

Evaluation of virtual reality in the subject of Environmental Management and Sustainable Development in Industrial Civil Engineering

Castillo, Jaime¹; Acuña, Ignacio²; González, Aixa³; Leal, Paola⁴; Lagos, Dafne⁵

^{1,2,3,4,5}Departamento de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco, Chile, jcastill@uct.cl,

Ignacio.acuna@uct.cl, agonzalez@uct.cl, pleal@uct.cl, dlagos@uct.cl

²Universidad de La Frontera, Chile, i.acuna05@ufromail.cl

Abstract– *This research addresses the adoption of immersive technologies in Higher Education, highlighting how Virtual Reality (VR) generates positive effects on engineering learning by enabling safe and accessible interaction with complex environments. The study is situated within the Environmental Management and Sustainable Development course of Industrial Civil Engineering at the Catholic University of Temuco, seeking to close gaps in competency assessment through measurements taken before and after the intervention. The methodology consisted of characterizing a student sample of 27 using Likert scale surveys of digital skills and knowledge before and after the VR activity. The students used the OpLab virtual laboratory and head-mounted displays (HMDs) to tour a production plant, where they had to identify environmental aspects and impacts, recognize stakeholders, and propose environmental management tools. The results revealed a significant positive impact: the ability to detect environmental aspects increased by 29%, while knowledge of management tools grew by 59%. Furthermore, confidence in proposing sustainable solutions doubled after the experience. It is concluded that VR not only facilitates the understanding of industrial systems that are difficult to visit due to cost or logistical challenges, but also promotes meaningful and reflective learning, better preparing future professionals for decision-making in complex scenarios.*

Keywords-- *virtual reality, industrial civil engineering, environmental management, environmental impacts, learning evaluation*

Evaluación de la realidad virtual en asignatura de Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible en Ingeniería Civil Industrial

Castillo, Jaime¹; Acuña, Ignacio²; González, Aixa³; Leal, Paola⁴; Lagos, Dafne⁵

^{1,2,3,4,5}Universidad Católica de Temuco, Chile, jcastill@uct.cl, Ignacio.acuna@uct.cl, agonzalez@uct.cl, pleal@uct.cl, dlagos@uct.cl

²Universidad de La Frontera, Chile, i.acuna05@ufromail.cl

Resumen— La investigación aborda la adopción de tecnologías inmersivas en la educación superior, destacando cómo la Realidad Virtual (RV) genera efectos positivos en el aprendizaje de ingeniería al permitir la interacción con entornos complejos de forma segura y accesible. El estudio se sitúa en la asignatura de Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible de Ingeniería Civil Industrial en la Universidad Católica de Temuco, buscando cerrar brechas en la evaluación de competencias mediante mediciones antes y después de la intervención. La metodología consistió en caracterizar la muestra estudiantil de 27 estudiantes mediante encuestas Likert de habilidades digitales y conocimientos previos y posteriores a la actividad de RV. Los estudiantes utilizaron el laboratorio virtual OpLab y dispositivos HMD para realizar un recorrido por una planta productiva, donde debían identificar aspectos e impactos ambientales, reconocer stakeholders y proponer instrumentos de gestión ambiental. Los resultados revelaron un impacto positivo significativo: la capacidad de detectar aspectos ambientales aumentó un 29%, mientras que el conocimiento sobre instrumentos de gestión creció un 59%. Además, la confianza para proponer soluciones sustentables se duplicó tras la experiencia. Se concluye que la RV no solo facilita la comprensión de sistemas industriales difíciles de visitar por costos o logística, sino que promueve un aprendizaje significativo y reflexivo, preparando mejor a los futuros profesionales para la toma de decisiones en escenarios complejos.

Palabras clave—realidad virtual, ingeniería civil industrial, gestión ambiental, impactos ambientales, evaluación de aprendizajes.

