

REALIDAD AUMENTADA MEDIANTE MERGE CUBE PARA EL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE MITOSIS EN BACHILLERATO^a

AUGMENTED REALITY USING MERGE CUBE TO TEACH THE CONCEPT OF MITOSIS IN HIGH SCHOOL

JOSÉ MIGUEL ORELLANA CAMPOVERDE^b, WILMER ORLANDO LÓPEZ GONZÁLEZ^{c*}

Recibido 13-08-2025, aceptado 02-03-2026, versión final 26-05-2026.

Artículo Investigación

RESUMEN: La presente investigación estudia el impacto pedagógico del uso de la Realidad Aumentada (RA) a través de la herramienta Merge Cube en la enseñanza del proceso de mitosis a estudiantes de segundo de bachillerato en una unidad educativa de Chordeleg, Azuay, Ecuador. Ante la existencia de limitaciones estructurales de la institución (ausencia de laboratorios), se implementó una estrategia didáctica centrada en las tecnologías inmersivas y que, por lo tanto, pudiera hacer frente a contenidos de tipo abstracto, como la división celular. La investigación asumió un método de tipo mixto a partir del diseño preexperimental con aplicación de pretest y posttest debidamente validados por expertos. El análisis estadístico de los datos cuantitativos se realizó a partir de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk que evidenció que los datos no presentan una distribución normal. A continuación, se aplicó el test de Wilcoxon para muestras relacionadas, que permitió constatar que existen diferencias significativas en las tres dimensiones evaluadas: comprensión conceptual (de 2,67 a 2,87; $p = 0,015$), identificación de las fases mitóticas (de 3,57 a 3,89; $p = 0,003$) y aplicación del conocimiento, la cual presentó el avance más acentuado (de 0,14 a 1,89; $p < 0,001$). Paralelamente, los hallazgos cualitativos derivados de las observaciones en el aula evidenciaron un incremento de la motivación y la implicación del estudiantado frente a los contenidos abstractos.

PALABRAS CLAVE: Realidad aumentada; aprendizaje de mitosis; tecnología educativa; Merge Cube.

ABSTRACT: This research studies the pedagogical impact of using Augmented Reality (AR) through the Merge Cube tool in teaching the process of mitosis to second-year high school students at an educational institution in Chordeleg, Azuay, Ecuador. Given the structural limitations of the institution (lack of laboratories), a teaching strategy was implemented that focused on immersive technologies and could therefore address abstract content such as cell division. The research used a mixed-method approach based on a pre-experimental design with pre- and post-tests duly

^aOrellana-Campoverde, José Miguel & López-González, Wilmer Orlando (2026). Realidad aumentada mediante Merge Cube para el aprendizaje del concepto de mitosis en bachillerato. *Rev. Fac. Cienc.*, 15 (2), 26–40. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v15n2.121892>

^bMaestría en Tecnología e Innovación Educativa, Universidad Nacional de Educación (UNAE). Chuquipata, Azogues, Ecuador. jmorellana2@unae.edu.ec. ORCID: 0009-0006-4956-0676

^cCarrera Ciencias Experimentales, Universidad Nacional de Educación (UNAE). Chuquipata, Azogues, Ecuador. wilmer.lopez@unae.edu.ec. ORCID: 0000-0002-6197-8665

* Autor para correspondencia: wilmer.lopez@unae.edu.ec

validated by experts. The statistical analysis of the quantitative data was performed using the Shapiro-Wilk normality test, which showed that the data did not have a normal distribution. Next, the Wilcoxon test for related samples was applied, which confirmed that there were significant differences in the three dimensions evaluated: conceptual understanding (from 2.67 to 2.87; $p = 0.015$), identification of mitotic phases (from 3.57 to 3.89; $p = 0.003$), and application of knowledge, which showed the most pronounced improvement (from 0.14 to 1.89; $p < 0.001$). At the same time, qualitative findings derived from classroom observations revealed an increase in students' motivation and engagement with abstract content.

KEYWORDS: Augmented reality; learning about mitosis; educational technology; Merge Cube.

1. INTRODUCCIÓN

La Realidad Aumentada (RA) ha surgido como una alternativa viable en el ámbito educativo por su habilidad para entrelazar la información digital con el mundo real, generando experiencias de aprendizaje inmersivas (García González, 2023). En el contexto de las ciencias biológicas, la RA ofrece un enorme potencial transformador al proporcionar herramientas poderosas que mejoran significativamente la asimilación de conceptos complejos y la motivación del estudiantado.

En materias con altos niveles de complejidad, la RA logra solventar los problemas de los métodos tradicionales al permitir una visualización 3D interactiva y personalizada. Herramientas inmersivas como el Merge Cube proyectan representaciones tridimensionales que el estudiante puede manipular de forma tangible, facilitando la observación de fenómenos invisibles a simple vista y convirtiendo objetos físicos convencionales en recursos didácticos altamente dinámicos (González Lozano, 2021).

