

AutismAR Discovery: Evaluación de una Aplicación de Realidad Aumentada para Apoyar el Aprendizaje de Niños con Trastorno del Espectro Autista en Panamá

Dimas H. Concepción Patiño, Lilia Muñoz, Vladimir Villarreal, César Pardo, Ivonne Núñez, Nila Navarro, Laura Villa, Cosmin C. Dobrescu and Marco Rodríguez

Resumen— AutismAR Discovery se centra en el predesarrollo y la validación de una aplicación de realidad aumentada diseñada para apoyar la educación de niños con trastorno del espectro autista (TEA). Este estudio utilizó una evaluación del storyboard del prototipo y la encuesta AttrakDiff con una muestra de estudiantes del curso de educación especial de una universidad panameña, además de expertos en psicología, trabajo social e informática. Los resultados del estudio demuestran la importancia de la tecnología de apoyo en la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidades cognitivas y en la promoción de la inclusión educativa. El estudio encontró que los entornos educativos inmersivos y proactivos son significativos para los niños con TEA, y que el uso de la tecnología de realidad aumentada puede mejorar su experiencia de aprendizaje. Los hallazgos de este estudio respaldan el uso de tecnología de apoyo para mejorar la educación de los niños con TEA. Por lo tanto, se planea realizar pruebas adicionales con una muestra más diversa y llevar a cabo mejoras basadas en los resultados de este estudio para optimizar la aplicación y su impacto en la comunidad.

Palabras claves— Autismo, educación, informática móvil, realidad aumentada, tecnologías de apoyo.

I. INTRODUCCIÓN

Los avances en la tecnología móvil han proporcionado nuevas oportunidades para mejorar la calidad de vida de los niños con TEA, dotándolos de herramientas que simplifican sus actividades diarias, reduciendo los obstáculos de aprendizaje y facilitan su movilidad e interacción con el entorno. Sin

Dimas H. Concepción Patiño, Maestría en Ciencias y Computación Móvil, Campus Central, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá. dimas.concepcion@utp.ac.pa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3479-4059>.

Lilia Muñoz, Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes (GITCE), Chiriquí, Panamá. lilia.munoz@utp.ac.pa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4011-2715>.

Vladimir Villarreal, Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes (GITCE), Chiriquí, Panamá. vladimir.villarreal@utp.ac.pa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4678-5977>.

César Pardo, Grupo de Investigación GTI, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia. cpardo@unicauca.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6907-2905>.

Ivonne Núñez, Maestría en Ciencias y Computación Móvil, Campus Central, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá. ivonne.nunez@utp.ac.pa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2608-2676>.

embargo, para comprender plenamente la importancia de estas soluciones tecnológicas en este contexto, es fundamental entender la magnitud y prevalencia del TEA a nivel global y en nuestra región [1, 2].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente 1 de cada 100 niños en el mundo es diagnosticado con TEA [3]. Esta tendencia también se observa en Panamá, donde instituciones como el Instituto Panameño de Habilitación Especial (IPHE) han reportado un aumento constante en el número de diagnósticos. Solo en 2017, 671 niños fueron diagnosticados, cifra que aumentó a 867 en 2018. Por otro lado, entre 2008 y 2021, el Servicio Nacional de Discapacidad (SENADIS) registró 967 personas con TEA, predominantemente en niños de entre 6 y 15 años. Además, el Centro Ann Sullivan reporta una inscripción de aproximadamente 224 familias. En general, estas estadísticas sugieren una prevalencia significativa del TEA en los niños de esta región [4, 5].

Por otro lado, la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11), agrupa en cinco niveles de gravedad al TEA [6]:

1. TEA sin trastorno del desarrollo intelectual y con deterioro leve o sin deterioro del lenguaje funcional.
2. TEA con trastorno del desarrollo intelectual y con deterioro leve o sin deterioro del lenguaje funcional.
3. TEA sin trastorno del desarrollo intelectual y sin deterioro del lenguaje funcional.

Nila Navarro, Maestría en Ciencias y Computación Móvil, Campus Central, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá. nila.navarro@utp.ac.pa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8045-8465>.

Laura Villa, Grupo de Modelización de Inteligencia Ambiental (MAMl), Universidad Castilla - La Mancha, Ciudad Real, España. laura.villa@uclm.es, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9928-8945>.

Cosmin C. Dobrescu, Modelling Ambient Intelligence Group (MAMl), Universidad Castilla - La Mancha, Ciudad Real, España. cosmin.dobrescu@uclm.es, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4227-6748>.

Marco Rodríguez, Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes (GITCE), Chiriquí, Panamá. marco.rodriguez1@utp.ac.pa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3485-996X>.

DOI (Digital Object Identifier) Pendiente

4. TEA con trastorno del desarrollo intelectual y con deterioro del lenguaje funcional.
5. TEA con trastorno del desarrollo intelectual y sin deterioro del lenguaje funcional.

En este contexto, este artículo propone el desarrollo de una aplicación móvil integral de Realidad Aumentada (RA) conocida como "Autism AR Discovery". Esta aplicación está diseñada para apoyar las necesidades específicas de los niños con TEA y proporcionar soluciones educativas personalizadas. Ofreciendo una experiencia de aprendizaje altamente interactiva y sensorial, abordando los siguientes aspectos clave:

- La aplicación adapta el entorno educativo a las habilidades, preferencias y ritmo de aprendizaje de cada niño.
- Facilita la participación sensorial, aprovechando experiencias de aprendizaje que atienden las diversas necesidades de los niños con TEA.
- La aplicación integra funciones orientadas a apoyar el desarrollo de habilidades sociales y de comunicación cruciales para los niños con TEA.
- Se integra de manera adecuada en el entorno educativo tradicional, abordando temas relevantes del currículo escolar.

A través de su diseño y características innovadoras, "Autism AR Discovery" tiene como objetivo mejorar el proceso de aprendizaje y los resultados educativos de los niños con TEA, fomentando su desarrollo integral e integración en entornos educativos.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera:

Sección II: Antecedentes incluye una revisión detallada de trabajos previos y del estado del arte en relación con herramientas similares y su evaluación en estudios anteriores, proporcionando un contexto sólido para el trabajo, especialmente en cuanto a tecnología de aprendizaje asistido. También se presenta el marco teórico y las preguntas de investigación, delineando el enfoque y los objetivos del estudio. Sección III: Materiales y Métodos aborda los materiales utilizados, incluyendo herramientas como el storyboard y la herramienta AutismAR, junto con los detalles técnicos de la implementación. Además, se detalla el diseño del experimento, incluyendo la duración de las intervenciones, la demografía de los participantes, y otros factores relevantes. Sección IV: Resultados presenta los resultados obtenidos del estudio. Sección V: Discusión, realiza un análisis y discusión de los resultados obtenidos, con relación a las preguntas de investigación planteadas y el marco teórico presentado, explorando las implicaciones de los hallazgos del estudio. Sección VI: Limitaciones del estudio y Sección VII: las conclusiones del estudio, resumiendo los principales hallazgos y destacando su relevancia y potencial impacto.

II. ANTECEDENTES

A. Trabajos previos

En un mundo en constante evolución, la Tecnología de la Información (TI) ha superado sus límites convencionales al integrarse en nuestra vida diaria. Más allá de simplificar las

tareas rutinarias, se ha convertido en un aliado robusto destinado a mejorar la calidad de vida de las personas, especialmente aquellas con discapacidades, al brindar apoyo para superar obstáculos y empoderar a los individuos, ofreciéndoles mejores oportunidades [7, 8].

