



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE COMPUTACIÓN

Herramientas basadas en IA para la educación y comunicación en niños con TEA

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en ciencias de la computación

AUTOR: KARLA DESSIRE ESPINOZA MAZZINI

TUTOR: DARIO FERNANDO HUILCAPI SUBIA

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Karla Dessire Espinoza Mazzini con documento de identificación N° 0924074701 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 12 de enero del año 2025

Atentamente,



Karla Dessire Espinoza Mazzini
0924074701

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Karla Dessire Espinoza Mazzini con documento de identificación No. 0924074701, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Artículo Académico: “Herramientas basadas en IA para la educación y comunicación en niños con TEA”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: ingeniero en computación, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 12 de enero del año 2025

Atentamente,



Karla Dessire Espinoza Mazzini

0924074701

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Dario Fernando Huilcapi Subia con documento de identificación N° 0920375177, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: HERRAMIENTAS BASADAS EN IA PARA LA EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON TEA, realizado por Karla Dessire Espinoza Mazzini con documento de identificación N° 0924074701, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 12 de enero del año 2025

Atentamente,



Dario Fernando Huilcapi Subia
0920375177

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por su amor y apoyo incondicional. Su confianza en mí me ha impulsado a superar cada reto. También a mi fiel compañera, mi querida gatita, quien con su silenciosa compañía estuvo a mi lado en las largas madrugadas de esfuerzo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor por su amabilidad, paciencia y constante disposición para resolver mis dudas durante todo el proceso de esta investigación. Su orientación y compromiso fueron importantes para el desarrollo de este trabajo, brindándome confianza y apoyo en cada etapa, por lo que siempre estaré muy agradecida.

RESUMEN

Las herramientas basadas en IA están transformando la educación de los niños con TEA, brindando soluciones accesibles y escalables para sus necesidades educativas y comunicativas. Esta investigación se basó en una revisión sistemática donde se utilizó el método PRISMA para identificar mejores alternativas y prácticas destacadas de los últimos cinco años para identificar sus beneficios y limitaciones. Además, se implementó el enfoque multicriterio AHP-TOPSIS para comparar herramientas como robots humanoides, aplicaciones móviles y entornos inmersivos de realidad extendida, considerando distintos criterios como costos, accesibilidad, adaptabilidad y seguridad para realizar una evaluación y selección de la mejor alternativa. Se destacaron herramientas como QTrobot y Metaverso por su capacidad en la mejora de habilidades comunicativas y sociales, por otro lado, opciones como MOLHEM y Aawn sobresalen por ser accesibles en contextos con recursos limitados. Sin embargo, se identificaron desafíos como altos costos de implementación y la dependencia de infraestructuras avanzadas en algunas soluciones.

Esta investigación no solo evidencia el impacto positivo de las herramientas basadas en IA en el contexto educativo de niños con TEA, sino que también identifica las mejores alternativas que prioricen la inclusión y accesibilidad, con ello se contribuirá a entornos educativos con soluciones accesibles y adaptadas a las necesidades de los niños con TEA para que puedan alcanzar su máximo potencial.

Palabras claves: Trastorno del espectro autista, Inteligencia artificial, Aplicaciones móviles, niños, Robots humanoides, Educación.

ABSTRACT

AI-based tools are transforming the education of children with ASD, providing accessible and scalable solutions for their educational and communication needs. This research was based on a systematic review where the PRISMA method was used to identify best alternatives and outstanding practices of the last five years to identify their benefits and limitations. In addition, the AHP-TOPSIS multi-criteria approach was implemented to compare tools such as humanoid robots, mobile applications and immersive extended reality environments, considering different criteria such as costs, accessibility, adaptability and security to carry out an evaluation and selection of the best alternative. Tools such as QTrobot and Metaverse were highlighted for their ability to improve communication and social skills, on the other hand, options such as MOLHEM and Aawn stand out for being accessible in contexts with limited resources. However, challenges were identified such as high implementation costs and dependence on advanced infrastructures in some solutions.

This research not only shows the positive impact of AI-based tools in the educational context of children with ASD, but also identifies the best alternatives that prioritize inclusion and accessibility, thereby contributing to educational environments with accessible solutions adapted to their needs. the needs of children with ASD so that they can reach their full potential.

Keywords: Autism spectrum disorder, Artificial intelligence, Mobile applications, Children, Humanoid robots, Education.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1	¿Qué es el Trastorno del Espectro Autista (TEA)?	12
2.2	Factores y problemas educativos en los niños con TEA	12
2.3	¿Qué es la Inteligencia Artificial (IA)?	13
2.4	¿Cómo la IA está presente en la educación de niños con TEA?	13
2.5	Herramientas con IA utilizadas en niños con TEA para la comunicación y educación	14
3.	METODOLOGÍA	21
3.1	Aplicación del método PRISMA para la recolección de datos	21
3.2	Análisis de datos con AHP-TOPSIS	22
4.	RESULTADOS	26
4.1	Análisis de trabajos científicos previos	26
4.2	Metodología Multicriterio: Aplicación de AHP-TOPSIS	28
5.	DISCUSIÓN.....	33
5.1	¿Qué tipo de herramienta de IA ayuda en la educación y comunicación de los niños con TEA?34	
5.2	¿Qué factores influyen en la eficacia de las herramientas basadas en IA para la educación de niños con TEA en estudios bibliográficos?	34
5.3	¿Cuáles son los beneficios y limitaciones en la implementación de herramientas basadas en IA en la educación de niños con TEA?	34
6.	CONCLUSIÓN	36
	REFERENCIAS	37

1. INTRODUCCIÓN

El trastorno del Espectro Autista (TEA) es una condición del neurodesarrollo que se caracteriza por dificultades en la comunicación, la interacción social y la adaptación al entorno, lo que limita el desarrollo educativo y social de los niños que lo padecen. Estas dificultades presentan desafíos para su inclusión en entornos educativos, lo que refleja la necesidad de estrategias innovadoras que atiendan a sus necesidades, permitan mejorar su calidad de vida y su integración a la educación.

En este contexto, las herramientas basadas en inteligencia han sobresalido de forma prometedora para abordar complicaciones asociadas al TEA. Aplicaciones como el reconocimiento facial, los robots humanoides y las plataformas interactivas buscan mejorar la interacción social al igual que personalizar el desarrollo educativo, fomentando la integración de los niños con TEA en entornos educativos.

Aún con tantos avances logrados, persisten dudas sobre cuáles herramientas son más eficaces. Por ello, es decisivo llevar a cabo un análisis para evaluar su impacto mediante una revisión exhaustiva de las herramientas basadas en IA, con el fin de ofrecer recomendaciones que promuevan soluciones eficaces para los niños con TEA.

Este tipo de estudios son de gran importancia, ya que aborda un análisis de la evolución de herramientas basadas en inteligencia artificial aplicadas en educación y la comunicación en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), mediante una revisión documental de las herramientas desarrolladas y sus resultados, para identificar las mejores herramientas y garantizar que los niños alcancen su máximo potencial.

El contenido está estructurado de la siguiente forma: en la sección 2, se presenta el marco teórico, destacando los conceptos clave relacionados con el TEA y las tecnológicas basadas en IA. En la sección 3, se detalla la metodología utilizada explicando el enfoque PRISMA y la aplicación del método AHP-TOPSIS. Después en la sección 4, se exponen los resultados obtenidos, seguidos de un análisis crítico en la sección 5. Finalmente, en la sección 6, se presentan las conclusiones basadas en los hallazgos.

