

## **USO DE SIMULADORES VIRTUALES INMERSIVOS EN EL APRENDIZAJE DE LA BIOLOGÍA CELULAR Y MOLECULAR**

### **IMMERSIVE VIRTUAL SIMULATORS FOR LEARNING IN CELL AND MOLECULAR BIOLOGY**

**Julieth Nataly Lesmes Correa**

Magíster en Administración en Salud, Bacterióloga y Laboratorista Clínica

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

[julieth.lesmes@unad.edu.co](mailto:julieth.lesmes@unad.edu.co)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6095-9024>

Nacionalidad: colombiana

#### **RESUMEN.**

En las últimas décadas, la educación en biología celular y molecular ha enfrentado el desafío de facilitar el aprendizaje de conceptos altamente abstractos y difíciles de visualizar. Los simuladores virtuales inmersivos basados en realidad virtual han surgido como herramientas innovadoras para superar esta dificultad, al permitir que los estudiantes interactúen con entornos tridimensionales que representan estructuras celulares y procesos moleculares. Este documento examina de manera ampliada el uso de estos simuladores en contextos educativos, con énfasis en la educación superior y en modalidades híbridas. Se analizan los fundamentos pedagógicos que respaldan su implementación, así como las metodologías utilizadas para evaluar su impacto. Los estudios revisados destacan diversos beneficios: incremento en la motivación y el interés de los estudiantes, mejora en la comprensión y retención de conceptos complejos y desarrollo de habilidades prácticas en ambientes simulados. También se identifican desafíos importantes para su integración generalizada, como las limitaciones tecnológicas, la necesidad de capacitación docente y los costos asociados a su uso. En conjunto, los resultados sugieren que los simuladores virtuales inmersivos

constituyen una estrategia didáctica eficaz para fortalecer el aprendizaje significativo en ciencias biológicas, al proporcionar experiencias activas, contextualizadas y centradas en el estudiante. Finalmente, se ofrecen recomendaciones para su adopción responsable en programas académicos, subrayando la importancia de acompañar la innovación tecnológica con procesos de formación pedagógica y evaluación continua del impacto en el aprendizaje.

### **Palabras Clave.**

Realidad virtual; simuladores educativos; biología celular; aprendizaje significativo; educación híbrida; tecnología educativa

### **ABSTRACT.**

In recent decades, education in cellular and molecular biology has faced the challenge of facilitating the learning of highly abstract and difficult-to-visualize concepts. Immersive virtual simulators based on virtual reality have emerged as innovative tools to overcome this difficulty by allowing students to interact with three-dimensional environments that represent cellular structures and molecular processes. This paper offers an expanded examination of the use of such simulators in educational settings, with emphasis on higher education and hybrid learning modalities. It analyzes the pedagogical foundations that support their implementation, as well as the methodologies used to evaluate their impact. The reviewed studies highlight several benefits: increased student motivation and engagement, improved understanding and retention of complex concepts, and the development of practical skills in simulated environments. Important challenges to widespread adoption are also identified, including technological limitations, the need for teacher training, and associated costs. Overall, the findings suggest that immersive virtual simulators constitute an effective didactic strategy to enhance meaningful learning in biological sciences by providing active, contextualized, and student-centered learning experiences. Finally, the paper offers recommendations for their responsible integration into academic programs, emphasizing the importance of accompanying technological innovation with pedagogical training and continuous evaluation of learning outcomes.

## **Keywords.**

Virtual reality; educational simulators; cell biology; meaningful learning; blended learning; educational technology

## **INTRODUCCIÓN.**

El aprendizaje de la biología celular y molecular tradicionalmente se ha apoyado en clases magistrales, textos especializados y prácticas de laboratorio físico. Sin embargo, muchos de los conceptos base en estas disciplinas, como la estructura tridimensional de las macromoléculas, las interacciones subcelulares o los procesos dinámicos intracelulares, resultan altamente abstractos y difíciles de visualizar para el estudiantado (Reen, Wang & Bailey, 2021). Esta dificultad ha sido ampliamente documentada y se relaciona con la naturaleza intangible del mundo molecular, su escala microscópica y la ausencia de referentes visuales o táctiles directos (Tibell & Rundgren, 2010, como se cita en Reen et al., 2021).

