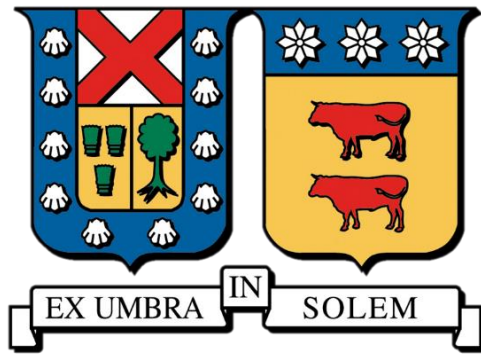


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL PARA LA
PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

NICOLE ELIZABETH FERNÁNDEZ VILLALOBOS

Memoria para optar al Título de
Constructora Civil

Profesor Guía
Luis Salazar Fica

Diciembre, 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de esta memoria, cuyo desarrollo representa un hito importante en mi formación académica y profesional.

En primer lugar, agradezco a mi familia, mi mayor pilar, gracias por su amor, comprensión y palabras de aliento durante este proceso. Su confianza en mis capacidades y su apoyo inquebrantable han sido mi principal motivación para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

Un agradecimiento especial a mis amigos, quienes no solo me brindaron apoyo académico, sino también momentos de alegría y desconexión. Su compañía hizo que este recorrido fuera más llevadero y enriquecedor.

Quiero dedicar unas palabras a mi grupo favorito, BTS, quienes a través de su música y mensajes de inspiración han sido una fuente constante de energía y motivación. Sus canciones me han acompañado durante largas jornadas de trabajo, recordándome siempre que puedo superar cualquier desafío con dedicación y pasión.

"Effort makes you. You will regret someday if you don't do your best now. Don't think it's too late but keep working on it. It takes time, but there's nothing that gets worse due to practicing. So, practice. You may get depressed, but it's evidence you are doing good." – Jeon Jungkook

Además, agradezco de corazón a mis adorables mascotas: Mila, Emma, Apolo, Samito y Sammy. Su compañía incondicional, sus juegos y su cariño inagotable fueron un refugio para mí en los momentos de estrés y cansancio. Ellos siempre lograron sacar una sonrisa y traer tranquilidad a mi día.

Extiendo también mi gratitud a mi profesor y guía, quien, con su experiencia, conocimiento y orientación constante, han contribuido de manera significativa a la culminación de este trabajo.

Por último, gracias a todos aquellos que, de una u otra manera, aportaron su granito de arena en este proyecto. Su apoyo, aunque quizás no siempre visible, ha sido crucial para que esta memoria sea una realidad.

¡Gracias infinitas a todos!

"Don't be trapped in someone else's dream." – Kim Taehyung 

RESUMEN

En un contexto donde la transformación digital se vuelve una necesidad para las industrias en Chile, la investigación realizada busca plantear el uso de la realidad virtual (RV) como una herramienta innovadora con grandes potenciales de desarrollo.

La investigación aborda el uso de RV como herramienta para la prevención de accidentes y como método de capacitación dentro de la industria de la construcción. Demostrando su capacidad en superar las limitaciones de los métodos tradicionales de capacitación, ofreciendo experiencias en donde el capacitado podrá verse envuelto en entornos inmersivos y controlados, favoreciendo la identificación de los riesgos asociados y fortaleciendo el conocimiento adquirido.

Esta investigación se inició con una revisión de literatura exhaustiva, seguida por encuestas realizadas a profesionales del área con el fin de contrastar el uso de RV a nivel internacional con lo ocurrido en Chile. Dentro de los hallazgos a través de la literatura, destaca la facultad que tiene la RV para evaluar los riesgos y mejorar los procesos dentro de la industria, además de simular tareas y escenarios peligrosos sin exponer realmente a los trabajadores, fomentando el aprendizaje práctico y efectivo. Entre sus beneficios destaca su efectividad en el aprendizaje, el incremento en la confianza del capacitado y la mejora en la percepción de riesgos y seguridad. A pesar de las ventajas y beneficios que brinda la RV, esta herramienta debe enfrentar barreras para su adopción por parte de la industria, destacando entre estas su alto costo de implementación, su complejidad técnica de uso y la falta de conocimiento técnico entre los trabajadores, debiendo requerir mano de obra especializada para su ejecución y aplicación.