El aprendizaje de procesos celulares abstractos, como la mitosis en la asignatura de biología, suele representar una gran dificultad para el estudiantado de bachillerato. Esta fase esencial del ciclo celular requiere comprender etapas secuenciales (profase, metafase, anafase y telofase) y estructuras especializadas, lo cual exige un nivel cognitivo de abstracción sumamente alto (García *et al.*, 2021). Al respecto, la literatura señala que una de las concepciones alternativas más frecuentes es que los estudiantes construyen modelos mentales bidimensionales de la célula a partir de esquemas estáticos, lo que obstaculiza severamente su comprensión espacial y dinámica del proceso mitótico (López-Cortés *et al.*, 2021).

Frente a esta dificultad, la evidencia empírica reciente demuestra beneficios tangibles al integrar tecnologías inmersivas (Paredes *et al.*, 2024; Mendoza *et al.*, 2022). Un estudio de Quisaguano Caiza & Agramonte Rosell (2024) reveló que el uso de RA en la biología genera un aumento del 35 % en la retención de información y una mejora del 25 % en el desarrollo de habilidades prácticas frente a los métodos tradicionales. Además, reportaron que la motivación experimentó un incremento notable, con un 85 % de los estudiantes mostrando mayor interés y participación activa en el aula.

Específicamente en la enseñanza de la división celular mitótica, investigaciones como la de López-Cortés *et al.* (2021) implementaron aplicaciones de RA en estudiantes de secundaria con resultados reveladores. Mediante diseños preexperimentales, demostraron que la interacción con modelos 3D permite a los estudiantes transitar cognitivamente desde representaciones iniciales meramente descriptivas o icónicas, hacia explicaciones robustas con una alta carga semántica y de complejidad microscópica. Asimismo, estudios de Assimi *et al.* (2023) confirmaron que visualizar dinámicamente el comportamiento de los cromosomas en tiempo real con herramientas como Merge Cube mejora el rendimiento académico y la comprensión estructural frente a los grupos de control (Assimi *et al.*, 2023).

A pesar de esta contundente evidencia empírica, la implementación de la RA enfrenta barreras importantes, tales como la falta de infraestructura tecnológica adecuada en los centros educativos, lo cual limita su adopción generalizada, especialmente en los países de América Latina (Quisaguano Caiza & Agramonte Rosell, 2024). Además, muchos de los trabajos empíricos existentes no documentan con suficiente profundidad el impacto de estas herramientas sobre contenidos específicos del currículo (Ron & Avello, 2023); entendiendo por profundidad la evaluación rigurosa y diferenciada de la comprensión teórica, la identificación visual de los procesos y la capacidad real de transferencia a contextos biológicos aplicados.

Este vacío de investigación situada es particularmente evidente en instituciones como la Unidad Educativa del cantón Chordeleg (Azuay, Ecuador), donde el proceso de enseñanza enfrenta restricciones estructurales y carencia de laboratorios funcionales. A pesar de estas limitaciones, un porcentaje significativo de estudiantes cuenta con dispositivos móviles y acceso básico a conectividad (Villavicencio *et al.*, 2024; Kelly & Soletic, 2023), lo que abre una viabilidad concreta para el uso de RA como respuesta a la brecha educativa. En consecuencia, se parte del supuesto de que implementar RA suplirá de forma efectiva la falta de laboratorios físicos y democratizará el aprendizaje de las ciencias; una hipótesis sólidamente respaldada por estudios en el contexto ecuatoriano que avalan el impacto positivo de las tecnologías móviles inmersivas (Pico & Oviedo, 2023).

Por tanto, el objetivo principal de la presente investigación es evaluar el efecto de una intervención didáctica basada en Realidad Aumentada (Merge Cube) sobre el aprendizaje del proceso de mitosis en estudiantes de segundo de bachillerato. De manera específica, se busca medir este efecto, mitigando la sobreinterpretación causal, a través de tres variables operativas y cuantificables: 1) el nivel de comprensión conceptual de la mitosis, 2) la capacidad de identificación y descripción secuencial de las fases mitóticas, y 3) la aplicación del conocimiento en contextos biológicos reales.

2. METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, el cual combina la recolección de datos cuantitativos con elementos cualitativos, permitiendo una comprensión más integral del fenómeno educati-

vo al integrar la medición objetiva de variables con la interpretación contextual de las experiencias de los participantes (Hernández & Mendoza, 2018). La elección de este diseño preexperimental con grupo intacto se justifica en la necesidad de evaluar tanto el impacto académico cognitivo como las interacciones y reacciones que emergen durante la puesta en práctica de tecnologías inmersivas como la Realidad Aumentada (RA) en un entorno escolar real (Creswell & Plano Clark, 2018).

Para la recolección de los datos cuantitativos, se emplearon como instrumentos de medición un pretest y un posttest estandarizados. Ambos cuestionarios se estructuraron en 10 ítems de opción múltiple diseñados para evaluar las tres dimensiones de la variable dependiente: 1) comprensión conceptual, 2) identificación y descripción de fases mitóticas, y 3) aplicación del conocimiento en contextos biológicos. Por otro lado, como medida para garantizar el rigor del estudio, los instrumentos fueron sometidos a un proceso de validación de contenido; de acuerdo con (Hernández, 2002), un Coeficiente de Validez de Contenido (CVC) mayor a 0,80 se considera óptimo; en el pretest el CVC fue de 0,90 y en el posttest de 0,92.