Frente a esta complejidad, los simuladores virtuales inmersivos han surgido como herramientas innovadoras para facilitar experiencias de aprendizaje significativas. Estas tecnologías, basadas en realidad virtual (RV) y entornos tridimensionales interactivos, permiten a los estudiantes explorar estructuras celulares desde una perspectiva interna, manipular moléculas y visualizar procesos biológicos en un entorno envolvente. A través de dispositivos como gafas de inmersión y controladores hápticos, se propicia un aprendizaje multisensorial, vinculado con el enfoque constructivista y el aprendizaje activo (Cabero-Almenara, Llorente-Cejudo & Romero-Tena, 2025). Así, los estudiantes pueden recorrer una célula, observar la disposición de los orgánulos en 360° o ensamblar visualmente una molécula de ADN, estableciendo una conexión directa entre teoría y simulación contextualizada.

Otro factor relevante es la limitada disponibilidad de laboratorios físicos completamente equipados, especialmente en contextos de educación virtual o híbrida. Las prácticas tradicionales suelen implicar altos costos en insumos, infraestructura y medidas de bioseguridad, lo que restringe su frecuencia o

profundidad (Martínez-Medina et al., 2023). En contraste, las simulaciones virtuales ofrecen una alternativa segura, accesible y repetible para reforzar la práctica experimental. Plataformas como Labster han demostrado ser eficaces en el aprendizaje autónomo de genética o bioquímica mediante simulaciones *in silico* que eliminan restricciones logísticas (HealthySimulation, 2024).

En este sentido, instituciones como la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) han implementado laboratorios virtuales inmersivos—VRLabs— como estrategia para fortalecer el aprendizaje autónomo y contextualizado en programas de ciencias naturales, especialmente en biología, química y anatomía. Estos entornos permiten a los estudiantes realizar prácticas virtuales desde sus hogares, con recursos accesibles, de bajo riesgo y con posibilidad de repetición ilimitada, en coherencia con el modelo pedagógico de educación híbrida promovido por la institución. Esta estrategia se enmarca dentro del Modelo Heutagógico UNAD 5.0, el cual promueve un aprendizaje centrado en el estudiante, apoyado en tecnologías emergentes y orientado al desarrollo de la autonomía, la autorregulación y las competencias para la vida (UNAD, 2025).

El avance y accesibilidad de tecnologías inmersivas ha incentivado su integración progresiva en programas de formación en ciencias. Cabero-Almenara et al. (2025) destacan que los dispositivos VR actuales permiten su implementación incluso en aulas convencionales y que su valor pedagógico ha sido respaldado por un creciente cuerpo de investigaciones sobre su eficacia y aceptación. Entre las líneas de investigación emergentes se incluyen la formación docente en competencias digitales inmersivas, el diseño instruccional de objetos de aprendizaje en RV y el análisis comparativo con métodos tradicionales.

En este contexto, el presente documento tiene como objetivo analizar el potencial pedagógico de los simuladores virtuales inmersivos para enriquecer el aprendizaje de la biología celular y molecular en entornos híbridos. Se abordarán aspectos como la metodología empleada en su evaluación, los resultados en términos de motivación y desempeño estudiantil, las ventajas frente a enfoques

convencionales y los desafíos para su implementación institucional. Con ello, se espera contribuir a una comprensión crítica y aplicada del uso de tecnologías inmersivas en la educación en ciencias básicas.

