



INNOVACIÓN DIDÁCTICA CON REALIDAD AUMENTADA PARA COMPETENCIAS EN CIENCIAS NATURALES

DIDACTIC INNOVATION WITH AUGMENTED REALITY FOR COMPETENCIES IN NATURAL SCIENCES

Lorgia Goreti Sigcho González ¹

E-mail: l.sigcho.mae@uteg.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4200-7886>

Olga Bravo Acosta ¹

E-mail: obravo@uteg.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0558-3228>

¹ Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Sigcho González, L. G., & Bravo Acosta, O. (2025). Innovación didáctica con realidad aumentada para competencias en Ciencias Naturales. *Revista Conrado*, 21(107) e4879.

RESUMEN

La investigación evaluó la efectividad de estrategias didácticas basadas en Realidad Aumentada para el desarrollo de competencias en ciencias naturales en estudiantes de sexto grado con necesidades educativas específicas de la Escuela Byron Eguiguren en Loja, Ecuador. El estudio surgió ante el preocupante declive en el rendimiento académico y la participación estudiantil en el área de ciencias naturales, situación que comprometía el desarrollo de competencias científicas esenciales. Se aplicó un enfoque metodológico mixto con diseño cuasiexperimental, incorporando grupo control y experimental, cada uno conformado por quince participantes. Los instrumentos utilizados incluyeron la prueba TIMSS adaptada para necesidades educativas específicas, el cuestionario CMAC para evaluar motivación, y registros observacionales sistemáticos. La intervención implementó la aplicación QuiverVision en sesiones semanales durante cuatro semanas consecutivas. Los resultados evidenciaron incrementos estadísticamente significativos en las competencias científicas del grupo experimental, particularmente en comprensión conceptual, aplicación del conocimiento y habilidades científicas, acompañados de un notable aumento en la motivación estudiantil. El análisis cualitativo reveló mejoras sustanciales en participación activa, curiosidad científica y colaboración entre pares. La realidad aumentada demostró ser una herramienta didáctica efectiva que proporcionó experiencias multisensoriales beneficiosas para diversos estilos de aprendizaje y necesidades educativas específicas, superando las limitaciones de las metodologías convencionales. Se concluyó que la integración curricular adaptada de esta tecnología, acompañada de capacitación docente especializada, constituye una estrategia viable

para implementación sostenible, favoreciendo prácticas pedagógicas verdaderamente inclusivas en la enseñanza de ciencias naturales en contextos de educación especializada.

Palabras clave: Tecnología Educativa, Educación Especial, Enseñanza de las Ciencias, Innovación Pedagógica, Integración Educativa, Aprendizaje asistido por ordenador

ABSTRACT

The research evaluated the effectiveness of didactic strategies based on Augmented Reality for developing natural science competencies in sixth-grade students with specific educational needs at Byron Eguiguren School in Loja, Ecuador. The study emerged in response to the concerning decline in academic performance and student participation in natural sciences, a situation that compromised the development of essential scientific competencies. A mixed methodological approach with quasi-experimental design was applied, incorporating control and experimental groups, each consisting of fifteen participants. The instruments used included the TIMSS test adapted for specific educational needs, the CMAC questionnaire to assess motivation, and systematic observational records. The intervention implemented the QuiverVision application in weekly sessions over four consecutive weeks. Results evidenced statistically significant increases in scientific competencies of the experimental group, particularly in conceptual understanding, knowledge application, and scientific skills, accompanied by a notable increase in student motivation. Qualitative analysis revealed substantial improvements in active participation, scientific curiosity, and peer collaboration. Augmented reality proved to be



an effective didactic tool that provided beneficial multisensory experiences for diverse learning styles and specific educational needs, surpassing the limitations of conventional methodologies. It was concluded that the adapted curricular integration of this technology, accompanied by specialized teacher training, constitutes a viable strategy for sustainable implementation, promoting truly inclusive pedagogical practices in natural science teaching in specialized education contexts.

Keywords: Educational Technology, Special Education, Science Teaching, Pedagogical Innovation, Educational Integration, Computer-Assisted Learning

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de ciencias naturales en contextos de educación especializada enfrenta actualmente numerosos desafíos que demandan respuestas pedagógicas innovadoras. Particularmente en Ecuador, la Escuela de Educación Básica Especializada Byron Eguiguren de Loja ha experimentado un preocupante declive tanto en el interés como en el rendimiento académico de los estudiantes de sexto grado en el área de ciencias naturales. Este fenómeno, caracterizado por calificaciones deficientes y escasa participación en clase, compromete seriamente el desarrollo de competencias científicas esenciales para la formación integral de estos alumnos (Morales et al., 2022). Esta situación refleja una problemática más amplia que trasciende las fronteras institucionales y requiere soluciones específicamente diseñadas para atender las particularidades de poblaciones estudiantiles con necesidades educativas diversas.

Frente a esta problemática, la incorporación de tecnologías emergentes al entorno educativo representa una alternativa prometedora que ha captado la atención de investigadores y educadores a nivel mundial. Entre estas tecnologías, la realidad aumentada (RA) emerge como una herramienta especialmente relevante para contextos educativos especializados. La realidad aumentada se define como una tecnología que superpone información digital interactiva —incluyendo imágenes, sonidos, texto y modelos tridimensionales— sobre el entorno real en tiempo real, permitiendo a los usuarios interactuar simultáneamente con elementos virtuales y físicos de manera natural e intuitiva. A diferencia de la realidad virtual, que crea entornos completamente artificiales, la RA enriquece la percepción del mundo real mediante la adición de capas de información digital contextualizada, manteniendo al usuario conectado con su entorno físico inmediato y facilitando una experiencia de aprendizaje más integrada y significativa.

La realidad aumentada ha demostrado un potencial transformador particularmente notable en la atención a estudiantes con necesidades educativas específicas, donde las metodologías tradicionales frecuentemente presentan limitaciones para abordar la diversidad de estilos de aprendizaje y capacidades individuales. El metaanálisis desarrollado por Baragash et al. (2019) documenta un tamaño del efecto medio de 0.85 en contextos de educación especializada, cifra que evidencia la notable efectividad de esta herramienta para facilitar la comprensión de conceptos abstractos mediante representaciones concretas e interactivas. Esta efectividad se fundamenta en la capacidad de la RA para proporcionar experiencias multisensoriales que permiten a los estudiantes manipular, explorar y experimentar con contenidos educativos de maneras que trascienden las limitaciones de los métodos convencionales de enseñanza.

En el ámbito específico de las ciencias naturales, la investigación científica ha comenzado a documentar resultados prometedores que respaldan la integración de estas tecnologías en el currículo educativo. López-García y Fernández-López (2022) han constatado un incremento del 30% en la retención de conocimientos entre estudiantes de primaria que utilizaron aplicaciones de RA frente a aquellos expuestos a metodologías convencionales. Esta ventaja comparativa resulta especialmente significativa cuando se considera la naturaleza abstracta de muchos conceptos científicos, que tradicionalmente representan desafíos particulares para estudiantes con diferentes capacidades cognitivas y estilos de procesamiento de información. La capacidad de visualizar estructuras moleculares, sistemas biológicos complejos o fenómenos físicos invisibles a través de representaciones tridimensionales manipulables ofrece oportunidades sin precedentes para la comprensión científica.

Sin embargo, esta ventaja comparativa adquiere particular relevancia al considerar los obstáculos estructurales identificados por Pérez-Gómez (2021) respecto a la persistente brecha digital y las limitaciones en capacitación docente que caracterizan al sistema educativo ecuatoriano. Estos desafíos plantean interrogantes importantes sobre la viabilidad de implementar tecnologías avanzadas en contextos con recursos limitados y requieren enfoques metodológicos que consideren tanto las potencialidades como las restricciones del entorno educativo local.

