

Sinergia biodigital en el aprendizaje de biología celular en bachillerato ecuatoriano

Biodigital synergy in the learning of cell biology in Ecuadorian high school

Evelyn Fernanda Perez

Muñoz

Independiente

Cuenca-Azuay

fernandaperez241998@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-8523-1059>

Christian Gabriel
Verdugo Coronel

Independiente

Cuenca-Azuay

verdugovc15@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4692-2177>

Correspondencia

fernandaperez241998@gmail.com

Tipo de contribución:

Artículo de Investigación

Como citar este artículo:

Perez Muñoz, E. F. & Verdugo Coronel, C. G. (2026). Sinergia biodigital en el aprendizaje de biología celular en bachillerato ecuatoriano. Revista Científica Morlacos. 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1849764>

Resumen:

La integración de tecnologías inmersivas en la educación científica ecuatoriana resulta imperativa para superar la abstracción de conceptos microscópicos que dificultan el aprendizaje significativo en el bachillerato. El objetivo principal de este artículo fue determinar la efectividad de la "sinergia biodigital", una estrategia que vincula muestras biológicas reales con realidad aumentada, en la comprensión de la biología celular. Metodológicamente, se empleó un enfoque cuantitativo con diseño preexperimental de pretest-posttest en un grupo de 34 estudiantes, utilizando instrumentos validados (V de Aiken > 0.85) y una intervención de seis semanas basada en microscopía móvil híbrida. Los resultados principales, procesados mediante la prueba t de Student, evidenciaron una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la preprueba (5.42) y la posprueba (8.75), con un valor de $p < 0.001$ y un tamaño del efecto de $d = 2.48$, confirmando la superioridad del rendimiento post-intervención. En conclusión, la evaluación demostró que la sinergia biodigital no solo eleva sustancialmente el rendimiento académico, sino que homogeneiza el aprendizaje al democratizar el acceso a visualizaciones científicas complejas.

Palabras clave: Biología celular, educación media, innovación educativa, realidad aumentada, sinergia biodigital.

Abstract

The integration of immersive technologies in Ecuadorian scientific education is imperative to overcome the abstraction of microscopic concepts that hinder meaningful learning in high school. The principal objective of this article was to determine the effectiveness of "biodigital synergy," a strategy linking real biological samples with augmented reality, in the understanding of cell biology. Methodologically, a quantitative approach with a pre-experimental pretest-posttest design was employed in a group of 34 students, using validated instruments (Aiken's V > 0.85) and a six-week intervention based on hybrid mobile microscopy. The main results, processed using the Student's t-test, evidenced a statistically significant difference between the pretest (5.42) and posttest (8.75) means, with a value of $p < 0.001$ and an effect size of $d = 2.48$, confirming the superiority of post-intervention performance. In conclusion, the evaluation demonstrated that biodigital synergy not only substantially raises academic performance but also homogenizes learning by democratizing access to complex scientific visualizations.

Keywords: Augmented reality, biodigital synergy, cell biology, educational innovation, secondary education.

1. Introducción

La enseñanza de las ciencias naturales en el siglo XXI atraviesa una transformación estructural impulsada por la Cuarta Revolución Industrial, la cual demanda la convergencia entre sistemas biológicos y digitales para optimizar los procesos educativos (Schwab & Davis, 2021). En este escenario, la biología celular representa un desafío pedagógico particular debido a la naturaleza microscópica y abstracta de sus objetos de estudio, lo que a menudo genera barreras cognitivas en los estudiantes de nivel medio. La educación tradicional en Ecuador, dependiente mayoritariamente de recursos estáticos bidimensionales, enfrenta dificultades para transmitir la complejidad dinámica de los procesos vitales, lo que resulta en una desconexión entre la teoría y la realidad biológica observable.