## **METODOLOGÍA.**

Este trabajo se enmarca en un enfoque cualitativo, de tipo documental y exploratorio, orientado al análisis crítico de fuentes académicas y casos prácticos sobre el uso de simuladores virtuales inmersivos en el aprendizaje de la biología celular y molecular en contextos de educación híbrida. Se privilegió una aproximación descriptiva que permite triangular información de diversas investigaciones previas, sin realizar recolección directa de datos en campo, en coherencia con el propósito de consolidar un working paper preparatorio.

### **Revisión bibliográfica**

Se realizó una búsqueda sistemática de literatura publicada entre 2018 y 2025, utilizando bases de datos especializadas como Scopus, Web of Science, SciELO y Google Académico. Las palabras clave se definieron tanto en español como en inglés, alineadas con tesauros académicos: realidad virtual, simuladores inmersivos, aprendizaje en biología, laboratorios virtuales, biología celular, biología molecular, y *VR in science education*. Se priorizaron estudios empíricos (experimentales o cuasi-experimentales) que evaluaran el impacto de la realidad virtual en el aprendizaje, así como revisiones sistemáticas y meta-análisis que ofrecieran una visión comprehensiva del estado del arte.

### **Selección y análisis de fuentes**

Del conjunto inicial de documentos se seleccionaron alrededor de 20 fuentes relevantes por su rigurosidad metodológica y pertinencia temática. Se incluyeron artículos en revistas indexadas, informes de proyectos de innovación educativa, actas de congresos y capítulos de libro. Cada fuente fue analizada en función de

los siguientes criterios: objetivos del estudio, nivel educativo de la población (secundaria, pregrado universitario, etc.), tipo de simulador empleado, metodología de evaluación del aprendizaje (pruebas pre/post, encuestas de percepción, rúbricas de desempeño, entre otros) y hallazgos principales.

### **Categorización temática**

Los resultados fueron organizados en categorías emergentes que facilitaron la discusión. Se agruparon hallazgos vinculados a: (1) motivación y actitud del estudiante hacia el aprendizaje, (2) comprensión conceptual y desempeño académico, y (3) desarrollo de habilidades prácticas en entornos simulados. También se identificaron desafíos recurrentes como limitaciones tecnológicas, necesidad de formación docente en el uso de tecnologías inmersivas y aspectos de diseño instruccional.

### **Estudio de caso ilustrativo**

Como ilustración, se profundizó en un caso representativo: la implementación de un simulador de realidad virtual para facilitar el aprendizaje del ciclo celular (mitosis) en una universidad salvadoreña (Romero-Pleitez & Canjura-Hernández, 2025). Este caso permitió contrastar los resultados obtenidos con contextos similares en Latinoamérica, y valorar su aplicabilidad a instituciones de educación híbrida como la UNAD.

### **Enfoque institucional y pedagógico**

El análisis se alineó con los postulados del Modelo Educativo Heutagógico UNAD 5.0, que promueve un aprendizaje autónomo, significativo y contextualizado mediante el uso de tecnologías emergentes (UNAD, 2025). Asimismo, se tuvieron en cuenta los lineamientos institucionales relacionados con los VRLabs y el uso de simuladores en asignaturas del componente práctico híbrido (UNAD, 2023), lo que aporta pertinencia a la propuesta en el marco del entorno formativo unadista.

## **RESULTADOS.**

A continuación, se presentan los principales hallazgos derivados de la revisión documental, organizados en sub-secciones temáticas que abordan los efectos de los simuladores virtuales inmersivos en distintos aspectos del aprendizaje de la biología celular y molecular, las ventajas pedagógicas identificadas y los retos pendientes para su integración efectiva en modelos híbridos como el que promueve la UNAD.

### **Impacto en la motivación y el compromiso del estudiante**

Uno de los resultados más reiterados en la literatura es el aumento de la motivación e interés de los estudiantes cuando se utilizan simuladores virtuales inmersivos en lugar de métodos tradicionales. Los entornos de realidad virtual (RV), al ser interactivos y envolventes, despiertan curiosidad y fomentan la participación activa. Romero-Pleitez y Canjura-Hernández (2025) reportan una alta aceptación de una simulación de mitosis en un curso de biología general, destacando una mejora en el interés y la concentración de los estudiantes durante el aprendizaje.

