedad. Investigaciones han mostrado que aumentar la percepción de control y el valor de las matemáticas en los estudiantes puede reducir significativamente sus niveles de ansiedad matemática (Pekrun et al., 2011).

Modelo Bidireccional

El modelo bidireccional plantea que la relación entre la ansiedad matemática y el rendimiento es recíproca: la ansiedad matemática puede causar un bajo rendimiento, y a su vez, el bajo rendimiento puede aumentar la ansiedad matemática. Este enfoque sugiere que las intervenciones deben abordar tanto la reducción de la ansiedad como la mejora del rendimiento matemático de manera simultánea. Estudios recientes han demostrado que combinar técnicas para reducir la ansiedad con estrategias para mejorar las habilidades matemáticas puede ser más efectivo que enfocarse en un solo aspecto (Carey et al., 2017).

Integración Tecnológica y Síntesis de Teorías

La complejidad de la AM requiere intervenciones que integren múltiples enfoques teóricos, abordando simultáneamente los factores emocionales, cognitivos y las habilidades matemáticas fundamentales. Cada modelo contribuye a una parte del rompecabezas, ofreciendo valiosos aportes sobre diferentes dimensiones del fenómeno, desde los procesos cognitivos individuales hasta las influencias acumulativas de las experiencias educativas. La complejidad de la AM sugiere que las intervenciones más efectivas serán aquellas que integren múltiples enfoques teóricos, abordando tanto los factores emocionales y cognitivos como las habilidades matemáticas fundamentales.

Los avances tecnológicos, como

el aprendizaje automático y las interfaces cerebro-computadora (BCI), han abierto nuevas oportunidades para evaluar y tratar la AM con mayor precisión y objetividad. Soysal et al. (2022) Klados et al. (2019) han mostrado que estas tecnologías no solo mejoran la evaluación de la AM, sino que también ofrecen el potencial de desarrollar intervenciones personalizadas. Sin embargo, es fundamental que estas innovaciones sean accesibles en todos los niveles educativos, desde primaria hasta la educación superior, para garantizar que ningún estudiante quede excluido de los beneficios de estas nuevas herramientas.

Por lo tanto, una comprensión integral de la AM debe considerar la interacción entre estos modelos, reconociendo que las causas y conse-

cuencias de la ansiedad matemática están profundamente interrelacionadas y requieren un enfoque holístico para su intervención y prevención efectiva.

Metodologías Psicométricas para la Evaluación de la Ansiedad Matemática

Las escalas psicométricas han sido herramientas clave en la medición de la ansiedad matemática, proporcionando una manera estandarizada de evaluar este fenómeno en diferentes poblaciones. A continuación, se describen algunas de las escalas más utilizadas y validadas para medir la ansiedad matemática, junto con sus autores:

Tabla 2: Escalas Psicométricas Utilizadas para la Evaluación de la Ansiedad Matemática

Escala Psicométrica	Autores	Población	Número de ítems	Validez y Confiabilidad (α)	Descripción
MARS (Mathematics Anxiety Rating Scale)	Richardson & Suinn (1972)	Adultos	98	$\alpha = 0.96$	Evalúa la ansiedad matemática general y de rendimiento en adultos.
FSMAS (Fennema-Sherman Mathematics Attitudes Scales)	Fennema & Sherman (1976)	Estudiantes de secundaria	108	$\alpha = 0.90$	Mide actitudes y creencias hacia las matemáticas en estudiantes de secundaria.
sMARS (Shortened Math Anxiety Rating Scale)	Alexander & Martray (1989)	Adultos	25	$\alpha = 0.92$	Versión abreviada de la MARS para adultos; útil en situaciones con tiempo limitado.
MARS-B (Mathematics Anxiety Rating Scale - Brief Version)	Suinn & Winston (2003)	Adultos	30	$\alpha = 0.95$	Versión abreviada de la MARS diseñada para evaluaciones rápidas en adultos.
AMAS (Abbreviated Math Anxiety Scale)	Hopko et al. (2003)	Adultos	9	$\alpha = 0.90$	Medida corta y eficiente de la ansiedad matemática en adultos.
MASS (Mathematics Anxiety Scale for Students)	Ko & Yi (2011)	Estudiantes de primaria y secundaria	15	$\alpha = 0.88$	Mide la ansiedad matemática en estudiantes de primaria y secundaria.

