



REALIDAD VIRTUAL COMO HERRAMIENTA PARA LA ENSEÑANZA DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN EDUCACIÓN SUPERIOR

David Castro-Salinas, Departamento de Informática y Computación, Universidad Tecnológica Metropolitana, david.castro@utem.cl

Jaime Ugaz Riveros, Dirección de Tecnologías Educativas y Aprendizaje Continuo, Universidad Tecnológica Metropolitana, jugaz@utem.cl

RESUMEN

Este artículo presenta un estudio exploratorio sobre la integración de la realidad virtual (RV) inmersiva en la enseñanza de contenidos complejos en educación superior, específicamente en Biología Molecular. La intervención, implementada en una universidad pública chilena, utiliza dispositivos Meta Quest 2 y un desarrollo propio en Unity para permitir la exploración interactiva de modelos tridimensionales de ADN, núcleo celular y citoesqueleto. A través de un diseño instruccional basado en teorías de carga cognitiva y aprendizaje multimodal, la experiencia buscó fortalecer la comprensión conceptual, la motivación y la retención de contenidos. Los resultados muestran mejoras observadas en la percepción de comprensión espacial, la participación y el interés estudiantil, aportando un marco replicable para la integración de RV en contextos STEM.

PALABRAS CLAVE: realidad virtual, innovación educativa, biotecnología, gamificación, educación en ingeniería

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de contenidos complejos en ciencias e ingeniería plantea desafíos significativos para las instituciones de educación superior, especialmente cuando los fenómenos estudiados involucran procesos abstractos, relaciones espaciales no observables y estructuras tridimensionales de alta complejidad. Conceptos como la doble hélice del ADN, la organización del núcleo celular o la dinámica del citoesqueleto requieren que los estudiantes desarrollen modelos mentales robustos para comprender relaciones entre estructura, función y proceso. Sin embargo, los recursos tradicionales —libros de texto, esquemas bidimensionales o laboratorios convencionales— resultan insuficientes para abordar la complejidad cognitiva que implican estos aprendizajes.

En este contexto, la realidad virtual (RV) ha emergido como una tecnología con alto potencial pedagógico al permitir experiencias inmersivas, interactivas y visualmente significativas. Al situar al estudiante dentro de un entorno tridimensional, la RV favorece la exploración activa y el “aprender haciendo”, promoviendo la construcción de representaciones mentales más profundas y mejorando la retención conceptual. No obstante, el valor de la RV en educación no reside exclusivamente en la tecnología, sino en su integración pedagógica: la efectividad del



XXXVII CONGRESO CHILENO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA 2025
PROYECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA:
LA EDUCACIÓN EN MODALIDAD PRESENCIAL, HÍBRIDA Y VIRTUAL
Concepción, 8 al 10 de octubre 2025

recurso depende de cómo se alinea con los resultados de aprendizaje, las estrategias de evaluación y la planificación instruccional.

Diversas investigaciones recientes han evidenciado que la RV puede incrementar hasta en un 15 % el rendimiento académico en áreas STEM y potenciar la motivación intrínseca de los estudiantes (Radianti et al., 2020; Yang et al., 2024). Además, estudios internacionales y nacionales han mostrado que, en contextos de recursos limitados, es posible diseñar experiencias inmersivas de bajo costo, siempre que se utilicen tecnologías accesibles y se adopten estrategias de codiseño entre docentes, estudiantes y especialistas en tecnología educativa.

El presente estudio se desarrolla en la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), una institución pública chilena que ha priorizado la incorporación de tecnologías emergentes como parte de su política de innovación educativa. La intervención propone el diseño y aplicación de una experiencia inmersiva basada en RV para la enseñanza de Biología Molecular, utilizando visores Meta Quest 2 y un desarrollo propio construido en Unity. El objetivo principal es evaluar el impacto de la RV en la comprensión conceptual, la motivación y la participación estudiantil, ofreciendo al mismo tiempo un modelo replicable para otros programas de educación STEM.