Quisaguano Caiza y Agramonte Rosell (2024) encontraron que la realidad aumentada (RA) logró incrementar la motivación de un 85% de los participantes en contextos de ciencias, lo cual es relevante considerando su afinidad tecnológica con la RV. Este tipo de tecnologías favorecen la exploración, la gamificación y la percepción multisensorial, lo cual transforma la actitud de los estudiantes hacia los contenidos científicos, haciéndolos más accesibles y atractivos.

### **Mejora en la comprensión y retención de conceptos complejos**

La literatura señala una correlación positiva entre el uso de RV y la mejora en la comprensión de estructuras y procesos abstractos como la división celular, la transcripción del ADN o el ensamblaje proteico. Laubscher et al. (2024)

demonstraron que los estudiantes que utilizaron simuladores VR obtuvieron puntajes significativamente mayores en pruebas de identificación de orgánulos celulares, así como una retención más prolongada del conocimiento.

Estas observaciones también fueron confirmadas por Romero-Pleitez y Canjura-Hernández (2025), quienes destacaron una comprensión más clara de las fases de la mitosis gracias a la experiencia inmersiva, que permitió a los estudiantes visualizar paso a paso el comportamiento cromosómico. La retención también fue mayor cuando se incluyó RA, según Quisaguano Caiza y Agramonte Rosell (2024), quienes reportaron una mejora del 35% frente a metodologías convencionales.

### **Desarrollo de habilidades prácticas y procedimentales**

Los simuladores virtuales también han mostrado beneficios en el desarrollo de habilidades prácticas en ciencias básicas. Ewais et al. (2023) demostraron que estudiantes previamente entrenados con RV en prácticas de biología molecular (como PCR o electroforesis) lograron un mejor desempeño en laboratorios físicos posteriores, mostrando mayor confianza y comprensión del protocolo experimental.

Esto es coherente con los desarrollos internos de la UNAD, donde los programas de ECISA han integrado escenarios híbridos que incluyen prácticas virtuales con apoyo en los VRLabs institucionales, como parte del componente práctico formativo (UNAD, 2025a) . Estas actividades permiten a los estudiantes practicar, equivocarse sin riesgos y repetir procedimientos tanto como lo necesiten para consolidar habilidades técnicas.

### **Ventajas pedagógicas específicas**

Entre los beneficios didácticos identificados destacan:

- Visualización tridimensional y manipulable de estructuras complejas como orgánulos, enzimas o complejos moleculares, imposibles de representar con recursos bidimensionales tradicionales.

- Simulación de procesos secuenciales como mitosis o síntesis proteica en tiempo real, favoreciendo la comprensión de ciclos y dinámicas celulares.
- Aprendizaje activo y personalizado, donde el estudiante interactúa con el entorno, toma decisiones y recibe retroalimentación inmediata.
- Entorno seguro para ensayo y error, ideal para contextos donde el acceso a laboratorios físicos es limitado o costoso.
- Accesibilidad temporal y geográfica, dado que muchas plataformas pueden usarse de forma asincrónica o remota.
- Personalización del ritmo y estilo de aprendizaje, alineado con los principios del modelo pedagógico UNAD 5.0 (UNAD, 2025b).

Experiencias internacionales como el proyecto *Cellverse* del MIT o el metaverso celular implementado por la Universidad Católica de Murcia muestran cómo los simuladores pueden convertirse en herramientas de colaboración y resolución de problemas, además de facilitar la apropiación de contenidos.