Mediante las encuestas realizadas (112), se logró identificar un gran interés por parte de la industria en lograr la aplicación de RV en las áreas de edificación, obras civiles y proyectos industriales. Destacando su aplicación para la prevención de las formas de accidentes más recurrentes como caída de personas, golpes y cortes. Además, se logró identificar posibles aplicaciones como la simulación de agentes contaminantes, que refieren al cuidado frente a la manipulación de químicos o la polución provocada por el mal manejo de algún equipo o maquinaria. A pesar de su limitado uso en el territorio nacional, los encuestados reconocen las posibilidades que esta herramienta brinda, estando dispuestos a llevar a cabo su adopción.

Finalmente, se presentan opciones para facilitar la adopción de la RV, como la promoción de programas gubernamentales, programas de apoyo financiero y apoyo que permitan a las empresas afrontar los altos costos de implementación y conocimiento técnico entre sus trabajadores. Además, de posibles investigaciones para la integración de esta herramienta a la industria, permitiendo disminuir la brecha investigativa que existe a nivel nacional sobre el uso de la RV.

ABSTRACT

In a context where digital transformation becomes a necessity for industries in Chile, the research conducted aims to propose the use of virtual reality (VR) as an innovative tool with great development potential.

The research addresses the use of VR as a tool for accident prevention and as a training method within the construction industry. Demonstrating its ability to overcome the limitations of traditional training methods, offering experiences where the trainee can be immersed in controlled and immersive environments, favoring the identification of associated risks and strengthening the acquired knowledge.

It began with an exhaustive literature review, followed by surveys conducted with professionals in the field to compare the use of VR internationally with what has occurred in Chile. Among the findings through the literature, the ability of VR to assess risks and improve processes within the industry stands out, as well as to simulate tasks and dangerous scenarios without actually exposing workers, fostering practical and effective learning. Among its benefits, its effectiveness in learning, the increase in the trainee's confidence, and the improvement in risk and safety perception stand out. Despite the advantages and benefits that VR offers, this tool must face barriers to its adoption by the industry, among which stand out its high implementation cost, its technical complexity of use, and the lack of technical knowledge among workers, requiring specialized labor for its execution and application.

Through the surveys conducted (112), a great interest from the industry in achieving the application of VR in the areas of construction, civil works, and industrial projects has been identified. Highlighting its application for the prevention of the most recurrent types of accidents such as falls, blows, and cuts. Additionally, possible applications such as the simulation of contaminant agents were identified, which refer to the care needed when handling chemicals or the pollution caused by the improper handling of equipment or machinery. Despite its limited use in the national territory, the respondents recognize the possibilities that this tool offers, being willing to adopt it.

Finally, options are presented to facilitate the adoption of VR, such as the promotion of government programs, financial support programs, and support that allows companies to cope with the high costs of implementation and technical knowledge among their workers. Additionally, possible research for the integration of this tool into the industry, allowing for the reduction of the research gap that exists at the national level regarding the use of VR.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. MARCO CONCEPTUAL	4
3.1 Realidad virtual como herramienta de prevención de accidentes	4
3.2 Metodología de investigación	4
3.3 Revisión de literatura	8
4. METODOLOGÍA.....	14
4.1 Recolección de datos	14
4.2 Análisis de datos	19
5. RESULTADOS	21
5.1 Beneficios, usos y barreras detectadas.....	21
5.2 Encuesta	25
5.3 Gráficos.....	27
6. DISCUSIONES	31
6.1 Realidad virtual	31
6.2 Estado de la práctica en Chile.....	32
6.3 Recomendaciones	34
7. CONCLUSIÓN	34
REFERENCIAS	37
ANEXOS	39
Anexo 1: Encuesta a profesionales.	39

ÍNDICE FIGURA

Figura 1: Diagrama de flujo metodología PRISMA.	5
Figura 2: Mapa de revisión de literatura.	8
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología de encuesta.	15
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología recolección y análisis de datos.	18
Figura 5: Ubicación de profesionales encuestados.	19
Figura 6: Caracterización de los encuestados.	20
Figura 7: Experiencia de los encuestados.	21
Figura 8: Mapa de concentración de encuestados en Chile.	21
Figura 9: Métodos de capacitación más utilizados por los profesionales encuestados.	28
Figura 10: Accidentes más recurrentes enfrentados por los profesionales encuestados.	28
Figura 11: Promedio de proyectos por encuestado que utilizó RV.	29
Figura 12: Tipos de proyectos en los que los profesionales aplicarían RV.	30
Figura 13: Cantidad de encuestados que aplicarían RV en sus proyectos.	30
Figura 14: Formas de accidentes en los que los profesionales aplicarían RV.	31