I. INTRODUCCIÓN

La adopción de tecnologías inmersivas en la educación superior ha experimentado un crecimiento sostenido. Estudios recientes de implementación institucional documentan que, en contextos de educación superior, los laboratorios de realidad virtual han experimentado un incremento significativo en el acceso estudiantil. Particularmente, un análisis de 2,5 años de operación documentó que el laboratorio virtual experimentó un 250% de aumento en el acceso estudiantil a sus instalaciones, con aproximadamente 4,833 estudiantes instruidos a través de 7,952 visitas [1]. De manera simultánea, revisiones sistemáticas recientes han sugerido que la realidad virtual genera efectos positivos en múltiples dominios del aprendizaje en educación superior, aunque con una variabilidad importante según contextos disciplinarios específicos [2]. Estos hallazgos reflejan una transición

significativa en las modalidades de enseñanza-aprendizaje en la educación superior, particularmente en disciplinas que requieren competencias prácticas y experiencia con sistemas complejos.

La realidad virtual se define operacionalmente como un conjunto de tecnologías que permiten a los usuarios interactuar con entornos generados por computadora, en los que pueden comprometerse con objetos, personajes y escenas, lo que hace que los individuos asuman que están experimentando situaciones del mundo real [3]. Esta tecnología ha evolucionado desde aplicaciones especializadas hasta herramientas educativas cada vez más accesibles. Este cambio fundamental ha sido posible gracias a los avances en hardware y software de los dispositivos de visualización y de los mecanismos de retroalimentación táctil, lo que ha democratizado el aprendizaje inmersivo en ingeniería [4]. En el plano conceptual, se han establecido marcos teóricos fundamentales que explican cómo la realidad virtual media el aprendizaje. Específicamente, se ha propuesto que factores psicológicos como la presencia, la agencia, la inmersión y la fidelidad representacional actúan como componentes críticos en los procesos de aprendizaje inmersivo [4].

En el ámbito de la educación superior, la aplicación de realidad virtual se ha diversificado considerablemente. Actualmente se documentan implementaciones en múltiples dominios pedagógicos: laboratorios virtuales en contextos de ingeniería, en los que simulaciones colaborativas y experienciales permiten aprendizaje en contextos seguros [5]; educación clínica y de enfermería, mediante simulaciones que permiten a los aprendices interactuar dentro de escenarios de casos y ambientes virtuales [6]; y desarrollo de habilidades interpersonales mediante escenarios colaborativos en entornos de realidad virtual [7]. Este amplio espectro de aplicaciones evidencia que la realidad virtual ha trascendido su condición de tecnología experimental para constituirse en un componente legítimo del ecosistema pedagógico de la educación superior contemporánea.

En el contexto específico de la educación en ingeniería, metaanálisis recientes han cuantificado la magnitud de los efectos pedagógicos. Análisis de estudios controlados han documentado tamaños de efecto grandes en competencias psicomotoras, con un tamaño de efecto de $g = 1,67$ e intervalo de confianza del 95% [1.42], [1.92] cuando se comparan

intervenciones de realidad virtual con métodos de enseñanza tradicionales [7]. Sin embargo, estas mejoras documentadas en habilidades prácticas no se acompañan consistentemente de mejoras equivalentes en retención del conocimiento a largo plazo [4], aspecto crítico que sugiere que los mecanismos de aprendizaje mediados por inmersión aún requieren mayor clarificación.

A pesar de los resultados positivos reportados, persisten brechas sustanciales que limitan la adopción y escalado de estas tecnologías. Primero, la evaluación rigurosa de la realidad virtual en contextos educativos ha sido limitada, con la mayoría de estudios siendo conducidos en configuraciones de laboratorio de pequeña escala, lo que cuestiona la generalización de los resultados [8]. Segundo, la evaluación de aprendizaje en entornos virtuales carece de instrumentos validados y frecuentemente se apoya en medidas autorreportadas, limitando conclusiones sobre retención y transferencia del conocimiento [9]. Tercero, fenómenos adversos tales como cinetosis, tensión física y estrés se documentan como barreras persistentes en la implementación de realidad virtual [10]. Cuarto, los costos de implementación, incluyendo adquisición de hardware y capacitación docente, representan obstáculos significativos para muchas instituciones educativas, con estudios que documentan que estos desafíos persisten como limitaciones críticas [11].