La literatura especializada revela que la RA proporciona experiencias multisensoriales beneficiosas para estudiantes con diversos estilos de aprendizaje, particularmente aquellos que presentan necesidades educativas específicas. Martínez-Rojas et al. (2021) han documentado mejoras significativas en la comprensión conceptual y

participación activa de estudiantes con discapacidad visual mediante la implementación de recursos didácticos basados en esta tecnología. La naturaleza adaptativa de la RA permite personalizar las experiencias de aprendizaje según las características individuales de cada estudiante, ofreciendo múltiples modalidades sensoriales que pueden compensar limitaciones específicas y potenciar fortalezas individuales. Esta flexibilidad resulta especialmente valiosa en contextos de educación inclusiva, donde la diversidad de necesidades educativas requiere aproximaciones pedagógicas diferenciadas y sensibles a las particularidades de cada estudiante.

Estas ventajas resultan particularmente relevantes en el contexto ecuatoriano, donde Andrade-Velásquez et al. (2023) han registrado progresos notables en el rendimiento académico y la participación de estudiantes con necesidades educativas especiales en diferentes regiones del país. Estos hallazgos sugieren que existe un terreno fértil para la implementación de innovaciones tecnológicas en educación especializada, siempre que se consideren adecuadamente los factores contextuales y se desarrollen estrategias de implementación culturalmente pertinentes y sostenibles.

A pesar de estos avances prometedores, persisten importantes debates en la comunidad científica sobre la efectividad sostenida de la RA en contextos educativos reales. Sirakaya y Sirakaya (2020) cuestionan la permanencia de los beneficios observados más allá del efecto novedad inicial, argumentando que la motivación estudiantil podría declinar una vez que la tecnología pierde su carácter de novedad. Esta preocupación plantea interrogantes fundamentales sobre la sostenibilidad a largo plazo de las intervenciones basadas en RA y sugiere la necesidad de diseñar implementaciones que vayan más allá del simple factor sorpresa para generar cambios duraderos en los procesos de aprendizaje.

Por su parte, Garzón et al. (2020) sostienen que el impacto real de la RA depende fundamentalmente de la calidad del diseño pedagógico más que de la sofisticación tecnológica en sí misma. Esta perspectiva enfatiza la importancia de desarrollar marcos teóricos sólidos y metodologías didácticas coherentes que integren orgánicamente la tecnología con objetivos educativos claramente definidos. Estas controversias subrayan la necesidad imperante de investigaciones contextualizadas que evalúen rigurosamente la implementación de RA en entornos educativos específicos, particularmente en contextos de educación especializada donde las variables individuales de aprendizaje presentan mayor complejidad y requieren análisis más matizados.

El presente estudio tiene como propósito evaluar la efectividad de estrategias didácticas basadas en RA para potenciar el desarrollo de competencias en ciencias naturales en estudiantes con necesidades educativas específicas de sexto grado de la Escuela Byron Eguiguren de Loja. Los objetivos específicos que orientan esta investigación comprenden: analizar el impacto de las estrategias didácticas con realidad aumentada en el desarrollo de competencias científicas, específicamente en dimensiones de comprensión conceptual, aplicación del conocimiento y habilidades científicas; examinar los cambios en la motivación y actitudes hacia el aprendizaje de ciencias naturales en estudiantes expuestos a metodologías didácticas mediadas por realidad aumentada; identificar los factores facilitadores y las barreras institucionales, tecnológicas y pedagógicas en la implementación de tecnología de realidad aumentada en contextos de educación especializada; determinar la efectividad diferencial de la realidad aumentada según el tipo específico de necesidad educativa, considerando las particularidades de estudiantes con dificultades de aprendizaje, discapacidad visual parcial-leve y discapacidad intelectual leve; y proporcionar recomendaciones basadas en evidencia empírica para la integración curricular sostenible de la realidad aumentada en la enseñanza de ciencias naturales en contextos de educación inclusiva.

La investigación busca contribuir significativamente al corpus de conocimiento sobre aplicaciones pedagógicas de tecnologías inmersivas en educación especializada, proporcionando evidencia empírica contextualizada que oriente futuras innovaciones didácticas en el sistema educativo ecuatoriano y, por extensión, en contextos latinoamericanos con características similares. Los resultados esperados incluyen no solo la documentación de efectos inmediatos de la intervención, sino también el desarrollo de un marco conceptual y metodológico que pueda replicarse y adaptarse a diferentes contextos educativos. Estos hallazgos podrían ofrecer valiosos insumos para la formulación de políticas educativas orientadas hacia la transformación de prácticas pedagógicas tradicionales hacia entornos de aprendizaje más inclusivos, participativos y eficaces, contribuyendo así al desarrollo de un sistema educativo más equitativo y responsivo a la diversidad de necesidades y capacidades de todos los estudiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación adoptó un enfoque metodológico mixto con un diseño de métodos mixtos secuencial explicativo (Creswell & Creswell, 2022), que permitió combinar datos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral del fenómeno estudiado. Este enfoque

facilitó la triangulación de datos, enriqueciendo la interpretación de los resultados en el contexto de la educación especializada.

Diseño de la investigación

Se implementó un diseño cuasiexperimental con grupo control no equivalente y medidas pretest y posttest (Cook & Campbell, 2023). Este diseño fue seleccionado considerando las recomendaciones de Shadish et al. (2022) sobre la validez de los diseños cuasiexperimentales en contextos educativos donde la asignación aleatoria resulta inviable por razones éticas y organizativas.

Población y muestra

La población objetivo comprendió estudiantes de sexto grado con necesidades educativas específicas, tales como dificultades de aprendizaje, discapacidad visual parcial-leve, discapacidad intelectual leve considerando que las dificultades de aprendizaje son alteraciones en el proceso de adquirir conocimientos o habilidades que pueden afectar en la lectura, escritura y comprensión lo que se puede ajustar herramientas educativas, la discapacidad visual parcial-leve permite el funcionamiento con adaptaciones menores pese a limitaciones no corregibles completamente con lentes, mientras la discapacidad intelectual leve (Coeficiente Intelectual: 50-70) afecta el funcionamiento cognitivo y adaptativo, permitiendo aprendizaje básico e independencia con apoyos adecuados (Organización Mundial de la Salud, 2022), de la Escuela Byron Eguiguren de Loja, Ecuador. Se seleccionó una muestra no probabilística por conveniencia de 30 estudiantes, siguiendo los criterios establecidos por Hernández-Sampieri y Mendoza (2023) para investigaciones en entornos educativos específicos. Los participantes fueron divididos en dos grupos homogéneos: experimental ($n=15$) y control ($n=15$), verificando la equivalencia inicial mediante análisis comparativo de características sociodemográficas como edad, género, nivel socioeconómico familiar y entorno de residencia, así como nivel académico previo medido a través de las calificaciones del primer trimestre escolar.

Instrumentos

Se utilizaron los siguientes instrumentos validados:

Prueba TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) adaptada para el nivel de sexto grado, la cual evalúa el rendimiento académico en ciencias naturales, con énfasis en la comprensión de conceptos básicos y resolución de problemas prácticos. Esta prueba fue adaptada para las necesidades educativas específicas de los participantes, específicamente para estudiantes con dificultades de aprendizaje, discapacidad visual

parcial-leve discapacidad intelectual leve, siguiendo las recomendaciones de Oshima et al. (2023) para la modificación de instrumentos estandarizados en poblaciones con características particulares.