La población de estudio estuvo conformada por 28 estudiantes de segundo de bachillerato de una unidad educativa del cantón Chordeleg, Azuay, Ecuador. La muestra se compuso por 13 mujeres y 15 hombres, con una media de edad de 16 años. En cuanto al desempeño académico previo en biología, el grupo presentaba una calificación promedio de 6,67/10. Respecto a las condiciones sociotecnológicas, se identificó que el 100 % de los estudiantes contaba con un dispositivo móvil inteligente (smartphone). Del mismo modo, el 71 % de los estudiantes contaba con conectividad propia a Internet, mientras que el 29 % restante accedió al servicio mediante conexión compartida por Hotspot móvil, garantizando así la participación de la totalidad de estudiantes.

La implementación de la intervención didáctica basada en Realidad Aumentada (RA) se desarrolló durante cuatro semanas, estructurada estratégicamente en cuatro fases secuenciales. La Fase 1 (Nivelación y Diagnóstico — Semana 1) consistió en una sesión de introducción de conocimientos previos, culminando con la aplicación presencial del pretest. Durante la Fase 2 (Inmersión Tecnológica — Semana 2), se introdujo el uso del Merge Cube (Figura 1) en el aula; los estudiantes utilizaron las cámaras de sus teléfonos móviles para enfocar los cubos físicos y activar los modelos digitales tridimensionales mediante códigos QR, integrados en el diseño del cubo. Posteriormente, en la Fase 3 (Aprendizaje Guiado e Interactivo — Semana 3 y Semana 4), la dinámica se centró en la exploración del proceso propio de la mitosis. Durante esta fase, el equipo investigador actuó como facilitador mientras que los estudiantes manipulaban, rotaban e interactuaban espacialmente con cada etapa dinámica de la mitosis (interfase, profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis), momento en el cual también se registraron las observaciones cualitativas de la experiencia. Finalmente, la Fase 4 (Evaluación de Cierre — Semana 4) consistió en la aplicación del posttest para medir objetivamente el proceso de aprendizaje del grupo.

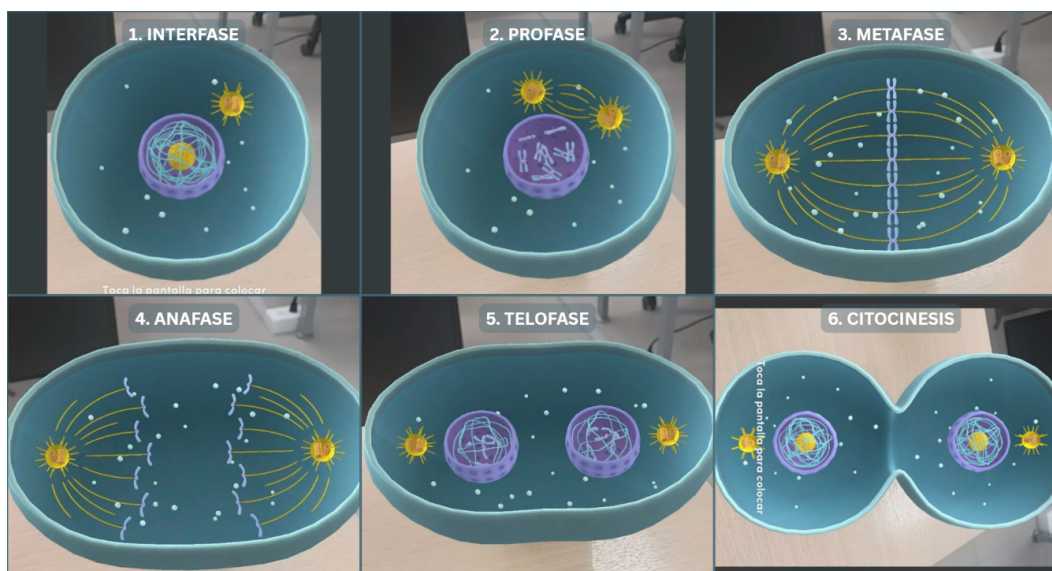


Figura 1: Representación esquemática de las etapas de la mitosis: interfase, profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis con Merge Cube. Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se muestra en la Figura 1, Merge Cube consigue proyectar una representación tridimensional en un cubo físico, simulando con realidad aumentada las fases de la mitosis. Al enfocar con la cámara del teléfono el cubo, se activan modelos digitales mediante un código QR, que pueden ser utilizados e interactuados con las manos, generando un efecto de visualización dinámica de cada etapa: interfase, profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis. Esta función convierte al objeto físico en un objeto didáctico inmersivo que puede ser explorado a partir de diferentes perspectivas, mientras se favorece la visualización cara a la progresión del proceso biológico (Bertran *et al.*, 2022).