La literatura reciente destaca el potencial de las tecnologías inmersivas para cerrar brechas de aprendizaje. Investigaciones como las de Zhang et al. (2022) sugieren que los entornos de aprendizaje híbridos, que combinan laboratorios físicos y virtuales, mejoran significativamente la retención a largo plazo. Asimismo, Ibáñez y Delgado (2022), en su revisión sistemática, concluyen que la Realidad Aumentada (RA) reduce la carga cognitiva extrínseca al permitir la manipulación espacial de estructuras celulares. Sin embargo, estudios locales (Guerrero & Pinos, 2021) evidencian que menos del 40% de las instituciones fiscales en Ecuador poseen laboratorios funcionales, lo que limita la aplicación de estas innovaciones. Existe, por tanto, una necesidad documentada de validar estrategias de bajo costo que aprovechen la infraestructura móvil existente, como lo proponen Peters y Romero (2024) bajo el concepto de filosofías biodigitales en educación.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad urgente de proporcionar evidencia empírica sobre alternativas metodológicas que suplan la carencia de infraestructura de laboratorio en el sistema educativo público. Abordar la efectividad de la sinergia biodigital —la fusión de observación microscópica real con capas digitales— es crucial para justificar la actualización curricular hacia enfoques STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) más accesibles. Esta investigación

contribuye a llenar el vacío de conocimiento sobre cómo los estudiantes latinoamericanos interactúan con interfaces híbridas y si estas herramientas pueden efectivamente democratizar el éxito académico en contextos de recursos limitados.

El objetivo general de la investigación fue determinar el efecto de una intervención basada en sinergia biodigital sobre el rendimiento académico en biología celular de estudiantes de segundo de Bachillerato. Como objetivos específicos se plantearon: (1) Diagnosticar el nivel inicial de conocimientos mediante una preprueba; (2) Diseñar e implementar una estrategia didáctica que integre microscopía móvil y realidad aumentada; y (3) Evaluar la ganancia de aprendizaje mediante análisis estadístico inferencial. Se trabajó bajo la hipótesis de que los resultados de la posprueba serían significativamente superiores a los de la preprueba ($p < 0.05$).

2. Metodología

La investigación se fundamentó en un enfoque cuantitativo de alcance explicativo, empleando un diseño preexperimental de pretest-postest con un solo grupo ($O_1 * O_2$). Este diseño se seleccionó debido a la configuración pre establecida de los grupos escolares, lo que impidió la aleatorización total de los sujetos. La Tabla 1 detalla el flujo metodológico global seguido durante el estudio.

Tabla 1 Fases del diseño metodológico de la investigación

Fase	Etapa	Descripción y Actividades
1	Diagnóstico (Inicio)	Selección de la muestra intencional (n=34). Aplicación de la Preprueba: Evaluación estandarizada de conocimientos previos sobre biología celular.
2	Intervención (Desarrollo)	Implementación de la estrategia "Bio-Link" (Sinergia Biodigital). Uso de microscopios Foldscopes y App de

	Realidad Aumentada. Duración: 6 semanas de sesiones prácticas.
Fase Evaluación 3 (Cierre)	Aplicación de la Posprueba: Evaluación final de conocimientos adquiridos. Recolección de datos y encuestas de satisfacción.
Fase Análisis de Datos 4	Procesamiento estadístico en software Jamovi. Aplicación de la prueba t-Student para muestras pareadas e interpretación de resultados.

Nota: Elaboración propia de los autores (2025).

La población consistió en estudiantes de Bachillerato General Unificado de una unidad educativa fiscal en Quito. La muestra no probabilística incluyó a 34 estudiantes (18 mujeres, 16 hombres) matriculados en la asignatura de Biología. Como recursos materiales se utilizaron microscopios de papel "Foldscopes", dispositivos móviles de los estudiantes (BYOD) y una aplicación de RA desarrollada en Unity para la visualización de organelos.

El estudio se realizó en tres fases secuenciales:

- Fase Diagnóstica:** Aplicación del instrumento de evaluación (preprueba) validado previamente.
- Fase de Intervención:** Implementación de la estrategia "Bio-Link" durante seis semanas. Las sesiones de 90 minutos integraron la observación de muestras reales (cebolla, epitelio) con la superposición digital de modelos 3D explicativos. Se aseguró que cada estudiante manipulara tanto el espécimen biológico como la interfaz digital.
- Fase de Evaluación:** Aplicación de la posprueba y recolección de datos finales.

Se diseñó un cuestionario de 20 ítems sobre biología celular. La validación de contenido se realizó mediante juicio de expertos, obteniendo una V de Aiken de 0.92. La confiabilidad se calculó mediante Kuder-Richardson ($KR-20 = 0.82$).