Para orientar el trabajo, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- RQ1: ¿Cómo incide la experiencia RV en la motivación y el involucramiento estudiantil en contextos de aprendizaje activo?
- RQ2: ¿Qué elementos de diseño instruccional favorecen la comprensión de las relaciones estructura-función-dinámica en entornos inmersivos?
- RQ3: ¿Qué condiciones técnicas, pedagógicas y organizacionales facilitan la adopción sostenible de RV en escenarios con recursos limitados?

Con esta propuesta, se busca contribuir al debate sobre innovación educativa en ingeniería y ciencias, mostrando cómo la integración planificada de tecnologías inmersivas puede mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en instituciones públicas y, a la vez, ofrecer evidencia empírica para la toma de decisiones en el diseño de políticas de transformación digital en educación superior.

MARCO TEÓRICO

La integración de tecnologías inmersivas en educación superior se sustenta en la convergencia de tres marcos conceptuales: la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC), la Teoría del Aprendizaje Multimedia (TAM) y el Modelo Cognitivo-Afectivo de Aprendizaje Inmersivo (CAMIL). En conjunto, orientan el diseño de una experiencia de RV destinada a favorecer la comprensión de conceptos complejos, potenciar la motivación y mitigar barreras de accesibilidad en contextos STEM.



XXXVII CONGRESO CHILENO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA 2025
PROYECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA:
LA EDUCACIÓN EN MODALIDAD PRESENCIAL, HÍBRIDA Y VIRTUAL
Concepción, 8 al 10 de octubre 2025

Desde la TCC, el aprendizaje efectivo ocurre cuando la carga mental se mantiene en un nivel óptimo, equilibrando la carga intrínseca (complejidad del contenido), la extrínseca (diseño de materiales) y la germinal (esfuerzo productivo) (Sweller, Ayres y Kalyuga, 2011). Dada la alta complejidad intrínseca de contenidos de Biología Molecular, la experiencia de RV se diseñó para reducir la carga extrínseca mediante: (i) segmentación del contenido, organizando microescenas temáticas (“ADN y replicación”, “Núcleo y organelos”, “Citoesqueleto”) que disminuyen la densidad informativa por fase; (ii) principio de modalidad, priorizando la complementariedad visual-auditiva y evitando la redundancia textual; y (iii) prevención del efecto de reversión por pericia, minimizando la sobreinstrucción en estudiantes con mayor conocimiento previo y promoviendo el aprendizaje autónomo (Kalyuga, Ayres y Sweller, 2003).

Por su parte, la TAM plantea que el aprendizaje mejora cuando el estudiantado integra activamente información proveniente de múltiples canales (Mayer, 2021). En la experiencia propuesta, estos principios se operacionalizaron para fortalecer la comprensión estructura-función mediante: (i) coherencia, eliminando elementos irrelevantes para focalizar la atención en estructuras biológicas críticas; (ii) señalización, con indicadores visuales dinámicos (resaltados, flechas y puntos de interés) que guían el foco atencional; (iii) contigüidad espacial y temporal, sincronizando textos, gráficos y narraciones dentro del entorno 3D; y (iv) segmentación, que distribuye el contenido en microtarefas interactivas y permite el control del ritmo por parte del estudiantado.

El CAMIL explica cómo la presencia (sensación de estar dentro del entorno) y la agencia (capacidad de manipulación activa) inciden en el aprendizaje al incrementar motivación intrínseca, autoeficacia y retención (Schreiner et al., 2023). Para potenciar estos efectos, la experiencia incorporó: (i) interacción activa con modelos moleculares 3D; (ii) elementos de gamificación —desafíos, retroalimentación inmediata y recompensas simbólicas—; y (iii) puntos de control con progreso visible, que facilitan el seguimiento del avance y favorecen la autorregulación.

La propuesta se alinea con las directrices de transformación digital de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM) y demuestra la viabilidad de experiencias inmersivas de bajo costo, mediante hardware accesible (visores Meta Quest 2) y desarrollo propio en Unity. Asimismo, se integraron principios de Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) para garantizar la accesibilidad, incorporando modos de locomoción adaptables y configuraciones personalizables de contraste y audio.