El presente artículo aborda el diseño e implementación de una experiencia inmersiva basada en realidad virtual orientada al desarrollo de competencias en estudiantes de ingeniería, mediante un entorno que simula un recorrido por una planta productiva y exige la identificación de problemáticas y la aplicación de instrumentos de gestión ambiental en Chile. La intervención se integra en la asignatura Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible del plan de estudios de Ingeniería Civil Industrial en la Universidad Católica de Temuco, utilizando el laboratorio virtual OpLab y dispositivos HMD para situar el aprendizaje en un contexto industrial realista. La propuesta incorpora actividades prácticas guiadas (detección de aspectos/impactos, reconocimiento de stakeholders y formulación de soluciones) con el fin de conectar contenidos teóricos con toma de decisiones en escenarios complejos propios del ejercicio profesional.

La importancia de esta investigación radica en que responde simultáneamente a dos necesidades aún persistentes en la literatura: (i) ampliar la evidencia de uso de la realidad virtual en educación en ingeniería en contextos curriculares reales, más allá de pruebas de laboratorio, y (ii) fortalecer la evaluación del aprendizaje y las competencias movilizadas en experiencias inmersivas mediante mediciones antes/después de la intervención. En particular, al situar la experiencia en un dominio formativo exigente—la gestión ambiental aplicada a operaciones industriales—se busca aportar evidencia sobre cómo la inmersión puede apoyar competencias técnicas (identificación de impactos e instrumentos de gestión), digitales (interacción con entornos virtuales) y transversales (análisis y propuesta de mejoras), contribuyendo con un caso

replicable para asignaturas con restricciones de acceso a terreno por costos, logística y seguridad.

II. METODOLOGÍA

A. Caracterización de la muestra estudiantil

El estudio se centró en estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil Industrial, que se encontraban en el cuarto y quinto año de su itinerario formativo. La intervención de la actividad de realidad virtual (RV) se realizó en la asignatura de Gestión ambiental y Desarrollo sostenible, perteneciente al primer semestre del quinto año en el itinerario formativo.

La información base sobre la caracterización de la muestra estudiantil se adquirió mediante encuestas tipo Likert. La primera encuesta consistió en evaluar las habilidades digitales de los estudiantes. Esta encuesta fue proporcionada por el Centro de Innovación en Aprendizaje, Docencia y Tecnología Educativa de la Universidad Católica de Temuco (CINAP), donde el 5 correspondía a siempre y el 1 a nunca (<https://es.surveymonkey.com/r/M8XY575>). La segunda encuesta tipo Likert tuvo como objetivo evaluar la composición de la muestra estudiantil, el grado de conocimiento y uso que poseen los estudiantes respecto a las tecnologías inmersivas y, por último, qué conocimiento tienen respecto a los conceptos que se evalúan en la actividad de realidad virtual entre los que se destacan: aspectos ambientales, impactos ambientales, stakeholders, aplicación de instrumentos de gestión ambiental y propuesta de soluciones sustentables ([Link encuesta caracterización muestra estudiantil](#)). Esta encuesta fue elaborada en base al estudio reportado por Agarwal y Karahanna [12].

B. Actividad de realidad virtual en la asignatura

Posterior a la caracterización de la muestra estudiantil, se conformaron 7 grupos de trabajo compuestos por 4 estudiantes. Previo a la intervención se seleccionaron videos de realidad virtual de procesos industriales que no habían sido visitados por los estudiantes. A cada grupo se le compartió un video 2D y un documento técnico del proceso industrial a visitar virtualmente, una bitácora de trabajo y el video de realidad virtual para familiarizarse con los términos técnicos en inglés. Todos los estudiantes tuvieron una charla de cómo utilizar los lentes de realidad virtual y se les permitió explorar con videos de realidad virtual de su agrado.

La bitácora de trabajo sirvió para recopilar las expectativas antes de realizar la actividad, qué habilidades digitales creen que se deben fortalecer, conocimiento sobre aspectos e impactos ambientales anterior a la actividad y, por último, que opinaran sobre el efecto de la actividad de realidad virtual en el conocimiento adquirido.