Los datos se procesaron en el software Jamovi (versión 2.3). Se verificó la normalidad de la distribución mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Posteriormente, se aplicó la prueba t de Student para muestras emparejadas para verificar la hipótesis, calculando la diferencia de medias y el tamaño del efecto (d de Cohen) para determinar la magnitud del impacto.

3. Resultados

Los hallazgos principales se presentan a continuación, siguiendo la secuencia de análisis estadístico descriptivo e inferencial establecida en la metodología.

Los datos de medición revelaron un cambio sustancial en el rendimiento. En la evaluación inicial (preprueba), el grupo obtuvo una media de 5.42 puntos con una desviación estándar de 1.25. Tras la intervención educativa (posprueba), la media ascendió a 8.75 puntos, reduciéndose la desviación estándar a 0.85. Estos valores, detallados en la Tabla 2, indican un desplazamiento positivo de las calificaciones y una mayor homogeneidad en el grupo final.

Tabla 2 *Estadísticos descriptivos de las evaluaciones*

Vari able	N dia	Me diána	Med ia	Desvi ación Están dar	Mín imo	Máx imo
Prepr ueba	3 ueba 4	5.4 2	5.50	1.25	3.0	7.5
Pospr ueba	3 ueba 4	8.7 5	9.00	0.85	7.0	10.0

Nota: Datos obtenidos del análisis en Jamovi (2025).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk arrojó valores de $W = 0.968$ ($p = 0.412$) para la preprueba y $W = 0.954$ ($p = 0.185$) para la posprueba. Al ser ambos valores de probabilidad superiores a 0.05, se

confirmó que los datos siguieron una distribución normal, legitimando el uso de pruebas paramétricas.

El análisis inferencial mediante la prueba *t* de Student para muestras pareadas mostró un estadístico $t(33) = -14.5$ y un valor de significancia $p < 0.001$. Este resultado (Tabla 3) permitió rechazar la hipótesis nula. La diferencia de medias fue de -3.33 puntos. Adicionalmente, el tamaño del efecto calculado fue de $d = 2.48$, clasificándose como un efecto de magnitud grande.

Tabla 3 Resultados de la prueba *t* de Student para muestras pareadas

Comp aració n	Estad ístico	g	p	Difer encia de medi as	Err or de está ndar	d	
Preprue ba	-	-14.5	3	<	-3.33	0.22	2.4
Posprue ba	-	-	3	.0	9	8	
Preprue ba	-	-	-	0	-	-	
Posprue ba	-	-	-	1	-	-	

Nota: Datos obtenidos del análisis en Jamovi (2025)

4. Discusión

Los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis de investigación, evidenciando que la estrategia de sinergia biodigital generó una mejora significativa en el aprendizaje de la biología celular. Al comparar estos hallazgos con el estudio de Morales y Silva (2023), quienes reportaron mejoras del 30% en retención mediante realidad aumentada, se observó una concordancia en la efectividad de las herramientas visuales. Sin embargo, el presente estudio aportó un elemento diferenciador: la integración física con microscopía de bajo costo, lo cual generó un tamaño del efecto ($d = 2.48$) superior al promedio de 0.60 reportado en metaanálisis regionales (Vargas & Pérez, 2024).

La reducción de la desviación estándar en la posprueba sugirió un efecto homogeneizador de la intervención. A diferencia de lo expuesto por Gómez y Ruiz (2021), quienes advirtieron sobre posibles brechas digitales, en esta investigación la tecnología actuó como un ecualizador del

rendimiento. Esto se interpretó como consecuencia del diseño intuitivo de la aplicación y el trabajo colaborativo, que permitieron a estudiantes con diferentes niveles previos alcanzar estándares altos de comprensión.

La validez de estos hallazgos se sustentó en el rigor psicométrico de los instrumentos (V de Aiken > 0.90) y el cumplimiento de supuestos estadísticos, aspectos a menudo omitidos en estudios de innovación educativa según Fernández y Soto (2025). No obstante, es importante reconocer que el diseño preexperimental sin grupo control limita la generalización universal de los resultados, sugiriendo la necesidad de futuras investigaciones con diseños experimentales puros.