El objetivo principal del estudio es analizar la evolución de las herramientas basadas en inteligencia artificial aplicadas en educación y la comunicación en niños con Trastorno del

Espectro Autista (TEA), mediante una revisión documental de las aplicaciones desarrolladas y sus resultados, para identificar mejores prácticas y áreas de oportunidad en el contexto educativo, con el cual se espera contribuir al desarrollo de entornos educativos más inclusivos, fortaleciendo el uso de herramientas tecnológicas para mejorar la calidad de vida y las oportunidades educativas de los niños con TEA.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se presenta un análisis exhaustivo de las herramientas basadas en IA diseñadas para la comunicación y educación de niños con Trastorno del Espectro Autista. Este análisis incluye una revisión detallada de las investigaciones más recientes, destacando así sus beneficios y limitaciones.

2.1 ¿Qué es el Trastorno del Espectro Autista (TEA)?

El Trastorno del Espectro Autista se refiere a un conjunto de condiciones neurodesarrollativas caracterizadas por déficits en la comunicación social, patrones de comportamiento repetitivos y áreas limitadas de interés. Los niños con TEA a menudo enfrentan dificultades para interpretar señales sociales, lo que impacta su capacidad de interacción y aprendizaje (Song et al., 2022). Esta condición puede variar con severidad, lo que hace necesario un enfoque personalizado en su educación y comunicación (Ullah et al., 2023).

2.2 Factores y problemas educativos en los niños con TEA

Los niños con TEA enfrentan varios factores que influyen en su desempeño escolar que afectan su desarrollo educativo. Uno de los desafíos es el acceso limitado a recursos educativos apropiados y métodos adaptativos. Las instituciones educativas carecen de entornos inclusivos, en varios casos, se debe a que las oportunidades de aprendizaje se limitan por la falta de herramientas especializadas, lo que impacta directamente en su rendimiento educativo (Chen et al., 2024).

Entre los problemas educativos más comunes se destacan los déficits en habilidades de comunicación para poder expresar ideas y emociones que pueden dificultar la participación en el aula. La comprensión limitada de normas sociales afecta su interacción con compañeros y educadores. Muchos docentes no reciben formación específica para trabajar con niños con TEA, lo que impide implementar metodologías especializadas con enfoques flexibles y personalizados que permitan desarrollar su potencial.

A nivel internacional, la inclusión educativa es un desafío importante. Menos del 20% de los países han ampliado su pensamiento en educación inclusiva, lo que afecta a crear sistemas educativos accesibles para los niños con capacidades especiales. En América Latina, las

desigualdades hacen que el problema se vuelva aún más grave, los niños con discapacidad tienen un 10% menos de probabilidades de integrarse a un entorno educativo inclusivo (UNESCO, 2020). En Ecuador, aunque el 78% de los estudiantes con necesidades educativas especiales están en escuelas, todavía persisten problemas como la falta de formación para docentes (Vásquez Jairo et al., 2022). Además, una estrategia como el uso de tecnología es una clava para incluir a estudiantes con TEA en las aulas. Sin embargo, su implementación crea muchas dificultades por falta de recursos y apoyo dentro del sistema educativo (Mendoza Pin et al., 2024).

Otro factor importante es la ausencia de infraestructura tecnológica, esto ha demostrado ser esencial ya que las herramientas basadas en IA mejoran la experiencia educativa. Su implementación se enfrenta a desafíos como lo son los altos costos, la falta de conectividad y el acceso restringido en áreas con recursos limitados.

2.3 ¿Qué es la Inteligencia Artificial (IA)?

Es un campo de la informática que permite a las máquinas aprender datos, adaptarse a situaciones nuevas y realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana. En el contexto educativo, la IA se utiliza para personalizar el aprendizaje, identificar patrones en el comportamiento de los estudiantes (Liu et al., 2022). En niños con TEA, la IA ofrece soluciones adaptativas que abordan sus déficits en comunicación y aprendizaje.

2.4 ¿Cómo la IA está presente en la educación de niños con TEA?

La IA está revolucionando la educación, ofreciendo soluciones que adaptan contenidos educativos a las necesidades individuales. Herramientas como el aprendizaje automático y la realidad aumentada son ejemplos de cómo han demostrado ser útiles para mejorar habilidades cognitivas y sociales. A través de aplicaciones que permiten la interacción de los niños con entornos virtuales, los modelos de IA pueden identificar áreas de dificultad y ofrecer actividades diseñadas específicamente para superar esas dificultades (Hyun Lee et al., 2023).

Además, las soluciones de aprendizaje basadas en tecnologías de información y comunicación (TIC) han demostrado ser efectivas para apoyar el aprendizaje. Estas herramientas utilizan IA para crear actividades interactivas que fomentan el desarrollo social y educativo, como juegos

para aprender habilidades emocionales o plataformas que ayudan a los niños a practicar la comunicación. Permiten a los educadores a monitorear el progreso y ajustar actividades según cada necesidad, haciéndolo más dinámico (Hasan, 2022).

2.5 Herramientas con IA utilizadas en niños con TEA para la comunicación y educación

Las herramientas basadas en IA han experimentado un gran crecimiento en los últimos años. Se busca superar retos que enfrentan los niños con TEA en ámbitos como la comunicación social y la educación personalizada. También ayudan a los niños a transferir lo aprendido a situaciones del mundo real, haciendo que estas herramientas sean cruciales para su desarrollo educativo y social (Doulah et al., 2023). A continuación, se presenta una revisión de las investigaciones y desarrollos más relevantes.

Reconocimiento Facial y Análisis de Emociones

Ha emergido como una herramienta clave para la mejora de la comprensión emocional en niños con TEA. Sistemas como el FECTS (Facial Emotion Cognition and Training System) entrenan a los niños en el reconocimiento de las expresiones sociales, permitiendo así interpretar emociones humanas como enojo, tristeza y felicidad (Wan et al., 2022). Estos sistemas utilizan cámaras para poder capturar expresiones faciales del niño, procesan los datos mediante algoritmos de aprendizaje profundo y generan una retroalimentación que ayuda a los niños a identificar patrones emocionales. También hay que tener en cuenta que puede haber sesgos en los algoritmos de reconocimiento facial (Sandeep & Kumar, 2024). Este sistema está diseñado en idioma inglés.

Realidad extendida (XR)

La realidad extendida incluye realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV) y realidad mixta (RM), ha demostrado ser efectiva en la creación de entornos controlados e inmersivos. Aplicaciones RA como “AutismXR” permiten a los niños practicar habilidades sociales a través de actividades gamificadas que simulan situaciones de la vida cotidiana, como una conversación en una tienda o la participan en un juego de roles (Wedyan et al., 2021). Los niños

interactúan con elementos virtuales que se incorporan en el mundo real, utilizando gafas de RA o dispositivos móviles. Esto aumenta la motivación y el compromiso, también facilita el entendimiento de situaciones complicadas en un entorno seguro (Al-Nafjan et al., 2023).

VR Social se centra en fomentar una comunicación grupal y trabajo de equipo a través de actividades colaborativas en entornos virtuales. Diseñado para niños con TEA, este sistema también crea espacios inmersivos donde se puede practicar habilidades interpersonales como la resolución de conflictos, la cooperación y la comunicación (Zhao et al., 2024). Una de las características destacadas de VRSocial es su capacidad para reducir la ansiedad en las interacciones sociales. Este sistema está configurado principalmente en inglés, aunque puede ser adaptado a otros idiomas. Entre las limitaciones identificadas, también se encuentra la dependencia de infraestructura avanzada, como visores de realidad virtual y conexiones de alta calidad, lo que puede restringir su implementación en áreas con recursos limitados. A pesar de eso, VR Social representa una herramienta innovadora y efectiva que integra enfoques gamificados para mantener el interés de los usuarios y proporcionar un gran aprendizaje en entorno inmersivo.

Existen herramientas como Metaverso que ofrece un entorno inmersivo que permite interactuar en escenarios virtuales. Estas plataformas permiten practicar manteniendo conversaciones o participar en actividades grupales, en un ambiente controlado y seguro (Barua et al., 2022). Una de las principales ventajas es su capacidad para personalizar experiencias, simulando situaciones del mundo real que pueden resultar desafiantes para los niños con TEA, como una conversación en una tienda o interacción en un aula. Sin embargo, su implementación puede ser costosa debido a la infraestructura avanzada que requiere, como dispositivos de realidad virtual y una conectividad de alta calidad (Hyun Lee et al., 2023).