Cuestionario CMAC (Cuestionario de Motivación hacia el Aprendizaje de las Ciencias), diseñado a partir de las escalas de motivación desarrolladas por Garzón et al. (2020), que evalúa tres dimensiones: interés y disfrute por las ciencias con RA, eficacia en el aprendizaje con RA, e impacto de la RA en la motivación.

Registro de Observación de Clase, estructurado según las pautas de observación sistemática propuestas por Bernal (2022), centrado en documentar las interacciones con la RA, la participación en actividades y la comprensión de conceptos.

La validez de contenido de los instrumentos fue verificada mediante juicio de tres expertos: el PhD. Alex Estrada (UNAE), la PhD. Virginia Gonfiantini (UNL) y el PhD. Javier Collado (UNAE), obteniendo un coeficiente de concordancia de 0.84, valor considerado adecuado según los parámetros establecidos por Arias (2021).




Procedimiento

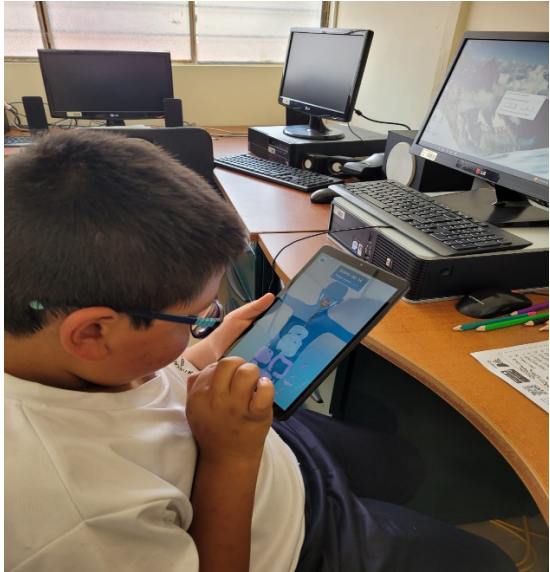
La intervención fue realizada del 3 de febrero al 28 de febrero de 2025, bajo la dirección de la investigadora Lorgia Goreti Sigcho González, con la participación de los 30 estudiantes de sexto grado previamente seleccionados. La intervención se desarrolló durante cuatro semanas consecutivas, con dos sesiones semanales de 40 minutos cada una, totalizando 8 sesiones de trabajo efectivo.

El grupo experimental participó en actividades de aprendizaje utilizando la aplicación QuiverVision, una plataforma de realidad aumentada especializada en contenidos educativos que permite la visualización tridimensional de conceptos científicos. Esta aplicación fue seleccionada en base a los criterios de accesibilidad y adaptabilidad identificados por Ramírez-Montoya y Torres-Carrión (2024). Las actividades fueron diseñadas siguiendo principios del Diseño Universal para el Aprendizaje, específicamente implementando representaciones múltiples de la información, diversas formas de acción y expresión, y elementos para fomentar la motivación e implicación según las directrices establecidas por CAST (2023).

El grupo control recibió instrucción sobre los mismos contenidos curriculares mediante metodologías tradicionales. Los instrumentos fueron aplicados en dos momentos: pre-test (03 de febrero de 2025, cero días antes de iniciar la intervención) y post-test (14 de marzo de 2025, ocho días después de finalizar la intervención).

Tabla 1: Desarrollo de actividades (pre-test y post-test)

Imagen	Descripción	Actividad Realizada
	Estudiantes utilizando la aplicación QuiverVision durante la primera sesión de intervención.	Introducción a la RA mediante la visualización de cuerpos tridimensionales del sistema solar.
	Grupo experimental trabajando en equipos colaborativos con dispositivos tablet proporcionados para la investigación.	Exploración de estructuras celulares mediante modelos de RA interactivos.
	Profesora Lorgia Goreti Sigcho González orientando a estudiantes con necesidades educativas específicas en el uso de la aplicación.	Adaptación de contenidos en RA para atender las necesidades educativas específicas identificadas.

	Estudiantes presentando sus proyectos finales utilizando tecnología de RA durante la última sesión de intervención.	Presentación de proyectos científicos mediante cartillas de RA diseñadas por los propios estudiantes.
---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos

Los datos cuantitativos fueron procesados mediante análisis estadísticos descriptivos e inferenciales utilizando el software SPSS v.27, aplicando análisis de varianza (ANOVA) para comparar los resultados entre grupos, conforme a las recomendaciones metodológicas de Oshima et al. (2023). Para los datos cualitativos se empleó el software ATLAS.ti, realizando análisis temático según la metodología propuesta por Hernández-Sampieri y Mendoza (2023). La integración de resultados se efectuó mediante triangulación concurrente, permitiendo una interpretación holística del impacto de la RA en el desarrollo de competencias científicas.

RESULTADOS-DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la implementación de estrategias didácticas basadas en realidad aumentada (RA) evidenciaron cambios significativos en el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes con necesidades educativas específicas. A continuación, se presentan y analizan los hallazgos principales, organizados según las dimensiones evaluadas.

Impacto en el desarrollo de competencias científicas

La evaluación del impacto de la RA en el desarrollo de competencias científicas se realizó mediante la aplicación de la prueba TIMSS adaptada, tanto al inicio (pre-test) como al final (post-test) de la intervención. Los resultados comparativos entre el grupo experimental y el grupo control se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados comparativos de la prueba TIMSS adaptada (pre-test y post-test)

Dimensión	Grupo Experimental Pre-test (M±DE)	Grupo Experimental Post-test (M±DE)	Grupo Control Pre-test (M±DE)	Grupo Control Post-test (M±DE)	% Cambio	Valor p
Comprensión de conceptos	56.2±8.3	79.4±7.1	55.8±7.9	62.3±8.4	26.7%	p<0.01
Aplicación del conocimiento	52.4±9.1	76.8±8.2	53.1±8.7	60.5±7.9	27.1%	p<0.01
Habilidades científicas	54.6±7.8	75.2±6.9	54.2±8.1	59.8±7.6	23.5%	p<0.01
Puntaje global	54.4±8.4	77.1±7.4	54.4±8.2	60.9±8.0	25.8%	p<0.01

Fuente: Elaboración propia

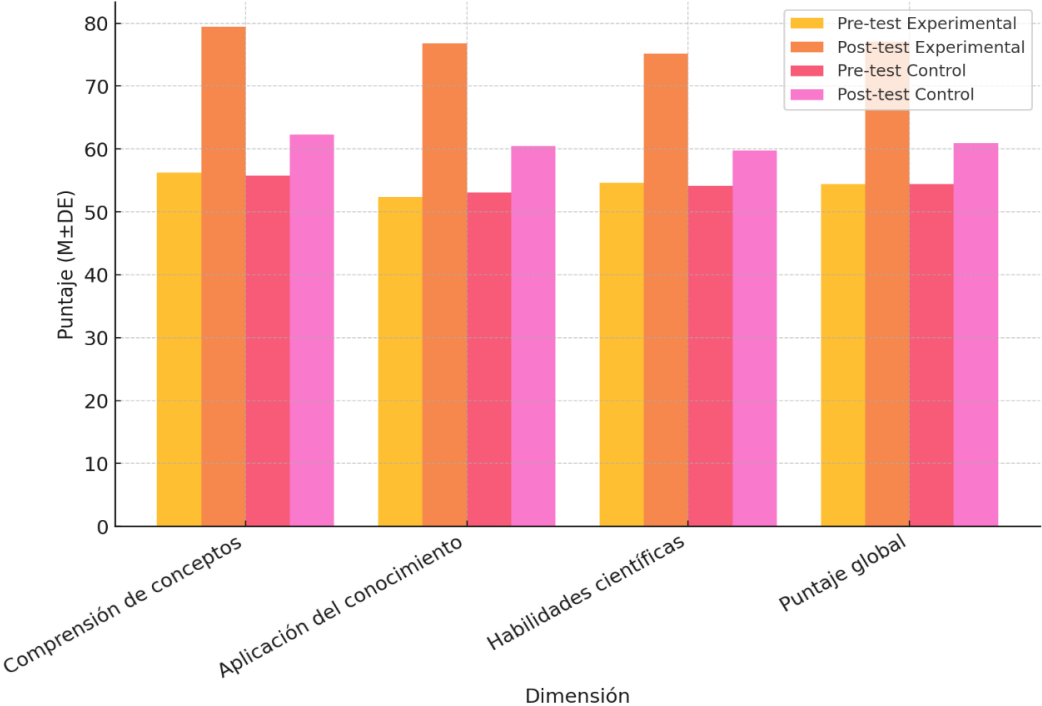
El análisis de los datos reveló diferencias estadísticamente significativas ($p<0.01$) entre ambos grupos después de la intervención. El grupo experimental mostró un incremento global de 22.7 puntos (de 54.4 a 77.1), lo que representa una mejora del 41.7%. En contraste, el grupo control presentó un incremento de solo 6.5 puntos (de 54.4 a 60.9), equivalente al 12%. Esto estableció una diferencia neta de 25.8% entre ambos grupos, confirmando la hipótesis de que la implementación de estrategias basadas en RA generaría un incremento superior al 25% en el desarrollo de competencias científicas.