La intervención educativa de esta asignatura se realizó en la segunda mitad del semestre, para asegurar la entrega de los contenidos teóricos. Esta actividad consistió en el uso de lentes de realidad virtual para visitar una sección de una planta productiva que se les fue compartida anteriormente y detectar

aspectos e impactos ambientales junto a aquellos stakeholders que se vieran afectados. Luego, cada grupo de trabajo seleccionó el aspecto e impacto ambiental con el cual continuarían trabajando en la asignatura. El objetivo de la selección del impacto ambiental es investigar por parte del grupo de trabajo una posible solución y, por último, aplicar instrumentos económicos dentro de la gestión ambiental que promuevan la sostenibilidad ambiental.

Pasadas dos semanas, se aplicó una encuesta a los estudiantes para evaluar la absorción cognitiva, actitudes estudiantiles y aceptabilidad frente al uso de los lentes de realidad virtual en la exploración del proceso industrial (encuesta final) y si el uso de los lentes mejoró el aprendizaje en la asignatura. Respecto al tipo de encuesta, ambas correspondieron a una encuesta tipo Likert, donde 1 es nunca y 5 es siempre [12].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Resultados de la caracterización de la muestra estudiantil

La asignatura de Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible fue cursada por un grupo de 27 estudiantes con representación casi equitativa de ambos géneros, identificándose el 52% con el género femenino y el resto con el género masculino (Fig. 1). Un 96% del grupo estudiantil se ubica en el rango de edad entre los 20 y 24 años. Por otro lado, la mayoría del curso (67%) no se reconoce perteneciente a ningún pueblo originario. En relación al avance académico de las y los estudiantes, el 40% afirmó ir completamente al día, un 44%, expresó un avance sobre el 70% del itinerario formativo y solo un 15% mencionó que su avance se encontraba en el rango entre 50 y 70% (Fig.1). Otro aspecto evaluado fueron las 2 dimensiones emocionales: curioso/aventurero y precavido/tímido. El estudiantado se identifica como aventurero en un 67%, lo que significa acorde al modelo de los cinco grandes, que la mayoría del estudiantado está abierto a la experiencia, mientras que un 44% se declara tímido, lo que se puede relacionar con la introversión [13].

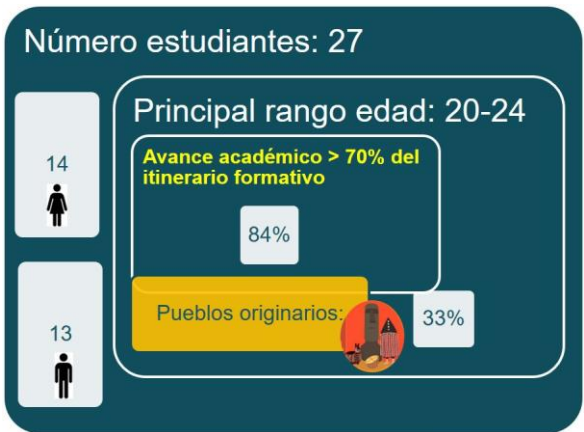


Fig. 1 Caracterización de la muestra estudiantil a través de encuesta inicial

Sobre la encuesta Likert sobre competencias digitales que tiene el estudiantado, en la Fig. 2 se muestra que manejan las competencias digitales evaluadas por la universidad. En especial, la competencia 1 asociada a la gestión de la información digital está en un 80% lograda, mientras que las menos logradas con un 70% son las competencias 3 y 6, que evaluaron la creación de contenido digital y ciudadanía digital, respectivamente. Esto evidencia que los estudiantes manejan aquellas competencias digitales que requieren para enfrentarse a la vida universitaria y la sociedad.

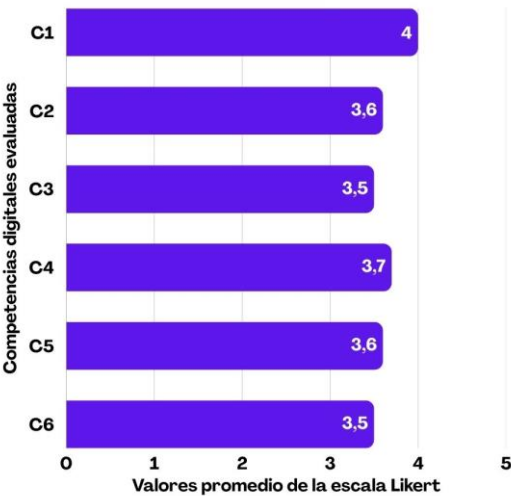


Fig. 2 Evaluación universitaria sobre competencias digitales del estudiantado, donde C1: Gestión de la información digital, C2: Comunicación y colaboración, C3: Creación de contenidos digitales, C4: Seguridad e identidad digital, C5: Resolución de problemas tecnológicos y C6: Ciudadanía digital.