Ejemplos de esto lo podemos encontrar en proyectos internacionales como [9]. Este esfuerzo innovador aprovecha el poder de las imágenes para ayudar a los estudiantes a comprender conceptos complejos al proporcionarles una perspectiva más amplia, mejorar sus habilidades analíticas y enriquecer su vocabulario.

De manera similar, la iniciativa de [10] explora el potencial de los marcadores distribuidos dentro del aula. Cuando se escanean con dispositivos móviles, estos marcadores desbloquean un mundo de contenido multimedia. Esta tecnología permite a padres y educadores crear entornos educativos inmersivos adaptados a las necesidades únicas de los niños con autismo y trastornos cognitivos.

Asimismo, el impacto de la TI en la transformación de vidas se ilustra en [11]. Esta recopilación de proyectos y estudios piloto nos presenta la aplicación web iSelfControl, una plataforma ingeniosa enfocada en monitorear patrones de comportamiento y atención a estímulos, mientras proporciona medidas de evaluación y corrección. Además, el juego ChillFish, que utiliza biofeedback para regular patrones de respiración, calma los arrebatos y reduce los niveles de estrés.

Siguiendo este contexto, en el campo del desarrollo cognitivo y la educación, se han desarrollado investigaciones e innovaciones para atender las necesidades específicas de los niños con TEA en Panamá. Como el proyecto sobre un sistema robótico basado en la nube con robots acompañantes, que permite a los niños con TEA participar en evaluaciones durante talleres de ingeniería utilizando LEGO [12], donde se propone un método no invasivo para medir el nivel de ansiedad y estrés de los participantes.

Sin embargo, la complejidad y el elevado coste de las intervenciones han supuesto importantes barreras a la hora de proporcionar apoyo a gran escala a los niños con TEA. Así como la individualización de los sistemas robóticos para adaptarse a las necesidades únicas de cada participante.

Por otro lado, se realizó un estudio piloto sobre el uso del robot KIBO en niños con TEA [13]. Utilizando para enseñar codificación y secuenciación a niños neurotípicos de entre 4 y 7 años, como una plataforma atractiva para influir positivamente en el desarrollo social y emocional de los niños con TEA.

A pesar de ello, el estudio piloto tenía algunas limitaciones. Al centrarse únicamente en la interacción con KIBO, es posible que se hayan pasado por alto las capacidades únicas y los talentos especiales que algunos niños con TEA pueden tener en áreas como las matemáticas o el arte. Esta limitación pone de relieve la urgente necesidad de reconocer y comprender la diversidad dentro de la población con TEA.

En consecuencia, se puede señalar que en el país se han desarrollado varios instrumentos con el objetivo de mejorar las condiciones de las personas con discapacidad promoviendo su realización personal, a pesar de las limitaciones de los costos de implementación o de las características específicas de los sujetos. Sin embargo, aún existen áreas que no han sido abordadas adecuadamente.

B. Marco teórico y preguntas de investigación

En respuesta a las necesidades identificadas y en contraste con estudios previos, el presente proyecto diseñará una aplicación de RA para niños de entre 5 y 14 años diagnosticados con los tres primeros niveles de TEA según la OMS. Este planteamiento se centra en mejorar el proceso de aprendizaje en primaria, concretamente en ciencias naturales, haciendo hincapié en temas como la germinación de las plantas y su estructura donde estos aspectos han sido poco estudiados en proyectos anteriores.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende dar respuesta a las siguientes hipótesis y preguntas de investigación:

Hipótesis: La aplicación de realidad aumentada diseñada específicamente para niños con TEA mejorará su compromiso y comprensión de conceptos científicos proporcionando una experiencia de aprendizaje más inclusiva y atractiva para los niños con TEA. También se postula que la aceptación de la aplicación por parte de los profesionales de la educación especial se verá positivamente influenciada debido a su capacidad para adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes y mejorar la accesibilidad de los contenidos científicos para este grupo de niños.

Preguntas de investigación:

1. ¿Cómo diseñar una aplicación de RA para aumentar las estrategias sensoriales utilizadas habitualmente con niños con TEA en el contexto escolar?
2. ¿Cómo maximizar la aceptación por parte de los profesionales de la educación especial de las aplicaciones de RA que aumentan las estrategias sensoriales clínicas para niños con TEA, particularmente en ciencias?

Además, este proyecto contribuirá a los objetivos de desarrollo sostenible, como la educación de calidad (ODS 4), la salud y el bienestar (ODS 3) y la reducción de las desigualdades (ODS 10) [14-16]. En la siguiente sección se detalla la metodología de investigación utilizada para llevar a cabo este proyecto.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Metodología

La metodología utilizada en este proyecto se basa en la ciencia del diseño, que se caracteriza por centrarse en la construcción y evaluación de soluciones diseñadas para abordar retos específicos. En este caso, el objetivo principal es diseñar y evaluar un prototipo basado en RA que permita la interacción del usuario con un entorno educativo más estimulante [17].

La metodología de la ciencia del diseño, a diferencia de la investigación tradicional centrada en la observación y comprensión de los fenómenos naturales, se orienta hacia la acción y la resolución de problemas. En este sentido, se identificaron varios retos específicos que guiaron el proceso de diseño y evaluación del prototipo. Estos retos incluían la integración efectiva de la tecnología de RA con los contenidos educativos, la maximización de la usabilidad del prototipo y su capacidad para mejorar la participación y el aprendizaje de los usuarios.

Para hacer frente a estos retos, se adoptó un enfoque iterativo

de diseño y evaluación, que incluía la creación de un guión gráfico y una versión alfa de la aplicación, así como la realización de un proceso de evaluación interactivo. Implicando la participación de los usuarios en escenarios de uso simulado y experimentos cuasi experimentales para recopilar datos sobre la eficacia y la experiencia del usuario.

B. Materiales

1) Storyboard

El storyboard muestra el proceso de desarrollo del curso interactivo propuesto utilizando un casco de realidad aumentada, como se muestra en la Figura 1. El objetivo principal es proporcionar una herramienta didáctica educativa intuitiva y estimulante donde los alumnos puedan generar conocimiento e interactuar con estos elementos, convirtiéndose en partícipes de dos teorías principales de aprendizaje. El constructivismo, donde la enseñanza se construye en la mente del alumno en forma de aprendizaje activo y no sólo se transmite de profesor a alumno. [17, 18]. El constructivismo, que tiene la misma connotación que el constructivismo del aprendizaje, buscando la creación de conocimiento. Pero añadiendo la idea de que esto ocurre cuando los alumnos participan conscientemente en la construcción de este conocimiento de forma grupal, como observamos en el proceso de construcción del cubo a utilizar y cómo se relacionan y comunican en el aula [20].

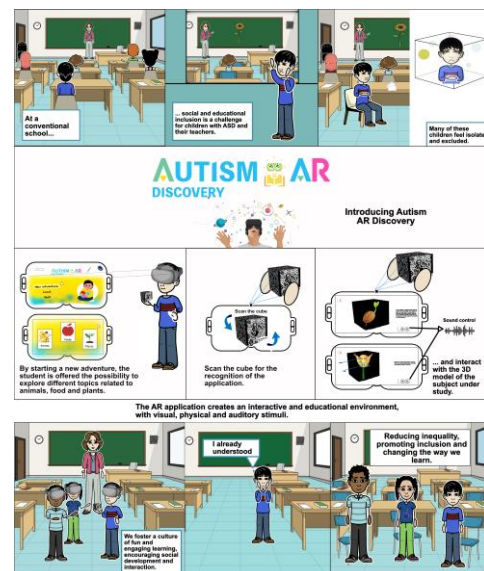


Fig. 1. El storyboard representa la idea y el flujo de interacción del futuro prototipo.