SAMAS (Scale for Assessing Math Anxiety in Secondary Education)	Yáñez-Marquina & Villardón-Gallego (2017)	Estudiantes de secundaria	20	$\alpha = 0.91$	Evalúa la ansiedad matemática en estudiantes de secundaria; validada en español.
MTAS (Mathematics Teaching Anxiety Scale)	Alkan et al. (2019)	Profesores	15	$\alpha = 0.89$	Mide la ansiedad de los profesores al enseñar matemáticas.
m-AMAS (Modified Abbreviated Math Anxiety Scale)	Megreya et al. (2023)	Adultos	9	$\alpha = 0.88$	Versión modificada y abreviada de AMAS; validada en inglés y árabe.
BMAS (Brief Math Anxiety Scale)	Núñez Peña & Guilera Ferré (2023)	Adultos	10	$\alpha = 0.90$	Medida breve y eficiente de la ansiedad matemática, validada en español e inglés.

Estas escalas, aunque variadas en su enfoque y longitud, comparten el objetivo común de proporcionar una medida fiable y válida de la ansiedad matemática. Sin embargo, como todas las herramientas basadas en autoinformes, están sujetas a limitaciones inherentes, como el sesgo subjetivo y la variabilidad en la interpretación de las preguntas (Furnham & Henderson, 1982).

Adaptaciones y Validaciones en Contextos Culturales

La adaptación de escalas psicométricas en diversos contextos culturales es crucial para asegurar que las herramientas de evaluación sean precisas y relevantes en distintas poblaciones. Dado el creciente impacto de la globalización y la diversidad en los entornos educativos, es fundamental que estas escalas reflejen adecuadamente las diferencias culturales. Por ejemplo, la adaptación de la AMAS para su uso en niños del Reino Unido (Carey et al., 2017) demostró la importancia de ajustar las herramientas diseñadas originalmente para adultos a contextos específicos, como la evaluación de la ansiedad matemática en niños más jóvenes.

Además, la MTAS, desarrollada y validada en Turquía por Alkan et al. (2019), ilustra cómo la validación

en diferentes contextos educativos asegura que las herramientas sean adecuadas para medir constructos específicos, como la ansiedad en la enseñanza de matemáticas, en futuros docentes. De manera similar, la evaluación de la versión árabe de la m-AMAS en Qatar Megreya et al. (2023), resalta la necesidad de considerar factores culturales y demográficos al validar escalas psicométricas, garantizando así su eficacia en contextos culturales diversos.

Tendencias en la Creación y Actualización de Escalas

En los últimos años, el desarrollo de nuevas escalas y la actualización de las existentes han sido guiados por avances en la tecnología y en la teoría psicométrica. Estas nuevas escalas son cada vez más concisas y específicas, lo que permite una evaluación más focalizada y precisa de subdominios particulares de la ansiedad matemática. Por ejemplo, la creación de la MTAS para medir la ansiedad en la enseñanza, y la MASS para estudiantes de primaria, han permitido una mayor exactitud en la medición y han facilitado intervenciones más específicas (Alkan et al., 2019).

Asimismo, estudios como el de Soneira & Mato-Vázquez (2020) han avanzado en la validación de cuestio-

narios que exploran dimensiones específicas de la ansiedad matemática en grupos particulares, como estudiantes de ingeniería. Este enfoque ha permitido identificar factores clave relacionados con la ansiedad matemática, contribuyendo a la creación de herramientas más relevantes y eficaces.