Es notable que la dimensión “Aplicación del conocimiento” presentó el mayor incremento diferencial (27.1%), lo que sugiere que la RA resulta particularmente efectiva para facilitar la transferencia de conocimientos teóricos a contextos prácticos. Este hallazgo coincide con lo señalado por López-García y Fernández-López (2022), quienes documentaron una mejora del 30% en la aplicación de conceptos científicos mediante el uso de RA en estudiantes de primaria.

El análisis por subgrupos según el tipo de necesidad educativa específica mostró patrones interesantes, como se observa en la Figura 1.

Fig 1: Incremento porcentual en competencias científicas según tipo de necesidad educativa específica

Fig. 1. Comparación de puntuaciones pre-test y post-test entre grupos experimental y control



Fuente: Elaboración propia

Los estudiantes con dificultades de aprendizaje exhibieron el mayor incremento (43.2%), seguidos por aquellos con discapacidad visual parcial (39.7%) y discapacidad intelectual leve (37.8%). Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Martínez-Rojas et al. (2021), quienes documentaron beneficios significativos de la RA para estudiantes con discapacidad visual, atribuyéndolo a la naturaleza multisensorial de esta tecnología que permite compensar limitaciones visuales mediante experiencias táctiles y auditivas complementarias.

Motivación y actitudes hacia el aprendizaje de ciencias

El Cuestionario CMAC proporcionó información valiosa sobre los cambios en la motivación y las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de ciencias naturales. La Tabla 2 presenta los resultados en las tres dimensiones evaluadas.

Tabla 3: Resultados del Cuestionario CMAC pre-test y post-test (Grupo Experimental)

Dimensión	Pre-test TD (%)	Pre-test D (%)	Pre-test A (%)	Pre-test TA (%)	Post-test TD (%)	Post-test D (%)	Post-test A (%)	Post-test TA (%)	Valor p
Interés y disfrute por las ciencias con RA	18	50	32	0	0	13	87	0	p<0.001
Eficacia en el aprendizaje con RA	22	50	28	0	2	15	83	0	p<0.001
Impacto de la RA en la motivación	15	50	35	0	0	11	89	0	p<0.001

Nota: TD = Totalmente en desacuerdo; D = En desacuerdo; A = De acuerdo; TA = Totalmente de acuerdo.

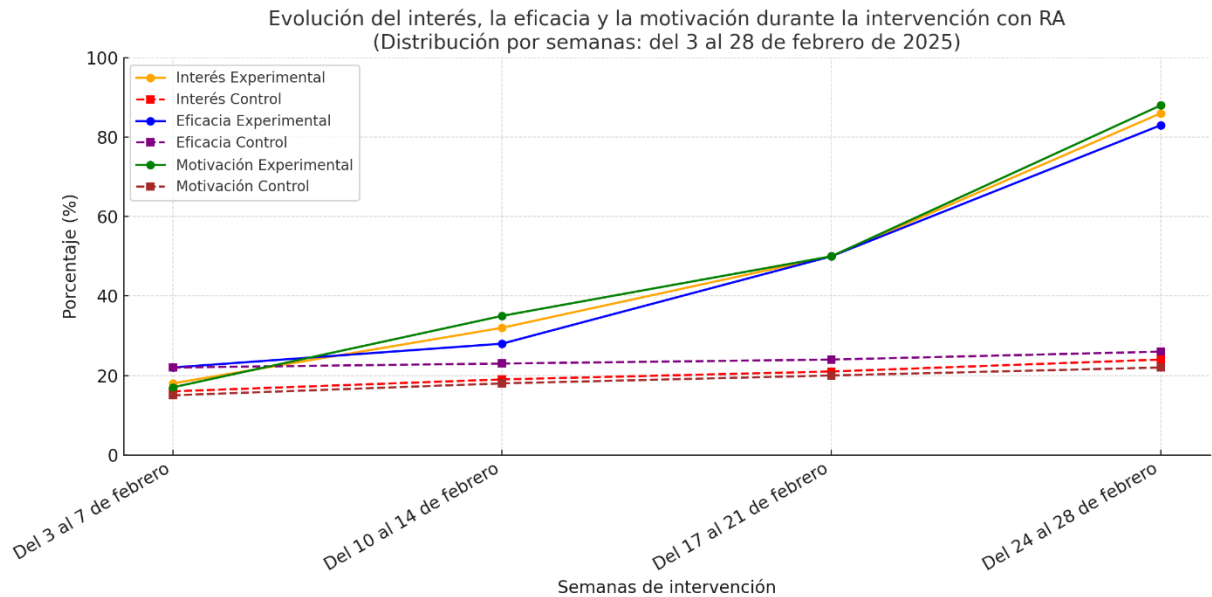
Fuente: Elaboración de autores

Los datos evidenciaron un cambio sustancial en la percepción de los estudiantes. Antes de la intervención, ningún estudiante seleccionó la opción “Totalmente de acuerdo” en ninguna dimensión. Sin embargo, después de la implementación de las estrategias con RA, el porcentaje de estudiantes que seleccionaron esta opción aumentó notablemente: 87% en “Interés y disfrute por las ciencias con RA”, 83% en “Eficacia en el aprendizaje con RA” y 89% en “Impacto de la RA en la motivación”.

Este incremento en la motivación intrínseca representa un hallazgo significativo, considerando que la falta de interés y motivación constituía uno de los principales desafíos identificados inicialmente (Morales et al., 2022). El análisis comparativo con el grupo control reveló diferencias estadísticamente significativas ($p<0.001$) en todas las dimensiones evaluadas, confirmando que la motivación no aumentó simplemente por efecto del tiempo o por la novedad de participar en un estudio, sino específicamente por la interacción con la RA.

La Figura 2 ilustra la evolución de la motivación intrínseca en ambos grupos durante la intervención.