En síntesis, la articulación de TCC, TAM y CAMIL orientó un diseño instruccional inmersivo que reduce la carga cognitiva innecesaria, facilita la comprensión de relaciones espaciales complejas y fortalece la motivación y autoeficacia del estudiantado, proponiendo un modelo replicable y accesible para instituciones con restricciones de infraestructura.



METODOLOGÍA

La investigación adoptó un diseño exploratorio–descriptivo con enfoque mixto de tipo convergente–paralelo, orientado a estimar la factibilidad pedagógica y la aceptabilidad de una intervención de RV en un curso de Biología Molecular en educación superior. El análisis se centró en tres dimensiones: desempeño conceptual durante la experiencia, desempeño motor en la manipulación de modelos y percepciones de uso y motivación asociadas a la actividad.

La intervención se implementó en la asignatura Biología Molecular de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM, Chile). En una primera revisión, participaron 32 estudiantes de segundo año de Ingeniería en Biotecnología. Como criterios de inclusión se consideraron estudiantes de distintas secciones de la misma asignatura que asisten regularmente a clases en el laboratorio. La cohorte se caracterizó por una heterogeneidad relevante de conocimientos previos y una experiencia limitada con entornos inmersivos.

La aplicación se desarrolló en Unity para visores autónomos Meta Quest 2 y respondió a un diseño instruccional que incorporó segmentación en microescenas temáticas, señalización de elementos críticos y retroalimentación inmediata dentro de la propia aplicación. Las microescenas se articularon en torno a contenidos de alta complejidad intrínseca —ADN y replicación, núcleo y organelos, y citoesqueleto— con el objetivo de modular la carga extrínseca y orientar la atención. Para favorecer la accesibilidad se consideraron principios de Diseño Universal para el Aprendizaje, habilitando textos descriptivos, modos de locomoción adaptables y configuraciones personalizables de contraste y audio.

El procedimiento se realizó en laboratorio, con rotaciones pequeñas para compartir dispositivos. La sesión incluyó una breve inducción al control y a la locomoción en RV, seguida de la exploración guiada de las microescenas, la resolución de microverificaciones intercaladas y, finalmente, la aplicación de un cuestionario posterior a la experiencia. Durante la actividad se implementaron consignas de seguridad y pausas breves para mitigar eventuales episodios de desorientación; el equipo docente y de apoyo tecnológico supervisó la operación y la resolución de incidencias menores.

La recolección de datos combinó tres fuentes complementarias. En primer lugar, se realizó un test escrito en el cual, los y las participantes debían responder según su estudio previo al inicio de la clase. En segundo lugar, una pauta de observación estructurada permitió registrar la manipulación correcta de los modelos, las dificultades de coordinación visomotora y los apoyos requeridos durante la navegación. En tercer lugar, se aplicó una encuesta de percepción con escala Likert de siete puntos que indaga utilidad y disfrute percibidos, e incorporó el mismo test realizado al inicio de la clase, para evidenciar diferencias en la comprensión de los contenidos previo a la experiencia y después de ella.

El análisis de datos privilegió la estadística descriptiva, y dada la naturaleza exploratoria del estudio y el tamaño muestral, contempló pruebas no paramétricas para comparaciones de



medidas repetidas y entre subgrupos cuando fue pertinente. En particular, se consideraron pruebas para comparaciones entre grupos independientes, priorizando la obtención de feedback para mejorar tanto la metodología como también la programación de la experiencia de RV.

RESULTADOS

La implementación de la experiencia inmersiva en RV se llevó a cabo en sesiones de laboratorio con 32 estudiantes de segundo año de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la UTEM. La intervención permitió analizar tres dimensiones principales: comprensión conceptual, motivación estudiantil y participación activa, además de recopilar sugerencias de mejora y datos sobre usabilidad técnica.

La comprensión de las relaciones estructura-función en los contenidos de Biología Molecular mejoró de forma significativa tras la experiencia RV. Los datos provienen de micro-verificaciones in-app y evaluaciones posteriores:

- Incremento del 18% en la identificación correcta de estructuras como ADN, núcleo y citoesqueleto.
- Reducción del 35% en errores de interpretación respecto a la replicación genética.
- En el 84% de los casos, los estudiantes lograron manipular correctamente modelos moleculares tridimensionales en su primer intento, frente al 52 % en cohortes anteriores que no utilizaron RV.

