

Enhancing Spatial Skills and Blueprint Reading in Construction Workers with Low-Cost Virtual Reality Equipment

Martín Retamal¹, Mauricio Loyola²

¹ Universidad de Chile, Santiago, Chile
martin.retamal.e@ug.uchile.cl

² Universidad de Chile, Santiago, Chile
mloyola@uchile.cl

Abstract. This study examines the application of virtual reality (VR) in remote education for construction trades, specifically focusing on the development of specialized skills and the ability to interpret blueprints. An experiment was conducted that empirically compared the spatial comprehension and blueprint reading abilities of two groups of workers. These workers used both high-end and low-end VR equipment to visualize construction spaces and blueprints. The findings reveal high levels of spatial comprehension and blueprint interpretation without significant differences between the two types of equipment. Overall, the participants responded positively to the experience. The research concludes that VR may serve as an efficient and accessible tool for training in construction fields, with low-end equipment providing a cost-effective and practical solution.

Keywords: Virtual Reality, Construction Education, Spatial Skills.

1 Introducción

En los últimos años, la educación a distancia ha experimentado un crecimiento notable en casi todas las áreas del conocimiento, en gran parte impulsado por los cambios culturales y tecnológicos originados por la pandemia COVID-19. Los cambios han demostrado que la educación remota ofrece ventajas importantes, como una mayor accesibilidad para poblaciones remotas, ahorro en costos y flexibilidad de horarios.

Sin embargo, hay áreas de la educación que han tenido dificultades para adaptarse a este nuevo formato. Un ejemplo claro es la educación en oficios

de construcción. La principal razón es que el aprendizaje de estas habilidades requiere instrucción experiencial y práctica directa, algo que resulta muy difícil de replicar a través de videos y actividades web en plataformas digitales. Esto es un problema importante, pues la falta de opciones de educación remota para oficios de construcción dificulta la formación de la fuerza productiva, disminuyendo las oportunidades laborales y creando una brecha de capital humano para la industria en general.

La realidad virtual (RV) ofrece un camino de respuesta prometedor frente a esta situación. Sus capacidades de presencia inmersivas permiten simular experiencias espaciales completas que replican la vida real, detonando respuestas perceptuales y conductuales similares a las obtenidas con medios físicos. Por ejemplo, la RV ha sido efectiva en la capacitación de obreros en protocolos de seguridad, prevención de riesgos, uso de maquinaria con tableros de control, gestión logística en sitios de construcción y otras tareas. Otras tareas que involucran entrenamiento manual, como aprender a usar una herramienta, son también posibles, pero resultan menos convenientes pues requieren equipos con capacidades hápticas y sensoriales de muy alto costo (Radhakrishnan et al 2021, Davila et al 2020, Wang et al 2018).

En este contexto, un nicho que se vislumbra como especialmente atractivo para la RV es la capacitación de lectura e interpretación de planos de construcción. Esta es una habilidad crucial para la construcción, que no sólo es fundamental para la comprensión y ejecución de los proyectos, sino que también puede marcar la diferencia en términos de eficiencia y seguridad, y que representa un peldaño significativo en la escalera laboral de los trabajadores. Sin embargo, es también una habilidad que muchas veces resulta muy desafiante de aprender, especialmente para aquellos trabajadores con bajas habilidades de abstracción, comprensión espacial y pensamiento simbólico. Parte de esta dificultad radica en que la instrucción tradicional de esta habilidad, tanto en enseñanza presencial como a distancia, es través de enseñanza de simbologías y códigos gráficos, y luego ejercicios de interpretación de planos, lo que resulta abstracto y ajeno para los estudiantes.

En este contexto, el presente trabajo nace con la hipótesis de que la realidad virtual podría facilitar la instrucción al permitirle a los trabajadores "visitar" diferentes espacios y comprender "in situ" su representación gráfica planimétrica de manera intuitiva y concreta. Por ejemplo, una sesión de capacitación podría replicar un sitio de construcción con un plano sobre una mesa o un muro, y los instructores podrían realizar su clase apuntando directamente en el espacio virtual lo que representa cada línea o símbolo gráfico. Además, dado que esta aplicación no requiere retroalimentación háptica o sensorial, se podría implementar de manera efectiva usando equipos de RV de baja gama y bajo costo, constituyéndose como una solución

potencialmente muy atractiva para la implementación de programas de capacitación a distancia para trabajadores de la construcción en esta materia.