ÍNDICE TABLA

Tabla 1: “Lista de artículos referentes al uso de realidad virtual en las Industria”	6
Tabla 2: “Definición de conceptos identificados mediante revisión de literatura”	10
Tabla 3: “Tabla de resumen Dashboard entregado por la plataforma QuestionPro”	19
Tabla 4: “Frecuencia de usos en artículos”	22
Tabla 5: “Frecuencia de barreras detectadas en los artículos”	23
Tabla 6: “Frecuencia de beneficios en artículos”	24
Tabla 7: “Codificación Pregunta 2”	25
Tabla 8: “Codificación Pregunta 3”	26
Tabla 9: “Codificación Pregunta 7”	26
Tabla 10: “Frecuencia de encuestados que utilizaron RV en proyectos”	29

1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, lo que se conoce como la cuarta revolución industrial ha traído consigo grandes avances tecnológicos y científicos que abarcan el uso de ordenadores y sistemas físicos en red (Li et al., 2022). Como parte de estos avances producidos en esta revolución 4.0 encontramos el big data, la inteligencia artificial, la cadena de bloques, el internet de las cosas, la realidad virtual y el aprendizaje automático, las cuales según Li et al. (2022) se han extendido ampliamente por todo el mundo y tienen el potencial de transformar la forma en que las empresas operan en el contexto digital.

Según Liu et al. (2023) la adopción y aplicación de tecnologías digitales se ha convertido en una opción inevitable para que diversas industrias y empresas mantengan su competitividad a lo largo del tiempo. Sin embargo, la industria de la construcción ha presentado un cierto grado de estancamiento en el proceso de transformación digital, situándose en el lugar 22 en cuanto a nivel de digitalización (Liu et al., 2023).

Musarat et al. (2024) indican que el sector de la construcción es importante para la economía mundial. En Chile, la industria de la construcción es uno de los rubros más importantes de la economía chilena, pues contribuye al PIB con un 7% (CChC, 2023). Sin embargo, la digitalización de los proyectos de construcción se ha considerado una tarea difícil, debido a la naturaleza única y temporal de los proyectos de construcción, así como a su creciente escala y complejidad (Liu et al., 2023). Por lo tanto, llevar a cabo la digitalización de los proyectos de construcción es de gran importancia para fomentar la transformación digital de la industria de la construcción.

La transformación digital no es sólo el uso de la tecnología digital para mejorar la eficiencia, sino que también representa un cambio potencial del modo de competencia, así como el cambio del pensamiento de gestión empresarial y de la estructura organizativa interna (Dolla et al., 2023). Por lo tanto, si una empresa quiere asegurar una ventaja competitiva en la nueva era de la economía digital, debe establecer un sentido de transformación lo antes posible, cambiar fundamentalmente el concepto de gestión tradicional y acelerar la integración de tecnología. La industria de la construcción se caracteriza por llevar una gestión tradicional y conservadora, lo que impide la adopción de nuevas tecnologías. Según Li et al. (2022) esta industria ha presentado muchas dudas a la hora de adoptar este nuevo concepto, pues está inundada de complicaciones que hacen compleja la adopción de esta revolución. Según Nawi et al. (2021) esta situación es el resultado de distintos factores internos y externos que van desde la falta de disponibilidad de la mano de obra adecuada, la insuficiencia de contratistas, la complejidad, la ambigüedad, la fragmentación, la cultura y la falta de conocimiento hasta la desintegración de la propia industria, a esto se suma lo indicado por Liu et al. (2023) que señalan que la falta de beneficios claros, experiencia y conocimientos digitales de los interesados, restringen significativamente la adopción de la tecnología digital en los proyectos de construcción.

Uno de los procesos más tradicionales en la industria de la construcción es la capacitación del personal, con el objetivo de contar con mano de obra calificada para ejecutar los proyectos y evitar los frecuentes incidentes en seguridad (Li et al., 2022). Sin embargo, diversos estudios han evidenciado que los resultados de estas capacitaciones no siempre son satisfactorios en términos de adquisición de conocimientos (Pooladvand et al., 2021).