El 93% de los estudiantes afirmó que la experiencia facilitó la comprensión de contenidos complejos, mientras que el 88% declaró que la metodología aumentó su interés por la asignatura.

La retroalimentación cualitativa recogida mediante preguntas abiertas permitió identificar fortalezas y áreas de mejora:

Fortalezas destacadas por los estudiantes:

- Visualización clara de estructuras moleculares complejas.
- Experiencia inmersiva que facilita la comprensión espacial.
- Posibilidad de cometer errores sin consecuencias reales, lo que refuerza el aprendizaje activo.

Sugerencias de mejora más recurrentes:

- Incorporar indicaciones direccionales (wayfinding).



XXXVII CONGRESO CHILENO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA 2025
PROYECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA:
LA EDUCACIÓN EN MODALIDAD PRESENCIAL, HÍBRIDA Y VIRTUAL
Concepción, 8 al 10 de octubre 2025

- Mejorar la visibilidad del puntero y las etiquetas contextuales.
- Incluir checkpoints automáticos con registro de progreso.
- Normalizar niveles de audio y contraste en escenas con alta carga visual.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta intervención sugieren que la RV puede favorecer la comprensión de relaciones estructura–función–dinámica en contenidos complejos como el de Biología Molecular, al tiempo que aumenta la motivación y el involucramiento del estudiantado. Los incrementos observados en aciertos conceptuales y aumento de interés son coherentes con la literatura que asocia experiencias inmersivas con mejoras en habilidades espaciales y en el rendimiento en áreas STEM (Radianti et al., 2020; Yang et al., 2024).

Desde la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC), el diseño por micro-escenas y la señalización redujeron la carga extrínseca, permitiendo que los esfuerzos se concentraran en procesar la complejidad intrínseca del contenido (Sweller et al., 2011; Kalyuga et al., 2003). En términos de Aprendizaje Multimedia (TAM), la complementariedad audio-visual y la contigüidad espacial y temporal parecen haber facilitado la integración de representaciones, lo que ayuda a explicar la reducción de errores de interpretación. A la luz del CAMIL, la combinación de presencia y agencia (manipulación activa de modelos 3D), sumada a gamificación y retroalimentación inmediata, habría contribuido a la motivación intrínseca y a la autoeficacia, elementos habitualmente vinculados a una mayor persistencia en tareas desafiantes (Schreiner et al., 2023).

En términos prácticos, los resultados orientan cuatro implicancias instruccionales: (1) alineación curricular: la RV debe diseñarse a partir de resultados de aprendizaje y evidencias esperadas, no como adición cosmética; (2) codiseño interdisciplinario entre docentes, especialistas en tecnología educativa y estudiantes para asegurar pertinencia y usabilidad; (3) micro-escenas guiadas con gamificación ligera para modular la carga y sostener el foco atencional; y (4) feedback in-app para apoyar la autorregulación y acelerar la detección/corrección de errores. Estas pautas son consistentes con revisiones recientes que destacan que el valor pedagógico de la RV depende menos del hardware y más del diseño instruccional que la articula (Radianti et al., 2020).

Este estudio presenta limitaciones: (i) muestra acotada y de un solo curso, lo que restringe la generalización; (ii) ausencia de seguimiento longitudinal, que impide estimar la retención de aprendizajes; (iii) restricciones logísticas (rotación de 3–6 visores), con posibles efectos en tiempos y experiencias de uso; y (iv) variabilidad individual (p. ej., ciber-mareo leve, curva inicial de control). Estas limitaciones abren oportunidades para estudios comparativos controlados (instrucción tradicional vs. RV vs. enfoques híbridos), para analíticas de aprendizaje in-app (trazabilidad de interacciones y trayectorias), y para evaluaciones de accesibilidad centradas en Diseño Universal para el Aprendizaje.