Robots Humanoides

Es una máquina diseñada con una forma y funcionalidad similares a las del ser humano, capaz de imitar comportamientos humanos básicos como caminar, hablar, realizar gestos e incluso expresar emociones mediante movimientos y sonidos (Yahya, 2023). Estos robots suelen contar con extremidades móviles, cámara para la visión, micrófonos para la recepción de audio y sistemas de inteligencia artificial que les permiten interactuar de manera dinámica con su entorno (Wang, 2023).

NAO es un robot que facilita el aprendizaje de habilidades sociales al interactuar mediante juegos y comandos que son programas para los niños (Mutawa et al., 2023). Realiza actividades como ejercicios de motricidad, narración de historias y juegos de imitación, estimulando el aprendizaje cognitivo junto a la comunicación verbal y no verbal. Puede identificar y responder a emociones humanas básicas mediante expresiones verbales y no verbales (Safi et al., 2023).

Como beneficio tenemos que mejora la capacidad de los niños con TEA para comprender turnos de palabras, interpretar señales sociales y expresar emociones (Bhargavi et al., 2023). También genera un entorno predecible y controlado que reduce la ansiedad social. Las actividades pueden ser adaptadas según las necesidades individuales de cada niño. Se pueden programar para realizar tareas específicas según los objetivos terapéuticos o educativos. Soporta múltiples idiomas especialmente inglés, francés y japonés.

Lo limitante de esta herramienta es que requiere programación especializada y supervisión constante por parte de terapeutas o educadores. El precio del robot y su mantenimiento lo hacen inaccesible para muchas instituciones educativas.

Un estudio piloto demostró con niños de 3 a 6 años demostró que aquellos que interactuaban con NAO presentaban mejores niveles de contacto visual y compromiso. Este estudio resalta el potencial como herramienta educativa en aulas inclusivas (Lorenzo Lledó et al., 2024). En otro estudio, el uso del robot NAO como mediador en tratamientos basados en Terapia de Respuesta Pivotal (PRT) mostró mejoras notables en las habilidades sociales de los niños, comparado con grupos que no usaron el robot (Puglisi et al., 2022).

Kaspar se utiliza en terapias para enseñar habilidades sociales, este robot ayuda a los niños a practicar turnos y participa en actividades como juegos de roles (Yang, 2024). Proporciona retroalimentación táctil mediante sensores que permiten a los niños aprender conceptos de causa y efecto. Por ejemplo, los niños pueden observar los movimientos de Kaspar al presionar los botones de su cuerpo (Ali et al., 2020).

Ha sido probado en juegos que promueven la toma de perspectiva visual y emocional. Los resultados mostraron que los niños desarrollan mejores habilidades para interpretar emociones y comportamientos ajenos. Kaspar se ha integrado en sesiones grupales e individuales con más de 300 niños, enseñándoles habilidades como la comprensión de expresiones faciales y el

seguimiento de instrucciones (Wood et al., 2021). Esta herramienta utiliza principalmente el idioma inglés.

Es personalizable según las necesidades específicas del niño, lo que lo hace útil para niños con diferentes grados de TEA. Su diseño humanoide simplificado lo hace menos intimidante que un adulto, lo que genera un ambiente seguro y confiable para la interacción. Los niños mejoran en habilidades psicomotoras, comunicación e imitación cuando interactúan regularmente con Kaspar (Nuovo, 2020).

Las limitaciones es que tiene movimientos reducidos en comparación con robots más avanzados, lo que limita su capacidad a movimientos complejos. Además, requiere monitoreo constante por parte de los educadores para que guíen las interacciones durante su uso.

Estudios con 13 niños demostraron que las intervenciones mediadas por Kaspar mejoraron la teoría de la mente y la comunicación básica en los participantes. En entornos grupales, los niños mostraron mejoras en habilidades de imitación y resolución de conflictos sociales después de interactuar con Kaspar en actividades específicas.

QTrobot está diseñado para identificar y hacer fácil la comprensión de expresiones faciales mediante sesiones personalizadas (Mutawa et al., 2023). El robot utiliza un sistema de visualización facial que emula expresiones emocionales básicas y es capaz de realizar movimiento de alta motricidad en cuello y mano. Facilita ejercicios de atención conjunta, imitación y reducción de comportamientos estereotipados en niños con TEA. Está equipado con una cámara 3D RealSense, permite reconocer gestos y rostros, además de identificar la dirección del sonido mediante micrófonos integrados (Abdel Hameed et al., 2022). Se agrega que el principal idioma de este robot es el inglés.

El software integrado permite personalizar completamente los comportamientos del robot para ajustarse a las necesidades específicas de cada niño. Su apariencia física y capacidad de movimiento simulan características humanas que ayudan a los niños a transferir habilidades aprendidas del contexto humano robot al contexto humano (Hughes et al., 2022). Su alta personalización y adaptabilidad lo hace eficiente en entornos educativos. Como limitaciones tenemos a la dependencia de actualizaciones de software y su precio elevado.

Un estudio con 40 niños con TEA mostró mejoras significativas en imitación, atención y habilidades emocionales tras sesiones con QTrobot. Estos resultados destacan su potencial para

reducir comportamientos repetitivos y mejorar las habilidades de atención conjunta (Abdelmohsen & Arafa, 2021).

Aplicaciones Móviles

Representan una herramienta accesible y versátil. Estas aplicaciones suelen estar diseñadas para enseñar habilidades específicas, como el reconocimiento de emociones, la comunicación y la resolución de problemas sociales, a través de actividades interactivas y atractivas (Al-Saadi & Al-Thani, 2023).

MOLHEM por medio de chatbots interactivos basado en un avatar interactivo enseña habilidades sociales básicas, como saludar y responder preguntas en un entorno virtual amigable. Además cuenta con módulos educativos que permiten a los niños practicar situaciones del mundo real, como expresar emociones o pedir ayuda. Los profesores pueden configurar el sistema para que pueda centrarse en áreas específicas.

Un gran beneficio es que los padres pueden supervisar las actividades del niño, recibir informes de progreso y ajustar la duración de sesiones según las necesidades del niño. Tiene facilidad de uso gracias a su diseño interactivo y amigable. También es importante señalar que es compatible con usuarios de distintos niveles de habilidades gracias a su interfaz multilingüe.

Las respuestas limitadas a preguntas formuladas en dialectos locales, esto afecta la precisión de las respuestas del chatbot o el enfoque limitado a casos leves de TEA, esto significa que los niños con grados severos no podrían beneficiarse son el limitante de esta herramienta.

Una encuesta a 50 padres y maestros mostró mejoras significativas en habilidades sociales y educativas después de usar MOLHEM por una semana (Sweidan et al., 2024).

Figura 1.

Resultados de la encuesta de evaluación 2: evaluación de categorías sociales y educativas

1- How do you rate the improvement degree in your child's conversation skills after using the app's chatbot for one week?		
• High	• Medium	• Low
28%	42%	30%
2- How do you rate the improvement degree in your child's self-expression skills after using the app's "I Want" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
24%	40%	36%
3- How do you rate the improvement degree in your child's feelings expression skills after using the app's "I Feel" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
20%	38%	42%
4- How do you rate the improvement degree in your child's educational skills after using the app's "Learn" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
38%	36%	26%
5- How do you rate the improvement degree in your child's educational skills after using the app's "Tests" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
32%	32%	36%
6- How do you rate the improvement degree in your child's educational skills after using the app's "Play" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
36%	42%	22%
7- How do you rate the improvement degree in your child's educational skills after using the app's "Stories" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
34%	38%	28%
8- How do you rate the improvement degree in your child's educational skills after using the app's "Music" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
28%	46%	26%
9- How do you rate the improvement degree in your child's educational skills after using the app's "Videos" category for one week?		
• High	• Medium	• Low
30%	34%	36%

Nota: La tabla refleja la percepción de mejora en habilidades específicas en un período corto de uso (una semana) de la aplicación, mostrando la efectividad relativa de cada categoría según las respuestas de los padres y maestros. Las preguntas están diseñadas para evaluar habilidades sociales (conversación, autoexpresión y expresión de sentimientos) y habilidades educativas (lectura, pruebas, juego, historias, música y videos). Las respuestas están divididas en tres niveles (alto, medio, bajo).