### **Desafíos para la implementación**

A pesar de los beneficios, se identifican retos como:

- Altos costos iniciales de tecnología e infraestructura.
- Necesidad de formación docente específica en uso pedagógico de la RV (Cabero-Almenara et al., 2025).
- Curva de aprendizaje técnica para estudiantes.
- Requerimientos de alineación curricular y contenido validado.
- Necesidad de evaluaciones rigurosas del impacto educativo para justificar la inversión y ajustar las estrategias.
- Consideraciones de salud, equidad y accesibilidad.

Estos desafíos también son recogidos en el *Modelo Heutagógico UNAD 5.0*, que insiste en la importancia de una incorporación crítica, progresiva y

pedagógicamente fundamentada de tecnologías emergentes en escenarios de aprendizaje virtual y combinado (UNAD, 2025b).

## **CONCLUSIONES.**

Los simuladores virtuales inmersivos se consolidan como una de las innovaciones más prometedoras en el fortalecimiento del aprendizaje de la biología celular y molecular en contextos híbridos, abiertos y mediados por tecnología. Esta revisión ha evidenciado que su incorporación puede transformar significativamente las experiencias formativas, al abordar de forma efectiva los desafíos históricos vinculados a la abstracción, la visualización y la comprensión de fenómenos a nivel subcelular.

Entre los beneficios identificados destacan: el aumento de la motivación y la participación de los estudiantes; una mejor comprensión, interiorización y retención de conceptos complejos; y el desarrollo de competencias procedimentales en entornos simulados, seguros y accesibles. Estos hallazgos coinciden con evidencias empíricas recientes, que reportan mejoras tanto en desempeño académico como en actitudes hacia el aprendizaje de las ciencias, especialmente en poblaciones que aprenden en entornos virtuales, híbridos o a distancia (Romero-Pleitez & Canjura-Hernández, 2025; Quisaguano Caiza & Agramonte Rosell, 2024).

Desde la perspectiva institucional de la UNAD, el uso de laboratorios virtuales inmersivos (VRLabs) se alinea con las orientaciones del Modelo Educativo Flexible y el enfoque heutagógico del MHUS 5.0 (UNAD, 2025a; 2025b), permitiendo personalizar rutas de aprendizaje, democratizar el acceso a recursos formativos y fomentar el aprendizaje autónomo y significativo a través de entornos activos, visuales y contextualizados.

No obstante, para que estos beneficios se consoliden de manera sostenible, es necesario adoptar un enfoque sistémico e intencional. En este sentido, se proponen las siguientes recomendaciones para fortalecer su implementación:

- Planificación pedagógica y didáctica: Integrar los simuladores como mediadores de aprendizajes intencionados, alineados con resultados de aprendizaje específicos y momentos estratégicos de la ruta formativa. Su incorporación debe responder a propósitos pedagógicos claros, más allá de la novedad tecnológica.
- Capacitación y acompañamiento docente: Promover la formación continua de los mediadores académicos en el uso pedagógico de tecnologías inmersivas, así como en su integración con otros recursos didácticos digitales. Se sugiere fomentar comunidades de práctica para compartir experiencias y construir capacidades colectivas.
- Desarrollo e implementación gradual: Iniciar con experiencias piloto evaluadas rigurosamente que permitan ajustar el diseño instruccional, los recursos técnicos y la logística operativa antes de escalar su implementación.
- Inclusión, accesibilidad y equidad: Garantizar que todos los estudiantes puedan acceder a las experiencias inmersivas, contemplando rotación de dispositivos, formatos accesibles para personas con discapacidad y estrategias de apoyo pedagógico complementarias.
- Evaluación integral del impacto: Diseñar instrumentos que midan no solo logros académicos, sino también variables como motivación, pensamiento espacial, autoeficacia, comprensión conceptual y transferencia de aprendizajes. Comparar cohortes y sistematizar resultados permitirá retroalimentar el proceso e informar decisiones de mejora.