Para evaluar estadísticamente la información obtenida, se aplicó el test de normalidad de Shapiro-Wilk, cuyos resultados indicaron que las puntuaciones en el pretest y posttest no mostraron una distribución normal. Por lo tanto, se llevó a cabo la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas, adecuada para analizar los cambios en condiciones reales sin asumir que los datos satisfacen la normalidad (Martínez & González, 2020). Esta decisión también responde a lo señalado por (Ramalle & Andrés de Llano, 2003), quien destaca la importancia de utilizar métodos robustos ante la heterogeneidad propia de los grupos escolares.

Para orientar el diseño y la implementación de la intervención educativa, se elaboró un Tabla de operacionalización de variables (Tabla 1), que permitió delimitar los componentes conceptuales evaluados, las técnicas e instrumentos empleados para medirlos. Esta herramienta metodológica facilitó la articulación entre el marco teórico y los procedimientos empíricos, asegurando la coherencia entre los objetivos de la investigación y las estrategias de recolección y análisis de datos.

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variable dependiente	Dimensiones	Pretest	Postest	Valor por ítem	Rango total
Aprendizaje del proceso de mitosis	Comprensión conceptual de la mitosis	1. ¿Qué es la mitosis? a) Un proceso digestivo celular b) La transformación de la célula en neurona c) La división celular que da origen a células hijas idénticas d) La muerte programada de la célula	1. La mitosis es un proceso que permite: a) La digestión de nutrientes b) La formación de proteínas c) La generación de células genéticamente idénticas d) La destrucción del ADN celular	1 punto	0 a 3 puntos
		2. ¿Cuál es la función principal de la mitosis en los organismos multicelulares? a) Eliminar células dañinas b) Producir células sexuales c) Permitir la regeneración y crecimiento de tejidos d) Almacenar energía celular	2. Una función esencial de la mitosis en los seres humanos es: a) Regular la temperatura corporal b) Reemplazar células dañadas en tejidos c) Producir hormonas sexuales d) Transportar oxígeno a los órganos	1 punto	
		3. ¿Qué estructuras celulares están involucradas en el proceso de mitosis? a) Lisosomas y ribosomas b) Mitocondrias y cloroplastos c) Núcleo y huso mitótico d) Retículo endoplasmático y aparato de Golgi	3. ¿Cuál de las siguientes estructuras dirige el proceso de mitosis desde el núcleo? a) Lisosoma b) Huso mitótico c) Ribosoma d) Cloroplasto	1 punto	
	Identificación y descripción de fases	4. ¿Cuál es el orden correcto de las fases de la mitosis? a) Profase, metafase, anafase, telofase b) Telofase, anafase, profase, metafase c) Anafase, metafase, telofase, profase d) Metafase, telofase, anafase, profase	4. Ordene correctamente las fases de la mitosis: a) Telofase, profase, anafase, metafase b) Metafase, telofase, profase, anafase c) Profase, metafase, anafase, telofase d) Anafase, profase, telofase, metafase	1 punto	0 a 4 puntos

Variable dependiente	Dimensiones	Pretest	Postest	Valor por ítem	Rango total
		5. ¿Qué ocurre durante la metafase? a) Los cromosomas se duplican b) Los cromosomas se alinean en el centro de la célula c) El núcleo desaparece completamente d) Las células se fusionan	5. En la metafase se puede observar que: a) Los cromosomas desaparecen b) El núcleo se divide en cuatro partes c) Los cromosomas están alineados en el ecuador celular d) Se forman vesículas alrededor del núcleo	1 punto	
		6. ¿Qué característica distingue a la anafase? a) Los cromosomas se alinean en el centro b) Las cromátidas hermanas se separan hacia polos opuestos c) Aparecen dos núcleos nuevos d) La célula entra en reposo	6. Una señal clara de la anafase es que: a) Los cromosomas se agrupan en el centro b) Las cromátidas se separan hacia los polos opuestos c) El citoplasma se divide d) El ADN se replica	1 punto	
		7. ¿Qué sucede en la telofase en una célula? a) La célula se alarga indefinidamente b) Se forma la membrana nuclear y comienza la citocinesis c) Se destruye el núcleo d) La célula muere	7. ¿Qué ocurre al finalizar la telofase? a) La célula muere b) Se inicia la replicación del ADN c) Se forman dos núcleos nuevos y empieza la citocinesis d) El núcleo desaparece	1 punto	
	Aplicación del conocimiento en contextos biológicos	8. ¿Cuál de las siguientes situaciones es resultado directo del proceso de mitosis? a) Formación de espermatozoides b) Respiración celular c) Regeneración de la piel después de una herida d) Digestión de proteínas en el estómago	8. La regeneración de la piel luego de una cortadura ocurre gracias a: a) La fotosíntesis celular b) La mitosis c) La formación de gametos d) El transporte celular	1 punto	0 a 3 puntos