Aawn ayuda a los niños con TEA a organizar sus rutinas diarias mediante horarios visuales y actividades planificadas. Enseña a los niños a identificar emociones a través de imágenes y ejercicios interactivos que utilizan el Sistema de Comunicación por Intercambio de Imágenes (PECS). Esta herramienta permite a los padres crear horarios visuales personalizados para las actividades diarias de sus hijos, como vestirse y cepillar los dientes. También por medio de ejercicios gamificados como construcción de oraciones ayudan a los niños a desarrollar habilidades lingüísticas y estructurales.

Colores y diseños optimizados para mantener la atención y reducir la ansiedad en los niños, además no tiene costo para los usuarios a diferencia de muchas aplicaciones similares, estas son ventajas importantes. Actualmente carece de características como juegos multijugador y funcionalidades de inteligencia artificial avanzada.

Un estudio con 19 respuestas de padres y maestros encontró que el 71.9% considera que Aawn mejoró significativamente (Wali et al., 2023).

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se estructurará en varias fases metodológicas, que abarcan desde la recopilación de información y análisis de herramientas existentes hasta el análisis comparativo utilizando métodos como AHP-TOPSIS.

3.1 Aplicación del método PRISMA para la recolección de datos

El primer paso será realizar una revisión bibliográfica y sistemática sobre herramientas de inteligencia artificial aplicadas a la educación y comunicación de niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA). El nivel de investigación es descriptivo comparativo con enfoque documental, para entender el estado actual de estas herramientas, y tendrá un enfoque cualitativo, ya que interpretará información relevante obtenida de las fuentes. Se centrará en datos documentales, revisando y analizando artículos científicos, informes y estudios de caso de los últimos cinco años.

La metodología incluirá el uso de PRISMA para garantizar un enfoque sistemático y transparente, categorizando los datos en temas clave como tipos de herramientas utilizadas, beneficios y limitaciones. Este análisis proporcionará una vista clara sobre la evolución y eficacia en el uso de estas herramientas en el contexto educativo de niños con TEA.

Fase 1: Identificación

Búsqueda de información: Se ocuparon bases de datos científicas como Scopus, Web of Science, Scielo y documentos técnicos gubernamentales, se utilizaron palabras clave empleadas fueron: "Autism Spectrum Disorder (ASD)" AND "Artificial Intelligence", "Robot-Assisted Therapy" AND "AUTISM", "Artificial Intelligence" AND "Autism Spectrum Disorder" AND "Education", "Humanoid Robots" AND "CHILD", "Machine Learning" AND "Special Education" AND "Autism", "Assistive Technology" AND "Autism Spectrum Disorder" y "Augmented Reality" AND "Social Communication" AND "Autism". Se priorizaron artículos de investigación y revisiones sistemáticas. Se incluyeron artículos publicados entre 2021 y 2024 para garantizar información actualizada.

Fase 2: Filtrado

Criterios de inclusión: Investigaciones que aborden el uso de herramientas de inteligencia artificial (IA) en la educación y comunicación de niños con Trastorno del Espectro Autista

(TEA). Estudios que proporcionen datos específicos sobre la implementación de estas herramientas en entornos educativos, con un enfoque en la eficacia y resultados obtenidos. También, se seleccionaron artículos que proporcionaban datos significativos sobre herramientas específicas, sus beneficios y limitaciones. Además, artículos que incluyan herramientas tecnológicas actuales como robots humanoides, realidad aumentada, realidad o asistentes virtuales basados en IA.

Criterios de exclusión: Artículos que no se centraron en niños con TEA y que presentaban datos insuficientes para el análisis. Artículos anteriores de 2020 o sin acceso a texto completo.

Fase 3: Selección

Cada artículo se revisó de forma detallada para determinar su relevancia en el contexto del estudio. Se consideraron los siguientes aspectos:

- Aplicación de la IA en las herramientas analizadas.
- Relevancia en las herramientas utilizadas, como robots humanoides, realidad extendida, aplicaciones móviles y sistemas de reconocimiento facial, dentro del ámbito educativo y comunicativo.
- Nivel de detalle en los resultados reportados, impacto medido y reconocimiento de limitaciones.
- Enfoque en niños con TEA y aplicabilidad en diversos entornos educativos.

3.2 Análisis de datos con AHP-TOPSIS

Se emplea el método TOPSIS ya que destaca por su sencillez en el cómputo de datos, es fácil de entender e incorporar. Se aplica para determinar las mejores y peores puntuaciones para cada uno de los criterios de las herramientas seleccionadas. También puede medir la proximidad de cada herramienta a las soluciones utilizando las fórmulas del método TOPSIS. Además, calcula el coeficiente de cercanía relativa para clasificar las herramientas según su desempeño, priorizando aquellas más cercanas a la solución ideal (Sulaiman et al., 2024).

El método TOPSIS permitió categorizar la proximidad de un objeto de evaluación con relación al fin ideal. Este proceso permitirá clasificar las herramientas más adecuadas para la educación y comunicación en niños con TEA, proporcionando una base cuantitativa para la toma de

decisiones. Las herramientas por evaluar son: NAO, QTrobot, Kaspar, Metaverso, FECTS y Aawn.

Definición de criterios

En esta fase se consideraron un total de 11 criterios. Se descartaron 5 debido a falta de datos relevantes sobre el uso en niños con TEA, limitada aplicabilidad tanto educativa como comunicativa y enfoque insuficiente. Los criterios descartados fueron:

- Interactividad del sistema: Se fusionó con “facilidad de uso” por ser redundante.
- Escalabilidad: Aunque es relevante, no era central a herramientas orientadas a casos específicos de TEA.
- Compatibilidad tecnológica: No era clave en el desempeño educativo y comunicativo.
- Duración de la batería: No es crítico para la evaluación general de las herramientas.
- Velocidad de procesamiento: No se consideró determinante en la experiencia del usuario final.

Finalmente, se sometió a la validación de un especialista en IA con 10 años de experiencia donde se decidió que los mejores criterios clave a utilizar son seis:

- Costos: Inversión inicial, mantenimiento y escalabilidad económica.
- Facilidad de uso: Nivel de accesibilidad para educadores y niños.
- Seguridad: Protección de la privacidad de datos y el cumplimiento de normas éticas.
- Accesibilidad: Capacidad de la herramienta para incluir usuarios con discapacidades visuales y auditivas.
- Idioma: Disponibilidad en varios idiomas.
- Adaptabilidad: Flexibilidad para poder personalizar la herramienta según necesidades individuales de los niños.

Aplicación de AHP-TOPSIS

Primero, se construye la matriz decisión con las puntuaciones de las herramientas en cada criterio:

Figura 2.

Matriz decisión

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Nota: x_{ij} representa la puntuación de la herramienta i en el criterio j .

Segundo, se elabora la matriz de decisión normalizada

Cada uno de los valores se dividen entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de su columna.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Luego, se calcula la matriz de peso normalizada. Los datos cuantitativos se recogieron a partir de la evaluación de un experto y también teniendo en cuenta el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se asignaron pesos a cada criterio mediante una matriz de comparación por pares. Este proceso incluyó normalización de matriz, cálculo de pesos promedio para cada criterio y verificación de consistencia para garantizar que los pesos fueran coherentes.