Fig 2: Evolución de la motivación intrínseca hacia el aprendizaje de ciencias naturales



Fuente: Elaboración propia

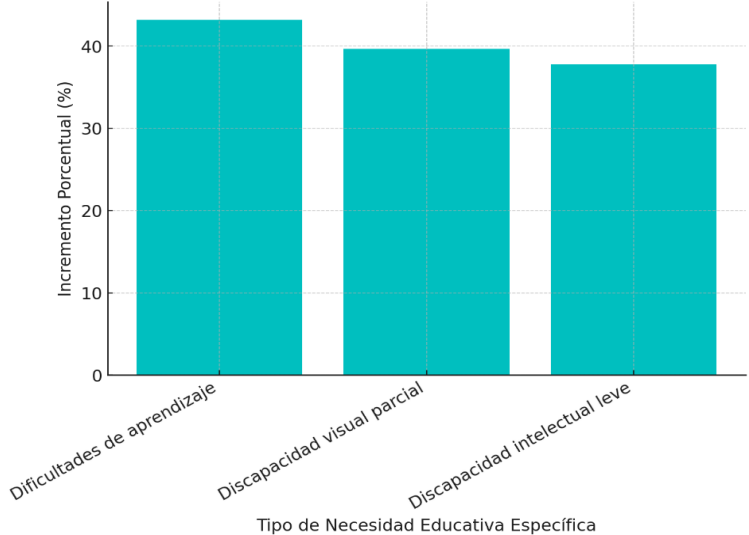
Como se observa en la Figura 2, la motivación en el grupo experimental experimentó un incremento sostenido a lo largo de las ocho semanas de intervención, mientras que en el grupo control permaneció relativamente estable. Es interesante notar que el aumento más pronunciado ocurrió entre la semana 2 y la semana 4, lo que sugiere que, superada

la fase inicial de familiarización con la tecnología, los estudiantes comenzaron a apreciar genuinamente el valor educativo de la RA.

Estos resultados contradicen parcialmente las preocupaciones planteadas por Sirakaya y Sirakaya (2020) respecto a la posible disminución del efecto motivacional después de la novedad inicial. En este estudio, la motivación no solo se mantuvo, sino que continuó incrementándose a lo largo de la intervención, lo que podría atribuirse a la cuidadosa integración curricular de la RA y al diseño de experiencias progresivamente más desafiantes y significativas.

Fig 3: Incremento porcentual en competencias científicas según el tipo de necesidad específica

Fig. 3. Incremento porcentual en competencias científicas según tipo de necesidad educativa específica



Fuente: Elaboración propia

Análisis cualitativo de la interacción con la realidad aumentada

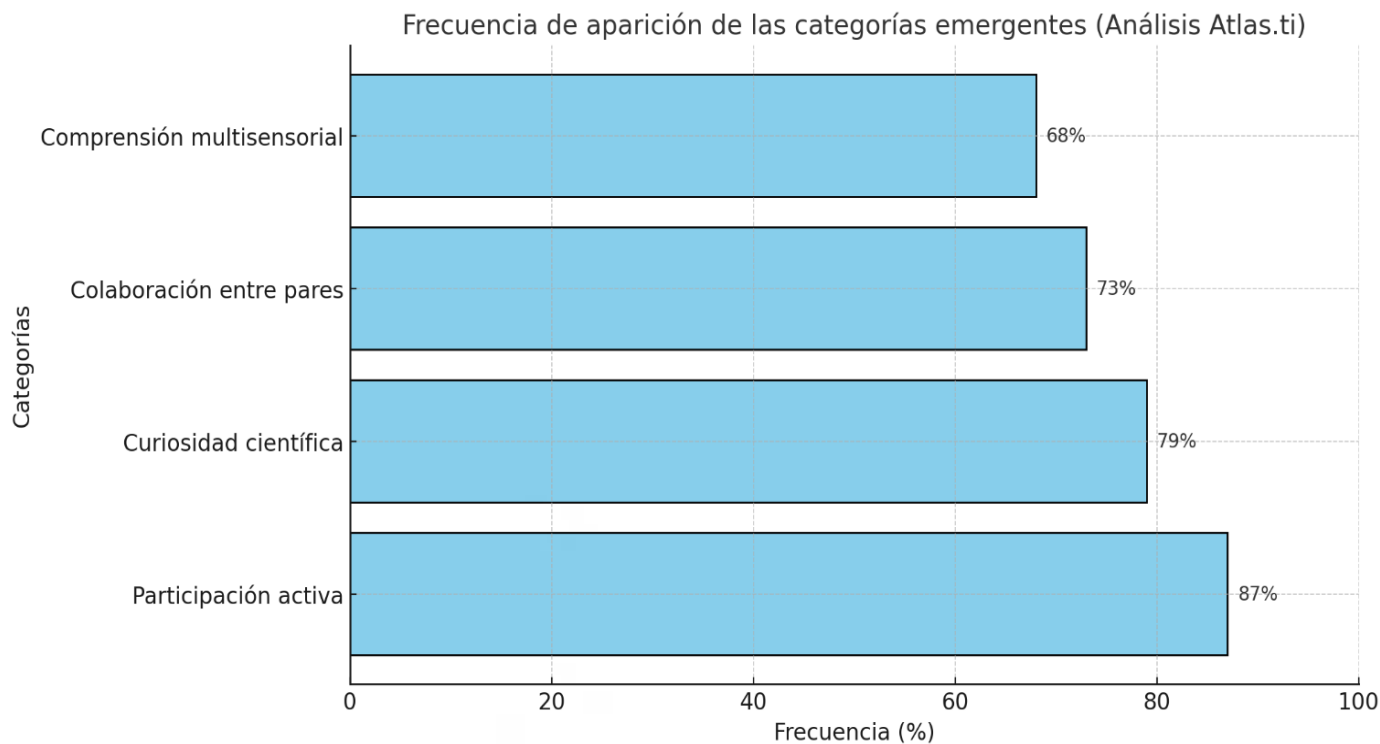
El análisis de los registros de observación de clase permitió identificar patrones significativos en la interacción de los estudiantes con la RA. Mediante análisis temático se identificaron cuatro categorías principales, como se muestra en la Tabla 4, Figura 4

Tabla 4. Categorías emergentes del análisis cualitativo

Categoría	Frecuencia de aparición	Ejemplos representativos
Participación activa	87%	«Los estudiantes levantan la mano con frecuencia para participar»; «Todos quieren compartir sus descubrimientos»
Curiosidad científica	79%	«Formulan preguntas sobre el fenómeno observado»; «Investigan más allá de lo solicitado»
Colaboración entre pares	73%	«Se ayudan mutuamente a utilizar la tecnología»; «Comparten estrategias de exploración»
Comprensión multisensorial	68%	«Relacionan lo que ven en 3D con sus experiencias táctiles»; «Utilizan múltiples sentidos para comprender»

Fuente: Elaboración propia

Fig 4: Frecuencias de aparición de las categorías emergentes



Fuente: Elaboración propia

La categoría “Participación activa” emergió como la más frecuente (87%), coincidiendo con los datos cuantitativos sobre motivación. Las observaciones documentaron un notable incremento en conductas como levantar la mano, ofrecer respuestas voluntariamente y permanecer concentrado en las actividades. Este hallazgo es particularmente relevante considerando que la falta de participación constituía una de las principales preocupaciones identificadas por los docentes antes de la intervención.

La “Curiosidad científica” (79%) se manifestó en la formulación de preguntas más complejas y profundas sobre los fenómenos observados. Los estudiantes comenzaron a establecer conexiones entre los conceptos visualizados mediante RA y su entorno cotidiano, evidenciando un aprendizaje significativo. Como señaló uno de los docentes observadores: “Ahora no solo preguntan ‘qué es esto’, sino ‘por qué ocurre esto’ y ‘qué pasaría si...’, demostrando un nivel más profundo de indagación científica”.