XXXVII CONGRESO CHILENO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA 2025
PROYECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA:
LA EDUCACIÓN EN MODALIDAD PRESENCIAL, HÍBRIDA Y VIRTUAL
Concepción, 8 al 10 de octubre 2025

En conjunto, la evidencia sugiere que, en contextos de recursos limitados, es factible implementar soluciones de bajo costo con impacto educativo cuando la RV se integra mediante principios de TCC, TAM y CAMIL, y se acompaña de decisiones de diseño que modulan la carga, orientan la atención y sostienen la motivación. Futuras investigaciones deberían verificar la transferencia a tareas de evaluación auténtica, estimar el efecto sostenido en el tiempo y explorar escalabilidad a otras asignaturas STEM, resguardando criterios de accesibilidad y bienestar estudiantil.

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la RV puede integrarse de manera viable y pedagógicamente pertinente en educación superior para apoyar el aprendizaje de contenidos complejos como el de Biología Molecular. El diseño instruccional sustentado en TCC, TAM y CAMIL permitió modular la carga extrínseca mediante microescenas y señalización, promover la integración de representaciones y sostener la motivación a través de presencia, agencia y retroalimentación inmediata. En conjunto, los indicadores recogidos —incrementos observados en aciertos y reducción de errores conceptuales, alta tasa de manipulación correcta y valoraciones positivas de utilidad, disfrute y motivación— sugieren efectos consistentes sobre comprensión y compromiso. Desde una perspectiva de implementación, la combinación de visores autónomos de bajo costo y desarrollo propio en Unity muestra factibilidad y escalabilidad en contextos con restricciones de infraestructura cuando se planifican inducciones breves, accesibilidad bajo criterios DUA y protocolos operativos simples. Futuras investigaciones deberían contrastar este enfoque con alternativas tradicionales e híbridas, estimar retención y transferencia con medidas longitudinales y desplegar analíticas in-app para relacionar trayectorias de interacción con logros. En síntesis, la RV agrega valor cuando se articula a resultados de aprendizaje claros y a un diseño instruccional que guía la atención y habilita la autorregulación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección de Tecnologías Educativas y Aprendizaje Continuo (DTEAC), al Departamento de Informática y Computación, a la Unidad de Mejoramiento Docente (UMD) y al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM) por el apoyo técnico y logístico brindado para la implementación de la intervención. En particular, agradecemos a la Dra. Constanza Morales por integrar la experiencia en su asignatura y por su colaboración durante la implementación y pilotaje.

REFERENCIAS

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–74.

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Inside the black box: Raising standards through classroom assessment. *Phi Delta Kappan*, 80(2), 139–148.



XXXVII CONGRESO CHILENO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA 2025
PROYECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA:
LA EDUCACIÓN EN MODALIDAD PRESENCIAL, HÍBRIDA Y VIRTUAL
Concepción, 8 al 10 de octubre 2025

Escartín, E. R. (1999). La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance. Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”.

García-Robles, P., Silva-Torres, A., & García-González, J. (2024). Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*.

Gittinger, M., & Wiesche, D. (2024). Systematic review of spatial abilities and virtual reality: The role of interaction. *Journal of Engineering Education*, 113, 919–938.

Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31.

Kuna, P., Hašková, A., & Borza, L. (2023). Creation of virtual reality for education purposes. *Sustainability*, 15(9), 7153.

Liu, K., Hou, J., Wang, H., & Luo, Y. (2023). Effectiveness of virtual reality in nursing education: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medical Education*, 23, 4662.

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3.^a ed.). Cambridge University Press.

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778.

Safadel, P., Stout, R., & McDonald, K. (2025). Enhancing DNA structure education through virtual reality. *The American Biology Teacher*, 87(5), 356–364.

Schreiner, C., Roettl, J., Schwaninger, A., & Schwan, S. (2023). A cognitive-affective model of immersive learning (CAMIL). *Frontiers in Psychology*, 14, 1090410.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory. En J. P. Mestre & B. H. Ross (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 55, pp. 37–76). Academic Press.

Tene, T., Veskovic, M., & Pappas, I. O. (2024). Virtual and augmented reality in medical education: An umbrella review. *Frontiers in Digital Health*, 6, 1365345.

Unity Technologies. (2022). *XR Interaction Toolkit | 2.0.4 – Manual*.

Yang, C., Chen, Y., & Sun, J. (2024). The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11, 27.