Se multiplica cada valor normalizado por el peso del criterio correspondiente:

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_j$$

v_{ij} : Valor ponderado de la herramienta i respecto al criterio j .

r_{ij} : Valor normalizado de la herramienta i respecto al criterio j .

w_j : Peso del criterio j , definido previamente.

Se utilizó la escala de Saaty para comparar cada criterio en términos de importancia.

- 1: Igual importancia entre los criterios.
- 3: Moderada importancia de un criterio sobre otro.
- 5: Fuerte importancia de un criterio sobre otro.
- 7: Muy fuerte importancia de un criterio sobre otro.
- 9: Importancia absoluta de un criterio sobre otro.

Después, se determinan la solución ideal (positiva) y anti-ideal (negativa):

La solución ideal es el valor máximo para cada criterio, indicando el mejor desempeño y anti-ideal es el valor mínimo para cada criterio, indicando el peor desempeño.

$$V^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, r_j^+) = \{\max V_{ij} | j = 1, 2, \dots, m\}$$

$$V^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, r_j^-) = \{\min V_{ij} | j = 1, 2, \dots, m\}$$

El vector V^+ es el máximo valor más alto para cada criterio (mejor desempeño) y el vector V^- es el valor más bajo para cada criterio (peor desempeño).

Seguidamente se calcula la distancia de cada herramienta a las soluciones ideales y anti-ideal utilizando la distancia euclidiana.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Por último, se calcula el coeficiente de cercanía relativa, el cual mide qué tan cerca es una alternativa de la solución ideal en comparación con la solución anti-ideal, mientras el valor se acerque a 1, será la solución ideal positiva y mientras el valor se vaya acercando a 0, será la solución ideal negativa.

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

4. RESULTADOS

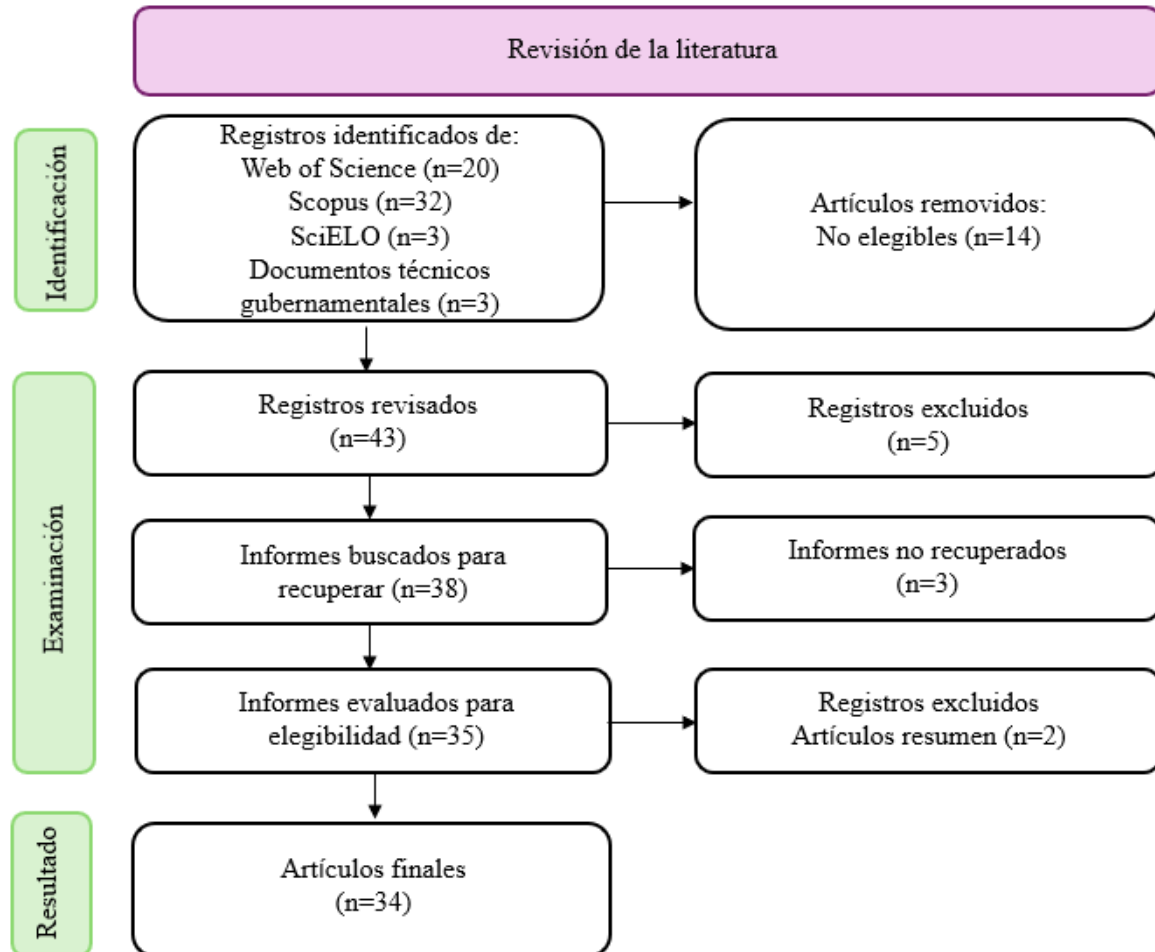
En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir la aplicación de los métodos PRISMA y AHP-TOPSIS. Estos resultados comprenden el análisis de herramientas basadas en IA, evaluadas según su impacto en la educación y comunicación de niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA).

4.1 Análisis de trabajos científicos previos

Se realiza una revisión de la literatura mediante un modelo PRISMA con el fin de filtrar y seleccionar trabajos científicos de las bibliotecas digitales Web of Science, Scopus, SciELO y documentos técnicos gubernamentales sobre “Herramientas basadas en IA para la educación y comunicación en niños con TEA”, se obtuvieron 58 trabajos científicos, luego se redujeron 14 artículos que no eran elegibles ya que no incluían a los niños con TEA, de los 43 registros se excluyeron 5 porque la información era redundante, después de los 38 artículos restantes 3 no pudieron considerarse debido a que no presentan información necesaria sobre limitaciones, seguidamente 2 artículos de 35 no pudieron ser descargados debido a que son de pago. Finalmente, como base para el análisis se logró obtener 34 artículos científicos del tema de investigación.

Figura 3.

Diagrama PRISMA



Nota: Resultados del PRISMA.

Tabla 1.

Trabajos científicos seleccionados

Biblioteca digital	Artículo	Cant.
Web of Science	(Al-Nafjan et al., 2023; Lorenzo Lledó et al., 2024; Zhao et al., 2024; Hyun Lee et al., 2023; Mutawa et al., 2023; Puglisi et al., 2022; Sandeep & Kumar, 2024; Sweidan et al., 2024; Ullah et al., 2023; Wali et al., 2023; Wan et al., 2022; Wang, 2023; Sulaiman et al., 2024)	13
Scopus	(Abdel Hameed et al., 2022; Abdelmohsen & Arafa, 2021; Ali et al., 2020; Al-Saadi & Al-Thani, 2023; Barua et al.,	15

	2022; Hasan, 2022; Safi et al., 2023; Liu et al., 2022; Yahya et al., 2024; Nuovo, 2020; Song et al., 2022; Wood et al., 2021; Hughes et al., 2022; Abdul Rahim, 2024; Doulah et al., 2023.)	
SciELO	(Wedyan et al., 2021; Yang, 2024; Bhargavi et al., 2023.)	3
Documentos	(Vásquez Jairo et al., 2022; UNESCO, 2020; Mendoza Pin et al., 2024)	3
técnicos		
gubernamentales		

Nota: Aquí se muestran los autores de los artículos.

4.2 Metodología Multicriterio: Aplicación de AHP-TOPSIS

Fase 1: Construcción de la Matriz de Decisión

Las alternativas fueron evaluadas en una escala del 1 al 10 que indica cómo se desempeña la herramienta en el criterio correspondiente.

