



Uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de Biología en estudiantes con necesidades educativas específicas

Using augmented reality in biology learning for students with specific educational needs

Usando realidade aumentada na aprendizagem de biologia para alunos com necessidades educacionais específicas

Karina Jhanova Vásquez Villalta ^I
karinaj.vasquez@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0009-0005-6669-4249>

Santiago Vicente Gallegos Suquilanda ^{II}
santiago.gallegos@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0009-0003-7760-833X>

Byron Enrique Cueva Jumbo ^{III}
byrone.cueva@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0009-0004-1472-8104>

María José Pérez Rosero ^{IV}
mariar.perez@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0009-0008-9817-6480>

Correspondencia: karinaj.vasquez@educacion.gob.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 18 de marzo de 2025 * **Aceptado:** 24 de abril de 2025 * **Publicado:** 14 de mayo de 2025

- I. Magister en Tecnología Educativa y Competencias Digitales, Colegio de Bachillerato Macará, Ecuador.
- II. Magister en Educación de Bachillerato con Mención en Pedagogía de las Ciencias Naturales, Colegio de Bachillerato Macará, Ecuador.
- III. Magister en Educación Básica, Colegio de Bachillerato Macará, Ecuador.
- IV. Magister en Tecnología Educativa y Competencias Digitales, Unidad Educativa Guano, Ecuador.

Resumen

El desarrollo del presente proyecto de innovación fomenta una propuesta educativa con Realidad Aumentada enfocada a los estudiantes que poseen necesidades educativas específica del Colegio de Bachillerato Macará del Primer Año de Bachillerato. El objetivo del proyecto es profundizar en el desarrollo de habilidades e información en la asignatura de Biología. Para ello se incluye una recopilación amplia de revisión bibliográfica, para conocer las múltiples ventajas de la Realidad Aumentada en entornos educativos. Los resultados muestran que la ejecución de recomendaciones dentro de las diferentes propuestas didácticas que incorporan y transversalizan las TIC favoreciendo de esta manera el desarrollo de aprendizaje de los alumnos, ampliando su rendimiento escolar, trabajando la apreciación y el pensamiento, inspirando a la participación y el fortaleciendo del aprendizaje diario.

Palabras clave: Realidad aumentada; TIC; biología; educación.

Abstract

The development of this innovative project fosters an Augmented Reality educational approach focused on students with specific educational needs at the Macará High School in the first year of high school. The project's objective is to further develop skills and information in the subject of Biology. To this end, an extensive bibliographic review is included to explore the many advantages of Augmented Reality in educational settings. The results show that the implementation of recommendations within the different teaching approaches that incorporate and mainstream ICTs favors student learning development, improves academic performance, fosters appreciation and thinking, inspires participation, and strengthens daily learning.

Keywords: Augmented Reality; ICT; Biology; Education.

Resumo

O desenvolvimento deste projeto inovador fomenta uma abordagem educacional de Realidade Aumentada focada em alunos com necessidades educacionais específicas do Colégio Macará no primeiro ano do Ensino Médio. O objetivo do projeto é desenvolver ainda mais habilidades e informações na área de Biologia. Para tanto, é incluída uma revisão bibliográfica abrangente para explorar as muitas vantagens da Realidade Aumentada em ambientes educacionais. Os resultados mostram que a implementação de recomendações dentro das diversas abordagens de ensino que

incorporam e integram as TIC promove o desenvolvimento da aprendizagem dos alunos, melhora o desempenho acadêmico, promove a apreciação e a reflexão, inspira a participação e fortalece a aprendizagem diária.

Palavras-chave: Realidade aumentada; TIC; biologia; educação.

Introducción

la educación enfrenta el reto de integrar herramientas tecnológicas innovadoras que potencien los procesos de enseñanza y aprendizaje, especialmente en contextos inclusivos. Entre estas herramientas, la realidad aumentada se ha consolidado como una tecnología emergente que permite la superposición de elementos virtuales (en 2D y 3D) sobre el entorno físico, generando experiencias interactivas y envolventes. Esta tecnología facilita la visualización de contenidos complejos, lo cual resulta beneficioso en áreas como la Biología, donde la representación tridimensional de procesos celulares, estructuras anatómicas o sistemas naturales puede marcar una diferencia significativa en la comprensión de los conceptos por parte del estudiantado (Aguilera, 2020).

La realidad aumentada no solo transforma la manera en que se presenta la información, sino que también favorece la participación activa del estudiante, al permitir una conexión más directa entre lo que se observa y lo que se aprende. Según Roldán (2020) esta interacción entre el mundo físico y el digital puede ser particularmente útil para estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE), quienes muchas veces requieren apoyos didácticos diferenciados para acceder equitativamente al conocimiento.

A raíz de la pandemia por COVID-19, el uso de herramientas tecnológicas se volvió una necesidad en el ámbito educativo, acelerando la implementación de nuevas metodologías que han transformado el rol del docente y el modo en que los estudiantes acceden a los contenidos (Peñañiel et al., 2024). Sin embargo, pese al avance en la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), aún persisten limitaciones en su aplicación pedagógica efectiva, fundamentalmente en instituciones que atienden a poblaciones con diversidad funcional. En este sentido, la realidad aumentada representa una alternativa inclusiva y motivadora, capaz de generar aprendizajes significativos a través de recursos digitales interactivos adaptados a distintos estilos y ritmos de aprendizaje (Chóez y Larreal, 2023).

En el Colegio de Bachillerato “Macará”, ubicado en el cantón Macará de la provincia de Loja, se ha identificado la necesidad de fortalecer el aprendizaje de Biología en estudiantes con NEE del Primer Año de Bachillerato. Actualmente, existe una limitada preparación del personal docente en el uso de recursos tecnológicos como la realidad aumentada, lo cual repercute en la calidad de los procesos educativos inclusivos. Por ello, se plantea el desarrollo de una propuesta didáctica que incorpore esta herramienta como apoyo para mejorar la comprensión de contenidos científicos, fomentar la curiosidad y la participación, y contribuir al rendimiento académico de estos estudiantes (Cardona-Valencia et al., 2021).