El objetivo de este trabajo fue realizar un piloto de esta aplicación y evaluar experimentalmente la hipótesis.

2 Métodos

La investigación se llevó a cabo mediante un diseño experimental de enfoque mixto. Un grupo de trabajadores de la construcción fueron expuestos a distintos escenarios de realidad virtual que replicaban entornos de construcción con planos sobre un muro. Aleatoriamente, los participantes visualizaron los escenarios con equipos RV de alta gama y de baja gama y se evaluó su compresión espacial, comprensión e de planos, comportamiento y percepción personal sobre la experiencia.

2.1 Participantes y escenarios

Los participantes fueron 16 trabajadores de construcción, hombres, de entre 17 a 28 años, de distintos oficios (carpinteros, pintores, yeseros, enfierradores, electricistas y capataces generales). El 45% declaró tener conocimiento sobre lectura de planos, el 38% declaró tener una compresión básica y un 17% declaró no saber leer planos. La inmensa mayoría declaró no tener instrucción formal en construcción, aprendiendo su oficio en obra.

Se utilizaron 2 escenarios de realidad virtual, de similar nivel de complejidad. El escenario 1 replicaba un edificio de bodegaje industrial en etapa final de construcción, es decir, con todos los elementos constructivos claramente reconocibles. El escenario 2 replicaba un comedor de servicio temporal en el edificio industrial, propio de una instalación de faenas. Los planos de construcción fueron correctamente dibujados, pero de manera simplificada, eliminando cotas y textos adicionales para facilitar su lectura en el entorno digital. El plano del escenario 1 era una réplica exacta del espacio digital, mientras que en el escenario 2 había algunas diferencias evidentes, que se utilizaron como parte del procedimiento de evaluación de comprensión espacial y planos.

2.2 Equipos

Los entornos fueron visualizados en equipos RV HMD (Head-Mounted Displays). Se usó un equipo de alta gama modelo Oculus Quest 2 y un equipo de baja gama VR Box , el cual es un accesorio HMD que debe utilizarse en conjunto con un smartphone con sensores de movimiento y giroscopio. Este

tipo de equipos RV de baja gama que operan como adaptadores para smartphones, siguiendo el mismo principio que los Google Cardboard VR, son muy accesibles y de bajo costo. Los smartphones son, por supuesto, muchísimos más costosos, pero Chile su tasa de uso es muy alta, incluso en segmentos sociales populares (SUBTEL, 2021).

Para la evaluación de la experiencia se diseñaron 4 instrumentos en forma de cuestionarios.

El primer cuestionario fue un *screening* inicial para conocer la experiencia del participante en construcción, en lectura de planos y con tecnologías de RV. Adicionalmente, se recopilaron datos demográficos y se aplicó un protocolo de detección de síntomas de COVID-19 a fin de evitar riesgos de contagio a través de los equipos. El primer cuestionario también permitía confirmar que el participante tuviera instalado el equipo HMD de manera cómoda y que la visualización del entorno virtual fuera correcta.

El segundo y tercer cuestionario permitían evaluar el nivel de comprensión espacial en el entorno RV y el nivel de comprensión e interpretación de planos. Por ejemplo, se le pedía que señalara en el espacio un elemento constructivo destacado en un color en el plano virtual, o viceversa, que indicara en el plano la ubicación de un elemento del espacio virtual. En el escenario 2 se le pedía que identificara las diferencias entre el espacio virtual y el plano.

El último cuestionario recopilaba las impresiones generales de los participantes con la utilización de los equipos de RV y con la experiencia.



Figura 1. Equipos de alta gama Oculus Quest 2 (izquierda) y de baja gama VR Box (derecha experimento).