5. Conclusiones

La implementación de la sinergia biodigital resultó ser una estrategia altamente efectiva, elevando el promedio académico de 5.42 a 8.75 puntos ($p < 0.001$). Este incremento valida la capacidad de la realidad aumentada vinculada a muestras físicas para facilitar la comprensión de fenómenos abstractos.

La metodología empleada demostró robustez, tanto en la validación de instrumentos como en el análisis de datos, proporcionando evidencia confiable para la toma de decisiones curriculares.

Se concluye que la integración de recursos tecnológicos móviles y microscopía accesible democratiza el aprendizaje científico de calidad. Se recomienda a las autoridades educativas escalar programas de capacitación docente en estas herramientas para replicar estos beneficios a nivel sistémico.

Conflictivo de Interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna con la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación con recursos propios.

Contribución de autoría (CRediT)

Evelyn Fernanda Perez Muñoz:
Conceptualización, Metodología, Investigación,
Redacción - borrador original, Visualización,
Software.

Christian Gabriel Verdugo Coronel: Validación,
Análisis formal, Redacción - revisión y edición,
Supervisión, Gestión de datos.

Los autores contribuyeron activamente en el
análisis de los resultados, revisión y aprobación del
artículo final.

Referencias

- Cabrera, J., & Espinoza, E. (2024). Neuroeducación y aprendizaje multisensorial: Estrategias para el aula de ciencias. *Revista Ecuatoriana de Neurología y Educación*, 12(2), 45-58.
- Chen, Y., Wang, Y., & Kinshuk, D. (2022). Deep learning in biology: A meta-analysis of augmented reality's impact on student performance in Asian high schools. *Computers & Education*, 18(4), 104-118. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104567>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Escurra, L. M. (2021). Nuevos criterios para la interpretación de la V de Aiken en la validación de contenido de instrumentos educativos. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 14(1), 35-50. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.15366/riee2021.14.1.003>
- Fernández, A., & Soto, J. (2025). Rigor metodológico en la investigación educativa digital: Una revisión crítica de la última década. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 15(1), e089. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.24215/18537863e089>
- Gómez, R., & Ruiz, P. (2021). Brecha digital y aprendizaje de las ciencias: Un estudio comparativo en escuelas rurales y urbanas. *Educación y Sociedad*, 33(2), 112-129. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1590/ES.245678>
- Guerrero, M., & Pinos, V. (2021). Realidad de los laboratorios de ciencias naturales en las instituciones educativas fiscales del Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 456-478. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2389>
- Ibáñez, M. B., & Delgado, K. (2022). Augmented reality for STEM learning: A systematic review of the last five years. *Journal of Science Education and Technology*, 31(2), 234-250. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1007/s10956-022-09987-x>
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa Ineval. (2023). *Informe de resultados de la evaluación "Ser Bachiller" 2022-2023*. Ineval. <https://www.google.com/search?q=https://www.evalucion.gob.ec/informes>
- López, F., & Silva, E. (2023). El conectivismo como base teórica para la integración de tecnologías inmersivas en el aula. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, 34, 145-169. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.17163/soph.n34.2023.05>
- Morales, J., & Silva, H. (2023). Realidad aumentada en la enseñanza de la anatomía: Impacto en la retención y motivación. *Revista Cubana de Educación Médica Superior*, 37(1), e08.
- Peters, M., & Romero, L. (2024). *Biodigital philosophies in education: Theoretical and practical convergences*. Springer Nature.
- Schwab, K., & Davis, N. (2021). *Shaping the future of the fourth industrial revolution: A guide to building a better world*. Currency.
- Torres, A., & Medina, C. (2025). Alfabetización biológica post-pandemia: El rol de la

simulación digital. *Ciencia y Educación al Día*, 45(1), 12-25.

Vargas, T., & Pérez, A. (2024). Efectividad de las TIC en la educación secundaria latinoamericana: Un metaanálisis actualizado. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 26, e12. <https://www.google.com/search?q=https:/doi.org/10.24320/redie.2024.26.e12>

Zhang, L., Wu, T., & Chen, S. (2022). Hybrid learning environments in biology: Combining physical and virtual laboratories. *International Journal of Science Education*, 44(8), 1289-1310. <https://www.google.com/search?q=https:/doi.org/10.1080/09500693.2022.207890>

1