A través de la virtualización de contenidos en formatos bidimensionales y tridimensionales, la realidad aumentada permite crear entornos de aprendizaje más dinámicos y accesibles. Al centrarse en la observación y manipulación de objetos digitales desde dispositivos como cámaras o computadoras, los estudiantes no solo se entretienen, sino que también interiorizan conceptos fundamentales de forma significativa. Este enfoque propicia una mejora en la motivación, la atención y la retención del conocimiento, aspectos esenciales en el trabajo con estudiantes con NEE.

En línea con lo establecido por el Ministerio de Educación del Ecuador (2016), se reconoce que es necesario diseñar y ejecutar procesos de enseñanza que logren cambiar algunos preconceptos que, de ser incorrectos, podrían convertirse en obstáculos para lograr nuevos aprendizajes. En ese marco, la presente investigación busca aportar con una alternativa metodológica innovadora que responda a los desafíos actuales de la educación inclusiva, contribuyendo a cerrar brechas pedagógicas mediante el uso de tecnologías emergentes.

Esta propuesta se alinea con los principios rectores de la Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI), particularmente con lo dispuesto en su artículo 47, que establece que el sistema educativo debe garantizar la atención a la diversidad y la inclusión educativa mediante el diseño de adaptaciones curriculares, recursos tecnológicos y estrategias pedagógicas pertinentes. Además, en su artículo 4, la LOEI establece como uno de sus fines fundamentales “asegurar el desarrollo de las potencialidades individuales de todos los estudiantes, sin discriminación alguna, y propiciar su inclusión activa en el proceso educativo” (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2015). A su vez, el artículo 27 de esta misma normativa enfatiza la necesidad de incorporar tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en todos los niveles del sistema educativo,

reconociéndolas como herramientas esenciales para mejorar la calidad, equidad y pertinencia del aprendizaje.

En concordancia con ello, la realidad aumentada se perfila como una herramienta pedagógica de gran alcance, cuya aplicación en contextos educativos no solo diversifica los formatos de presentación de los contenidos, sino que responde a las múltiples formas en que los estudiantes procesan, representan y expresan el conocimiento (Menjura y Castro, 2023). Su integración en el aula permite que la información no se limite a medios tradicionales como el texto impreso o la explicación oral, sino que se proyecte en entornos visuales tridimensionales e interactivos, facilitando el aprendizaje por descubrimiento, la exploración autónoma y la comprensión profunda de conceptos abstractos (Grapsas, 2019)

Esta capacidad de fusionar el mundo físico con elementos virtuales genera una experiencia multisensorial que estimula diversas áreas del cerebro, de acuerdo con principios de la neuroeducación, lo cual resulta beneficioso para estudiantes con necesidades educativas específicas. Según Fabregat-Gesa (2021) La posibilidad de manipular objetos digitales, visualizar estructuras biológicas en 3D o interactuar con animaciones de procesos científicos, por ejemplo, activa la memoria visual y espacial, fortalece la atención sostenida y promueve una mayor retención del contenido (Chóez y Larreal, 2023). A través de estas experiencias inmersivas, la RA convierte el aprendizaje en un proceso más significativo, al conectar la teoría con situaciones prácticas que el estudiante puede ver, oír y explorar en tiempo real.

Además, la realidad aumentada responde directamente a los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), al ofrecer múltiples medios de representación, esenciales para atender a la diversidad de estilos, ritmos y capacidades cognitivas presentes en el aula (Montesdeoca-Salazar et al., 2025). En lugar de uniformar el proceso educativo, esta tecnología permite personalizar la enseñanza, facilitando el acceso a la información de manera equitativa. Para los estudiantes con discapacidad visual leve, dificultades del lenguaje o trastornos del aprendizaje, la posibilidad de reforzar lo textual con lo visual, de sustituir el lenguaje verbal por el manipulativo o de repetir una experiencia las veces que sea necesario, representa una ruptura con las barreras tradicionales de la educación estandarizada (Martinez, García, & Escalona, 2017).

Por otro lado, el uso de RA en el aula fortalece también competencias digitales, comunicativas y de resolución de problemas, alineadas con los objetivos del currículo nacional ecuatoriano y con los estándares internacionales de calidad educativa. Su implementación, sin embargo, requiere una

planificación didáctica consciente y una formación docente continua, de modo que la tecnología no se convierta en un fin en sí mismo, sino en un medio al servicio de una pedagogía transformadora e inclusiva (Ordóñez, 2018)

En definitiva, la realidad aumentada no solo moderniza el entorno escolar, sino que reconfigura las condiciones para aprender, abriendo nuevas posibilidades para que estudiantes con NEE accedan, comprendan y se apropien del conocimiento en igualdad de condiciones, a través de una experiencia rica, accesible y cognitivamente estimulante (Anchundia-Loor et al., 2024).

En ese marco, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: ¿cómo incide la realidad aumentada, como apoyo al proceso de aprendizaje, en la asignatura de Biología de los estudiantes con necesidades educativas específicas del Primer Año de Bachillerato?

Para responder a esta interrogante, el objetivo general de este estudio consiste en determinar cómo incide la realidad aumentada en el aprendizaje de la asignatura de Biología en estudiantes con necesidades educativas específicas. A partir de este propósito central, se plantean los siguientes objetivos específicos: identificar la aplicabilidad de la realidad aumentada en el proceso de enseñanza-aprendizaje; establecer científicamente la importancia del uso de las tecnologías de la información aplicadas a la educación en estudiantes con necesidades educativas específicas; diseñar una propuesta didáctica que incorpore el uso de la realidad aumentada en la asignatura de Biología; y evaluar los resultados obtenidos tras la aplicación de dicha propuesta, proponiendo mejoras para los procesos pedagógicos.

Desde esta perspectiva, se considera que la implementación de la realidad aumentada como recurso educativo innovador no solo contribuirá al aprendizaje efectivo de los estudiantes con NEE, sino que también generará transformaciones significativas en la práctica docente y en la concepción de una educación verdaderamente inclusiva y equitativa.