En este contexto, los primeros paneles de nuestro storyboard muestran cómo los niños con TEA experimentan a menudo una sensación de desplazamiento y exclusión, ya que la inclusión social es todo un reto. Además, sus métodos de aprendizaje suelen ser más repetitivos que los convencionales. Por eso, este prototipo utiliza juegos didácticos y estímulos visuales, físicos y auditivos para que el niño comprenda la lección presentada en la aplicación y la repita si es necesario. Este proceso incluía varios pasos. El primer paso consistía en que el niño se

conectara al juego y seleccionara el área de estudio. Antes había que escanear un cubo diseñado para la aplicación. Una vez completados estos pasos, la lección se abría automáticamente para el espectador, dándole la oportunidad de escuchar breves fragmentos de los textos cruciales para su comprensión y aprendizaje.

2) *AutismAR Discovery tool*

La aplicación propuesta, llamada, fue diseñada para apoyar a los niños con TEA, un grupo vulnerable en Panamá. Este enfoque aborda desafíos clave que estos niños enfrentan en su vida diaria, incluyendo obstáculos en áreas como la comunicación verbal, el desarrollo de habilidades sociales, el aprendizaje y la exposición limitada a diferentes conceptos y experiencias [21].

La selección de la aplicación móvil AutismAR Discovery como herramienta de apoyo a niños con TEA se basa en su portabilidad y facilidad de uso, elementos críticos para un apoyo eficaz. Además, esta aplicación incorpora tecnología de RA. Este enfoque responde a las necesidades de los niños con TEA, abordando tres categorías identificadas por la OMS: déficits persistentes en la comunicación e interacción social, patrones repetitivos de comportamiento y síntomas de aparición temprana.

Para garantizar un diseño coherente y eficaz, utilizamos el motor de desarrollo Unity y Vuforia como gestor de elementos de RA para proporcionar una experiencia de aprendizaje inmersiva [21, 22]. Esta aplicación es compatible con dispositivos ubicuos como smartphones, tabletas y Oculus.

Sin embargo, es importante señalar que antes de entrar de lleno en la fase de desarrollo de la aplicación, se llevó a cabo una cuidadosa planificación de la arquitectura del proyecto. Esta etapa preliminar nos permitió garantizar la correcta organización de los elementos del sistema, lo que a su vez condujo a la creación de un prototipo de alta calidad con un rendimiento robusto y flexible. La Fig. 2 ilustra el proceso de interacción del usuario con recursos como cubos, marcadores y elementos de aprendizaje. Esta interacción activa varios elementos incrustados como audio, imágenes, objetos 3D y animaciones a través del marco AR construido con una combinación de Unity y Vuforia.

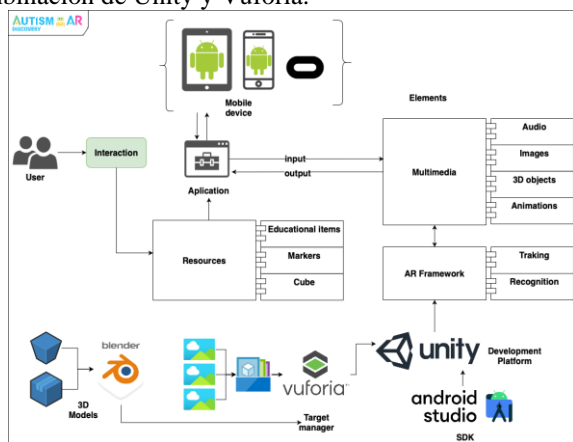


Fig. 2. Arquitectura general de la aplicación.

Aunque la aplicación se encuentra actualmente en fase de prueba y desarrollo, tiene el potencial de impactar significativamente en la vida de los niños con TEA al

proporcionar oportunidades individualizadas de aprendizaje y crecimiento que satisfagan sus necesidades únicas.

A medida que la aplicación continúe desarrollándose e implementándose, se espera que los resultados sigan apoyando la visión de la mejora de las habilidades cognitivas y el pleno desarrollo de los niños con TEA en Panamá y más allá de sus fronteras [24].

Continuando con el desarrollo de la herramienta de apoyo a la educación de niños diagnosticados con TEA, experimentamos con el primer diseño de la aplicación, tal y como se muestra en la Fig. 3, donde podemos ver una serie de capturas correspondientes a las principales pantallas de navegación dentro de la aplicación, como son el menú principal, el selector de avatar, y el desarrollo de actividades con la RA.



Fig. 3. Primer diseño de la aplicación.

Con el fin de facilitar a los alumnos el inicio y la navegación por el juego, permitiéndoles al mismo tiempo acceder a las actividades que más les interesen. Cabe señalar que, aunque el alumno elija la última actividad de aprendizaje, ya sea plantar flores o plantas maduras, no está limitado, ya que continuará con todas las actividades restantes hasta completarlas.

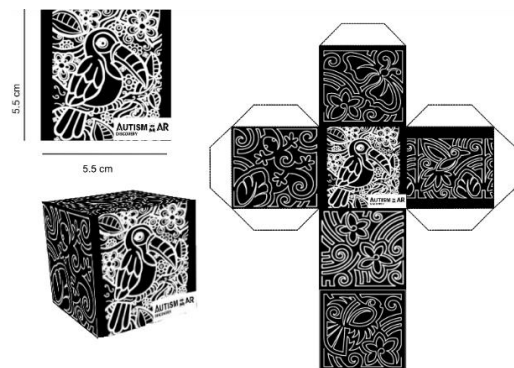


Fig. 4. Cubo utilizado en la aplicación, inspirado en las molas panameñas.

Del mismo modo, es importante señalar que la construcción de un cubo facilita la manipulación de objetos porque es fácil de agarrar y construir. Brindando una estimulación física al girar el cubo por todos sus lados. Además de la conveniencia de requerir sólo una impresora para producir el modelo de cubo,

como se muestra en la Figura 4 con dimensiones de 5.5 x 5.5 x 5.5 centímetros, también está decorado con imágenes inspiradas en la artesanía tradicional de molas panameñas de la cultura Guna Yala [24, 25].

C. Diseño del experimento / Participantes

El estudio se centró en la evaluación cuantitativa de la usabilidad de la aplicación AutismAR, utilizando un método de muestreo intencional. Este método, característico de los enfoques cuantitativos, opta por los participantes específicos que mejor responden a las preguntas de la investigación, sin imponer restricciones de género, garantizando así una representatividad adecuada. Esta estrategia asegura la captura de datos representativos, fundamentales para el análisis estadístico y la aplicabilidad de los hallazgos, reflejando las necesidades y respuestas de la comunidad a las soluciones tecnológicas para la enseñanza y el aprendizaje de los niños con TEA.

La idea fue evaluada por 35 participantes cuidadosamente seleccionados para garantizar una evaluación exhaustiva, que abarcara una amplia gama de perspectivas y experiencias pertinentes para el estudio. Entre estos participantes, 20 eran estudiantes matriculados en un programa de educación especializado centrado en la infancia y la juventud en una universidad de Panamá y 15 expertos en la materia, incluidos psicólogos e informáticos. Es importante señalar que esta selección no implica que todos los estudiantes de educación especial pertenezcan al espectro autista, sino que se tuvo en cuenta su experiencia y conocimientos en educación especial para una evaluación más detallada de la propuesta.