Por otra parte, la BMAS, desarrollada por Núñez Peña & Guilera Ferré (2023), representa un esfuerzo por crear escalas más breves y eficientes, adecuadas para contextos donde el tiempo es limitado, sin sacrificar la fiabilidad y validez de la medición. Estas innovaciones en la psicometría permiten un mejor ajuste de las herramientas a las necesidades actuales de la investigación y la educación, garantizando una evaluación más eficiente y aplicable.

Limitaciones y Avances Tecnológicos

Si bien las escalas tradicionales ofrecen una base sólida para la evaluación de la AM, es fundamental considerar las limitaciones de estas herramientas basadas en autoinformes. La subjetividad en las respuestas y el sesgo del participante son preocupaciones constantes (del Valle & Zamora, 2022). Sin embargo, la integración de tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático y las medidas fisiológicas, está comenzando a abordar estas limitaciones, proporcionando datos más objetivos y precisos (Klados et al., 2017; Soysal et al., 2022). Estos enfoques tecnológicos no solo complementan las escalas tradicionales, sino que también abren nuevas vías para entender mejor la complejidad de la AM, especialmente en contextos donde las respuestas autoinformadas pueden no ser completamente fiables.

Integración de Tecnologías Emergentes en la Evaluación de la Ansiedad Matemática

Si bien los estudios recientes han mostrado que tecnologías como

el EEG y el aprendizaje automático tienen un gran potencial para medir y tratar la AM, aún existe un vacío en cuanto a su implementación en contextos educativos masivos y su accesibilidad para estudiantes en entornos de bajos recursos. Armani et al. (2023) sugieren que la investigación futura debe centrarse en cómo hacer que estas herramientas sean más asequibles y adaptables a los diferentes contextos escolares, especialmente en niveles educativos inferiores.

La incorporación de tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático y las medidas neurofisiológicas, está transformando la evaluación de la ansiedad matemática (Klados et al., 2019). Estas herramientas permiten identificar patrones complejos y sutiles en la relación entre la AM y factores psicológicos, que los métodos tradicionales podrían no detectar con precisión. Las BCI, basadas en electroencefalogramas (EEG), han mostrado potencial para detectar en tiempo real los niveles de ansiedad matemática mediante el monitoreo de la actividad cerebral, lo que permite ajustes inmediatos en el entorno educativo según el estado emocional del estudiante (Wolpaw et al., 2002).

Por ejemplo, Soysal et al. (2022) propusieron un enfoque basado en aprendizaje automático para identificar la relación entre la AM y factores como la confianza y la motivación. Este enfoque ha demostrado ser eficaz en la identificación de patrones complejos que son difíciles de detectar con métodos tradicionales. Asimismo, Klados et al. (2017) desarrollaron un sistema automático para la detección de AM mediante el uso de señales de EEG, encontrando diferencias significativas en la actividad cortical entre individuos con alta y baja AM. Batashvili et al. (2019) examinaron cómo la actividad en la banda gamma se correlaciona con la AM, mientras que Qu et al. (2020) investigaron las características neurofisiológicas de la

AM durante exámenes matemáticos. Estos avances no solo ofrecen una mayor precisión en la medición de la AM, sino que también proporcionan nuevas perspectivas sobre los mecanismos que contribuyen a esta forma de ansiedad.

Perspectiva Crítica

Aunque las tecnologías emergentes ofrecen beneficios significativos para la evaluación de la AM, es crucial abordar los desafíos éticos y prácticos que conllevan. Uno de los principales desafíos es la accesibilidad y el costo de estas tecnologías. La implementación de sistemas de evaluación basados en EEG o aprendizaje automático puede requerir recursos significativos que no están disponibles en todos los contextos educativos, particularmente en escuelas primarias o instituciones con limitaciones presupuestarias. Además, es crucial considerar la aplicabilidad de estas tecnologías en diferentes niveles educativos. Mientras que los dispositivos EEG portátiles o los sistemas de aprendizaje neuroadaptativo pueden ser más viables en contextos de educación superior, su uso en niveles educativos más bajos podría enfrentar resistencias o dificultades debido a la falta de infraestructura adecuada o la necesidad de formación (Armani et al., 2023; Yadawad et al., 2024).