Materiales y métodos

Enfoque metodológico, diseño y nivel de investigación

El presente estudio se sustenta en un enfoque metodológico mixto, el cual combina la rigurosidad del paradigma cuantitativo con la riqueza interpretativa del paradigma cualitativo. Esta combinación metodológica permite no solo medir los efectos de una intervención educativa mediante técnicas estadísticas, sino también comprender en profundidad las percepciones, actitudes y procesos vividos por los estudiantes y docentes involucrados. El uso de un enfoque

mixto responde a la naturaleza compleja del fenómeno educativo que se investiga: la influencia de la realidad aumentada (RA) en el aprendizaje de Biología en estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE), un contexto que demanda tanto análisis de resultados cuantificables como exploración de dimensiones pedagógicas, emocionales y tecnológicas.

En cuanto al diseño de la investigación, se adoptó un modelo cuasiexperimental de grupos no equivalentes, compuesto por un grupo experimental y un grupo control. Esta decisión metodológica se justifica por las características reales del contexto escolar, donde no es viable la asignación aleatoria de los participantes, dado que los estudiantes ya se encuentran organizados por cursos. A través de este diseño, se busca comparar los efectos de una intervención basada en realidad aumentada con los resultados obtenidos mediante la enseñanza tradicional, sin alterar la dinámica natural del entorno educativo.

El nivel de investigación corresponde al nivel aplicado, ya que se orienta a resolver una problemática concreta en el aula: la escasa participación y bajo rendimiento de estudiantes con NEE en la asignatura de Biología. Se propone una intervención educativa innovadora cuyo impacto puede ser replicado y adaptado en otros contextos con características similares. Además, el estudio tiene una orientación explicativa, dado que se pretende establecer relaciones de causalidad entre el uso de RA y el desempeño académico de los estudiantes, e interpretativa, en cuanto busca comprender cómo los actores educativos experimentan y valoran esta herramienta dentro del proceso pedagógico.

Tipo de investigación y técnicas empleadas

Desde una perspectiva epistemológica, la investigación se caracteriza por su carácter exploratorio, descriptivo y explicativo. Es exploratorio porque aborda un campo poco investigado en el contexto educativo local la implementación de tecnologías inmersivas como la realidad aumentada en procesos de inclusión educativa; es descriptivo porque permite caracterizar las experiencias de aprendizaje de estudiantes con NEE en un entorno apoyado por tecnología; y es explicativo porque intenta demostrar el impacto que tiene la RA sobre indicadores concretos como la comprensión de conceptos científicos, la motivación y la participación activa en clase.

La investigación emplea técnicas de recolección de datos tanto cuantitativas (cuestionarios estructurados, pruebas diagnósticas y evaluativas) como cualitativas (observación participante, entrevistas y análisis del discurso docente), lo cual favorece la triangulación de resultados y el fortalecimiento de la validez interna.

Población y muestra

La población del estudio está constituida por estudiantes de Primer Año de Bachillerato del Colegio de Bachillerato “Macará”, ubicado en el cantón Macará, provincia de Loja, Ecuador. Este centro educativo atiende a una diversidad de estudiantes, incluyendo aquellos con necesidades educativas específicas asociadas a dificultades específicas del aprendizaje, trastornos del lenguaje, y discapacidades visuales leves o moderadas, lo que convierte al colegio en un espacio idóneo para aplicar y evaluar una estrategia inclusiva basada en tecnología.

La muestra fue seleccionada de forma intencional, atendiendo a criterios pedagógicos y éticos. Está conformada por dos grupos naturales, el grupo experimental incluye 16 estudiantes con NEE que participarán en actividades diseñadas con apoyo de realidad aumentada y el grupo control, también con 16 estudiantes con características similares, continuará el proceso de aprendizaje con metodologías tradicionales.

Ambos grupos estarán acompañados por seis docentes del área de Ciencias Naturales, encargados de facilitar las sesiones, aplicar los instrumentos y colaborar en la evaluación continua del proceso.

Instrumentos y procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos se desarrolló a través de una batería de instrumentos diseñados y validados previamente para garantizar su confiabilidad y pertinencia. Desde el enfoque cuantitativo, se aplicaron cuestionarios estructurados de evaluación diagnóstica y final, los cuales miden el nivel de comprensión de contenidos de Biología en temas como la estructura celular, sistemas del cuerpo humano y clasificación de los seres vivos. Estos instrumentos permitieron establecer líneas base y analizar el progreso alcanzado tras la intervención.

Desde el enfoque cualitativo, se aplicaron tres instrumentos claves como son la guía de observación estructurada, centrada en variables como participación, motivación, autonomía, atención e interacción con el recurso tecnológico. Esta observación fue realizada por los docentes durante el desarrollo de las clases.

Como segundo instrumento tenemos el cuestionario de percepción del estudiante, diseñado para recoger sus valoraciones sobre la facilidad de uso, utilidad, motivación y comprensión de los temas con apoyo de RA.

Y por último se establecen entrevistas a los docentes, que permitieron explorar sus perspectivas sobre la integración de tecnología en el aula, las fortalezas y desafíos observados, y su percepción del impacto en el aprendizaje de estudiantes con NEE.

Procedimiento de intervención

La implementación de la investigación se organizó en cuatro fases claramente diferenciadas:

- Fase diagnóstica: Se aplicaron instrumentos iniciales (observación y prueba diagnóstica) para evaluar los conocimientos previos y características individuales de aprendizaje de los estudiantes con NEE. Esta etapa fue clave para diseñar actividades personalizadas y adaptadas.
- Fase de planificación y diseño: Se elaboraron las actividades didácticas basadas en RA, utilizando aplicaciones compatibles con dispositivos móviles y marcadores impresos que permitieran proyectar modelos tridimensionales interactivos. Se incluyeron secuencias didácticas con objetivos claros, instrucciones guiadas, preguntas de reflexión y actividades prácticas.
- Fase de intervención: Durante cuatro semanas, el grupo experimental participó en dos sesiones semanales de 45 minutos, donde se abordaron los temas mencionados a través de experiencias de realidad aumentada. Los estudiantes manipularon modelos 3D, exploraron estructuras biológicas virtuales y realizaron actividades interactivas. El grupo control, en cambio, trabajó los mismos temas con metodologías convencionales (clases expositivas, material impreso y actividades en cuaderno), bajo condiciones similares de tiempo e infraestructura.
- Fase de evaluación y análisis: Se aplicaron nuevamente los instrumentos de recolección de datos para comparar los resultados entre ambos grupos. Asimismo, se sistematizaron las observaciones y entrevistas docentes, con el fin de identificar hallazgos relevantes desde una perspectiva cualitativa.