Variable dependiente	Dimensiones	Pretest	Postest	Valor por ítem	Rango total
		9. Observa la imagen de una célula con cromosomas alineados en el centro. ¿En qué fase de la mitosis está? a) Profase b) Telofase c) Metafase d) Anafase	9. Observa una célula con cromátidas siendo arrastradas a polos opuestos. ¿En qué fase se encuentra? a) Anafase b) Metafase c) Telofase d) Profase	1 punto	
		10. Un estudiante se corta el dedo y su piel se regenera. ¿Qué relación tiene este fenómeno con la mitosis? a) Las células se fusionan para cerrar la herida b) Las células nuevas se originan por mitosis, reemplazando las dañadas c) La mitosis hace que la piel se vuelva inmune d) La mitosis elimina los microorganismos de la herida	10. ¿Por qué se relaciona la mitosis con el crecimiento en organismos pluricelulares? a) Porque genera energía para las células b) Porque forma nuevos tejidos celulares c) Porque transforma la glucosa en energía d) Porque destruye las células antiguas	1 punto	

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para analizar de manera integral el efecto de la intervención didáctica mediada por Realidad Aumentada (Merge Cube) sobre el aprendizaje del proceso de mitosis, se evaluó el desempeño del grupo de estudiantes en dos momentos distintos (pretest y postest). En una primera lectura general, la representación gráfica de las medias de rendimiento (Figura 2) revela un cambio notable y positivo: en el pretest existían promedios bajos que evidenciaban dificultades conceptuales profundas frente al tema abstracto de la división celular, especialmente en la transferencia práctica. En contraste, en el postest se observa un incremento generalizado en todas las áreas de evaluación, lo que sugiere un impacto favorable de las herramientas inmersivas utilizadas en el aula para la asimilación del conocimiento.

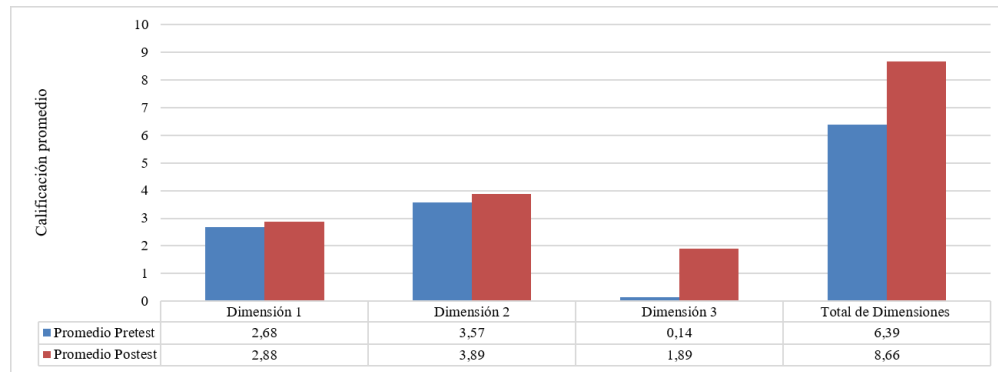


Figura 2: Calificaciones promedio por dimensión. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Análisis de normalidad y estadísticos de contraste

De forma previa al análisis inferencial, se evaluó la distribución de los datos para definir la prueba estadística pertinente. Se plantearon las siguientes hipótesis:

- H_0 : Los datos muestran una distribución normal ($p \geq 0,05$).
- H_1 : Los datos muestran una distribución no normal ($p < 0,05$).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó valores de significancia de $p < 0,001$ en todas las dimensiones y momentos de evaluación. Al ser estos valores menores a 0,05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se confirma una distribución asimétrica (Tabla 2). En consecuencia, para las comparaciones entre el pretest y posttest, se justifica la aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas. Adicionalmente, para garantizar la rigurosidad estadística y evitar sobreinterpretaciones, se calculó la magnitud del efecto mediante el coeficiente r de Wilcoxon ($r = Z/\sqrt{N}$), lo cual permite medir la relevancia práctica de los cambios observados.

Tabla 2: Pruebas de normalidad

Shapiro-Wilk			
Dimensión	Estadístico	gl	Sig.
PretestD1	0,617	28	,000
PosttestD1	0,484	28	,000
PretestD2	0,646	28	,000
PosttestD2	0,361	28	,000
PretestD3	0,366	28	,000
PosttestD3	0,809	28	,000

Esta decisión responde a lo señalado por Ramalle & Andrés de Llano (2003) y Martínez & González (2020), quienes destacan la importancia de utilizar métodos robustos ante la heterogeneidad propia de los grupos escolares y los ritmos de aprendizaje asimétricos, sin forzar los datos a encajar en un modelo simétrico idealizado.