B. Resultados de la encuesta Likert antes de la actividad de realidad virtual

A través de la bitácora, los estudiantes respondieron una pregunta inicial relacionada con su conocimiento de los aspectos e impactos ambientales de los procesos y operaciones industriales en el territorio. Las respuestas fueron recopiladas en un documento y entregadas a Gemini a la inteligencia artificial (IA), solicitándose la evaluación del grado de conocimiento de los estudiantes. La IA reportó que el estudiantado posee una sensibilidad ambiental alta y logra identificar problemas críticos del territorio. Sin embargo, su conocimiento tiende a ser más perceptual que técnico, mostrando aún falta de profundidad en procesos industriales específicos.

Mediante la encuesta de caracterización de la muestra estudiantil, se obtuvo también el grado de conocimiento del estudiantado de la materia, transcurrido la primera mitad del semestre con la asignatura. En principio, se le consultó sobre su base y fundamentos para reconocer aspectos e impactos ambientales (P1), diferenciarlos (P3) e identificarlos en proceso industriales (P2). Además, se evaluó el reconocimiento de stakeholders (P4) y de instrumentos de gestión ambiental (P5), que pueden afectar la gestión

industrial. En la Fig. 3, las barras azules dan cuenta de la percepción del estudiante frente a una serie de preguntas, antes de la actividad de RV. Respecto a indicar si tienen la base suficiente para reconocer aspectos e impactos ambientales (Fig.3 P1), un 62% se siente con suficiente o parcialmente buena base para reconocerlos. Sin embargo, cuando los aspectos e impactos ambientales debían ser identificados en procesos industriales, este valor decrecía a un 58%. Este resultado confirma la evaluación realizada por la IA, la cual indicaba que el estudiantado presenta un grado de conocimiento intermedio y de tipo descriptivo, donde el carácter técnico no se encuentra bien desarrollado. La pregunta asociada con el logro de diferenciar los aspectos e impactos ambientales mostró que es más simple diferenciarlos siempre, que detectar aspectos ambientales en un proceso industrial (Fig.3 P2 y P3). Este hecho se muestra en las opiniones escritas de la bitácora, donde el estudiantado reporta una mayor dificultad respecto a reconocer y formular de manera escrita los aspectos ambientales. Respecto a las consultas sobre reconocer los stakeholders y los instrumentos de gestión ambiental que pueden afectar la gestión industrial, el estudiantado mostró mayor facilidad en reconocer antes de la actividad de RV los instrumentos de gestión ambiental, que los stakeholders (Fig. 3 P5 y P4), mostrando valores de 60% y 55% para instrumentos de gestión ambiental y stakeholders, respectivamente.

C. Resultados de la encuesta Likert después de la actividad de realidad virtual

Posterior a la actividad de realidad virtual, se muestran los principales resultados de la encuesta Likert en la Fig. 3 destacados en color rojo. Un primer resultado importante, es que luego de la actividad de RV, todas las dimensiones evaluadas mostraron un efecto positivo. Efectivamente, el estudiantado notó que la actividad de RV sirvió para mejorar su conocimiento respecto a los ítems evaluados de la gestión ambiental. Entre los resultados que resaltan está que el estudiantado incrementa en un 29% su percepción de detectar aspectos ambientales en procesos industriales (Fig. 3 P2). Otra dimensión a destacar es el efecto positivo de la actividad de RV en reconocer los stakeholders y los instrumentos de gestión ambiental que afectan al proceso industrial con incrementos de 33% y 59%, respectivamente (Fig. 3 P4 y P5).