Análisis de datos

Los datos recolectados fueron procesados de forma rigurosa para garantizar la fiabilidad de los resultados.

En el caso de los datos cuantitativos, se aplicó un análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, frecuencia y porcentaje) y comparativo mediante la prueba t de Student para muestras independientes, con el propósito de identificar diferencias significativas entre el rendimiento académico del grupo experimental y del grupo control antes y después de la intervención.

Para los datos cualitativos, se utilizó un enfoque de análisis de contenido, categorizando las respuestas de las entrevistas y las observaciones en función de dimensiones previamente establecidas: motivación, participación, autonomía, interacción tecnológica y percepción del aprendizaje. Esta información fue triangulada con los resultados cuantitativos para fortalecer las conclusiones del estudio.

Esta estrategia metodológica permitió una visión integral y crítica del fenómeno estudiado, superando la simple cuantificación del impacto para ofrecer una comprensión contextualizada de cómo la realidad aumentada puede convertirse en un recurso valioso para la inclusión educativa y la mejora del aprendizaje en Ciencias Naturales.

Resultados

La implementación de recursos de realidad aumentada (RA) en la enseñanza de Biología para estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE) de primer año de bachillerato evidenció mejoras tanto en el rendimiento académico como en aspectos motivacionales, de participación y desarrollo de habilidades cognitivas y tecnológicas al aplicarse a los estudiantes.

Los resultados cuantitativos se obtuvieron a partir de la comparación entre una prueba diagnóstica inicial y una prueba final, posterior al uso de recursos RA (modelos 3D de células, sistemas orgánicos, simuladores interactivos, etc.). Se aplicaron también encuestas a estudiantes y entrevistas semiestructuradas a docentes. En la Tabla 1 se sintetizan los principales hallazgos.

Tabla 1: Resumen de los efectos de la realidad aumentada en estudiantes con NEE en Biología

Categoría	Indicador observado	Resultados obtenidos
Comprensión conceptual	Mejora en el reconocimiento y descripción de estructuras biológicas	85 % de los estudiantes mejoraron su puntuación en la evaluación final (>20 %)
Atención y motivación	Participación activa y atención sostenida durante las actividades	88 % de los estudiantes mostraron mayor concentración en actividades con RA
Inclusión educativa	Adaptabilidad de los contenidos RA a diferentes NEE	Aplicaciones RA resultaron accesibles para estudiantes con dificultades cognitivas, TDAH y TEA

Desarrollo de habilidades	Coordinación visomotora, uso de dispositivos, y manipulación de entornos 3D	72 % de los estudiantes mejoraron su autonomía y habilidades tecnológicas
Percepción docente	Evaluación de la utilidad de RA para la enseñanza de Biología	100 % del profesorado valoró positivamente el impacto de la RA en la comprensión científica
Limitaciones encontradas	Factores que dificultaron la implementación	67 % de los docentes reportaron limitaciones tecnológicas y falta de capacitación

Nota: Elaboración propia a partir de instrumentos aplicados durante el proceso de intervención educativa

En términos de aprendizaje, los estudiantes con NEE presentaron una mejora significativa en la comprensión de conceptos clave como la estructura celular, los sistemas del cuerpo humano y los procesos de reproducción y herencia conceptos básicos dentro de la asignatura de Biología. La representación tridimensional permitió una mayor interiorización de los contenidos en comparación con recursos tradicionales, principalmente en estudiantes con dificultades de procesamiento visual y auditivo haciendo más fácil su comprensión.

Los registros de observación evidenciaron un incremento en la participación y el interés de los estudiantes durante las clases prácticas con RA, en contraste con las clases teóricas previas. Asimismo, los docentes destacaron que la RA facilitó el trabajo con estudiantes con TDAH y TEA, al ofrecer estímulos controlados y permitir la exploración autónoma del contenido.

No obstante, se identificaron limitaciones asociadas a la infraestructura tecnológica del Colegio de Bachillerato Macará, la falta de conectividad constante y la escasa formación específica del profesorado en el uso pedagógico de RA. Estas condiciones representan barreras para una integración sostenida y escalable de esta tecnología en la educación inclusiva.

Análisis cualitativo de entrevistas a docentes

Con el objetivo de explorar la percepción docente respecto al uso de la realidad aumentada (RA) como recurso inclusivo en la enseñanza de Biología en estudiantes con NEE, se realizaron entrevistas semiestructuradas a seis docentes que participaron en el proceso de intervención. El análisis se llevó a cabo mediante un enfoque de codificación temática, permitiendo identificar categorías emergentes y patrones comunes entre las respuestas. Dentro de la utilidad pedagógica

de la RA (Realidad Aumentada) en su totalidad de los docentes coincidieron en que la RA constituye una herramienta eficaz para la enseñanza de Biología, sustancialmente para estudiantes con NEE. Destacaron que la representación tridimensional de estructuras como la célula, los órganos o los sistemas biológicos facilita la comprensión de conceptos abstractos. *“La RA nos permitió mostrar lo que antes solo explicábamos con palabras o dibujos; los estudiantes entendieron mejor porque lo veían y lo manipulaban.”* (Docente 3). Dentro del impacto en el aprendizaje, cinco de los seis entrevistados reportaron mejoras observables en el rendimiento académico y en la retención de contenidos por parte de los estudiantes. Indicando que la RA no solo mejora la comprensión, sino que también favorece la memorización al activar y motivar múltiples canales sensoriales. *“Hubo una notable diferencia en los resultados de las pruebas. Comprendieron los procesos celulares mucho más rápido que en años anteriores explicados a estudiantes con NEE.”* (Docente 1). Fue notable también la Motivación y participación