La industria de la construcción se caracteriza por un elevado riesgo de accidentes y lesiones laborales, siendo considerada una de las más peligrosas a nivel mundial (Nykanen et al., 2020). En Chile, la tasa de accidentabilidad en este sector es de 3,1 por cada 100 trabajadores protegidos (SUSESO, 2023). Entre las principales causas del bajo nivel de seguridad laboral en esta industria, se destaca la falta de formación en seguridad (Nykanen et al., 2020).

Las tecnologías emergentes, como la RV, proporcionan herramientas para crear métodos de formación en seguridad más atractivos. En particular, la RV tiene el potencial de resaltar el papel activo del capacitado en las actividades de capacitación en seguridad. Esta es un entorno generado por computadora que incluye estímulos sensoriales, permitiendo al usuario explorar, interactuar y manipular objetos dentro de una escena tridimensional (Rey-Becerra et al., 2023). Estos aspectos proporcionan beneficios en la capacitación en seguridad en la construcción, tales como la simulación de un lugar de trabajo real en un entorno controlado, y el aprendizaje inmersivo y atractivo (Rey-Becerra et al., 2023). Además, ofrecen diversas ventajas, como bajos costos de mantenimiento, accesibilidad, posibilidad de repetición y personalización según el usuario, lo que las hace especialmente beneficiosas para la capacitación en la construcción (Rokooei et al., 2023).

Aunque la RV ofrece beneficios como los mencionados, a nivel nacional solo existe un estudio realizado por la empresa Yoy Spa (2019), cuyo objetivo es analizar las diferencias entre las capacitaciones con RV y las tradicionales. Este estudio se centra en simulaciones para la prevención de accidentes, específicamente aquellos que resultan en cortes con amputaciones de extremidades.

Para disminuir la actual brecha investigativa, este estudio busca evaluar el estado de la práctica de la RV en Chile, con el fin de reflejar si la industria de la construcción se encuentra dispuesta a adoptar estas nuevas tecnologías y hacer uso de las ventajas que poseen frente a métodos tradicionales. Para cumplir con este objetivo, se analizarán las respuestas recibidas por parte de profesionales de la industria, recabadas a través del método de encuestas.

Aunque la industria de la construcción tiene un inmenso potencial, la única forma de avanzar para lograr la máxima eficiencia de producción y rendimiento es a través de la incorporación de nuevas tecnologías, la digitalización y la innovación para la industria de la construcción (Nawi et al., 2021).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Identificar los beneficios que brinda el uso de la realidad virtual para la prevención de accidentes dentro de la industria de la construcción y reconocer el estado de la práctica en Chile el año 2024.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar tres principales usos y barreras de la realidad virtual en la industria de la construcción, además de los tres principales accidentes ocurridos en la industria a través de una revisión de literatura.
- Analizar el estado actual de aplicación de la realidad virtual en las obras de construcción en Chile, a través de encuestas realizadas a profesionales del área.
- Determinar los cuatro principales beneficios del uso de la realidad virtual para la industria de la construcción en el año 2024.

3. MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se establecen los fundamentos teóricos y conceptuales que sustentan la investigación, proporcionando un contexto sólido para entender el rol de la realidad virtual como herramienta en la prevención de accidentes en la industria de la construcción.

3.1 Realidad virtual como herramienta de prevención de accidentes

Se llevó a cabo una revisión de literatura siguiendo los lineamientos de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para explorar los principales usos, beneficios y barreras asociados al uso de la realidad virtual en la industria de la construcción. Este análisis se centró en identificar cómo esta tecnología contribuye a la prevención de accidentes, los beneficios que ofrece frente a métodos tradicionales y su impacto en la adquisición de conocimientos por parte de los trabajadores, con el objetivo de reducir la tasa de accidentabilidad en el sector. Además, se examinaron las principales barreras que dificultan su implementación en este ámbito.

3.2 Metodología de investigación

Para lograr un mejor entendimiento, a continuación, se presenta un esquema que muestra los pasos seguidos para llevar a cabo una revisión de literatura siguiendo los lineamientos de PRISMA.