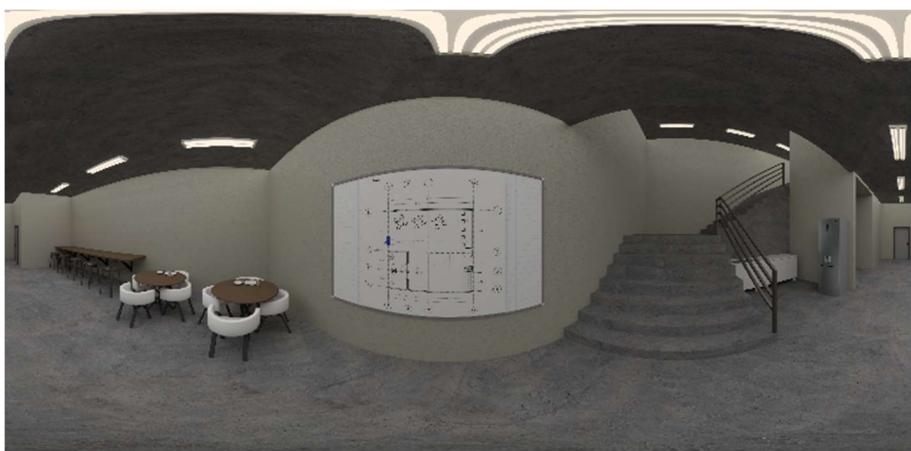
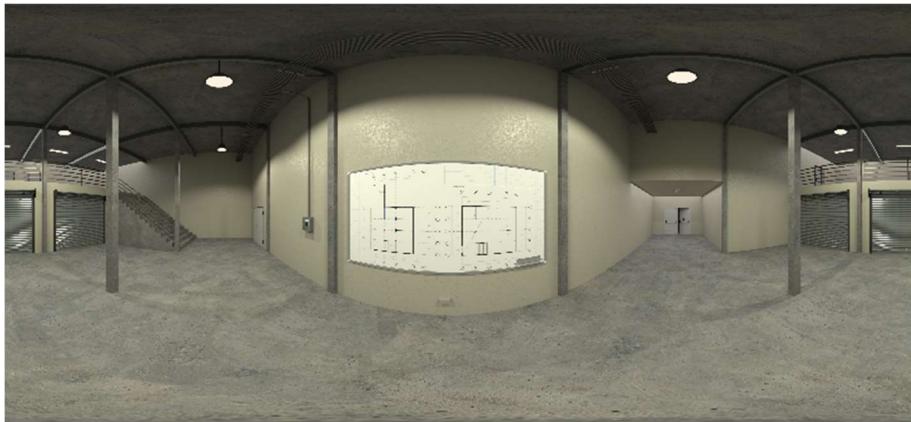


Figura 2. Escenario 1 (arriba) y escenario 2 (abajo) utilizados en el experimento. Se aprecia el plano “colgado” en un muro.

2.3 Procedimiento experimental

Luego de la bienvenida general, explicación del propósito de la experiencia y aceptación del consentimiento informado por los participantes, el grupo se dividió aleatoriamente en 2 subgrupos. Un subgrupo utilizó primero el equipo de alta gama y luego el de baja gama, y el otro subgrupo lo hizo en el orden contrario.

Los participantes tuvieron la oportunidad de probar los equipos HMD con un escenario genérico de prueba y familiarizarse con los equipos antes de comenzar con el experimento propiamente tal.

En cada escenario, los participantes estaban de pie, respondiendo oralmente las preguntas realizadas por el investigador, quien supervisaba todo el proceso a través de una estación de monitoreo remoto.

El último cuestionario (de impresión general) fue aplicado una vez terminado el experimento y sin los equipos HMD puestos.

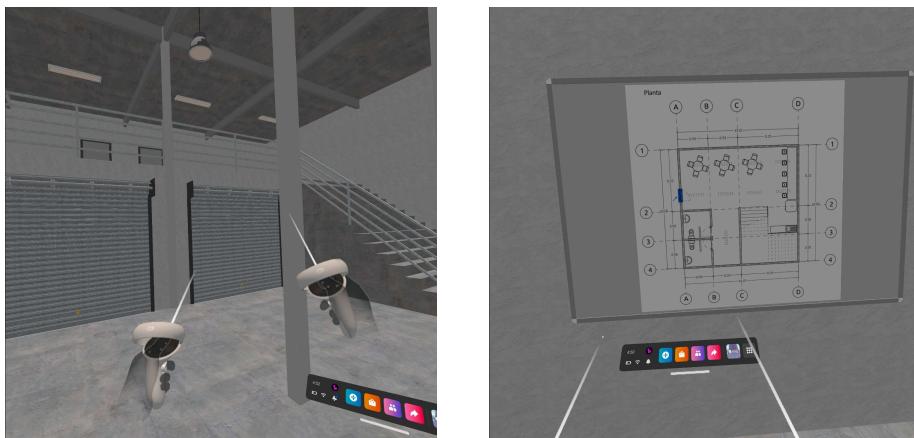


Figura 3. Capturas de pantalla de la vista de participante durante el proceso experimental.