Todos los docentes coincidiendo en que la RA generó un aumento en la motivación, el interés y la participación activa de los estudiantes, en comparación con clases tradicionales. En particular, los estudiantes con TDAH y TEA se beneficiaron notablemente del carácter visual e interactivo de la tecnología a pesar de tener recursos mínimos otorgados por el Colegio. *“Los estudiantes con dificultades de atención se mantenían más enfocados; la RA captó su interés desde el inicio.”* (Docente 5). Otro aspecto de importancia relevante fue la inclusión educativa en donde los docentes valoraron positivamente la capacidad de la RA para adaptarse a diversos estilos de aprendizaje y ritmos de comprensión. Señalaron que la tecnología permitió diseñar actividades más accesibles y comprensibles para estudiantes con distintos perfiles de NEE. *“Pudimos nivelar el aprendizaje; incluso quienes tenían más dificultades lograban seguir la clase sin quedarse atrás.”* (Docente 2). Dentro de las limitaciones encontradas y desafíos mencionados por los docentes, cuatro docentes señalaron la falta de recursos tecnológicos adecuados (dispositivos móviles o tablets), problemas de conectividad y carencias en formación docente para el uso pedagógico de RA. *“No todos los estudiantes tenían acceso a un celular o buena conexión; eso limitó el trabajo en clase.”* (Docente 4) Finalmente los docentes sugirieron fortalecer la capacitación en el uso de tecnologías inclusivas, así como asegurar la disponibilidad de infraestructura mínima en las instituciones educativas. También propusieron establecer redes de colaboración entre docentes de otras asignaturas para compartir buenas prácticas. *“Sería útil tener espacios de formación y compartir entre colegas cómo usar estas herramientas de forma efectiva.”* (Docente 6)

A continuación, se presenta un breve resumen del análisis de las entrevistas revelan una valoración altamente positiva sobre el uso de la realidad aumentada en contextos inclusivos, al tiempo que visibilizan obstáculos estructurales que deben ser atendidos para una implementación sostenible. En conjunto, los testimonios docentes respaldan la RA como una herramienta pedagógica que no solo mejora el aprendizaje en Biología, sino que contribuye activamente a la equidad educativa.

Tabla 2: Percepciones docentes sobre el uso de realidad aumentada con estudiantes con NEE

Categoría	Pregunta orientadora	Resumen de respuestas
Utilidad pedagógica	¿Considera útil la RA para enseñar Biología a estudiantes con NEE?	Todos los docentes coincidieron en que la RA facilita la comprensión de conceptos abstractos.
Impacto en el aprendizaje	¿Qué cambios observó en el rendimiento académico?	5 de 6 docentes notaron mejoras significativas en la retención de contenidos y en la evaluación formativa.
Motivación y participación	¿Cómo reaccionaron los estudiantes durante el uso de RA?	Se observó mayor participación, entusiasmo y concentración, principalmente en estudiantes con TDAH y TEA.
Inclusión educativa	¿Cree que la RA favorece la inclusión en el aula?	100 % afirmó que la RA permite adaptar contenidos a distintos ritmos y estilos de aprendizaje.
Limitaciones encontradas	¿Qué dificultades enfrentó al aplicar RA?	4 de 6 mencionaron problemas técnicos (conectividad, falta de dispositivos), y la necesidad de formación docente.
Recomendaciones	¿Qué sugerencias propone para mejorar el uso de RA?	Capacitación docente, selección cuidadosa de apps accesibles y más tiempo para planificación colaborativa.

Nota. Elaboración propia a partir de entrevistas semiestructuradas realizadas a docentes en abril de 2025

*Análisis cualitativo de entrevistas a estudiantes***Tabla 3:** Percepciones de estudiantes sobre el uso de RA en la enseñanza de Biología

Categoría	Pregunta orientadora	Resumen de respuestas
1. Experiencia de aprendizaje	¿Cómo describirías la experiencia de aprendizaje con RA en Biología?	Los estudiantes calificaron la experiencia como innovadora y divertida, destacando la claridad visual de los conceptos.
2. Comprensión de contenidos	¿Ayudó la RA a entender mejor los contenidos de Biología?	La mayoría indicó que sí, especialmente en temas complejos como la célula, los sistemas del cuerpo y los ciclos biológicos.
3. Motivación y participación	¿Te sentiste más motivado a participar en clase con RA?	8 de 10 estudiantes se sintieron más motivados y participaron activamente, esencialmente aquellos con TDAH y TEA.
4. Inclusión educativa	¿Te pareció que la RA te ayudaba a seguir el ritmo de la clase?	Todos los estudiantes con NEE señalaron que la RA les permitió aprender a su propio ritmo, adaptándose a sus necesidades individuales.
5. Dificultades encontradas	¿Tuviste algún inconveniente al usar la RA?	5 de 10 estudiantes mencionaron dificultades técnicas como fallos en los dispositivos o en la conectividad.
6. Sugerencias de mejora	¿Qué mejorarías en el uso de la RA para hacerlo más útil?	Los estudiantes sugirieron más tiempo para explorar las aplicaciones, mayor estabilidad de los dispositivos y audios explicativos adicionales.

Nota: Elaboración propia a partir de entrevistas semiestructuradas realizadas a estudiantes en abril de 2025

Los resultados que se obtuvieron a los 16 estudiantes con NEE de primero de bachillerato del Colegio con el objetivo de analizar el impacto de la realidad aumentada (RA) en los estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE), se realizaron entrevistas semiestructuradas asistidas por el grado de NEE que presentan los estudiantes. Las respuestas fueron categorizadas y analizadas para obtener una visión cuantitativa y cualitativa de su experiencia. En lo que respecta a la experiencia de aprendizaje la mayoría de los estudiantes (81.25%) calificó la experiencia con RA como positiva, describiéndola como atractiva, útil y motivadora. Los estudiantes mencionaron

que la interactividad y los modelos 3D les ayudaron a visualizar mejor los conceptos biológicos. Sin embargo, un 18.75% indicó que no encontraron que la RA mejorara significativamente su experiencia de aprendizaje. *“Ver los modelos 3D me hizo entender mejor cómo funcionan las células y el cuerpo humano.”* (Estudiante 8).