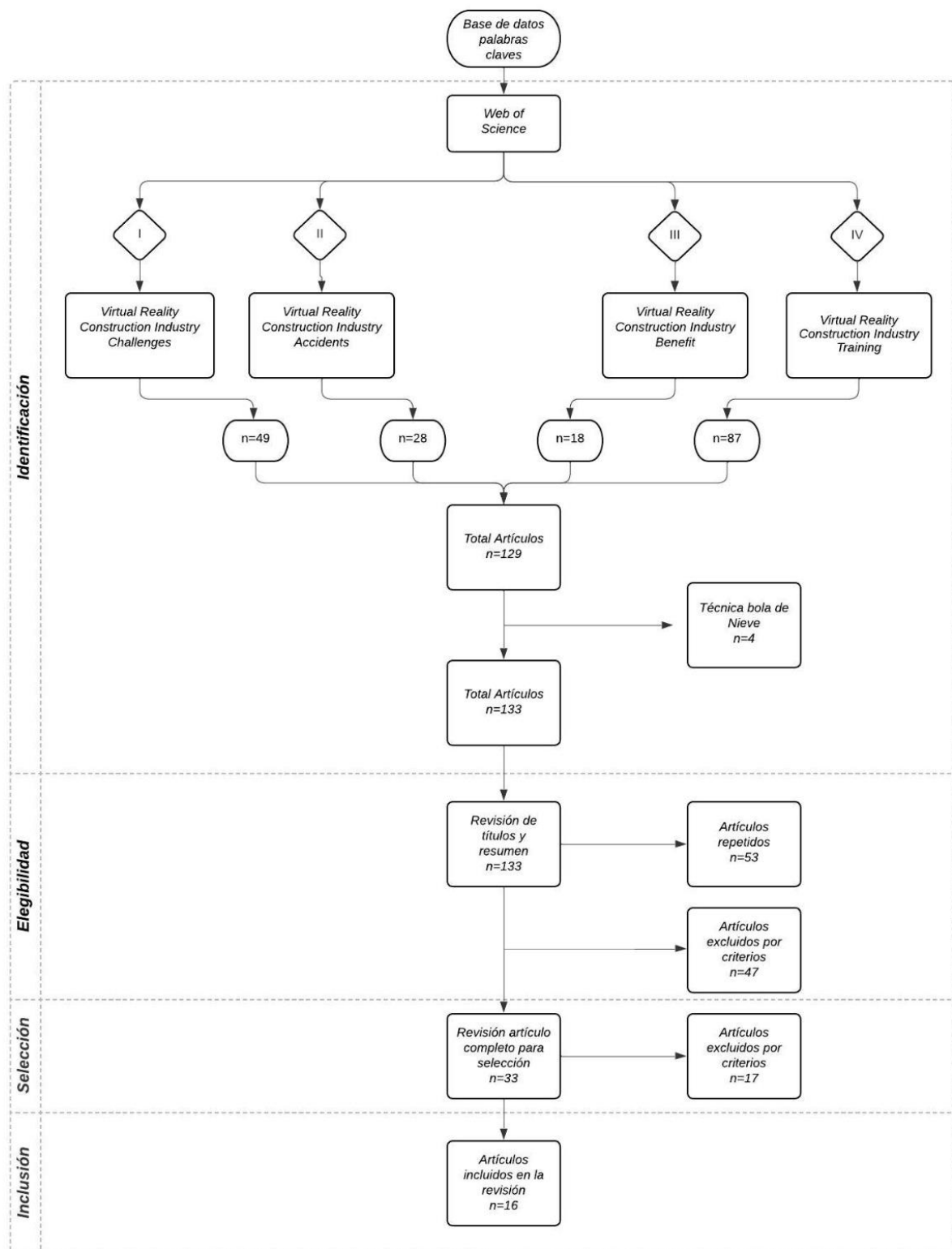


Figura 1: Diagrama de flujo metodología PRISMA.