Tabla 2.

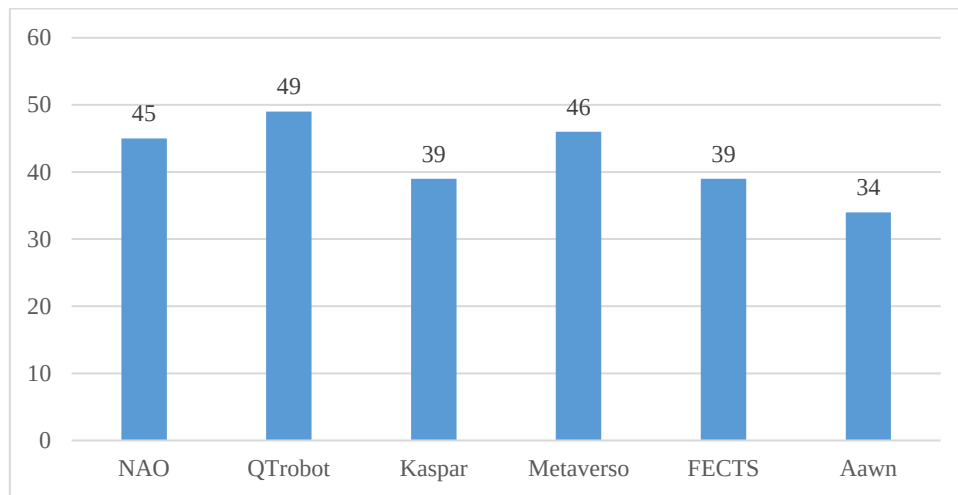
Matriz decisión

Alternativa	Costos	Idioma	Facilidad de Uso	Seguridad	Accesibilidad	Adaptabilidad
NAO	7	5	7	8	9	9
QTrobot	8	6	9	9	8	9
Kaspar	6	4	8	7	7	7
Metaverso	9	7	6	8	8	8
FECTS	5	6	7	7	7	7
Aawn	3	4	8	6	7	6

Nota: Los datos cuantitativos se recogieron a partir de la evaluación de un experto en IA.

Figura 4.

Diagrama de barras



Nota: Este gráfico representa la suma de todos los valores de cada criterio con respecto a cada herramienta para así saber que herramienta destaca positivamente más que otra.

Fase 2: Normalización de la Matriz de Decisión

Con los datos de la Tabla 2, calcularemos la matriz normalizada de las herramientas.

Tabla 3.

Matriz de decisión normalizada

Herramienta	Costos	Idioma	Facilidad de Uso	Seguridad	Accesibilidad	Adaptabilidad
NAO	0.3859	0.3311	0.3169	0.3746	0.4021	0.4074
QTrobot	0.4411	0.3974	0.4074	0.4215	0.3574	0.4074
Kaspar	0.3308	0.2649	0.3621	0.3278	0.3127	0.3169
Metaverso	0.4962	0.4636	0.2716	0.3746	0.3574	0.3619
FECTS	0.3127	0.3974	0.3169	0.3278	0.3127	0.3169
Aawn	0.1877	0.2649	0.3621	0.2805	0.3127	0.2712

Nota: Esta matriz prepara los datos para las siguientes etapas.

Fase 3: Matriz ponderada

La matriz ponderada ayuda a identificar qué criterio tiene más relevancia que otro.

Tabla 4.

Matriz de peso de los criterios

Criterios	Costos	Idioma	Facilidad de Uso	Seguridad	Accesibilidad	Adaptabilidad
Costos	1	3	1/3	1/3	1/7	1/5
Idioma	1/3	1	1/5	1/7	1/9	1/9
Facilidad de Uso	3	5	1	3	1/5	1/3
Seguridad	3	7	1/3	1	1/3	1/5
Accesibilidad	7	9	5	3	1	3
Adaptabilidad	5	9	3	5	1/3	1

Nota: Los pesos de cada criterio se asignaron con apoyo de un especialista en IA.

Ahora que ya tenemos la matriz de peso, realizaremos el cálculo de la matriz de peso normalizada.

Tabla 5.

Matriz de peso normalizada de los criterios

Criterio	Peso
Costos	0.051518
Idioma	0.025617
Facilidad de Uso	0.134527
Seguridad	0.112244
Accesibilidad	0.410802
Adaptabilidad	0.265292

Nota: Los pesos fueron calculados con los valores de la matriz de peso.

Tabla 6.

Matriz ponderada

Herramienta	Costos	Idioma	Facilidad de Uso	Seguridad	Accesibilidad	Adaptabilidad
NAO	0.02183	0.00843	0.04185	0.04281	0.16753	0.11018
QTrobot	0.02490	0.01012	0.05381	0.04817	0.14921	0.11018
Kaspar	0.01871	0.00674	0.04794	0.03751	0.13072	0.08572
Metaverso	0.02808	0.01182	0.03592	0.04281	0.14921	0.09792
FECTS	0.01562	0.01012	0.04185	0.03751	0.13072	0.08572
Aawn	0.00938	0.00674	0.04794	0.03210	0.13072	0.07348

Nota: Esta tabla introduce los pesos de los criterios en la evaluación.

Fase 4: Determinación de las soluciones es ideales y anti-ideal

Tabla 7.

Tablas de soluciones

Criterio	Ideal ()	Anti-ideal ()
Costos	0.02808	0.00938
Idioma	0.01182	0.00674
Facilidad de Uso	0.05381	0.03592
Seguridad	0.04817	0.03210
Accesibilidad	0.16753	0.13072
Adaptabilidad	0.11018	0.07348

Nota: La solución ideal es el máximo valor de cada columna y la solución anti-ideal es el mínimo valor de cada columna.

Fase 5: Cálculo de distancias

Tabla 8.

Distancias a las soluciones ideal y anti-ideal

Herramienta	Distancia Ideal ()	Distancia Anti-ideal ()
NAO	0.24131	0.00876
QTrobot	0.21576	0.04610
Kaspar	0.22248	0.03684
Metaverso	0.17412	0.09005
FECTS	0.25041	0.00685
Aawn	0.27689	0.00412

Nota: Las distancias se calculan usando distancia euclidiana.

Fase 6: Coeficiente de cercanía relativa

Tabla 9.

Tabla de coeficiente de cercanía relativa

Herramienta	CC_i
Metaverso	0.34185
QTrobot	0.17631
Kaspar	0.14201
NAO	0.03492
FECTS	0.02673
Aawn	0.01460

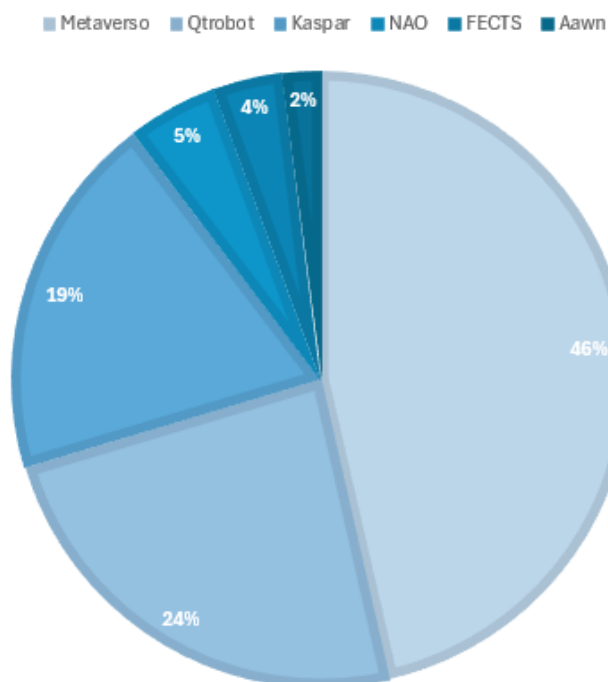
Nota: Las herramientas fueron clasificadas según su valor de coeficiente de cercanía relativa. Las herramientas con un coeficiente más alto fueron priorizadas, ya que se consideran más efectivas y adecuadas para los niños con TEA. Un valor alto de coeficiente indica que la alternativa está más cerca de la solución ideal, por lo tanto, es más adecuada.