Además, la implementación de estas tecnologías plantea preocupaciones éticas relacionadas con la privacidad y el consentimiento informado, especialmente cuando se trata de menores de edad. La recopilación de datos neurofisiológicos o el uso de algoritmos de aprendizaje automático debe manejarse con estrictas medidas de seguridad y políticas claras que protejan la privacidad de los estudiantes (Rose et al., 2023). Estas consideraciones resaltan la importancia de equilibrar los avances tecnológicos con una implementación responsable y ética en la evaluación de la AM.

CONCLUSIONES

La presente revisión ha destacado la complejidad y multifacética naturaleza de la Ansiedad Matemática (AM). Los modelos teóricos revisados, como la Teoría Tridimensional de Lang y el Modelo Bidireccional, muestran cómo factores cognitivos, emocionales y comportamentales están entrelazados, contribuyendo a la manifestación y perpetuación de la AM. Esta síntesis sugiere que un enfoque holístico es esencial para abordar efectivamente la AM, integrando tanto las experiencias educativas acumuladas como los procesos cognitivos individuales.

En términos de evaluación, las metodologías psicométricas, particularmente las escalas estandarizadas como la Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS), han demostrado ser fundamentales para la medición de la AM. No obstante, estas herramientas presentan limitaciones inherentes debido a su dependencia de autoinformes, que pueden ser afectados por la subjetividad de las respuestas y el sesgo del participante. La adaptación cultural de estas escalas es crucial para asegurar su validez y confiabilidad en diferentes contextos, evitando conclusiones erróneas que puedan impactar negativamente en las intervenciones educativas.

La integración de tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático y las medidas neurofisiológicas, ofrece una vía prometedora para superar algunas de estas limitaciones, proporcionando una evaluación más objetiva y precisa de la AM. Estas tecnologías permiten una comprensión más profunda de los mecanismos neurocognitivos implicados en el desarrollo de la ansiedad matemática, facilitando una evaluación más precisa y un diseño más efectivo de intervenciones.

Sin embargo, su implementación presenta desafíos significativos en cuanto a accesibilidad, costos, y cuestiones éticas. Es importante que

la introducción de tecnologías como el EEG y algoritmos de aprendizaje automático se haga de manera cuidadosa, considerando las limitaciones estructurales de los distintos niveles educativos y garantizando la privacidad y el consentimiento informado, especialmente en poblaciones vulnerables como los menores de edad.

En este sentido, la aplicación de estas tecnologías debería priorizar contextos en los que la infraestructura y el conocimiento técnico sean adecuados, como en la educación superior. En los niveles educativos inferiores, se requiere adaptar las tecnologías a las capacidades de los estudiantes y contar con apoyo técnico adecuado. A pesar de estos desafíos, la integración de tecnologías emergentes en combinación con metodologías tradicionales puede optimizar tanto la medición como el tratamiento de la AM, siempre y cuando se garantice una implementación objetiva y ética.

Para futuras investigaciones, se recomienda incorporar propuestas de investigación que cubran los vacíos de conocimiento identificados, como estudios longitudinales o intervenciones tecnológicas accesibles.

Finalmente, esta revisión resalta la necesidad de adoptar un enfoque integral que combine teorías y metodologías diversas para comprender y abordar de manera efectiva la Ansiedad Matemática (AM). La evolución de las metodologías psicométricas y la incorporación de tecnologías emergentes ofrecen nuevas oportunidades para evaluar y tratar la AM, pero es esencial que estas herramientas se implementen de manera equitativa para garantizar el acceso de todos los estudiantes. Identificar momentos críticos en el desarrollo educativo y diseñar intervenciones específicas basadas en estas tecnologías ayudará a mitigar los efectos negativos de la AM sobre el rendimiento académico y el bienestar de los estudiantes,

promoviendo un desarrollo educativo más justo y sostenible. Fortalecer la confianza de los estudiantes en su razonamiento cuantitativo es clave para que participen activamente en distintos ámbitos de la sociedad. Esto les permitirá convertirse en profesionales competentes, con una capacidad analítica sólida, e individuos íntegros, preparados para contribuir de manera significativa al desarrollo social y económico.