Por último, y con el fin de realizar un ejercicio de aplicación de lo aprendido (metacognitivo), de lo visto en la asignatura, sumado a su experiencia, y considerando que contaban con mejores perspectivas, se consultó al estudiantado, si podían sugerir soluciones sustentables, para lo observado. En la Fig.3 P6, se aprecia que antes de la experiencia sólo un 22%, consideró que siempre podía sugerir o proponer soluciones sustentables, para procesos y/o operaciones industriales. Sin embargo, post experiencia un 44%, podría siempre proponer soluciones sustentables.

Adicionalmente, a través de la bitácora se recopiló información individual del estudiantado y ésta fue analizada a través de la IA Gemini. La consulta estaba asociada con el aporte de la actividad de RV en su conocimiento del proceso observado y la gestión ambiental. La información entregada por la IA indicó que el estudiantado destacó tres ejes relacionados con el aporte general de la RV: (1) funcionamiento operativo y flujos, (2) identificación de impactos ambientales y (3) seguridad y gestión de riesgos. A través de la RV, el estudiantado resaltó que su aprendizaje estuvo beneficiado y fue más claro con ayuda de la actividad de RV *versus* sólo la entrega del conocimiento teórico. Algunas de las temáticas visualizadas y que no fueron evaluadas fueron la distribución espacial de la planta, el flujo de trabajo y de materiales y el funcionamiento de equipamiento. Respecto a la identificación de impactos ambientales, la opinión general es que la actividad de RV les permitió visualizar lo que suele pasar desapercibido en videos 2D como las emisiones, el ruido y el uso intensivo de recursos naturales y energía. Por último, a través de la RV detectaron fallas críticas o puntos de riesgos, como la falta de iluminación. Sobre el efecto positivo de la RV en su conocimiento, el estudiantado mostró su acuerdo en que es altamente positivo, justificando mediante los beneficios: (1) accesibilidad global, (2) optimización del aprendizaje, (3) entornos de aprendizaje enfocados y (4) seguridad total. La percepción reportada por los estudiantes confirma el efecto positivo reportado por varios autores [2-3]. Además, confirma la información reportada por Yuan et al. [7] sobre que la RV