La idea inicial se presentó en un guion gráfico y después en la versión alfa de la aplicación. La distribución de los participantes se muestra en la Tabla I.

TABLE I
DATOS DE LOS PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO

Type of participants	Quantity	Average age	Women	Men
Students studying special education	20	19	60%	40%
Experts	15	30	46.67%	53.33%

La edad de los estudiantes y profesionales de educación especial oscilaba entre los 20 y los 40 años, y la distribución por sexos era de un 54,29% de mujeres y un 45,71% de hombres, para un total de 35 participantes.

D. Instrumentos de medición

1) Escala de Likert

Se utilizó una encuesta para evaluar diez componentes críticos de la propuesta: innovación, facilidad de uso, originalidad, demanda, creatividad, eficacia, atractivo, valor, claridad y cumplimiento de las expectativas. [27]. Para calificar los distintos atributos del sistema propuesto se utilizó una escala de Likert que iba del uno (en desacuerdo) al cinco (totalmente de acuerdo) (Tabla II).

La elección de la escala de Likert, que permite a los participantes expresar su grado de acuerdo o desacuerdo con respecto a cada atributo en una escala ordinal, se justifica por varias razones. En primer lugar, la escala de Likert se utiliza ampliamente en la investigación cuantitativa por su capacidad

para proporcionar una medida de las actitudes, percepciones y opiniones de los participantes. Esta escala permite una evaluación más detallada y graduada de los atributos del sistema, lo que da lugar a datos más ricos y significativos.

Además, es fácil de comprender para los participantes, lo que minimiza la posibilidad de interpretaciones erróneas o respuestas sesgadas. Y lo que es más importante, la elección de esta escala de cinco puntos, que incluye opciones intermedias, permite una mayor sensibilidad a la hora de medir actitudes y percepciones en comparación con escalas de rango inferior.

TABLE II
ESCALA LIKERT PARA EVALUAR LA IDEA
DE 1 A 5, DONDE 1 ES TOTALMENTE EN DESACUERDO CON LA AFIRMACIÓN Y 5 ES
TOTALMENTE DE ACUERDO.

Components	Strongly disagree 1	Disagree 2	Neutral 3	Agreed 4	Totally agree 5
Innovation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ease to use	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inventive	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Exciting	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creativity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Efficient	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Attractive	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Value	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Clear	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meets expectations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2) AttrakDiff

Se eligió el cuestionario AttrakDiff como herramienta adecuada para evaluar la usabilidad y la experiencia del usuario con el producto interactivo propuesto por varias razones fundamentales. En primer lugar, el AttrakDiff se ha consolidado como un instrumento fiable y válido para medir el atractivo percibido de los productos interactivos en diversos contextos, como las aplicaciones móviles y el software educativo. Este cuestionario se ha utilizado con éxito en numerosos estudios de investigación anteriores, lo que demuestra su capacidad para captar eficazmente aspectos clave de la experiencia del usuario. [28].

Se utiliza en múltiples artículos de investigación. Por ejemplo, [29] lo utilizó para evaluar la usabilidad y experiencia de usuario en aplicaciones móviles para visitantes de museos y galerías de arte, mientras que en el caso de [30] se implementa para evaluar una instalación de RA que recrea el proceso de curtido del cuero, combinando contenido digital con un modelo físico de una antigua curtiduría. Estos ejemplos ponen de manifiesto la versatilidad de AttrakDiff en diferentes contextos de uso. Además, proporciona una estructura sistemática para evaluar la experiencia del usuario, permitiendo a los participantes expresar sus percepciones y emociones asociadas al producto mediante la selección de pares de antónimos (véase la Figura 5). Esta metodología permite una evaluación más rica y matizada de la experiencia del usuario, ya que aborda tanto los aspectos pragmáticos como los hedónicos de la interacción con el producto.

Otra ventaja de AttrakDiff es que se centra en la evaluación multidimensional de la experiencia del usuario, que va más allá

de la simple medición de la usabilidad o facilidad de uso del producto. Este cuestionario permite distinguir entre aspectos de usabilidad, como la eficacia y la claridad, y aspectos emocionales, como el disfrute y la satisfacción estética. Esta perspectiva holística es esencial para comprender plenamente la experiencia del usuario e identificar áreas de mejora en el diseño y la funcionalidad del producto.

La elección del AttrakDiff como herramienta de evaluación refleja el compromiso del estudio con una comprensión profunda y holística de la experiencia del usuario, así como su interés por diseñar productos interactivos que no sólo sean funcionales, sino también atractivos y gratificantes para los usuarios.

Please provide your impressions of the product you have tested by check marking your impression on the scale between the terms offered in each line.

	1	2	3	4	5	6	7	
human	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	technical
isolating	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	connective
pleasant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unpleasant
inventive	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	conventional
simple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	complicated
professional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unprofessional
ugly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	attractive
practical	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	impractical
likeable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	disagreeable
cumbersome	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	straightforward
stylish	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tacky
predictable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unpredictable
cheap	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	premium
alienating	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	integrating
brings me closer to people	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	separates me from people
unpresentable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	presentable
rejecting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inviting
unimaginative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	creative
good	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bad
confusing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	clearly structured
repelling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	appealing
bold	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	cautious
innovative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	conservative
dull	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	captivating
undemanding	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	challenging
motivating	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	discouraging
novel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ordinary
unruly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	manageable

Fig. 5. Cuestionario AttrakDiff [31].

E. Procedimiento

El proceso global de evaluación se presenta en la Tabla III, en el que se describen los estímulos y procedimientos utilizados.

Además de los pasos detallados en el cuadro, durante la presentación del guion gráfico se animó a los participantes a hacer preguntas y expresar sus opiniones y comentarios sobre la propuesta. Se fomentó el diálogo abierto para garantizar una comprensión cabal de los elementos presentados y permitir a los participantes compartir cualquier inquietud o sugerencia que tuvieran. Este enfoque facilitó una interacción significativa entre investigadores y participantes, lo que enriqueció aún más el proceso de evaluación al aportar perspectivas adicionales y profundizar en la comprensión de las percepciones de los participantes sobre la propuesta presentada.

TABLE III
STORYBOARD Y VERSIÓN ALFA DE LA ESTRUCTURA DE EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN

Participants	Stimuli	Procedure
20 students studying special education and 15 experts in the field, including psychologists and computer scientist.	Evaluate whether the proposal was suitable to be developed using AR.	<ol style="list-style-type: none"> Greeting the participants. Brief introduction to the research and its purpose. Presentation of the story board, alpha version of the app and explanation. Complete the survey. We thank the participants.

IV. RESULTADOS

A. Evaluación de la idea mediante la escala de Likert

Para cada componente evaluado en la Tabla IV, se recopilaron las respuestas de los participantes en las que se observan los estadísticos de media (M) y desviación estándar (DE) para proporcionar información adicional sobre la tendencia y la variabilidad en las respuestas de los participantes para cada componente. La M indica el valor medio de las respuestas de los participantes, lo que permite identificar la opinión generalizada sobre cada componente. Por otro lado, la DE proporciona una medida de la dispersión de las respuestas en torno a la media, indicando la variabilidad en las percepciones de los participantes.