REFERENCIAS

Alkan, V., Coşguner, T., & Fidan, Y. (2019). Mathematics teaching anxiety scale: Construction, reliability and validity. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(3), 506–521.

Angrosino, M. (2007). *Doing Ethnographic and Observational Research*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781849208932>

Armani, F., Daly, I., Vernitski, A., Gillmeister, H., & Scherer, R. (2023). Maths Anxiety and cognitive state monitoring for neuroadaptive learning systems using electroencephalography. *2023 IEEE International Conference on Metrology for Extended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering (MetroXRINE)*, 467–472.

Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 224.

Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 243–248.

Ashcraft, M. H., & Moore, A. M. (2009). Mathematics anxiety and the affective drop in performance. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 197–205.

Ashcraft, M. H., & Ridley, K. S. (2005). Math anxiety and its cognitive

consequences: A tutorial review. *The Handbook of Mathematical Cognition*, 315–327.

Batashvili, M., Staples, P. A., Baker, I., & Sheffield, D. (2019). Exploring the relationship between gamma-band activity and maths anxiety. *Cognition and Emotion*.

Beilock, S. L., Gunderson, E. A., Ramirez, G., & Levine, S. C. (2010). Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5), 1860–1863.

Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szűcs, D. (2017). The modified abbreviated math anxiety scale: A valid and reliable instrument for use with children. *Frontiers in Psychology*, 8, 11.

del Valle, M., & Zamora, E. V. (2021). *El uso de las medidas de auto-informe: ventajas y limitaciones en la investigación en Psicología*.

del Valle, M., & Zamora, E. V. (2022). *El uso de las medidas de auto-informe: ventajas y limitaciones en la investigación en Psicología*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/173600>

Dowker, A. (2005). *Individual Differences in Arithmetic: Implications for Psychology, Neuroscience and Education* (1st ed.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203324899>

Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016). Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years? *Frontiers in Psychology*, 7, 508.

Eidlin-Levy, H., Avraham, E., Fares, L., & Rubinsten, O. (2023). Math anxiety affects career choices during development. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 49.

Fernández, L. M., Wang, X., Ramirez, O., & Villalobos, M. C. (2021). Latinx students' mathematics anxiety and their study habits: Exploring their relationship at the postsecondary lev-

el. *Journal of Hispanic Higher Education*, 20(3), 278–296.

Furnham, A., & Henderson, M. (1982). The good, the bad and the mad: Response bias in self-report measures. *Personality and Individual Differences*, 3(3), 311–320. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-8869\(82\)90051-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-8869(82)90051-4)

Gunderson, E. A., Park, D., Maloney, E. A., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2018). Reciprocal relations among motivational frameworks, math anxiety, and math achievement in early elementary school. *Journal of Cognition and Development*, 19(1), 21–46.

Hopko, D. R., Mahadevan, R., Bare, R. L., & Hunt, M. K. (2003). The abbreviated math anxiety scale (AMAS) construction, validity, and reliability. *Assessment*, 10(2), 178–182.

Klados, M. A., Pandria, N., Athanasiou, A., & Bamidis, P. D. (2017). An automatic EEG based system for the recognition of math anxiety. *2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, 409–412.

Klados, M. A., Paraskevopoulos, E., Pandria, N., & Bamidis, P. D. (2019). The impact of math anxiety on working memory: A cortical activations and cortical functional connectivity EEG study. *IEEE Access*, 7, 15027–15039.