3.2. Análisis comparativo y estadístico por dimensiones

A continuación, se presenta el análisis detallado del avance cognitivo de los estudiantes, fusionando los datos estadísticos con su respectiva fundamentación teórica para cada dimensión.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos

Dimensión	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
PretestD1	28	1,50	3,00	2,6786	0,53080
PosttestD1	28	2,00	3,00	2,8750	0,29266
PretestD2	28	2,00	4,00	3,5714	0,69007
PosttestD2	28	3,00	4,00	3,8929	0,31497
PretestD3	28	0,00	2,00	0,1429	0,44840
PosttestD3	28	1,00	3,00	1,8929	0,73733
N válido (por lista)	28				

Dimensión 1: Comprensión conceptual de la mitosis. Esta dimensión evaluó el dominio de los principios teóricos y fundacionales de la biología celular. Al analizar los datos según el Tabla 2, se constata que la media general del grupo aumentó de 2,68 a 2,88. Si bien el incremento numérico descriptivo es moderado, adquiere gran relevancia al observar que la desviación estándar se redujo de manera drástica (de 0,53 a 0,29). El estadístico de prueba Z de Wilcoxon fue de $-2,43$ con una significancia bilateral de $p = 0,015$ y un tamaño del efecto de magnitud moderada ($r = 0,32$). Al revisar cualitativamente los ítems evaluados en esta dimensión, se observó que tras la intervención los estudiantes lograron superar confusiones básicas, consolidando su capacidad para definir la mitosis como el proceso de división celular que da origen a células hijas genéticamente idénticas, y reconociendo su función principal en los organismos multicelulares. Estos resultados sugieren que el uso del *Merge Cube* contribuyó positivamente a homogeneizar y afianzar los conceptos básicos, reduciendo la dispersión del grupo. Desde una perspectiva teórica, estos hallazgos coinciden con Flores *et al.* (2023), quienes sostienen que metodologías activas y visuales ayudan a aclarar dudas y corregir ideas previas erróneas. Asimismo, tal como afirma López-Cortés *et al.* (2021), la interacción tridimensional estimula una codificación visual más profunda, lo cual es un elemento esencial en el aprendizaje de temas abstractos en ciencias biológicas, permitiendo que el cerebro retenga la información teórica con mayor precisión que al utilizar modelos bidimensionales o textos planos.

Dimensión 2: Identificación y descripción de fases. En cuanto a la capacidad para reconocer visual y secuencialmente las fases celulares de la mitosis, la media de aciertos se incrementó de 3,57 a 3,89, acom-

pañada de una notable reducción en la dispersión de los datos (desviación estándar de 0,69 a 0,31). El contraste de hipótesis reveló diferencias altamente significativas, obteniéndose un valor de $Z = -3,00$ con una significancia de $p = 0,003$, junto con una magnitud del efecto de nivel moderado-fuerte ($r = 0,40$). Esta dimensión presentaba un alto grado de dificultad técnica, ya que exigía al estudiante no solo conocer el orden secuencial correcto (profase, metafase, anafase, telofase), sino identificar eventos microscópicos específicos, como la alineación de los cromosomas en el ecuador o la separación de las cromátidas hermanas hacia los polos. El incremento de aciertos demuestra que los estudiantes superaron estas barreras. Este avance responde directamente a las exigencias visuales de la dimensión y a la capacidad de la Realidad Aumentada para representar estructuras de forma dinámica. Nasharuddin *et al.* (2021) afirman que las simulaciones inmersivas favorecen la internalización de procesos temporales; en lugar de depender de dibujos estáticos, la visualización del comportamiento de los cromosomas en tiempo real optimiza la memoria de trabajo del alumno y consolida el razonamiento estructural de las fases celulares, permitiéndoles transitar desde una descripción memorística hacia una verdadera asimilación secuencial del ciclo.

Dimensión 3: Aplicación del conocimiento en contextos biológicos. Esta dimensión exigía habilidades de razonamiento de orden superior, demandando al estudiante transferir la teoría a situaciones y problemas del mundo real. Los datos obtenidos en el Tabla 4 muestran el incremento más marcado del estudio: el promedio base saltó de apenas 0,14 en el pretest a 1,89 en el postest. El estadístico arrojó un valor de $Z = -4,71$ con $p < 0,001$, evidenciando una diferencia muy altamente significativa, acompañada de un tamaño de efecto estadísticamente grande ($r = 0,63$). Al examinar las respuestas de los estudiantes, se evidenció que en el pretest presentaban un vacío cognitivo casi total al intentar vincular la mitosis con fenómenos funcionales como la regeneración de la piel tras una herida, o la interpretación de micrografías de células. Tras el uso del *Merge Cube*, lograron establecer estas correlaciones. Sin embargo, paradójicamente, la dispersión de datos creció (desviación estándar de 0,45 a 0,74). Este aumento en la variabilidad revela un fenómeno didáctico crucial: la transferencia de conocimientos abstractos a escenarios funcionales presenta ritmos asimétricos según el perfil cognitivo de cada estudiante. Faria & Lobato (2024) advierten que, si bien las tecnologías emergentes generan un alto interés y funcionan como un puente excelente entre lo conceptual y lo aplicado (Romero & Canjura, 2025), su efectividad puede verse limitada si no existe un andamiaje pedagógico continuo. Es decir, las habilidades de orden superior de esta dimensión requieren un acompañamiento docente diferenciado, confirmando que la tecnología no sustituye la mediación pedagógica al momento de transferir el conocimiento a contextos biológicos complejos.