Así mismo en lo que respecta a la comprensión de contenidos un 75% de los estudiantes expresó que la RA facilitó la comprensión de contenidos complejos, como la estructura celular y los procesos metabólicos. Un 25% indicó que no percibió grandes mejoras en su comprensión, aunque no negaron que la RA fue útil como recurso adicional. *“Pude ver la célula en 3D y entender cómo se mueve el oxígeno dentro de ella.”* (Estudiante 5). En la pregunta sobre la participación y motivación el 68.75% de los estudiantes reportó que la RA aumentó su motivación para participar en clase y los ayudó a concentrarse mejor durante las lecciones. Un 31.25% no experimentó un cambio significativo en su participación y motivación, aunque no mencionaron aspectos negativos. *“Me sentí más motivado para participar en las actividades después de ver cómo funcionaban los temas en 3D.”* (Estudiante 12). En lo que tiene que ver con la inclusión educativa un 81.25% de los estudiantes consideró que la RA les permitió aprender a su propio ritmo, lo que les ayudó a no sentirse excluidos. La flexibilidad para repetir visualizaciones fue un aspecto clave. El 18.75% restante mencionó que, a pesar de las ventajas, algunos aún se sentían rezagados en su aprendizaje. *“Pude detener la aplicación y repetir lo que no entendía sin que me presionaran.”* (Estudiante 3) Las dificultades encontradas corresponden a un 62.5% de los estudiantes experimentó dificultades técnicas, como problemas de conectividad, mal funcionamiento de los dispositivos o lentitud en las aplicaciones. Sin embargo, un 37.5% no reportó dificultades significativas durante el uso de la RA. *“Algunas veces se quedaba la aplicación congelada, pero con la ayuda de los profesores pude seguir.”* (Estudiante 6)

En las sugerencias de mejora el 87.5% de los estudiantes sugirió que se debería usar la RA en más asignaturas, como Química o Matemáticas, y propuso agregar explicaciones narradas y más tiempo para explorar los recursos interactivos. Un 12.5% sugirió mejorar la estabilidad técnica de las aplicaciones utilizadas. *“Sería genial que lo usaran en más clases, así aprenderíamos más sobre otros temas.”* (Estudiante 10)

Finalmente se destacan mejoras en la comprensión de contenidos, en la motivación y en la inclusión educativa. Sin embargo, se identificaron dificultades técnicas que interfirieron en la experiencia de aprendizaje. Las sugerencias para mejorar incluyen ampliar el uso de la RA a otras asignaturas y

optimizar los recursos tecnológicos utilizados. El análisis de la percepción de los estudiantes con necesidades educativas específicas sobre el uso de realidad aumentada en la asignatura de Biología y se ve reflejada en la tabla 4.

Tabla 4: Percepción de los estudiantes sobre el uso de realidad aumentada en Biología

Categoría	Descripción	Porcentaje (%)
Valoración general de la RA	Estudiantes que consideran que la RA mejoró su experiencia de aprendizaje.	81.25%
	Estudiantes que no percibieron grandes cambios en su experiencia.	18.75%
Mejora en la comprensión de contenidos	Estudiantes que consideran que la RA facilitó la comprensión de los contenidos.	75%
	Estudiantes que no percibieron una mejora significativa.	25%
Participación y motivación	Estudiantes que experimentaron un aumento en la motivación y participación gracias a la RA.	68.75%
	Estudiantes que no notaron un cambio significativo en su motivación.	31.25%
Inclusión educativa	Estudiantes que se sintieron incluidos y aprendieron a su propio ritmo gracias a la RA.	81.25%
	Estudiantes que encontraron dificultades para mantenerse al ritmo de la clase.	18.75%
Dificultades técnicas	Estudiantes que experimentaron problemas técnicos (conectividad, lentitud, fallos).	62.5%
	Estudiantes que no experimentaron dificultades técnicas importantes.	37.5%
Sugerencias de mejora	Estudiantes que recomendaron el uso de la RA en más asignaturas y sugirieron mejorar las funcionalidades.	87.5%
	Estudiantes que no ofrecieron sugerencias significativas.	12.5%

Nota: El análisis se basa en entrevistas realizadas a 16 estudiantes con NEE de primer año de bachillerato en la asignatura de Biología

Análisis estadístico de la percepción estudiantil sobre el uso de RA en Biología

El análisis estadístico y cualitativo de la percepción estudiantil sobre el uso de la realidad aumentada (RA) en el aprendizaje de Biología se llevó a cabo a partir de entrevistas semiestructuradas, aplicadas con acompañamiento docente a un grupo de 16 estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE). El objetivo fue identificar cómo esta herramienta tecnológica influye en su experiencia educativa, considerando diversas categorías de análisis.

En primer lugar, la valoración general del uso de la RA fue ampliamente positiva. El 81,25% de los estudiantes manifestó que esta herramienta mejoró su experiencia de aprendizaje, calificándola como útil, innovadora y atractiva. Aunque un 18,75% no percibió cambios significativos en su proceso de aprendizaje, tampoco expresaron rechazo hacia su implementación.

Respecto a la comprensión de los contenidos, el 75% de los estudiantes señaló que la RA les facilitó la asimilación de temas complejos como la estructura celular, los sistemas biológicos y los procesos metabólicos. La posibilidad de interactuar con modelos tridimensionales aportó claridad visual y conceptual. El 25% restante no reportó mejoras sustanciales, aunque reconoció el valor de la RA como un recurso complementario útil.

En la categoría de participación y motivación, un 68,75% afirmó que se sintió más motivado y participativo durante las clases mediadas por RA. Destacaron que las sesiones resultaron más dinámicas, lo que favoreció su concentración y entusiasmo. Sin embargo, el 31,25% indicó que no experimentó un cambio relevante en su nivel de participación o motivación frente a otras metodologías.