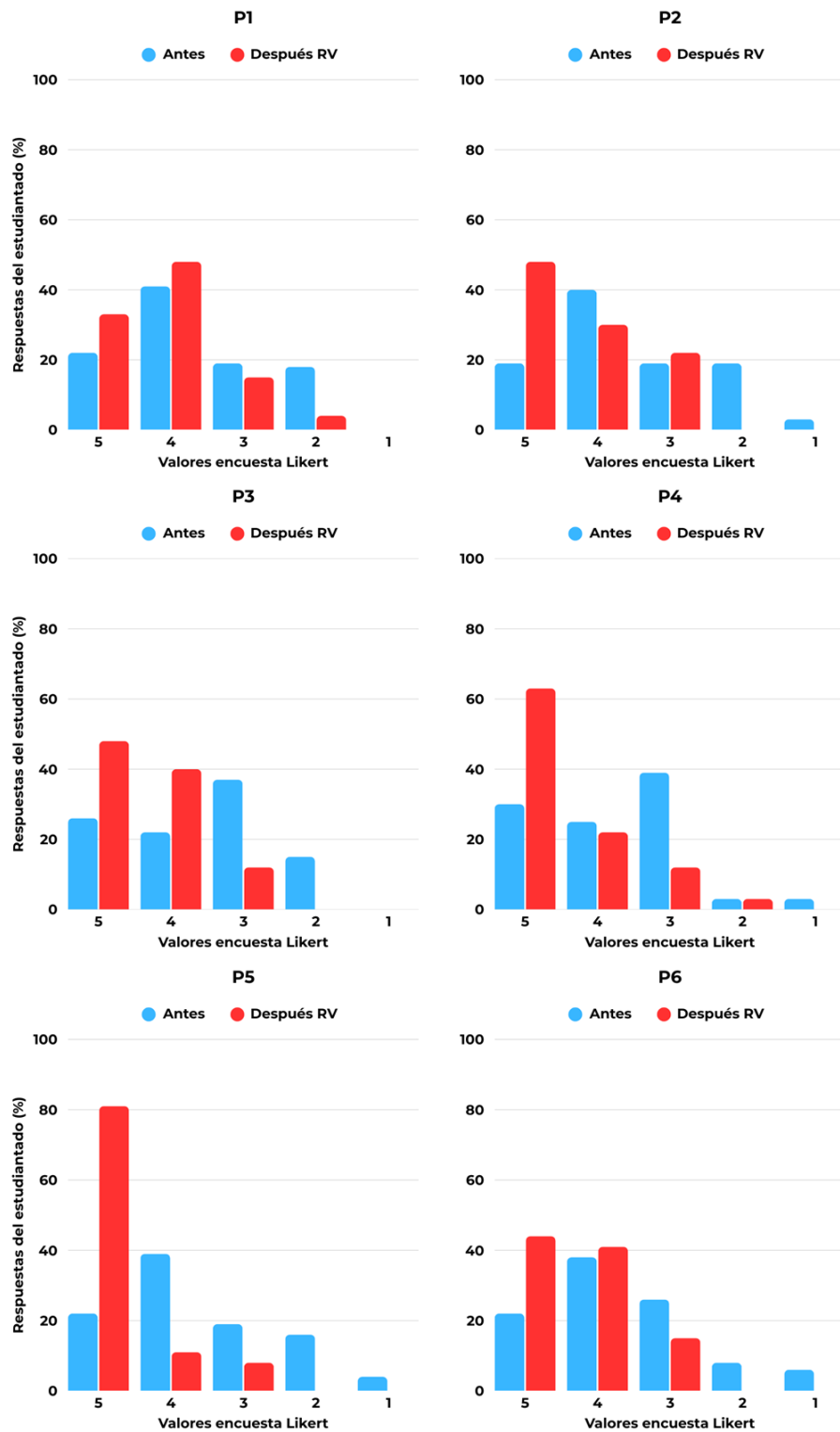


Fig. 3 Respuestas del estudiantado antes y posterior de aplicar la actividad de realidad virtual, donde P1: Mis fundamentos fueron suficientes para reconocer un impacto ambiental, P2: Logré detectar aspectos ambientales en procesos industriales, P3: Logré diferenciar entre aspectos e impactos ambientales, P4: Reconozco stakeholders que afectarían la gestión industrial, P5: Poseo información para reconocer instrumentos de gestión ambiental que afectarían la gestión industrial y P6: Tengo los fundamentos para proponer soluciones sustentables e impactos ambientales de procesos/operaciones industriales.

permite laboratorios y plantas industriales en contextos seguros. Adicionalmente, el estudiantado valoró visualizar plantas industriales internacionales y procesos en entornos de mediana peligrosidad que hubieran sido imposibles o difíciles de visitar, ya sean por motivos de costos o de distancia. Otro aspecto que valoraron fue que la RV facilita la comprensión de sistemas complejos, ya que se puede repetir innumerables veces la experiencia de RV y permite observar el proceso sin distracciones sensoriales.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de la experiencia educativa en la asignatura Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible evidencian un impacto positivo y significativo en el aprendizaje del estudiantado. Se observó un incremento en la confianza y en las bases conceptuales para reconocer impactos ambientales, acompañado de una mejora sustancial en la capacidad de detectar aspectos ambientales y diferenciarlos de impactos dentro de procesos industriales. Asimismo, se fortaleció de manera notable la identificación de stakeholders y, especialmente, el conocimiento de los instrumentos de gestión ambiental, que alcanzó la mayor diferencia entre el inicio y el final del curso. De igual manera, la posibilidad de proponer soluciones sustentables se duplicó tras la experiencia, lo que refleja el desarrollo de competencias críticas para enfrentar los desafíos actuales en sostenibilidad y gestión ambiental. Estos avances sugieren que la metodología aplicada, basada en experiencias inmersivas y activas, no solo favorece la adquisición de conocimientos técnicos, sino también promueve la capacidad reflexiva, analítica y propositiva de los estudiantes. En síntesis, la intervención demuestra que integrar enfoques innovadores en la enseñanza universitaria potencia el aprendizaje significativo y prepara de mejor manera a futuros profesionales para abordar problemáticas ambientales en contextos industriales complejos. Debido a los resultados preliminares obtenidos este trabajo se validará en la cohorte 2026.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