Lang, P. J. (1968). Fear reduction and fear behavior: Problems in treating a construct. *Research in Psychotherapy Conference, 3rd, May-Jun, 1966, Chicago, IL, US*.

Leudo Romaña, C. M. (2021). *Estrategias didácticas en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas y su incidencia en el rendimiento académico de los estudiantes de séptimo grado de la Institución Educativa Margento*. Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Luttenberger, S., Wimmer, S., & Paechter, M. (2018). Spotlight on

math anxiety. *Psychology Research and Behavior Management*, 311–322.

Megreya, A. M., Al-Emadi, A. A., & Moustafa, A. A. (2023). The Arabic version of the modified-abbreviated math anxiety scale: Psychometric properties, gender differences, and associations with different forms of anxiety and math achievement. *Frontiers in Psychology*, 13, 919764.

Núñez Peña, M. I., & Guilera Ferré, G. (2023). Development and validation of the brief Math Anxiety Scale (BMAS) in university students. *Psicothema*, 2023, Vol. 35, Num. 4, p. 406-413.

Núñez-Peña, M. I., & Campos-Rodríguez, C. (2024). Response monitoring in math-anxious individuals in an arithmetic task. *Biological Psychology*, 186, 108759.

OCDE. (2019). *El trabajo de la OCDE sobre educación y competencias*. OCDE Paris.

Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18, 315–341.

Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P., & Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36–48.

Qu, Z., Chen, J., Li, B., Tan, J., Zhang, D., & Zhang, Y. (2020). Measurement of high-school students' trait math anxiety using neurophysiological recordings during math exam. *IEEE Access*, 8, 57460–57471.

Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2013). Math anxiety, working memory, and math achievement in early elementary school. *Journal of Cognition and Development*, 14(2), 187–202.

Ramirez, G., Shaw, S. T., & Maloney, E. A. (2018). Math anxiety: Past research, promising interventions, and a new interpretation framework. *Educational Psychologist*, 53(3), 145–164.

Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The mathematics anxiety rating scale: psychometric data. *Journal of Counseling Psychology*, 19(6), 551.

Rose, A. C., Alashwal, H., Moustafa, A. A., & Weidemann, G. (2023). A neural network model of mathematics anxiety: The role of attention. *Plos One*, 18(12), e0295264.

Soneira, C., & Mato-Vázquez, D. (2020). Estructura de un cuestionario para evaluar la ansiedad hacia las matemáticas en estudiantes de ingeniería. *Revista de Estudios e Investigación En Psicología y Educación*, 7(1), 59–70.

Sorvo, R., Koponen, T., Viholainen, H., Aro, T., Räikkönen, E., Peura, P., Dowker, A., & Aro, M. (2017). Math anxiety and its relationship with basic arithmetic skills among primary school children. *British Journal of Educational Psychology*, 87(3), 309–327.

Soysal, D., Bani-Yaghoub, M., & Riggers-Piehl, T. A. (2022). A Machine Learning Approach to Evaluate Variables of Math Anxiety in STEM Students. *Pedagogical Research*, 7(2).

Suárez-Pellicioni, M., Núñez-Peña, M. I., & Colomé, À. (2016). Math anxiety: A review of its cognitive consequences, psychophysiological correlates, and brain bases. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 16, 3–22.

Vukovic, R. K., Roberts, S. O., & Green Wright, L. (2013). From parental involvement to children's mathematical performance: The role of mathematics anxiety. *Early Education & Development*, 24(4), 446–467.

Wang, Z., Lukowski, S. L., Hart, S. A., Lyons, I. M., Thompson, L. A., Ko-

vas, Y., Mazzocco, M. M. M., Plomin, R., & Petrill, S. A. (2015). Is math anxiety always bad for math learning? The role of math motivation. *Psychological Science*, 26(12), 1863–1876.

Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767–791.

Yadawad, P. R., Pandey, L., Malibhat, K., & Mudenagudi, U. (2024). Predicting Anxiety Among Young Adults Using Machine Learning Algorithms. *2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1–8.