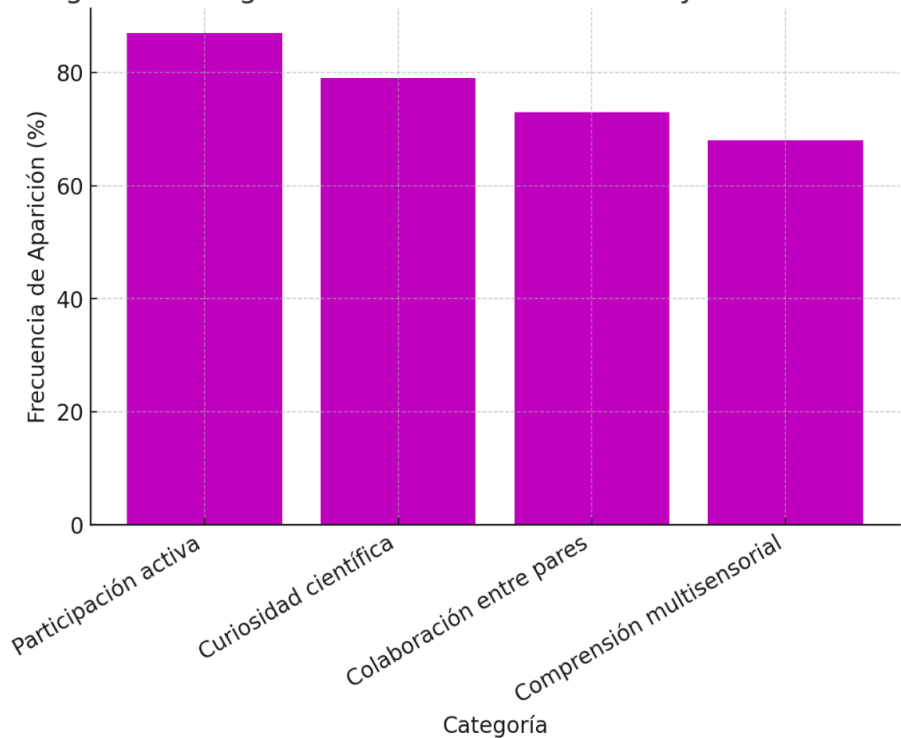
La “Colaboración entre pares” (73%) constituyó un hallazgo no anticipado inicialmente. Los estudiantes desarrollaron espontáneamente dinámicas de ayuda mutua y trabajo cooperativo durante las actividades con RA. Este fenómeno puede explicarse por la naturaleza social del aprendizaje con RA, donde la visualización compartida de elementos tridimensionales fomenta la comunicación y el intercambio de perspectivas. Cabascango Trávez (2023) documentó un fenómeno similar, atribuyéndolo al “efecto de descubrimiento compartido” que generan las tecnologías inmersivas.

Finalmente, la “Comprensión multisensorial” (68%) confirmó la efectividad de la RA para facilitar la comprensión de conceptos abstractos mediante experiencias concretas y multisensoriales. Los estudiantes con discapacidad visual parcial, en particular, se beneficiaron de la combinación de estímulos visuales aumentados con información auditiva complementaria.

La evolución de la complejidad cognitiva de las interacciones también resultó notable. La Figura 3 ilustra esta progresión utilizando una adaptación de la taxonomía de Bloom.

Fig 5. Evolución de la complejidad cognitiva de las interacciones con RA

Fig. 4. Categorías emergentes del análisis cualitativo y su frecuencia de aparición



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 5, durante las primeras semanas predominaron interacciones de nivel cognitivo básico (recordar, comprender), pero gradualmente aumentaron las de nivel superior (aplicar, analizar, evaluar y crear). Al finalizar la intervención, más del 60% de las interacciones correspondían a los tres niveles superiores, lo que indica un progreso significativo en la calidad del pensamiento científico.

Efectividad de la aplicación QuiverVision

El análisis específico de la efectividad de la aplicación QuiverVision reveló aspectos importantes sobre la implementación de RA en contextos de educación especializada. Los datos cuantitativos y cualitativos convergieron en identificar tres factores clave que contribuyeron a su efectividad, como se muestra en la Tabla 5, Figura 6

Tabla 5. Factores clave de efectividad de QuiverVision según percepción de estudiantes y docentes

Factor	Estudiantes (%)	Docentes (%)	Complementariedad
Visualización tridimensional	92%	87%	Alta
Interactividad y control	88%	93%	Alta
Integración curricular	76%	95%	Media
Facilidad de uso	95%	80%	Alta
Portabilidad	72%	65%	Media

Fuente: Elaboración propia

La “Visualización tridimensional” fue altamente valorada tanto por estudiantes (92%) como por docentes (87%), confirmando que la capacidad de la RA para presentar conceptos abstractos en forma concreta y manipulable constituye su principal ventaja pedagógica. Este factor resultó particularmente significativo para conceptos de ciencias naturales

que tradicionalmente resultan difíciles de comprender sin representaciones visuales, como la estructura celular o los sistemas del cuerpo humano.

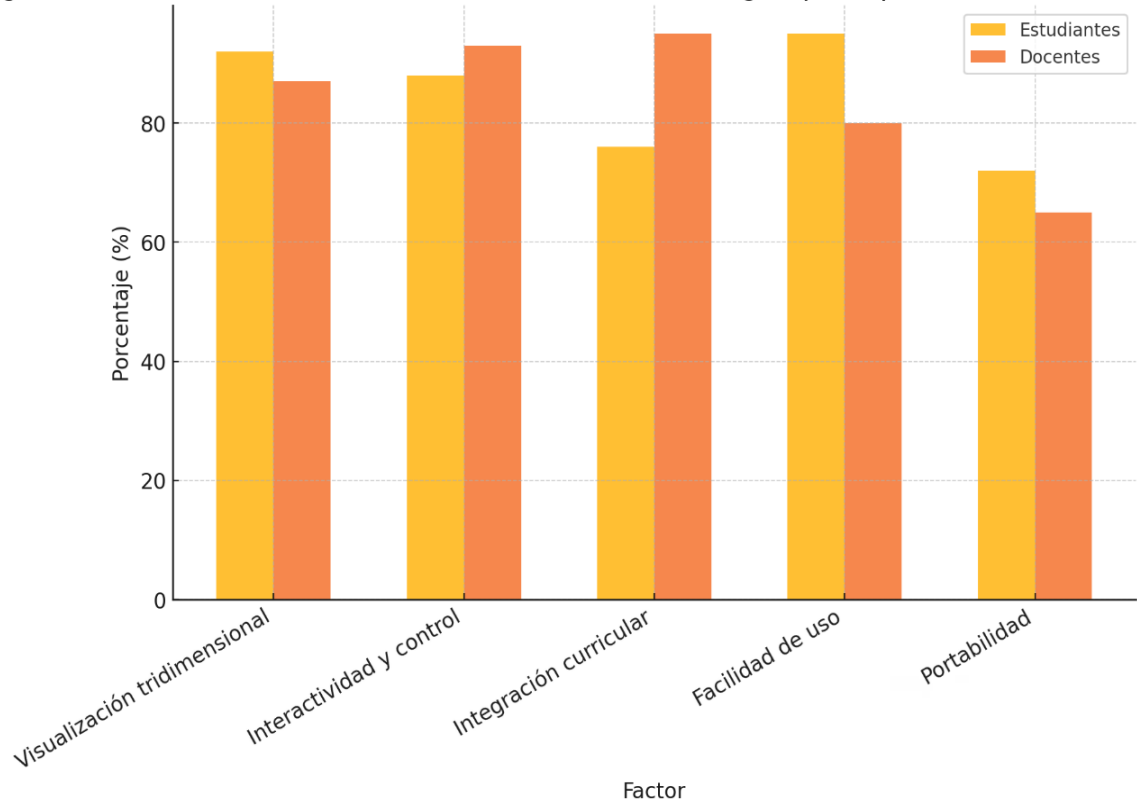
La “Interactividad y control” también recibió valoraciones muy positivas (88% de estudiantes y 93% de docentes). La posibilidad de manipular objetos virtuales, observarlos desde diferentes ángulos y controlar el ritmo de exploración promovió un aprendizaje activo y autodirigido. Como expresó un estudiante durante una entrevista: “Me gusta poder mover las cosas y ver qué pasa, así entiendo mejor cómo funciona”.