Como primer paso, se identificaron las palabras clave y se determinó la base de datos donde se revisarían las investigaciones. Se optó por trabajar con Web of Science debido a la variedad de temas relacionados con el estudio. La búsqueda comenzó con las palabras clave "Virtual Reality" y "Construction Industry", obteniendo 255 artículos (fecha de acceso 28 de julio de 2024). Después de esto, se decidió incluir los términos “challenges”, “accidents”, “benefit” y “training”, esto con el fin de identificar los principales usos, barreras y beneficios de esta herramienta, su aplicación para la prevención de accidentes y cómo es su aceptación frente a otros medios de capacitación. Dicho lo anterior, se buscó en todos los campos de Web of Science utilizando las siguientes combinaciones: (“Virtual Reality” and “Construction Industry” and “Challenges”), (“Virtual Reality” and “Construction Industry” and “Accidents”), (“Virtual Reality” and “Construction Industry” and “Benefit”) y (“Virtual Reality” and “Construction Industry” and “Training”); de este modo, se obtuvo 129 resultados iniciales. Se identificaron 4 artículos por medio de la técnica de bola de nieve, los cuales reflejan las principales formas de accidentes y la tasa de accidentabilidad en la industria de la construcción en Chile, además de un estudio de aplicación de RV en capacitaciones a nivel nacional, finalmente se identificó que otras industrias hacen uso de las ventajas de la realidad virtual.

Para el proceso de elegibilidad, se eliminaron 53 publicaciones por duplicidad. Además, se descartaron 47 publicaciones por los siguientes criterios:

1. Los artículos no estaban relacionados con la industria de la construcción y realidad virtual para la prevención de accidentes.
2. Los artículos que no se pudieron revisar en su totalidad, por ser de pago.
3. Los artículos que no se encontraban en inglés.

En total, se excluyeron 100 artículos tras revisar el título y el resumen, dejando un total de 33 artículos que se revisaron en su totalidad. Después, se descartaron 17 artículos siguiendo nuevamente los criterios de exclusión descritos anteriormente.

Por último, quedaron 16 artículos que fueron clasificados según su fuente. Los resultados pueden verse en la tabla 1.

Tabla 1: “Lista de artículos referentes al uso de realidad virtual en las Industria”

N°	Autor	Título
1	Truong et al. (2021)	Multi-User Virtual Reality for Remote Collaboration in Construction Projects: A Case Study with High-Rise Elevator Machine Room Planning
2	Rey-Becerra et al. (2023)	Improvement of short-term outcomes with VR-based safety training for work at heights
3	Alzarrad et al. (2024)	Revolutionizing construction safety: introducing a cutting-edge virtual reality interactive system for

		training US construction workers to mitigate fall hazards
4	Adami et al. (2022)	Impact of VR-Based Training on Human-Robot Interaction for Remote Operating Construction Robots
5	Bao et al. (2022)	Cross-platform virtual reality for real-time construction safety training using immersive web and industry foundation classes
6	Alzarrad et al. (2023)	Harnessing Virtual Reality to Mitigate Heat-Related Injuries in Construction Projects
7	Nykanen, et al. (2020)	Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a randomized controlled trial
8	Nykanen, et al. (2020)	Evaluation of the efficacy of a virtual reality-based safety training and human factors training method: study protocol for a randomised-controlled trial
9	W. Li et al. (2022)	Synthesizing Personalized Construction Safety Training Scenarios for VR Training
10	Rokooei et al. (2023)	Virtual reality application for construction safety training
11	Yoo et al. (2023)	Understanding VR-Based Construction Safety Training Effectiveness: The Role of Telepresence, Risk Perception, and Training Satisfaction
12	Yoy Spa (2019)	Serie Proyectos de Investigación e Innovación
13	Lan et al. (2021)	Slow breathing exercise with multimodal virtual reality: A feasibility study
14	Kour et al. (2022)	A Human-Centric Model for Sustainable Asset Management in Railway: A Case Study
15	Mohammadi et al. (2023)	Cost/Benefit Analysis Model for Implementing Virtual Reality in Construction Companies
16	Perez et al. (2013)	Impact of virtual training on safety and productivity in the mining industry

El interés por los beneficios que puede brindar el uso de la realidad virtual (RV) en capacitaciones crece exponencialmente, según lo demuestra esta primera parte de la investigación, ya que, del total de artículos encontrados (16), el 12% corresponde a un artículo del año 2013 y otro al año 2019, mientras que el 88% corresponde a los años 2020 – 2024. Como se aprecia en la figura 2, los países EE.UU, Australia, Finlandia y Corea del Sur son los que reflejan un mayor interés por los beneficios que se pueden obtener tras el desarrollo y aplicación de esta herramienta.