Tabla 4: Estadísticos de prueba

	PostestD1 – PretestD1	PostestD2 – PretestD2	PostestD3 – PretestD3
Z	-2,428 ^b	-3,000 ^b	-4,714 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	0,015	0,003	0,000

^a Prueba de rangos con signo de Wilcoxon. ^b Se basa en rangos negativos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten concluir que la integración de la Realidad Aumentada (Merge Cube) tuvo un efecto positivo y significativo en el aprendizaje de la mitosis dentro de la muestra estudiada, mitigando las dificultades asociadas a la falta de laboratorios físicos. Cuantitativamente, los datos evidenciaron mejoras estadísticamente significativas en las tres dimensiones evaluadas: la comprensión conceptual básica, la identificación secuencial de las fases mitóticas y la aplicación del conocimiento en contextos biológicos. De forma complementaria, las observaciones cualitativas en el aula constataron que la interacción con representaciones tridimensionales dinámicas incrementó la motivación intrínseca, el cuestionamiento científico y el trabajo colaborativo del estudiantado, transformando un contenido tradicionalmente abstracto en una experiencia de aprendizaje tangible.

Por otro lado, los datos estadísticos reflejaron un aumento en la dispersión al evaluar la transferencia de conocimientos a situaciones reales (Dimensión 3), lo que evidencia que el alumnado no progresa a un ritmo homogéneo frente a tareas de alta exigencia cognitiva. En consecuencia, se concluye que el uso de tecnologías inmersivas no garantiza por sí solo un aprendizaje profundo de forma automática; su efectividad pedagógica depende ineludiblemente de una mediación docente activa y de un andamiaje personalizado que guíe al estudiante. Finalmente, los hallazgos de este trabajo sugieren que las herramientas de Realidad Aumentada accesibles desde dispositivos móviles constituyen un recurso didáctico altamente viable para innovar en la enseñanza de las ciencias, en entornos educativos locales con recursos de infraestructura limitados.

Contribución de los autores

José Miguel Orellana Campoverde: Redacción del planteamiento del problema, revisión sistemática de la literatura, recogida y análisis de los datos e información, modelización de la realidad aumentada de la mitosis.

Wilmer Orlando López González: Planteamiento del problema, revisión sistemática de la literatura, redacción general del manuscrito, diseño de la metodología, análisis y discusión de los resultados.

Referencias

- Aguilar, F., Flores, J. A. & Pacheco, D. (2023). Perspectiva tecno-pedagógica de la realidad aumentada en la educación. *Investigación y Ciencia*, 31(90), 1–13. <https://www.redalyc.org/journal/674/67477641010/>
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2002). *Biología molecular de la célula* (4.^a ed.). Garland Science.

- Aquino, E., Avalos, A. & Avello Martínez, R. (2023). Uso de la realidad aumentada para mejorar la motivación en la asignatura de ciencias naturales. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(3), 1377–1386. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i3.1165>
- Assimi, E., Boubih, S., El Hammoumi, S., Zerhane, R. & Janati-Idrissi, R. (2023). The integration of augmented and virtual reality in cell biology courses as a pedagogical innovation in the training of life and earth sciences teachers. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 14(5), 85–96. <https://doi.org/10.47750/jett.2023.14.05.013>
- Balbinotti, A. (2004). Estou Testando o que Imagino Estar? Reflexões acerca da Validade dos Testes Psicológicos. En C. E. Vaz y R. L. Graff (Eds.), *Técnicas Projetivas: Produtividade em Pesquisa* (pp. 6–22). Casa do Psicólogo. São Paulo.
- Bertran, A., Hernández, A. & Seinfeld, S. (2022). Merge Cube y Realidad Aumentada: una propuesta didáctica para la enseñanza de Tecnología y Digitalización en primer curso de Educación Secundaria Obligatoria. En D. Cobos Sanchiz *et al.* (Coords.), *Educación para transformar: Innovación pedagógica, calidad y TIC en contextos formativos* (pp. 3255–3269). ISBN 978-84-1122-469-7.
- Calderón Zambrano, R. L., Yáñez Romero, M. E., Dávila Dávila, K. E. & Beltrán Balarezo, C. E. (2023). Realidad virtual y aumentada en la educación superior: experiencias inmersivas para el aprendizaje profundo. *Religión. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 8(37), e2301088. <https://doi.org/10.46652/rgn.v8i37.1088>
- Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Faria, A. & Lobato, G. (2024). The Effect of Augmented Reality on Learning Meiosis via Guided Inquiry and Pecha Kucha: A Quasi-Experimental Design. *Information*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/info15090566>
- Flores, E., García, J. & Guillecatanda, K. (2023). Metodología didáctica en el proceso de enseñanza y aprendizaje de mitosis y meiosis. *South Florida Journal of Development*, 4(2), 791–799. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n2-014>
- García, M., Segovia, Y., Gómez, M., Sempere, M., Peinado, P. & Romero Rameta, A. (2021). Dificultades en el aprendizaje de la Biología Celular según la opinión del alumnado. Universidad de Alicante. <https://ice.ua.es/es/jornadas-redes-2015/documentos/tema-3/410693.pdf>
- García González, A. (2023). *Desarrollo de aplicación móvil de tecnología de realidad aumentada para potenciar la educación en la biología celular* [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional BUAP. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstreams/875c06a7-c830-4709-81d5-4d0bc27c0aed/download>