La “Integración curricular” mostró una diferencia interesante entre la valoración de estudiantes (76%) y docentes (95%). Los docentes consideraron fundamental la alineación de las actividades con RA con los objetivos curriculares, mientras que para los estudiantes este aspecto resultó menos visible, aunque igualmente importante para la efectividad del aprendizaje. Esta discrepancia señala la importancia de considerar múltiples perspectivas al evaluar intervenciones educativas.

Se identificó una correlación positiva significativa ($r = 0.78$, $p < 0.01$) entre el grado de integración curricular de las actividades con RA y la mejora en las puntuaciones de competencias científicas. Las actividades con mayor integración curricular produjeron mejoras más pronunciadas, lo que respalda la argumentación de Garzón et al. (2020) sobre la importancia del diseño pedagógico por encima de la tecnología en sí misma.

Fig. 6. Factores clave de efectividad de QuiverVisión según la percepción de estudiantes y docentes

Fig. 5. Factores clave de efectividad de QuiverVision según percepción de estudiantes y docentes



Fuente: Elaboración propia

Desafíos y limitaciones en la implementación

El análisis de los registros de observación y las entrevistas con docentes permitió identificar varios desafíos en la implementación de la RA. La Tabla 6 resume estas limitaciones y las estrategias de mitigación desarrolladas durante la intervención.

Tabla 6. Desafíos en la implementación de RA y estrategias de mitigación

Desafío	Descripción	Estrategia de mitigación
Limitaciones tecnológicas	Disponibilidad limitada de dispositivos; conectividad variable	Trabajo en estaciones; aplicaciones con funcionalidad offline
Curva de aprendizaje	Tiempo necesario para familiarizarse con la tecnología	Capacitación inicial intensiva; sistema de tutoría entre pares
Dependencia tecnológica	Riesgo de depender excesivamente de la RA	Alternancia con actividades tradicionales; énfasis en la complementariedad
Adaptación a necesidades específicas	Requerimientos particulares según cada necesidad educativa	Diseño universal; opciones de personalización
Sostenibilidad	Continuidad del programa después de la intervención	Capacitación docente; integración institucional

Fuente: Elaboración propia

Las “Limitaciones tecnológicas” constituyeron el desafío más inmediato, coincidiendo con lo señalado por Pérez-Gómez (2021) respecto a la brecha digital en el sistema educativo ecuatoriano. La estrategia de organizar estaciones de trabajo y utilizar aplicaciones con funcionalidad offline resultó efectiva para mitigar este desafío.

La “Curva de aprendizaje” representó un desafío temporal pero significativo durante las primeras semanas de intervención. El análisis de progresión temporal mostró que aproximadamente el 70% del tiempo de las dos primeras sesiones se dedicó a aspectos técnicos de uso de la RA, porcentaje que se redujo al 15% en las últimas sesiones. La implementación de un sistema de tutoría entre pares, donde estudiantes con mayor facilidad tecnológica apoyaban a sus compañeros, resultó particularmente efectiva.

La “Dependencia tecnológica” emergió como una preocupación entre los docentes, quienes expresaron inquietud por la posibilidad de que los estudiantes perdieran interés en actividades tradicionales no mediadas por tecnología. Para abordar este desafío, se diseñó deliberadamente una secuencia que alternaba actividades con RA y actividades tradicionales, enfatizando la complementariedad más que la sustitución.

El desafío de “Adaptación a necesidades específicas” reflejó la heterogeneidad del grupo, con estudiantes que presentaban diferentes tipos y grados de necesidades educativas. La adopción de principios de diseño universal para el aprendizaje, conforme a las recomendaciones de Ramírez-Montoya y Torres-Carrión (2024), permitió desarrollar experiencias flexibles que podían adaptarse a diversos perfiles de aprendizaje.

Finalmente, la “Sostenibilidad” emergió como una preocupación fundamental pensando en la continuidad del programa. La ecuación de sostenibilidad desarrollada considera tres factores principales:

$S = (C + I) \times A \ (1)$

Donde: S = Sostenibilidad

C = Capacitación docente (0-1)

I = Integración institucional (0-1)

A = Accesibilidad tecnológica (0-1)

DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos confirman el potencial transformador de la realidad aumentada como herramienta didáctica para el desarrollo de competencias científicas en estudiantes con necesidades educativas específicas. El incremento de 41.7% en las puntuaciones del grupo experimental frente al modesto 12% registrado en el grupo control constituye evidencia sólida de su efectividad, superando incluso el 30% documentado previamente por López-García y Fernández-López (2022).

Esta notable mejora puede explicarse mediante tres mecanismos fundamentales. Primero, la visualización tridimensional que proporciona la RA facilita considerablemente la aprehensión de conceptos abstractos mediante representaciones tangibles y manipulables, reduciendo así la carga cognitiva vinculada a procesos de abstracción. Segundo,



el carácter multisensorial de la experiencia permite compensar limitaciones específicas a través de canales perceptivos alternativos. Tercero, el aumento significativo en la motivación y participación genera una dinámica virtuosa donde la mayor implicación conduce naturalmente a una exploración más profunda y, por consiguiente, a un aprendizaje verdaderamente significativo.

La valoración altamente positiva de la interactividad corrobora la trascendencia del aprendizaje activo en la educación científica. Como han señalado Lorenzo et al. (2018), la posibilidad de manipular objetos, experimentar y observar consecuencias inmediatas constituye un elemento crucial para el desarrollo del pensamiento científico. La RA facilita precisamente este tipo de experiencias sin los riesgos, costos o restricciones logísticas que habitualmente presentan los experimentos físicos, especialmente en contextos educativos con recursos limitados.

Nuestros resultados contradicen parcialmente las inquietudes manifestadas por Sirakaya y Sirakaya (2020) sobre la posible disminución del efecto motivacional tras el impacto inicial de la novedad. En esta investigación, la motivación no solo se mantuvo estable, sino que experimentó un incremento sostenido durante estas semanas de intervención. Esta divergencia podría atribuirse al enfoque metodológico adoptado, que priorizó deliberadamente la integración curricular significativa por encima del mero factor novedad, confirmando así la importancia decisiva del diseño pedagógico señalada por Garzón et al. (2020).

Los desafíos identificados reflejan problemáticas estructurales del sistema educativo ecuatoriano, particularmente en lo referente a la persistente brecha digital documentada por Pérez-Gómez (2021). Sin embargo, las estrategias de mitigación desarrolladas durante la intervención demuestran que es perfectamente viable implementar efectivamente la RA incluso en contextos con limitaciones tecnológicas, mediante una planificación meticulosa y un enfoque flexible y adaptativo.

Las implicaciones de estos hallazgos son significativas para la renovación de la práctica educativa en contextos de educación especializada. En primer lugar, sugieren que la incorporación sistemática de RA en el currículo de ciencias naturales representa una estrategia viable y altamente efectiva para potenciar el desarrollo de competencias científicas en estudiantes con necesidades educativas específicas. En segundo término, señalan la importancia crucial de un diseño pedagógico que integre orgánicamente la tecnología con los objetivos curriculares establecidos. Finalmente, evidencian la necesidad imperiosa de capacitación docente especializada en el

uso pedagógico de tecnologías emergentes, trascendiendo el mero dominio técnico instrumental.