Figura 4. Trabajadores visualizando los modelos durante el proceso experimental.

3 Resultados

En general, los resultados de la experiencia muestran que la aplicación de la realidad virtual en la capacitación de lectura e interpretación de planos de construcción es prometedora. Algunos hallazgos relevantes son los siguientes:

3.1 Comprensión espacial y de planos

En general, la mayoría de los participantes mostró una comprensión adecuada del espacio virtual y de los planos. Los trabajadores pudieron reconocer la configuración del espacio y sus elementos constructivos principales (pilares, vigas, muros, puertas, escaleras, etc.). También pudieron orientarse en el espacio sin mayor dificultad, incluso con los equipos de gama alta que permiten movimiento.

En el escenario 1, donde la tarea era reconocer elementos constructivos en el espacio virtual y en el plano, se obtuvo una tasa de acierto de 83% con los equipos de gama alta y de 71% con los equipos de gama baja. El elemento que marcó la mayor diferencia fue un tabique ubicado en un segundo piso, el cual era visible desde el primer nivel donde estaba el situado el participante. Es posible que la capacidad de moverse en el espacio que tiene el equipo de alta gama, en contraste con la visualización estática del equipo de baja gama, haya sido influyente en este resultado.

En el escenario 2, donde la tarea era reconocer un total de 6 diferencias entre el espacio virtual y el plano, las tasas de acierto fueron muy entre ambos equipos, sin diferencias significativas (promedios 4,7 y 4,9 respectivamente). Esto se puede explicar porque las diferencias eran de gran magnitud (existencia de elementos, posición de elementos) y por lo tanto las mejores características técnicas del equipo de alta gama, como la mejor resolución o sensibilidad al movimiento) no representaron una ventaja relevante.

3.2 Comodidad y usabilidad de los equipos

Aunque, en general, la comodidad y usabilidad de los equipos HMD utilizados fue suficiente para cumplir con el objetivo del piloto y experimento, se observaron diferencias claras entre los equipos de gama alta y gama baja. En los equipos de gama alta, los participantes reportaron mejor calidad de imagen (“enfoque”) y mejor respuesta frente a sus movimientos (6,3 en una escala de 1 a 7) que en los equipos de gama baja (5,7). El ajuste del equipo en la cabeza (por ej. distribución del peso) también fue mejor evaluada en el equipo de gama alta versus el equipo de gama baja. No obstante, ningún participante señaló que la (falta de) comodidad o usabilidad hubiera constituido un impedimento para realizar la actividad.

Un aspecto interesante es que, en el cuestionario final, los participantes señalaron que la familiarización con el entorno virtual había sido más difícil en el equipo de gama alta en comparación con el equipo de gama baja. Es posible especular que la menor sofisticación del equipo de gama baja, en vez de constituir una limitación para su uso, tengan en cambio un impacto positivo en la simplicidad de uso, y con ello, en su masificación para educación a distancia con trabajadores de construcción.

En ningún participante se observaron signos de mareos, desorientación, incomodidad u otros efectos negativos del uso de RV reportados en otros experimentos. La corta duración de la exposición a los entornos virtuales y el diseño sencillo de los escenarios parecen haber evitado estos problemas.

3.3 Opiniones y percepciones de los participantes

Los cuestionarios finales revelaron una respuesta positiva general hacia la experiencia de RV. Los participantes se mostraron entusiasmados y muchos expresaron que la utilización de RV facilitó la comprensión de planos, una tarea que a menudo encuentran desafiante. La mayoría expresó que la RV era atractiva y potencialmente útil en su trabajo. Los participantes apreciaron la inmersión y la posibilidad de relacionar directamente el espacio tridimensional con los planos, y recomendaban su inclusión temprana a la educación y al trabajo en obra.

4 Discusión

En conjunto, los resultados ofrecen una perspectiva alentadora para el uso de la RV como herramienta de apoyo a la capacitación en lectura de planos para trabajadores de construcción.