En función de los resultados obtenidos, se propone que trabajos futuros consideraran aislar factores que pudiesen afectar el efecto neto en el aprendizaje al incorporar la realidad virtual u otra tecnología inmersiva. Un aspecto relevante a estudiar es cómo evaluar el impacto de la estrategia en el desempeño estudiantil cuando se dificulta una muestra control y a través de factores cualitativos como la motivación, el gusto por las experiencias nuevas, en fin, incorporar la introversión.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a la Dirección de Docencia de la Universidad Católica de Temuco por el apoyo en la ejecución de esta investigación a través del Proyecto de Investigación docente “OpLab: Innovando en la Formación de Ingeniería Civil Industrial con aprendizaje basado en Realidad Virtual”.

REFERENCIAS

- [1] B. Marks, J. Thomas, “Adoption of virtual reality technology in higher education: An evaluation of five teaching semesters in a purpose-designed laboratory,” *Educ Inf Technol* vol. 27, pp. 1287–1305, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10653-6>.
- [2] E. Zontou, S. Kaminaris, & M. Rangoussi, “On the role of virtual reality in engineering education: a systematic literature review of experimental research (2011-2022),” *European Journal of Engineering Education*, vol. 49, (5), pp. 856–888, 2014. <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2369188>.
- [3] D. Mistry, C.A. Brock, T. Lindsey, “The Present and Future of Virtual Reality in Medical Education: A Narrative Review,” *Cureus* (December 26, 2023) The Present and Future of Virtual Reality in Medical Education: A Narrative Review. *Cureus* vol. 15, (12), e51124, 2023. doi:10.7759/cureus.51124
- [4] A.R. Muzata, G. Singh, M.S. Stepanov, I. Musonda, “Immersive Learning: A Systematic Literature Review on Transforming Engineering Education Through Virtual Reality,” *Virtual Worlds*, vol. 3, (4), pp. 480–505, 2024. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds3040026>.
- [5] D. Hayes, C. Turczynski, J. Rice, and M. Kozhevnikov “Virtual-reality-based educational laboratories in fiber optic engineering”, Proc. SPIE 9289, 12th Education and Training in Optics and Photonics Conference, 928921, July 2014. <https://doi.org/10.1117/12.2070779>.
- [6] B.J. Concannon, S. Esmail, M. Roduta Roberts, “Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training,” *Front. Educ.* vol. 4, pp. 80, 2019. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00080>
- [7] S. Yuan, H. Huang and L. Wu, “Virtual Reality and Augmented Reality in Higher Engineering Education: A Systematic Literature Review,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 33, e70022, 2025. <https://doi.org/10.1002/cae.70022>
- [8] W. Huang & R.D. Roscoe, “Head-mounted display-based virtual reality systems in engineering education: A review of recent research,” *Computer Applications in Engineering Education* vol. 29, (5), pp. 1420–1435, 2021. <https://doi.org/10.1002/cae.22393>
- [9] D. Hamilton, J. McKechnie, E. Edgerton, et al., “Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design,” *J. Comput. Educ.*, vol. 8, pp. 1–32, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>.
- [10] S. Meyliana, S.W.H. L. Hendric and Y. Rosmansyah, “Exploring Immersive Virtual Reality in Higher Education: Research Gap and Future Direction—A Scoping Review,” in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 76308–76321, 2025. 10.1109/ACCESS.2025.3565385.
- [11] H. Fatma, R.K. Bharadwaj, S.A.D. Mantha, A-K. Ghazi, et al., “Advancing Civil Engineering Education: A Systematic Review of Opportunities, Trends, Challenges, and Future Research Directions in Computer-Altered Reality Technologies,” *Research square*: preprint, 2025. <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5996662/v>.
- [12] R. Agarwal & E. Karahanna, “Time flies when you’re having fun: Cognitive absorption and beliefs about information technology usage,” *MIS Quarterly*, vol. 24, (4), pp. 665–694, 2010. <https://doi.org/10.2307/3250951>
- [13] A. Cuadra-Peralta, C. Veloso-Besio, K. Marambio-Guzmán and C. Tapia Henríquez, “Relación entre rasgos de personalidad y rendimiento académico en estudiantes universitarios,” *Interciencia* vol. 40, (10), pp. 690–695, 2015.