Fase 7: Clasificación Final

Basado en los coeficientes de la Tabla 9, las herramientas se representaron visualmente como se muestra en la figura 5:

Figura 5.

Diagrama circular



Nota: Este gráfico ilustra la distribución proporcional de los coeficientes.

5. DISCUSIÓN

Este estudio utilizó el método AHP-TOPSIS para clasificar herramientas basadas en IA en la educación y comunicación de los niños con TEA, se consideraron criterios como accesibilidad, adaptabilidad, costos, facilidad de uso, seguridad e idioma. Las herramientas que se evaluaron mostraron un desempeño variado, reflejando la diversidad de enfoques.

Metaverso fue identificado como la herramienta con más potencial ya que obtuvo el coeficiente de cercanía relativa más alto. Sus principales fortalezas fueron su adaptabilidad y su capacidad para crear entornos virtuales atractivos. Sin embargo, su dependencia de infraestructura avanzada limita su aplicación en entornos que carecen de ella. Además, QTrobot se posicionó en segundo puesto ya que se adapta a las necesidades específicas de los niños. Sus fortalezas son la facilidad de uso y la seguridad, factores importantes para garantizar las interacciones.

Por otro lado, NAO logró una clasificación intermedia en tercer puesto debido a su capacidad para estructurar interacciones por medio de actividades programados y personalizables. En cuarto lugar, Kaspar resaltó con sus interacciones táctiles y capacidad de personalizar actividades como la toma de turnos y la interpretación emocional. En quinto lugar, FECTS ayuda a niños a identificar patrones emocionales, fomentando habilidades de interpretación social.

Aawn, aunque con un puntaje más bajo a comparación de las demás herramientas, demostró que en contexto de recursos limitados es la más valiosa. Es decir que su accesibilidad económica es ideal para instituciones con infraestructura restringida.

La comparación entre Metaverso y NAO plantea una pregunta importante sobre si son comparables estas herramientas. Debido a que uno es un entorno virtual y otro un robot humanoide, ambos buscan mejorar las habilidades comunicativas, pero Metaverso lo hace a través de avatares y simulaciones, mientras que Nao permite una interacción física y con gestos. Metaverso requiere infraestructura tecnológica, mientras que NAO es un hardware con costo elevado. Sí, son comparables, pero deben analizarse bajo criterios específicos.

Preguntas de investigación

5.1 ¿Qué tipo de herramienta de IA ayuda en la educación y comunicación de los niños con TEA?

El análisis destaca que las herramientas más efectivas incluyen robots humanoides (Nao, QTrobot, Kaspar), aplicación móvil (Aawn) y entornos de realidad extendida (Metaverso). Estas herramientas ofrecen un enfoque adaptativo que permite abordar déficits específicos en comunicación.

En primer punto, los robots humanoides como QTrobot y NAO son eficaces para desarrollar habilidades socioemocionales y conductuales gracias a su capacidad de personalización y respuesta inmediata. También se conoció que la aplicación móvil Aawn se destaca por su accesibilidad económica y funcionalidad en la enseñanza de habilidades sociales básicas. La realidad extendida mejora la interacción social mediante entornos simulados, reduciendo la ansiedad en contextos reales.

Existen diferencias que son claras en la aplicabilidad de herramientas según su contexto por ejemplo los robots humanoides son más efectivos en sesiones terapéuticas, mientras que las aplicaciones móviles son ideales para el aprendizaje diario.

5.2 ¿Qué factores influyen en la eficacia de las herramientas basadas en IA para la educación de niños con TEA en estudios bibliográficos?

Factores como la capacidad de poder adaptarse a las necesidades individuales, la formación de docentes y la disponibilidad de los recursos e infraestructuras necesarias. Además, la facilidad de uso de las herramientas y la existencia de estudios que respalden su impacto positivo en el aprendizaje y la comunicación es parte de su éxito.

5.3 ¿Cuáles son los beneficios y limitaciones en la implementación de herramientas basadas en IA en la educación de niños con TEA?

EL primer beneficio es el fomento del aprendizaje adaptativo por medio de QTrobot que permite personalizar actividades y mejorar el desarrollo cognitivo. El segundo sería la mejora de la comunicación social y emocional, como se observa en el uso de FECTS para entrenar

habilidades de reconocimiento facial. Y por último la reducción de ansiedad en interacciones sociales mediante entornos seguros como Metaverso.

La primera limitación sería el costo para los robots es económicamente alto, lo que restringe su acceso a contextos educativos con recursos limitados, la segunda limitación es la realidad extendida requiere de equipos avanzados, lo que puede ser una barrera en lugares con baja conectividad. Y como tercera limitación tenemos que se requiere personal capacitado en el uso de estas herramientas.

6. CONCLUSIÓN

El uso de herramientas basadas en IA ha demostrado un impacto positivo en la educación de niños con TEA. A través de esta investigación, se ha evidenciado que estas herramientas han sido desarrolladas con distintos enfoques, desde robots hasta aplicaciones móviles, cada una se diferencia por características específicas que responden a diversas necesidades educativas y comunicativas. A pesar de sus beneficios, aún existen desafíos en cuanto a su uso en el contexto educativo.

El análisis permitió identificar las principales herramientas basadas en IA utilizadas en la educación de niños con TEA. Herramientas como NAO, Kaspar y FECTS destacan por su capacidad para mejorar habilidades sociales y comunicativas a través de interacciones adaptativas.

El análisis mediante AHP-TOPSIS permitió una comparación objetiva de diversas herramientas, permitiendo identificar las más efectivas según criterios. Se observó que, si bien los robots y entornos inmersivos ofrecen mejores resultados, su viabilidad en entornos educativos de bajos recursos es reducida. Las aplicaciones móviles son opciones más escalables y accesibles, facilitando su implementación.

En general, esta investigación aporta referencias para la selección de herramientas basadas en IA en la educación inclusiva en niños con TEA, proporcionando una guía para seleccionar herramientas según las necesidades educativas. Sin embargo, es fundamental continuar explorando estrategias que reduzcan los costos y amplíen la accesibilidad de herramientas para garantizar su impacto de mayor manera.

REFERENCIAS

- Abdel Hameed, M., Hassaballah, M., Hosney, M. E., & Alqahtani, A. (2022). An AI-Enabled Internet of Things Based Autism Care System for Improving Cognitive Ability of Children with Autism Spectrum Disorders. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2247675>
- Abdelmohsen, M., & Arafa, Y. (2021). Training social skills of children with ASD through social virtual robot. *Proceedings - 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, VRW 2021*, 314–319. <https://doi.org/10.1109/VRW52623.2021.00063>
- Ali, S., Mehmood, F., Khan, M. J., Ayaz, Y., Ayaz, Y., Asgher, U., Sadia, H., Sadia, H., Edifor, E., & Nawaz, R. (2020). A Preliminary Study on Effectiveness of a Standardized Multi-Robot Therapy for Improvement in Collaborative Multi-Human Interaction of Children with ASD. *IEEE Access*, 8, 109466–109474. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001365>
- Al-Nafjan, A., Alhakbani, N., & Alabdulkareem, A. (2023). Measuring Engagement in Robot-Assisted Therapy for Autistic Children. *Behavioral Sciences*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/bs13080618>
- Al-Saadi, A. M., & Al-Thani, D. (2023). Mobile Application to identify and recognize emotions for children with autism: A systematic review. *Frontiers in Child and Adolescent Psychiatry*, 2. <https://doi.org/10.3389/frcha.2023.1118665>
- Barua, P. D., Vicnesh, J., Gururajan, R., Oh, S. L., Palmer, E., Azizan, M. M., Kadri, N. A., & Acharya, U. R. (2022). Artificial Intelligence Enabled Personalised Assistive Tools to Enhance Education of Children with Neurodevelopmental Disorders—A Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031192>
- Bhargavi, Y., Bini, D., & Prince, S. (2023). AI-based Emotion Therapy Bot for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD). *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2023*, 1895–1899. <https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10112868>
- Chen, J., Hu, J., Zhang, K., Zeng, X., Ma, Y., Lu, W., Zhang, K., & Wang, G. (2024). Virtual reality enhances the social skills of children with autism spectrum disorder: a review. In *Interactive Learning Environments* (Vol. 32, Issue 5, pp. 2321–2342). Routledge. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2146139>
- Doulah, A. B. M. S. U., Rasheduzzaman, M., Arnob, F. A., Sarker, F., Roy, N., Ullah, M. A., & Mamun, K. A. (2023). Application of Augmented Reality Interventions for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Systematic Review. In *Computers* (Vol. 12, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/computers12100215>
- Hasan, N. N. M. J. ; (2022). *ICT-Based Learning Solutions for Children with ASD*.
- Hughes, C. E., Dieker, L. A., Glavey, E. M., Hines, R. A., Wilkins, I., Ingraham, K., Bukaty, C. A., Ali, K., Shah, S., Murphy, J., & Taylor, M. S. (2022). RAISE: Robotics & AI to improve STEM and social skills for elementary school students. *Frontiers in Virtual Reality*, 3. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.968312>