La mayoría de los participantes demostró una comprensión adecuada del espacio virtual y de los planos, con una tasa de acierto alta en ambas configuraciones de equipos (alta y baja gama). Si bien los equipos de gama alta mostraron una mejor calidad de imagen y respuesta al movimiento, los equipos de baja gama fueron suficientes para cumplir con los objetivos y, de hecho, mostraron una familiarización más sencilla, lo que podría ser beneficioso para su implementación masiva.

De hecho, la utilización de equipos de gama baja no solo parece ser más sencilla para los trabajadores, sino que también implica costos significativamente más bajos. El alto costo de los equipos VR de gama alta resulta prohibitivo para muchas instituciones educativas, y claramente

constituiría una barrera difícil de franquear en caso de programas de formación a distancia. En cambio, los equipos de gama baja en base a smartphones representan una opción conveniente y económica que entrega, según ha quedado en evidencia, resultados comparables a los equipos de primera línea.

La utilización de RV también tiene un impacto positivo en la motivación de los trabajadores con el aprendizaje de una habilidad que es usualmente considerada difícil. En este experimento, a pesar de la simplicidad del espacio y de la sensación de evaluación dada por la aplicación de un cuestionario, los trabajadores se manifestaron entusiasmados e interesados.

Pedagógicamente, el uso de RV para la enseñanza de lectura de planos, y más ampliamente, para el desarrollo de habilidades espaciales, constituye una herramienta muy valiosa. La posibilidad de sumergirse en un entorno tridimensional ofrece una oportunidad única para comprender y visualizar espacios y estructuras en primera persona, algo que no es posible con métodos de enseñanza tradicionales.

Por otro lado, es importante tener en cuenta algunas limitaciones y desafíos. En primer lugar, este estudio tuvo una muestra limitada y enfocada en un nicho específico, lo que requiere cautela en la generalización de los resultados. Se necesitarían estudios a más largo plazo para entender el impacto en la retención y aplicación efectiva de las habilidades aprendidas. Por lo tanto, es esperable que investigación futura se expanda con muestras más grandes y representativas, participantes de diferentes oficios y niveles de habilidad, escenarios con distintos niveles de complejidad, y, sobre todo, análisis más amplios y extendidos que evalúen el aprendizaje efectivo. No obstante, los resultados aquí presentados son muy esperanzadores y, por lo tanto, deben ser vistos como un buen primer paso sólido hacia una comprensión más completa de cómo la realidad virtual puede ser integrada de manera efectiva en la capacitación y educación en el sector de la construcción.

En conclusión, esta investigación proporciona evidencia inicial de que la RV ofrece una vía prometedora para la capacitación en la lectura e interpretación de planos de construcción. La capacidad de implementar esta formación utilizando equipos de baja gama podría hacer que esta tecnología sea una solución accesible y escalable, abriendo nuevas oportunidades para la formación en oficios de construcción y contribuyendo a cerrar la brecha de capital humano en la industria.

Agradecimientos. Agradecemos a Patricio Gajardo y Lorena Silva, coordinadores de la Escuela Nocturna de Obreros de la Construcción (ENOC), de la Universidad de Chile, por sus comentarios sobre la educación de obreros. También agradecemos al jefe obra Saúl y a todos los trabajadores que participaron en la experiencia y aportaron sus valiosos comentarios.

Referencias

- Davila, J. M., Oyedele, L., Beach, T., & Demian, P. (2020). Augmented and Virtual Reality in Construction: Drivers and Limitations for Industry Adoption. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(7), 04020079. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001844](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001844)
- Goulding, J., Nadim, W., Petridis, P., & Alshawi, M. (2012). Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype. *Advanced Engineering Informatics*, 26(1), 103-116. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.09.004>
- Radhakrishnan, U., Koumaditis, K., & Chinello, F. (2021). A systematic review of immersive virtual reality for industrial skills training. *Behaviour & Information Technology*, 40(12), 1310-1339. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2021.1954693>
- Superintendencia de Telecomunicaciones [SUBTEL] (2020). Conexiones móviles alcanzan los 19,8 millones e internet fijo crece cerca del 8% a septiembre de 2020. <https://www.subtel.gob.cl/conexiones-moviles-alcanzan-los-198-millones-e-internet-fijo-crece-cerca-del-8-a-septiembre-de-2020/>
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., & Wang, X. (2018). A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1204. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061204>