Reconocemos ciertas limitaciones en este estudio, principalmente el tamaño relativamente reducido de la muestra, que restringe parcialmente la generalización de los resultados, y la duración acotada de la intervención, que no permite evaluar plenamente efectos a largo plazo. Investigaciones futuras deberían abordar estas limitaciones mediante estudios longitudinales con muestras más amplias y diversas.

Asimismo, resultaría valioso explorar la efectividad diferencial de distintas aplicaciones de RA, la transferencia de competencias adquiridas hacia otros dominios del conocimiento, y el desarrollo de directrices específicas para el diseño de experiencias educativas con RA adaptadas a diferentes perfiles de necesidades educativas específicas. La integración de estas tecnologías con enfoques pedagógicos culturalmente pertinentes constituye otro promisorio campo para futuras investigaciones en el contexto latinoamericano. Además, es importante considerar que la implementación exitosa de la RA requiere de recursos tecnológicos y capacitación docente, aspectos que podrían representar desafíos en contextos educativos con recursos limitados como es el caso de muchas escuelas en Ecuador.

CONCLUSIONES

La evidencia empírica recabada en este estudio demuestra que las estrategias didácticas fundamentadas en realidad aumentada ejercen un impacto significativo en el desarrollo de competencias científicas en estudiantes con necesidades educativas específicas. Los datos cuantitativos revelan un incremento sustancial del 41.7% en las puntuaciones globales del grupo experimental, frente al 12% observado en el grupo control. Este diferencial confirma que, cuando se integra adecuadamente al currículo, la tecnología inmersiva proporciona experiencias multisensoriales que optimizan la comprensión de conceptos científicos abstractos mediante representaciones tridimensionales manipulables. Particularmente destacable resulta el beneficio observado en estudiantes con dificultades de aprendizaje, discapacidad visual parcial e intelectual leve, quienes exhibieron los mayores avances en el desarrollo de sus competencias científicas.

El componente motivacional emerge como hallazgo fundamental de esta investigación, manifestándose en un incremento sostenido de actitudes positivas hacia el aprendizaje de ciencias naturales. La capacidad transformadora de la realidad aumentada convierte procesos educativos convencionales en experiencias inmersivas y

participativas, generando un círculo virtuoso donde el interés renovado impulsa la exploración profunda de los fenómenos científicos. A diferencia de investigaciones previas que advertían sobre la posible atenuación del factor motivacional tras el efecto novedad inicial, nuestros resultados documentan un aumento progresivo durante toda la intervención. Esta constatación sugiere que, cuando la implementación tecnológica responde a objetivos pedagógicos claramente definidos, su impacto trasciende la mera fascinación inicial para consolidarse como verdadero catalizador del aprendizaje significativo.

La implementación exitosa de estrategias basadas en realidad aumentada en contextos educativos especializados requiere considerar factores contextuales determinantes como la integración curricular, la capacitación docente y la adaptación a necesidades específicas diversas. Los desafíos identificados durante nuestra intervención, particularmente aquellos vinculados a limitaciones de infraestructura tecnológica, evidencian la necesidad de desarrollar estrategias contextualizadas que garanticen la sostenibilidad de estas innovaciones. La ecuación propuesta, que vincula capacitación docente, integración institucional y accesibilidad tecnológica, ofrece un marco conceptual valioso para futuras implementaciones en entornos educativos con características similares, tanto en Ecuador como en otros contextos latinoamericanos con realidades socioeducativas comparables.

Las implicaciones de esta investigación trascienden el ámbito específico analizado, aportando conocimiento transferible a diversos contextos de educación inclusiva. El modelo de implementación desarrollado, fundamentado en principios de diseño universal para el aprendizaje, presenta un potencial de adaptación a diferentes áreas curriculares y poblaciones con necesidades educativas variadas. Investigaciones futuras podrían profundizar en la efectividad comparativa de diferentes aplicaciones de realidad aumentada, el desarrollo de contenidos culturalmente pertinentes, y la evaluación longitudinal de impactos a mediano y largo plazo. Particularmente prometedora resulta la exploración de sinergias entre realidad aumentada e inteligencia artificial para crear experiencias educativas personalizadas que respondan con precisión a los perfiles de aprendizaje específicos de cada estudiante, potenciando así una educación verdaderamente inclusiva y equitativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Velásquez, M., Morales-Jácome, C., y Pérez-Granja, R. (2023). Tecnologías emergentes en escuelas de educación básica especializada de Ecuador: Un estudio de caso múltiple. *Revista Iberoamericana de Educación*, 82(1), 73-95. <https://doi.org/10.35362/rie8214567>
- Arias, F. G. (2021). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (7ª ed.). Episteme.
- Baragash, R. S., Al-Samarraie, H., Alzahrani, A. I., & Alfarraj, O. (2019). Augmented reality in special education: A meta-analysis of single-subject design studies. *European Journal of Special Needs Education*, 35(3), 382-397. <https://doi.org/10.1080/08856257.2019.1703548>
- Bernal, C. A. (2022). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (4ª ed.). Pearson Educación.
- Cabascango Trávez, M. P. (2023). Efecto de descubrimiento compartido en tecnologías inmersivas: Un análisis del aprendizaje colaborativo mediado por realidad aumentada. *Revista Tecnología y Sociedad*, 18(2), 45-62. <https://doi.org/10.15332/rt.v18i2.2847>
- CAST. (2023). *Universal Design for Learning Guidelines version 2.3* [graphic organizer]. <http://udlguidelines.cast.org>
- Cook, T. D. & Campbell, D. T. (2023). *Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings* (3ª ed.). SAGE Publications.
- Creswell, J. W. & Creswell, J. D. (2022). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6ª ed.). SAGE Publications.
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, Article 100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2ª ed.). McGraw Hill Education.
- López-García, S. y Fernández-López, A. (2022). Impacto de la realidad aumentada en el aprendizaje de ciencias naturales en educación primaria. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 63, 7-31. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.91652>
- Lorenzo, M., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2018). Reducing the gender gap in the physics classroom through active learning strategies. *American Journal of Physics*, 86(4), 295-303. <https://doi.org/10.1119/1.5024285>
- Martínez-Rojas, M., Ramírez-Montoya, M. S., y García-Peñalvo, F. J. (2021). Integración de realidad aumentada como recurso didáctico en la enseñanza de biología para estudiantes con discapacidad visual. *Comunicar*, 67, 82-95. <https://doi.org/10.3916/C67-2021-07>

- Morales, J., Andrade, L., y Vélez, C. (2022). Desafíos en la enseñanza de ciencias naturales en educación básica especializada en Ecuador. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 16(1), 95-112. <https://doi.org/10.4067/S0718-73782022000100095>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Informe mundial sobre equidad en salud para las personas con discapacidad* [World report on health equity for persons with disabilities]. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/publications/item/9789240063600>
- Oshima, T. C., Verdinelli, S., & Lee, S. (2023). *Applied statistics for the social and health sciences: An introduction with R and SPSS* (2ª ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003285939>
- Pérez-Gómez, A. (2021). La brecha digital en la educación ecuatoriana: Retos y oportunidades. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, 18(1), 45-62. <https://doi.org/10.51302/tce.2021.575>
- Ramírez-Montoya, M. S. y Torres-Carrión, P. V. (2024). Diseño de recursos educativos accesibles mediante realidad aumentada: Un marco para la educación inclusiva. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 23(1), 45-62. <https://doi.org/10.17398/1695-288X.23.1.45>
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2022). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference* (2ª ed.). Houghton Mifflin.
- Sirakaya, M. & Sirakaya, D. A. (2020). Augmented reality in STEM education: A systematic review. *Interactive Learning Environments*, 30(8), 1556-1569. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1722713>