- Hyun Lee, J., Seon Lee, T., Young Yoo, S., Woo Lee, S., Hye Jang, J., jin Choi, Y., Rang Park, Y., Co, D., & Korea, S. (2023). *Metaverse-based social skills training programme for children with autism spectrum disorder to improve social interaction ability: an open-label, single-centre, randomised controlled pilot trial*. www.thelancet.com
- Liu, X., Chen, J., Zhang, K., Wang, X., Wang, G., & Zhang, R. (2022). The evaluation of the cognitive and language abilities of autistic children with interactive game technology based on the PEP-3 scale. *Education and Information Technologies*, 27(9), 12027–12047. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11114-4>
- Lorenzo Lledó, G., Lorenzo-Lledó, A., & Rodríguez-Quevedo, Á. (2024). Artificial intelligence analysis of the emotions of autistic students in social interaction with the NAO robot. *Revista de Educación a Distancia*, 24(78). <https://doi.org/10.6018/red.588091>
- Mendoza Pin, S. A., Rosero Solorzano, S. A., & Montiel Arreaga, R. C. (2024). Estrategias inclusivas para la integración efectiva de estudiantes con trastornos del espectro autista TEA en aulas regulares: Un enfoque multidimensional en la educación ecuatoriana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 3487–3511. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15106
- Mutawa, A. M., Al Mudhahkah, H. M., Al-Huwais, A., Al-Khaldi, N., Al-Otaibi, R., & Al-Ansari, A. (2023). Augmenting Mobile App with NAO Robot for Autism Education. *Machines*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/machines11080833>
- Nuovo, D. (2020). *Social robots to support practitioners in the education and clinical care of children: The CARER-AID project CONTI*, Daniela <<http://orcid.org/0000-0001-5308-7961>>, TRUBIA. <http://shura.shu.ac.uk/26920/>
- Puglisi, A., Caprì, T., Pignolo, L., Gismondo, S., Chilà, P., Minutoli, R., Marino, F., Failla, C., Arnao, A. A., Tartarisco, G., Cerasa, A., & Pioggia, G. (2022). Social Humanoid Robots for Children with Autism Spectrum Disorders: A Review of Modalities, Indications, and Pitfalls. In *Children* (Vol. 9, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/children9070953>
- Safi, M. F., Al Sadrani, B., & Mustafa, A. (2023). Virtual voice assistant applications improved expressive verbal abilities and social interactions in children with autism spectrum disorder: a Single-Subject experimental study. *International Journal of Developmental Disabilities*, 69(4), 555–567. <https://doi.org/10.1080/20473869.2021.1977596>
- Sandeep, P. V. K., & Kumar, N. S. (2024). Pain detection through facial expressions in children with autism using deep learning. *Soft Computing*, 28(5), 4621–4630. <https://doi.org/10.1007/s00500-024-09696-x>
- Song, C., Jiang, Z. Q., Hu, L. F., Li, W. H., Liu, X. L., Wang, Y. Y., Jin, W. Y., & Zhu, Z. W. (2022). A machine learning-based diagnostic model for children with autism spectrum disorders complicated with intellectual disability. *Frontiers in Psychiatry*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.993077>
- Sulaiman, R., Astuti, Y. P., Yuniarti, D. N., & Awang, N. A. (2024). On The Picture Fuzzy-TOPSIS. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 17(3), 1727–1736. <https://doi.org/10.29020/nybg.ejpam.v17i3.5225>

- Sweidan, S. Z., Almajajdeh, S. K., Khawaldeh, A. M., & Darabkh, K. A. (2024). MOLHEM: An innovative android application with an interactive avatar-based chatbot for Arab children with ASD. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12547-9>
- Ullah, F., AbuAli, N. A., Ullah, A., Ullah, R., Siddiqui, U. A., & Siddiqui, A. A. (2023). Fusion-Based Body-Worn IoT Sensor Platform for Gesture Recognition of Autism Spectrum Disorder Children. *Sensors*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031672>
- UNESCO. (2020). *Inclusión y educación: 2020 INFORME DE SEGUIMIENTO DE LA EDUCACIÓN EN EL MUNDO*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373721_spa
- Vásquez Jairo Vera Alcívar David Zurita Loma Daniel EQUIPO TÉCNICO Arias Johanna López Lindao Galo Montúfar Jonathan Reyes Armando Rosero Alejandra Solís Erika Viteri Gabriela, R. (2022). *COMITÉ ACADÉMICO*. <https://educacion.gob.ec/datos-abiertos/>
- Wali, A., Alfrihidi, M., Alasiri, N., & Alsabei, N. (2023). Aawn: An Interactive Mobile Application for Improving the Communication Skills of Arab Children with Autism. *TEM Journal*, 12(3), 1307–1315. <https://doi.org/10.18421/TEM123-10>
- Wan, G., Deng, F., Jiang, Z., Song, S., Hu, D., Chen, L., Wang, H., Li, M., Chen, G., Yan, T., Su, J., & Zhang, J. (2022). FECTS: A Facial Emotion Cognition and Training System for Chinese Children with Autism Spectrum Disorder. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9213526>
- Wang, C. P. (2023). Training children with autism spectrum disorder, and children in general with AI robots related to the automatic organization of sentence menus and interaction design evaluation. *Expert Systems with Applications*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120527>
- Wedyan, M., Falah, J., Alturki, R., Giannopulu, I., Alfalah, S. F. M., Elshaweesh, O., & Al-Jumaily, A. (2021). Augmented reality for autistic children to enhance their understanding of facial expressions. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(8). <https://doi.org/10.3390/mti5080048>
- Wood, L. J., Zarak, A., Robins, B., & Dautenhahn, K. (2021). Developing Kaspar: A Humanoid Robot for Children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, 13(3), 491–508. <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00563-6>
- Yahya, R. J. R. H. F. A. Z. N. K. (2023). *A scoping review of artificial intelligence-based robot therapy for children with disabilities*.
- Yang, Q. (2024). *Edge Computing based Human-Robot Cognitive Fusion: A Medical Case Study in the Autism Spectrum Disorder Therapy*. <http://arxiv.org/abs/2401.00776>
- Zhao, W., Xu, S., Zhang, Y., Li, D., Zhu, C., & Wang, K. (2024). The Application of Extended Reality in Treating Children with Autism Spectrum Disorder. In *Neuroscience Bulletin* (Vol. 40, Issue 8, pp. 1189–1204). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12264-024-01190-6>