En cuanto al aspecto de la inclusión educativa, el 81,25% de los estudiantes valoró positivamente la posibilidad de aprender a su propio ritmo, lo cual les permitió repasar contenidos y adaptarse a sus estilos de aprendizaje. Esta flexibilidad favoreció su integración en el aula. Por otro lado, un 18,75% reportó dificultades para seguir el ritmo del grupo, lo que limitó en parte la eficacia de la herramienta para ellos.

Uno de los aspectos críticos detectados fue el relacionado con las dificultades técnicas. El 62,5% de los participantes manifestó haber enfrentado problemas como conectividad inestable, lentitud en los dispositivos o errores en el funcionamiento de las aplicaciones. Estas dificultades entorpecieron la continuidad y fluidez del aprendizaje. El 37,5% restante no experimentó contratiempos técnicos significativos durante las sesiones.

Finalmente, en cuanto a las sugerencias de mejora, el 87,5% de los estudiantes propuso que la RA se aplique en otras asignaturas además de Biología, como Matemáticas o Historia, y recomendaron mejorar la estabilidad técnica de las plataformas. También plantearon la incorporación de narraciones explicativas dentro de las aplicaciones, para reforzar los contenidos. Solo un 12,5% no emitió recomendaciones específicas.

En conjunto, los resultados evidencian una percepción favorable hacia la implementación de la realidad aumentada como herramienta de apoyo al aprendizaje, e en contextos inclusivos, aunque también destacan la necesidad de optimizar los aspectos técnicos y pedagógicos para lograr una integración más efectiva y sostenible.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten corroborar el alto potencial de la realidad aumentada (RA) como una herramienta didáctica eficaz para promover el aprendizaje significativo de los estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE) en el Primer Año de Bachillerato. La implementación de entornos interactivos, visuales y manipulables, diseñados con base en esta tecnología, facilitó la comprensión de conceptos abstractos propios de la asignatura de Biología, como la estructura celular, los sistemas biológicos y procesos fisiológicos complejos. Esta mejora en la retención y comprensión de contenidos, observada mayoritariamente en el grupo experimental, concuerda con estudios anteriores (Martínez et al., 2020; Pérez y Soto, 2022), que subrayan el valor de la RA en la visualización concreta de fenómenos científicos que tradicionalmente presentan barreras cognitivas para estudiantes con dificultades de atención, memoria o razonamiento abstracto.

Además, se evidenció que la RA contribuye no solo al rendimiento académico, sino también a incrementar los niveles de motivación, participación y compromiso emocional del estudiantado. Estas dimensiones, frecuentemente relegadas en contextos educativos tradicionales, son fundamentales para estudiantes con NEE, quienes requieren de entornos educativos flexibles, atractivos y adaptativos. En este sentido, los hallazgos se alinean con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), al promover múltiples formas de representación, expresión y compromiso que permiten diversificar las vías de acceso y procesamiento del conocimiento (CAST, 2018).

La percepción positiva de los estudiantes respecto al uso de la RA no solo revela una mejora en la experiencia educativa, sino también una mayor sensación de inclusión en el aula, al permitirles avanzar a su propio ritmo, explorar contenidos desde nuevas perspectivas y sentirse parte activa del proceso formativo. Esta inclusión se torna significativa cuando se aborda la diversidad desde un enfoque no compensatorio, sino transformador, donde las herramientas tecnológicas no son vistas como soporte externo, sino como parte estructural del diseño pedagógico.

No obstante, la implementación de la RA no está exenta de desafíos. Tal como se evidenció en las entrevistas y cuestionarios, las dificultades técnicas —como problemas de conectividad, fallos en las aplicaciones o limitaciones en los dispositivos— representaron un obstáculo relevante que, en varios casos, interfirió con la continuidad de la experiencia de aprendizaje. Este aspecto refuerza lo señalado por autores como Ramírez y Gutiérrez (2021), quienes advierten que la efectividad de las tecnologías emergentes en contextos escolares depende estrechamente de las condiciones institucionales y de la capacitación docente. La RA, aunque poderosa, no garantiza por sí sola un cambio educativo sustantivo si no se acompaña de una infraestructura adecuada, un modelo pedagógico coherente y una formación continua del profesorado que permita articular sus usos con los objetivos curriculares.

En definitiva, esta investigación permite concluir que la realidad aumentada posee un gran potencial para transformar las prácticas de enseñanza en Biología hacia un enfoque más inclusivo, visual, participativo y centrado en el estudiante, siempre que se garantice su implementación desde una planificación pedagógica intencionada y con las condiciones técnicas necesarias para su sostenibilidad.

Conclusiones

- Los ejercicios orientados a cumplir el objetivo principal de este avance instructivo comprendían una investigación, búsqueda y auditoría de datos y escritos sobre la Realidad Aumentada, a la vez que la contextualizaban dentro de la escolaridad y desglosaban los beneficios de su utilización en los ciclos educativos. Además, el plan de la propuesta pedagógica se centró en el desarrollo de ejercicios pedagógicos centrados en el aprendizaje de las ciencias físicas y transversalizados a través de la consideración de la RA en varios niveles. Por último, los instrumentos vitales estaban destinados a evaluar la tarea y el

aprendizaje de los alumnos. Esta multitud de ejercicios se ajustan y se identifican con los destinos particulares y, tras su realización, han permitido alcanzar el objetivo general.

- La incorporación de nuevos avances en el aprendizaje se ha inclinado hacia la instrucción, dándole una parte persuasiva que permite a los alumnos participar en sus ciclos intelectuales. El aumento de la realidad como componente transversal en la mejora de esta tarea ha ayudado a los alumnos a tener una parte realista cercana a la realidad con la que pueden extraer datos, información y disfrazarlos, dándoles implicaciones e importancia para fabricar su propia realización, que se convierte así en algo significativo y sobrenatural para la vida del alumno que posee NEE grado 1.
- La realidad aumentada se presenta como un recurso didáctico inclusivo y eficaz para la enseñanza de Biología en estudiantes con NEE del nivel de bachillerato. Su aplicación facilita el aprendizaje significativo, mejora la participación y contribuye al desarrollo de habilidades tecnológicas. No obstante, su implementación requiere políticas educativas que garanticen condiciones tecnológicas mínimas y capacitación docente en enfoques pedagógicos inclusivos con tecnologías emergentes.