Fig. 6. Nube de palabras generada a partir de los comentarios de los participantes.

Los resultados de la tabla muestran que, en general, el producto es bien recibido por los encuestados, con puntuaciones altas en aspectos como la facilidad de uso, la eficacia y el cumplimiento de las expectativas. Sin embargo, hay cierta variabilidad de opiniones, especialmente en aspectos como la innovación, la inventiva y la claridad del producto, en los que las respuestas varían considerablemente. Aunque la mayoría de los encuestados perciben el producto como atractivo y valioso, hay divergencias en la percepción de su emoción. Esto sugiere que, aunque el producto tiene puntos fuertes en cuanto a facilidad de uso y cumplimiento de expectativas, hay aspectos en los que podría mejorarse para satisfacer las necesidades y expectativas de un abanico más amplio de usuarios.

En la encuesta, también se pidió a cada participante que proporcionara tres palabras para describir la idea, como se muestra en la nube de palabras de la Fig. 6, destacando palabras como Innovador, Creativo, Original y Bueno como las de mayor presencia en este grupo de estudio. Esto sugiere que estos atributos fueron ampliamente reconocidos y asociados a la idea por los participantes en la encuesta.

TABLE IV
RESULTADOS DE LA ESCALA DE LIKERT. N=35(%)

Components	Scale					Statistics	
	1	2	3	4	5	M	SD
Innovation	0 (0%)	0 (0%)	3 (8.57%)	17 (48.57%)	15 (42.86%)	4.470588235	0.642689603
Ease to use	0 (0%)	1 (2.86%)	10 (28.57%)	11 (31.43%)	13 (37.14%)	4.147058824	0.88580557
Inventive	0 (0%)	0 (0%)	3 (8.57%)	18 (51.43%)	14 (40.00%)	4.441176471	0.634854345
Exciting	2 (5.71%)	8 (22.86%)	9 (25.71%)	8 (22.86%)	8 (22.86%)	3.441176471	1.221521866
Creativity	0 (0%)	0 (0%)	3 (8.57%)	18 (51.43%)	14 (40.00%)	4.441176471	0.634854345
Efficient	0 (0%)	1 (2.86%)	7 (20.00%)	16 (45.71%)	11 (31.43%)	4.176470588	0.799715718
Attractive	0 (0%)	0 (0%)	4 (11.43%)	19 (54.29%)	12 (34.29%)	4.352941176	0.648356224
Value	0 (0%)	0 (0%)	4 (11.43%)	17 (48.57%)	14 (40.00%)	4.411764706	0.669732611
Clear	0 (0%)	0 (0%)	3 (8.57%)	18 (51.43%)	14 (40.00%)	4.441176471	0.634854345
Meets expectations	0 (0%)	0 (0%)	5 (14.29%)	14 (40.00%)	16 (45.71%)	4.441176471	0.719253609

A. Evaluación de la versión alfa de la aplicación mediante AttrakDiff.

La evaluación del instrumento distingue entre calidad pragmática (PQ) y calidad hedónica (HQ). La utilidad y la facilidad de uso pertenecen a la categoría de factores pragmáticos, mientras que la curiosidad y la identificación pertenecen a la categoría de factores hedónicos. El atractivo resultante del instrumento depende de una combinación de factores pragmáticos y hedónicos [31].

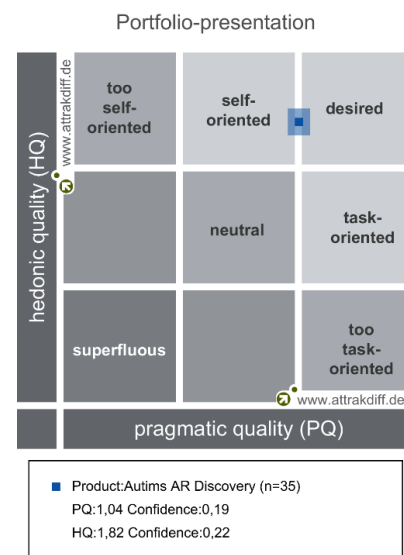
La Fig. 7a muestra los resultados de la evaluación general, y el rectángulo de confianza indica que la calidad hedónica es casi igual a la pragmática. Además, el pequeño tamaño del rectángulo de confianza indica una baja variabilidad entre los participantes. Cabe señalar que la solución no puede clasificarse definitivamente como deseable, ya que este estudio presenta una propuesta prototipo. No obstante, confiamos en que el producto final alcance un mayor nivel de aceptación.

La puntuación media del prototipo RA se muestra en la Fig. 7b. Asigna puntuaciones basadas en los comentarios de los participantes en varias dimensiones: calidad pragmática (PQ), que indica el grado de éxito en la consecución de objetivos; calidad hedónica - identidad (HQ-I), que mide la identificación del usuario con el prototipo; calidad hedónica - estimulante (HQ-S), que mide la originalidad, el interés y la estimulación; y atractivo (ATT), que evalúa el atractivo del producto para los usuarios.

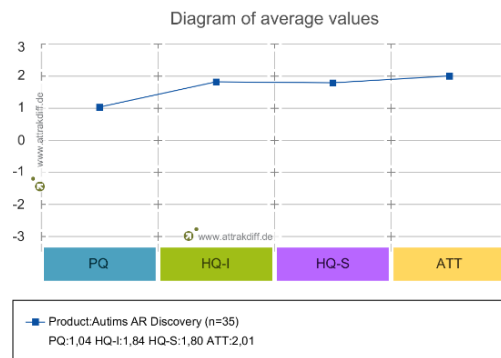
En la evaluación de la calidad del producto, la métrica de la experiencia del usuario registró una puntuación de 1,04, lo que indica que hay margen de mejora. La métrica HQ-I registró una puntuación de 1,84, cumpliendo la norma aceptable para el impacto de la calidad. Del mismo modo, la métrica HQ-S registró una puntuación de 1,80, cumpliendo los criterios de calidad satisfactoria del soporte. La métrica ATT registró la puntuación más alta, 2,01, lo que indica el gran atractivo del prototipo y su atractiva experiencia de usuario. La aplicación práctica del prototipo se identificó como un área de futuro desarrollo.

En la Fig. 8 se muestran las puntuaciones medias de los pares

de palabras. Estos extremos revelan características cruciales y bien resueltas. Así, los resultados indican que la versión alfa de la aplicación proporciona una experiencia de usuario global satisfactoria, con sólo tres aspectos que muestran problemas potenciales (técnico-humano, complicado-simple e impredecible-predictible).



(a) Portafolio de resultados



(b) Gráfico de valores medios.

Fig. 7. Resultados generales de AttrakDiff.

Similar a otras aplicaciones [29-31], la aceptación de “Autism AR Discovery” indica que la versión alfa del producto se percibe como prometedora en términos de usabilidad y experiencia de usuario. Los indicadores positivos en todas las dimensiones evaluadas proporcionan información valiosa para orientar el futuro desarrollo del producto. Sugieren que esta app tiene potencial para convertirse en una herramienta eficaz y bien recibida por la comunidad educativa y los niños con TEA.