- González Lozano, M. (2021). MERGE cube: un cubo que nos acerca a la realidad. *Observatorio de tecnología educativa*, (73), 2–7. https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/observatorio-de-tecnologia-educativa-no-73-merge-cube-un-cubo-que-nos-acerca-a-la-realidad_177279/
- Gravetter, F. & Wallnau, L. (2014). *Essentials of statistics for the behavioral sciences* (8th ed.). Wadsworth.
- Guerrero Perales, C. (2024). *Estrategias didácticas en Biología Molecular y Celular: Un enfoque práctico para 4º de ESO* [Trabajo de Fin de Máster]. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/152353/files/TAZ-TFM-2024-1421.pdf>
- Hernández, R. A. (2002). *Contributions to Statistical Analysis*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Hernández, R. & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Ismail, S., Noor, M. & Syofian, N. S. (2024). Learning mitosis and meiosis: Mobile learning application for Form 4 students. En *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 540, pp. 317–326). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62656-2_28
- Karp, G. (1998). *Biología celular y molecular*. McGraw-Hill Interamericana.
- Kelly, V. & Soletic, Á. (2023). *Políticas digitales en educación en América Latina: Tendencias emergentes en contexto de pandemia y perspectivas de futuro*. UNICEF & UNESCO. <https://www.unicef.org/lac/informes/politicas-digitales-educacion-america-latina-tendencias-emergentes>
- López-Cortés, F., Ravanal Moreno, E., Palma Rojas, C. & Merino Rubilar, C. (2021). Representaciones de estudiantes de educación secundaria sobre la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 62, 7–37. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.84491>
- Martínez, J. (2011). Métodos de investigación cualitativa. *Research Journal Silogismo*, 1(8). <http://www.cide.edu.co/ojs/index.php/silogismo/article/view/64/53>
- Martínez, M. A. & González, M. T. (2020). *Estadística aplicada a la investigación educativa*. Editorial Síntesis.
- Mendoza, D., Hinostroza, E., Paredes, A. & Sanango, C. (2022). La realidad aumentada en la enseñanza y aprendizaje de la biología y química universitaria: una revisión sistemática. *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, 3(8), 1–16.
- Nasharuddin, N., Khalid, N. & Hussin, M. (2021). InCell VR: A virtual reality-based application on human cell division for mobile learning. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(2), 55–71. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i02.18049>

- Occelli, M., Garcia, L., Valeiras, N. & Willging, P. A. (2021). Animar la división celular (mitosis): una propuesta didáctica con la técnica de slowmation. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 398–409. <https://www.redalyc.org/pdf/920/92050579008.pdf>
- Paredes, D., Mero, J., Vera, J. & Barahona, R. (2024). La realidad virtual y realidad aumentada en la educación. *Sinergia Académica*, 7(3), 122–134.
- Pedrosa, I., Suárez, J. & García, E. (2013). Evidencias sobre la validez de contenido: avances teóricos y métodos para su estimación. *Acción Psicológica*, 10(2), 3–18. <http://dx.doi.org/10.5944/ap.10.2.11820>
- Pico, A. & Oviedo, M. (2023). Application of ICT in the teaching-learning process of Biology in secondary education. *Minerva*, 4(10), 49–55. <https://doi.org/10.47460/minerva.v4i10.95>
- Piza, N., Amaiquema, F. & Beltrán, G. (2019). Métodos y técnicas en la investigación cualitativa. Algunas precisiones necesarias. *Conrado*, 15(70), 118–126. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/1162>
- Quisaguano Caiza, Y. E. & Agramonte Rosell, R. (2024). Innovación Didáctica en Ciencias Biológicas: Realidad Aumentada en Entornos Contextualizados. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 4(4), 592–612. <https://doi.org/10.61384/r.c.a..v4i4.693>
- Ramalle, E. & Andrés de Llano, J. M. (2003). Utilización de métodos robustos en la estadística inferencial. *Atención Primaria*, 32(3), 177–182. <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-utilizacion-metodos-robustos-estadistica-inferencial-13049898>
- Rekalde, I., Vizcarra, M. & Macazaga, A. M. (2014). La observación como estrategia de investigación para construir contextos de aprendizaje y fomentar procesos participativos. *Educación XXI*, 17(1), 199–220. <https://www.redalyc.org/pdf/706/70629509009.pdf>
- Romero, R. & Canjura, J. (2025). Uso de simuladores de realidad virtual para el aprendizaje del ciclo celular: Una innovación para la enseñanza de la biología. *Transdigital*, 6(11). <https://doi.org/10.56162/transdigital408>
- Ron, X. & Avello, R. (2023). Percepción de los estudiantes sobre la realidad aumentada como recurso didáctico para el aprendizaje de Ciencias Naturales. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(3), 1394 - 1410. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9586403.pdf>
- Villavicencio, M., Bowen, M., Jurado, M & Roger, I. (2024). La brecha digital en la educación de los estudiantes: Factores determinantes, consecuencias educativas y propuestas para su mitigación. *MQRInvestigar*, 8(4), 6641-6673. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.4.2024.6641-6673>