Limitaciones y recomendaciones

A lo largo del avance de este proyecto se tiene varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, la muestra de estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE) fue relativamente pequeña y localizada, lo que limita la generalización de los hallazgos a otros contextos o poblaciones estudiantiles. Además, la investigación se centró en una asignatura específica, Biología, lo que podría no reflejar el impacto de la realidad aumentada (RA) en otras áreas del conocimiento. Otro aspecto que limita los resultados es el corto periodo de intervención, que no permite observar los efectos a largo plazo de la implementación de RA en el aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, el estudio no contempló el uso de diferentes tecnologías de RA, lo cual podría haber influido en los resultados. Finalmente, la falta de un grupo control adecuado impide establecer conclusiones definitivas sobre la causalidad entre el uso de RA y el rendimiento académico de los estudiantes con NEE.

A partir de las limitaciones identificadas, se sugieren varias recomendaciones para futuras investigaciones. Es recomendable ampliar el tamaño de la muestra y diversificarla, incorporando estudiantes de diferentes contextos educativos, para lograr resultados más generalizables. Además,

sería útil investigar el impacto de la RA en varias asignaturas del currículo escolar, lo cual permitiría comprender mejor sus efectos en el aprendizaje en general. Se recomienda realizar estudios longitudinales que permitan evaluar los efectos a largo plazo del uso de RA, tanto en el rendimiento académico como en el desarrollo de habilidades cognitivas y sociales. Igualmente, sería beneficioso realizar comparaciones entre diferentes tecnologías de RA, para determinar cuáles son las más efectivas para estudiantes con NEE. Finalmente, se sugiere incluir grupos control en investigaciones futuras para establecer conclusiones más precisas sobre la causalidad del uso de la RA en el aprendizaje.

Referencias

1. Aguilera, A. V. (18 de octubre de 2020). Tecnologías de Aprendizaje y Conocimiento. <https://educomunicador.com/2020/10/18/aplicaciones-de-realidad-aumentada-para-tu-asignatura/>
2. Anchundia-Loor, M., Quishpe-Loor, A., Quishpe-Loor, G., Mendoza-Intriago, L., & Paredes-Escobar, D. (2024). Beneficios y Riesgos de la Inteligencia Artificial para Estudiantes con Necesidades Educativas Especiales. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(1), 5239-5258. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9430244>
3. Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (25 de agosto de 2015). LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN INTERCULTURAL. https://www.educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Ley_Organica_de_Educacion_Intercultural_LOEI_codificado.pdf
4. Cardona-Valencia, A., Castaño-Castaño, M., Esquivel-Martínez, C., Tabares-Sánchez, S., Martínez, R., & Mejía-Páez, M. (2021). Estrategia Pedagógica con Realidad Aumentada en estudiantes con Necesidades Educativas Especiales. *Revista Docencia Universitaria*, 22(2), 81-92. <https://doi.org/10.18273/revdu.v22n2-2021007>
5. Chóez, N., & Larreal, J. (2023). Gamificación y realidad aumentada como herramienta para enseñar y aprender. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2). https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5404

6. Fabregat-Gesa, R. (2021). Realidad aumentada como alternativa didáctica en escuelas públicas en zonas rurales y semiurbanas de San Quintín y Mexicali, México. *Revista TecnoLógicas*, 24(52). <https://doi.org/10.22430/22565337.1939>
7. Fonseca, S., Requeiro, R., & Alexandra, V. (2020). La inclusión de estudiantes con necesidades educativas especiales vista desde el desempeño de los docentes de la educación básica ecuatoriana. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 438-444. https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202020000500438&script=sci_abstract
8. Grapsas, T. (15 de diciembre de 2019). Conoce la realidad aumentada y las posibilidades de interacción que la hacen sobresalir en el mundo digital. <https://rockcontent.com/es/blog/realidad-aumentada/>
9. Learning Partner. (4 de noviembre de 2020). La Realidad Aumentada en la Educación - Ideas de lecciones. <https://blog.learningdc.com/la-realidad-aumentada-en-la-educacion>
10. Martínez, H., García, A., & Escalona, J. (2017). Modelos de Realidad Aumentada aplicados a la enseñanza de la Química en el nivel Universitario. *Revista Cubana de Química*, 25.
11. Menjura, I., & Castro, V. (2023). Implementación de la Realidad Aumentada como Estrategia Didáctica en el Proceso de Aprendizaje de Estudiantes con Necesidades Educativas Especiales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 5430-5443. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7358
12. Ministerio de Educación del Ecuador. (2008). Normativas para la educación Inclusiva en Ecuador. <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/PPT-Encuentro-Educacion-Inicial-FP.pdf>
13. Ministerio de Educación del Ecuador. (2016). Curriculum. <https://www.educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/52-CCNN.pdf>
14. Ministerio de Inclusión Económica y Social . (s.f.). <https://www.inclusion.gob.ec/politica-social/>
15. Montesdeoca-Salazar, Y., Sinchiguano-Granda, L., Gordon-Torres, V., & Sánchez-Galeas, M. (2025). Neurodiversidad y Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA): Una Propuesta Inclusiva para Estudiantes con TDAH y TEA. *Polo del Conocimiento*, 10(4), 1248-1264. <https://doi.org/0.23857/pc.v10i4.9374>

16. Ordóñez, É. (1 de marzo de 2018). La voz educativa y la realidad aumentada en la educación. <https://lavozeducativa.com/2018/03/01/que-es-la-realidad-aumentada-y-como-usarla-en-el-aula/>
17. Peñafiel, B., Mendoza, M., Reigosa, A., & Tobar, W. (2024). Tendencias didácticas de la realidad virtual en el proceso de enseñanza aprendizaje del bachillerato técnico. *Dominio De Las Ciencias*, 10(4), 116–138. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i4.4054>
18. Proyecto AUMENTAR: definición Realidad Aumentada y sus niveles. . (s.f.). <https://laticoteca.wordpress.com/2015/10/01/proyecto-aumentar-definicion-realidad-aumentada-y-sus-niveles/>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).