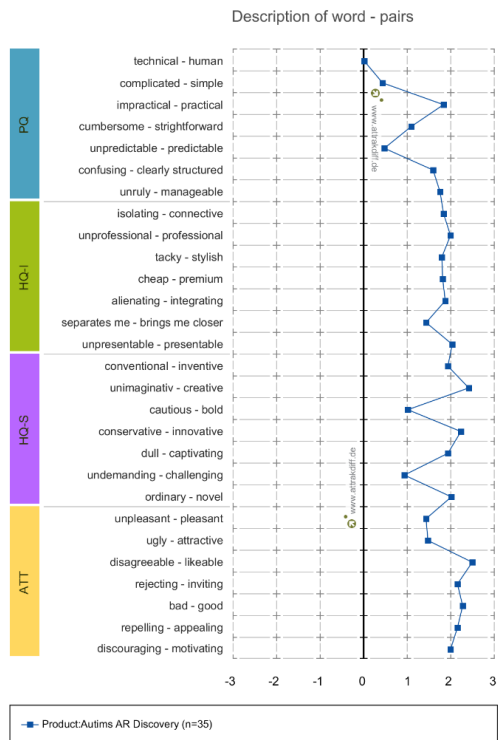


Fig. 8. Resultados individuales de AttrakDiff para cada dimensión.

V. DISCUSIÓN

Este estudio investigó a fondo la usabilidad y el atractivo del producto Autism AR Discovery utilizando un enfoque de métodos mixtos que incorpora tanto la escala Likert como el modelo AttrakDiff.

En primer lugar, con respecto a la hipótesis de si la aplicación de realidad aumentada diseñada específicamente para niños con TEA mejoraría su compromiso y comprensión de conceptos científicos al proporcionar una experiencia de aprendizaje más inclusiva y atractiva, los resultados muestran que, en general, la aplicación se percibió como innovadora y cumplió las expectativas de los usuarios en términos de funcionalidad y diseño. Sin embargo, se detectó la necesidad de mejorar la respuesta emocional de los usuarios, lo que sugiere que, aunque la aplicación es técnicamente competente, podría beneficiarse de la mejora de su capacidad para generar una respuesta emocional más fuerte de los usuarios.

En cuanto a las preguntas de investigación, los resultados indican que el diseño de la aplicación se centró en maximizar la aceptación de los profesionales de la educación especial, especialmente en el campo de la ciencia. Se observó una percepción globalmente positiva hacia la aplicación, pero también se destacó la necesidad de simplificar la interfaz y mejorar la experiencia del usuario para hacerla más accesible.

La evaluación de la versión alfa de la aplicación sugiere que, si bien la aplicación tiene puntos fuertes en términos de innovación y funcionalidad, todavía hay áreas que requieren mejoras, especialmente en la simplicidad de uso y la respuesta emocional que genera en los usuarios.

Por lo tanto, estos resultados indican que se trata de un producto sólido que cumple los estándares de innovación y las expectativas de los usuarios. Del mismo modo, futuros estudios podrían beneficiarse de incluir las opiniones y experiencias de padres, cuidadores y niños con TEA para proporcionar una comprensión más completa y diversa de cómo la app afecta a su vida diaria y a sus familias. Estos reconocimientos sirven como posibles mejoras para futuras investigaciones.

A. Implicaciones para la investigación, la práctica y/o la sociedad

Estos resultados tienen importantes implicaciones para la investigación, la práctica y la sociedad en general. En el entorno educativo, la tecnología de realidad aumentada tiene el potencial de transformar la experiencia educativa de los niños con TEA, haciéndola más emocionante y atractiva, lo que a su vez puede aumentar su compromiso y contribuir a un mejor aprendizaje y desarrollo.

A nivel de políticas públicas, este estudio destaca la importancia de considerar la accesibilidad y la adopción generalizada de la tecnología de realidad aumentada en diferentes entornos educativos. Al hacer que la aplicación sea más accesible y adaptable a una variedad de dispositivos, se puede garantizar que más niños con TEA tengan acceso a herramientas educativas innovadoras, lo que podría tener un impacto positivo en las políticas de inclusión educativa.

Se destaca la necesidad de seguir investigando sobre el impacto a largo plazo de la aplicación y su eficacia para lograr objetivos educativos a largo plazo. Estas evaluaciones permitirían comprender mejor cómo la tecnología de realidad aumentada contribuye al desarrollo cognitivo, social y emocional de los niños con TEA, lo que podría informar futuras investigaciones y prácticas educativas.

El uso de la tecnología de realidad aumentada en la educación de niños con TEA tiene el potencial de promover la inclusión y la igualdad de oportunidades. Al proporcionar herramientas educativas innovadoras y eficaces, se puede mejorar la calidad de vida de las personas con TEA y facilitar su participación en la sociedad. Además, si se fomenta la investigación y el desarrollo en este ámbito, pueden lograrse avances significativos en la comprensión y el tratamiento de los TEA, lo que redundaría en beneficio de la sociedad.

VI. LIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Una limitación de la aplicación es su dependencia de tecnologías específicas, como Oculus, tabletas y software seleccionado. Esto puede dificultar la accesibilidad y la adopción generalizada, ya que no todos los entornos educativos tienen acceso a estos recursos. Sin embargo, es importante señalar que, a medida que avanza la tecnología, estas limitaciones pueden perder importancia y podrían ayudar a implementar la aplicación en diversos entornos educativos.

Aunque existen ciertas limitaciones y consideraciones, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y avances que pueden mejorar en gran medida la educación de los niños con TEA utilizando tecnologías de realidad aumentada e innovaciones relacionadas. Con el perfeccionamiento continuo y la adaptación cuidadosa de la aplicación para abordar sus limitaciones, prevemos un impacto positivo en el bienestar de los niños con TEA y sus familias. Nuestro objetivo es mejorar su calidad de vida y apoyar sus necesidades únicas a través de esta herramienta innovadora.

VII. CONCLUSIÓN

En conclusión, el proyecto Autism AR Discovery representa un avance en la tecnología de apoyo para mejorar la educación y la calidad de vida de los niños con TEA. El proyecto fue evaluado inicialmente por estudiantes y profesionales de educación especial, revelando un amplio reconocimiento de su innovación, facilidad de uso y capacidad para satisfacer las expectativas. Las altas puntuaciones en estas categorías de la escala Likert validaron la eficacia de esta nueva herramienta. Los resultados del cuestionario AttrakDiff, que evalúa la usabilidad y la experiencia del usuario, muestran que, aunque las cualidades pragmáticas y hedónicas son casi iguales, el atractivo general del producto indica una experiencia de usuario positiva y atractiva. Es crucial mejorar los aspectos prácticos para mejorar la accesibilidad y la usabilidad.

Sin embargo, no se pueden pasar por alto las implicaciones de estos resultados. A pesar de las limitaciones inherentes a esta primera fase y versión alfa de la app, así como de la idea general debida a las limitaciones tecnológicas, el estudio actual sienta unas bases sólidas para futuras investigaciones. Incluir las aportaciones de padres, cuidadores y niños con TEA en futuros estudios puede proporcionar información valiosa para adaptar mejor la app a las necesidades del usuario final. Es importante que el desarrollo se centre en la personalización y la accesibilidad para garantizar que la tecnología avance con inclusión. A medida que la tecnología siga evolucionando y se integre de forma natural en la educación, esperamos que las barreras actuales a la adopción generalizada disminuyan con el tiempo.

Con estos puntos en mente, se abordaron cuestiones de investigación para diseñar una aplicación de realidad aumentada que amplíe las estrategias sensoriales utilizadas habitualmente con niños con TEA en entornos escolares, siendo esencial una investigación exhaustiva de las necesidades específicas de este grupo de usuarios. La estrecha colaboración con profesionales de la educación especial, terapeutas ocupacionales y padres será esencial para identificar las áreas sensoriales que podrían beneficiarse de esta tecnología.