En conclusión, los simuladores virtuales inmersivos no solo permiten acercar lo invisible al estudiante, sino que constituyen una puerta de entrada a nuevas formas de aprender ciencia desde la exploración activa, multisensorial y situada. Su potencial para transformar los ambientes híbridos de aprendizaje es

considerable, siempre que se acompañen de una mediación pedagógica sólida, procesos de formación docente y una cultura institucional orientada a la innovación reflexiva.

La UNAD, como universidad líder en educación híbrida, tiene la oportunidad y el compromiso de avanzar en la incorporación de estas tecnologías no como un fin en sí mismo, sino como una vía para enriquecer las experiencias formativas, potenciar la autonomía del estudiante y construir aprendizajes más duraderos, significativos y aplicables. En esta tarea, las tecnologías inmersivas no sustituyen la interacción humana ni el pensamiento crítico, pero sí pueden convertirse en potentes aliadas para una educación en ciencias más accesible, envolvente y transformadora.

## BIBLIOGRAFÍA.

Cabero-Almenara, J., Martínez, A., & Llorente-Cejudo, M. C. (2025). *La realidad virtual y aumentada en la educación: Avances, retos y buenas prácticas*. Revista Praxis Educativa, 29(1), 45–63. <https://periodicos.ufmg.br>

Cooper, S., Kump, B., & Davis, L. (2020). *Immersive collaborative learning in Cellverse: Exploring biology through virtual reality gaming*. Journal of Educational Technology Research and Development, 68(5), 1231–1250. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09752-w>

Ewais, A., Alshehri, M., & Shuweikh, M. (2023). *Using immersive virtual reality to train biology students in forensic molecular techniques: A comparative study*. Journal of Science Education and Technology, 32(2), 85–102. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10017-4>

Laubscher, D., Smith, M., & van der Merwe, H. (2024). Engage and learn: Improved learning of cellular structures using a VR-based learning experience. *British Journal of Educational Technology*, 55(2), 255–271. <https://doi.org/10.1111/bjet.13225>

Lu, C., Hsu, C., & Hou, H. (2004). Game-based virtual environments for science learning: Students' motivation and experiences. *Revista Iberoamericana de Educación*, 35(4), 149–168. <https://revistas.unam.mx>

Martínez Sánchez, A. (2023). Metaverso: transformando la docencia molecular y celular en la Universidad Católica de Murcia. *Revista de Innovación*

Docente                                      Universitaria,                                      18(3),                                      22–  
35. <https://doi.org/10.21071/ridu.v18i3.15342>

Quisaguano Caiza, M., & Agramonte Rosell, D. (2024). La realidad aumentada en la enseñanza de las ciencias: Una revisión sistemática. *Estudios y Perspectivas en Educación*, 40(2), 79–98. <https://estudiosyperspectivas.org>

Reen, A., Tibell, L., & Rundgren, C. (2021). Visual challenges in molecular biology: Cognitive obstacles in abstract and microscopic domains. *Frontiers in Education*, 6, Article 654332. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.654332>

Romero-Pleitez, A., & Canjura-Hernández, D. (2025). Realidad virtual inmersiva en el aprendizaje de la mitosis en educación superior: Un estudio de caso salvadoreño. *Dialnet Plus: Revista Ciencia y Educación*, 11(1), 13–29. <https://dialnet.unirioja.es>

Sankaranarayanan, G., Weghorst, S., & Whitton, M. (2003). Haptic visualization of molecular structures. *Virtual Reality Journal*, 7(1), 25–33. <https://revistas.unam.mx>

Sánchez-Sepúlveda, J., Fuentes, M., & Andrade, C. (2019). Cognición encarnada y aprendizaje en ambientes virtuales. *Revista Latinoamericana de Psicología Educativa*, 23(1), 55–74.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. (2025). *MHUS 5.0 - Modelo Heutagógico UNAD Siglo XXI*.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. (2025). *Protocolo del Componente Práctico Híbrido Biología Celular y Molecular: ECISA*