Por otro lado, para maximizar la aceptación de las aplicaciones de realidad aumentada por parte de los profesionales de la educación especial como complemento a las estrategias sensoriales clínicas para niños con TEA, especialmente en la enseñanza de las ciencias, será crucial proporcionar pruebas sólidas de la eficacia y los beneficios de estas herramientas. Así lo han demostrado nuestro estudio piloto y los resultados de las evaluaciones realizadas.

El trabajo futuro se centrará en implementar mejoras significativas en la interfaz de usuario, haciendo especial hincapié en la accesibilidad y la seguridad. Esto incluirá ajustes para que la aplicación sea más intuitiva y fácil de usar para los niños con TEA, teniendo en cuenta sus necesidades y capacidades específicas. Además, se llevarán a cabo extensas pruebas de usabilidad con los usuarios finales, en este caso estudiantes diagnosticados con TEA, para recopilar información directa y evaluar cómo interactúan los niños con la aplicación en entornos reales.

ACCESO A LOS DATOS

url: [Data wiki](#).

DECLARACIÓN DE INTERÉS COMPETITIVO

Los autores declaran que no tienen intereses económicos ni relaciones personales que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

AGRADECIMIENTOS

D. H. C. P., I. N. y N. N. reciben apoyo de una beca a través del Programa de Fortalecimiento de los Programas Nacionales de Posgrado (SENACYT-Panamá) de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Adicionalmente, L. M. y V. V. son miembros activos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). C. P. expresa su gratitud a la Universidad del Cauca, donde trabaja como profesor asociado, y M. R. extiende su agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Panamá. L.V. y C.D. extienden su gratitud al Grupo de Modelado de Inteligencia Ambiental (MAMi) de la Universidad de Castilla-La Mancha. Además, D.H.C.P. extiende su gratitud al proyecto “Ecosistema Digital y Ubicuo de Soluciones Basadas en Tecnología Móvil para Facilitar la Gestión de Datos en Entornos Prioritarios del País”, financiado por SENACYT, del cual este proyecto forma parte.

REFERENCIAS

- [1] F. E. Z. E. Arbaoui, K. E. Hari, and R. Saidi, “Chapter 6 - A review on the application of the Internet of Things in monitoring autism and assisting parents and caregivers,” in *Computational Intelligence for Medical Internet of Things (MIoT) Applications*, vol. 14, Y. Maleh, A. A. A. El-Latif, K. Curran, P. Siarry, N. Dey, A. Ashour, and S. J. Fong, Eds., in *Advances in ubiquitous sensing applications for healthcare*, vol. 14. , Academic Press, 2023, pp. 123–142. doi: 10.1016/B978-0-323-99421-7.00011-8.
- [2] A. Z. Valentine, B. J. Brown, M. J. Groom, E. Young, C. Hollis, and C. L. Hall, “A systematic review evaluating the implementation of technologies to assess, monitor and treat neurodevelopmental disorders: A map of the current evidence,” *Clin. Psychol. Rev.*, vol. 80, p. 101870, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.cpr.2020.101870.
- [3] Organización Mundial de la Salud, “Autismo,” *Autismo*. Accessed: Jun. 01, 2023. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ZrU46t>
- [4] Asamblea Nacional, G. Silva, and J. D. Vásquez, *Anteproyecto de Ley 163: Por la cual se establecen políticas públicas para la atención e inclusión de las personas con trastornos del espectro autista y condiciones del neurodesarrollo similares, y se dictan otras disposiciones*. 2023.
- [5] M. Aurelio, “Casos de autismo aumentan en Panamá, durante el presente año,” *Panamá América*, Panamá, Nov. 19, 2019. Accessed: Mar. 31, 2024. [Online]. Available: <https://bit.ly/43LYPbX>
- [6] Organización Mundial de la Salud (OMS), “CIE-11 para estadísticas de mortalidad y morbilidad (Versión: 02/2022),” Feb. 2022, [Online]. Available: bit.ly/3ytoY2q
- [7] J. Faicta, J. Sheehan, and C. DiGiiovine, “Mhealth interventions to improve health and quality of life related outcomes for informal dementia

- caregivers: A scoping review,” *Assist. Technol.*, vol. 34, no. 3, pp. 362–374, May 2022, doi: 10.1080/10400435.2020.1829174.
- [8] T. J. Titcomb *et al.*, “Evaluation of a web-based program for the adoption of wellness behaviors to self-manage fatigue and improve quality of life among people with multiple sclerosis: A randomized waitlist-control trial,” *Mult. Scler. Relat. Disord.*, vol. 77, p. 104858, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.msard.2023.104858.
- [9] O. Poobrasert and S. Phaykrew, “Assistive Technology-Enhanced Learning in the Digital Era for LD Students,” in *2021 IEEE International Conference on Educational Technology (ICET)*, Jun. 2021, pp. 126–129. doi: 10.1109/ICET52293.2021.9563182.
- [10] S. A. El-Seoud, O. Halabi, and V. Geroimenko, “Assisting Individuals with Autism and Cognitive Disorders: An Augmented Reality-Based Framework,” *Int. J. Online Biomed. Eng. IJOE*, vol. 15, no. 04, Art. no. 04, Feb. 2019, doi: 10.3991/ijoe.v15i04.9835.
- [11] L. Bakola, N. Rizos, and A. Drigas, “ICTs For Emotional and Social Skills Development for Children with ADHD And ASD Co-existence,” *Int. J. Emerg. Technol. Learn. IJET*, vol. 14, no. 05, Art. no. 05, Mar. 2019, doi: 10.3991/ijet.v14i05.9430.
- [12] J. Albo-Canals, D. Feerst, D. De Cordoba, and C. Rogers, “A Cloud Robotic System based on Robot Companions for Children with Autism Spectrum Disorders to Perform Evaluations during LEGO Engineering Workshops,” presented at the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, IEEE Computer Society, Mar. 2015, pp. 173–174. doi: 10.1145/2701973.2702057.
- [13] J. Albo-Canals *et al.*, “A Pilot Study of the KIBO Robot in Children with Severe ASD,” *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 10, no. 3, pp. 371–383, Jun. 2018, doi: 10.1007/s12369-018-0479-2.
- [14] The United Nations, “The 17 Goals | Sustainable Development.” Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals>
- [15] F. Biermann, N. Kanie, and R. E. Kim, “Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals,” *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 26–27, pp. 26–31, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.cosust.2017.01.010.
- [16] J. Gupta and C. Vegelin, “Sustainable development goals and inclusive development,” *Int. Environ. Agreem. Polit. Law Econ.*, vol. 16, no. 3, pp. 433–448, Jun. 2016, doi: 10.1007/s10784-016-9323-z.
- [17] R. J. Wieringa, *Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-662-43839-8.
- [18] E. Fatourou, N. C. Zygouris, T. Loukopoulos, and G. I. Stamoulis, “Teaching Concurrent Programming Concepts Using Scratch in Primary School: Methodology and Evaluation,” *Int. J. Eng. Pedagogy IJEP*, vol. 8, no. 4, Art. no. 4, Jun. 2018, doi: 10.3991/ijep.v8i4.8216.
- [19] E. Ackermann, “Piaget’s Constructivism, Papert’s Constructionism: What’s the difference?,” *Future Learn. Group Publ.*, vol. 5, no. 3, 2001.
- [20] R. Noss, C. Hoyles, R. Noss, and C. Hoyles, “Micromundos, Construcciónismo y Matemáticas,” *Educ. Matemática*, vol. 31, no. 2, pp. 7–21, 2019, doi: 10.24844/em3102.01.
- [21] S. J. Andajani, O. Wirawan, and P. Pamuji, “Development of Detector Vibrating Watch Model for 100-Meter Dash Race for Visually-impaired Athletes,” *Int. J. Online Biomed. Eng. IJOE*, vol. 16, no. 10, Art. no. 10, Sep. 2020, doi: 10.3991/ijoe.v16i10.15617.
- [22] A. Okita, *Learning C# Programming with Unity 3D, second edition*, 2nd ed. Boca Raton: A K Peters/CRC Press, 2019. doi: 10.1201/9780429810251.
- [23] J. S. I. Rieder, D. H. van Tol, and D. Aschenbrenner, “Effective close-range accuracy comparison of Microsoft HoloLens Generation one and two using Vuforia ImageTargets,” in *2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2021, pp. 552–553. doi: 10.1109/VRW52623.2021.00158.
- [24] D. H. Concepción Patiño, L. Muñoz, V. Villarreal, and C. Pardo, “Proposal for the Evaluation of the Teaching/Learning Process in Children with Autism Spectrum Disorder Through a Mobile Application with Augmented Reality,” in *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAI 2022)*, J. Bravo, S. Ochoa, and J. Favela, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 113–118.
- [25] D. Marks, “The Kuna Mola,” *Dress*, vol. 40, no. 1, pp. 17–30, May 2014, doi: 10.1179/0361211214Z.00000000021.
- [26] M. M. Mauri, “Intercambios entre humanos y árboles en el área Istmo-Colombiana. Aportaciones etnográficas desde Guna Yala (Panamá),” *Tabula Rasa*, no. 36, pp. 131–149, Dec. 2020, doi: 10.25058/20112742.n36.05.
- [27] B. Tabuenca, J. J. Sánchez-Peña, and M. J. Cuetos-Revuelta, “El smartphone desde la perspectiva docente: ¿una herramienta de tutorización o un catalizador de ciberacoso?,” *Rev. Educ. Distancia RED*, vol. 19, no. 59, Apr. 2019, doi: 10.6018/red/59/01.
- [28] I. Díaz-Oreiro, G. López, L. Quesada, and L. A. Guerrero, “UX Evaluation with Standardized Questionnaires in Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence: A Systematic Literature Review,” *Adv. Hum.-Comput. Interact.*, vol. 2021, p. e5518722, May 2021, doi: 10.1155/2021/5518722.
- [29] P. Isomursu, M. Virkkula, K. Niemelä, J. Juntunen, and J. Kumpuoja, “Modified AttrakDiff in UX Evaluation of a Mobile Prototype,” in *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces*, in AVI ’20. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Oct. 2020, pp. 1–3. doi: 10.1145/3399715.3399930.
- [30] S. Galani and S. Vosinakis, “An augmented reality approach for communicating intangible and architectural heritage through digital characters and scale models,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, Mar. 2024, doi: 10.1007/s00779-024-01792-x.
- [31] “AttrakDiff.” Accessed: Sep. 12, 2023. [Online]. Available: <https://www.attrakdiff.de/index-en.html>
- [32] I.-J. Lee, C.-H. Chen, C.-P. Wang, and C.-H. Chung, “Augmented Reality Plus Concept Map Technique to Teach Children with ASD to Use Social Cues When Meeting and Greeting,” *Asia-Pac. Educ. Res.*, vol. 27, no. 3, pp. 227–243, Jun. 2018, doi: 10.1007/s40299-018-0382-5.
- [33] V. Bauer, T. Bouchara, and P. Bourdot, “Designing an Extended Reality Application to Expand Clinic-Based Sensory Strategies for Autistic Children Requiring Substantial Support: Participation of Practitioners,” in *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Oct. 2021, pp. 254–259. doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00059.
- [34] C. T. Charlton *et al.*, “Effectiveness of avatar-delivered instruction on social initiations by children with Autism Spectrum Disorder,” *Res. Autism Spectr. Disord.*, vol. 71, p. 101494, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.rasd.2019.101494.
- Dimas Dimas H. Concepción se graduó en Ingeniería de Sistemas e Informática en la Universidad Tecnológica de Panamá en 2020. Y de la maestría en Computación Móvil en junio del 2024. Participa activamente en investigaciones enfocadas en Computación Móvil, Realidad Aumentada (RA), E-Learning, Tecnologías Asistivas e Inteligencia Artificial, Machine Learning (Email: dimas.concepcion@utp.ac.pa).
- Lilia Muñoz obtuvo su Doctorado en Aplicaciones Informáticas por la Universidad de Alicante, España, en 2010. Se desempeña como profesora investigadora en la Universidad Tecnológica de Panamá, especializándose en Informática Educativa, Internet de las Cosas y Salud Electrónica (Email: lilia.munoz@utp.ac.pa).
- Vladimir Villarreal se doctoró en Tecnologías Avanzadas de la Información por la Escuela Superior de Informática de Ciudad Real, España, en 2012. Es profesor investigador en la Universidad Tecnológica de Panamá, centrándose en la computación ubicua, la sanidad electrónica, el desarrollo de marcos, la monitorización continua y la vida cotidiana asistida por el entorno (correo electrónico: vladimir.villarreal@utp.ac.pa).
- César Pardo es licenciado y doctor en Informática por la Universidad de Castilla-La Mancha (España). Actualmente es profesor asistente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca (Colombia), especializado en procesos de software, metodologías ágiles, calidad del software y estimación de proyectos (Correo electrónico: cpardo@unicauca.edu.co).
- Ivonne Núñez se graduó en Ingeniería de Sistemas y Computación en la Universidad Tecnológica de Panamá en 2020. Y de la Maestría en Computación Móvil en junio 2024 donde realizo investigaciones enfocadas en IoT, Inteligencia Artificial, Interacción Humano-Computadora y Computación Móvil (Email: ivonne.nunez@utp.ac.pa).
- Nila Navarro se graduó en Ingeniería de Sistemas y Computación en la Universidad Tecnológica de Panamá en 2020. Y de la Maestría en Computación Móvil en junio 2024. Sus intereses de investigación incluyen la inteligencia artificial, la sanidad electrónica y el aprendizaje automático (correo electrónico: nila.navarro@utp.ac.pa).
- Laura Villa Fernández-Arroyo se graduó en Ingeniería Informática por la Universidad de Castilla-La Mancha en 2022. Actualmente es investigadora en la Escuela Superior de Informática y está adscrita al Laboratorio de Investigación MAMi, centrado en el desarrollo de Robots de Asistencia Social (SARs), aprendizaje automático, agentes conversacionales y computación afectiva (Email: laura.villa@uclm.es).
- Cosmin C. Dobrescu es doctor en Tecnologías de la Información Avanzadas con especialización en IoT. Es investigador en la Escuela de Informática, afiliado al Laboratorio de Investigación MAMi, centrado en Machine Learning, aprendizaje automático e IoT (Email: cosmin.dobrescu@uclm.es).
- Marco Rodríguez, Técnico en Ingeniería especializado en Desarrollo de Software, investiga sobre robótica, tecnologías de asistencia, IoT e interacción persona-ordenador (Email: marco.rodriguez1@utp.ac.pa).