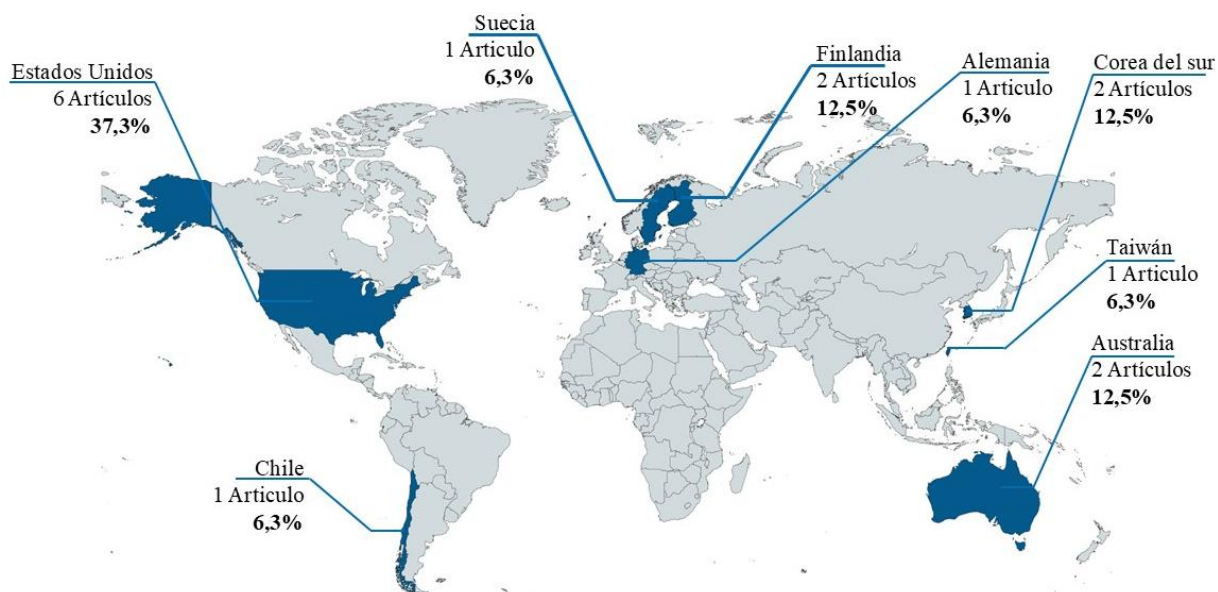


Figura 2: Mapa de revisión de literatura.

De los artículos seleccionados, existe un grupo de 10 documentos que abordan la capacitación en seguridad con el fin de prevenir accidentes en distintas áreas, como lo son caídas desde alturas, amputaciones y quemaduras provocadas por el sol.

Además, existen 2 documentos que tratan sobre la utilización de RV en la etapa de diseño de un proyecto, permitiendo la detección de errores y la correcta distribución durante la instalación de faena que permitan evitar la ocurrencia de futuros accidentes.

En contraste, existen 3 documentos en que se demuestra que la RV está siendo aplicada en otras industrias como minería, sector ferroviario y salud (Kour et al., 2022).

Existe 1 documento que se refiere a un análisis costo/beneficio de la aplicación de RV en la industria de la construcción (Mohammadi et al., 2023).

3.3 Revisión de literatura

Esta revisión de literatura explora las aplicaciones clave de la realidad virtual (RV) en diferentes sectores, destacando sus beneficios, barreras y el potencial uso en la industria de la construcción. La RV, definida como un entorno tridimensional creado por un computador, sumerge al usuario mediante dispositivos como visores y controladores de mano (Kour et al., 2022; Nykanen et al., 2020). Existe la necesidad de diferenciar los conceptos de “inmersión” y “presencia”. La “inmersión” es un objetivo principal de la RV, definida como la capacidad que brindan las pantallas de entregar una ilusión envolvente; mientras que, la “presencia” hace alusión a la sensación de “estar ahí” (Nykanen et al., 2020). Según Nykanen, et al. (2020), existe una diferencia clave entre la RV inmersiva y no inmersiva, y es que, la RV no inmersiva hace alusión al uso de computadores de escritorio o pantallas de tabletas, mientras que la inmersiva utiliza tecnologías más avanzadas que rastrean los movimientos de la cabeza y el cuerpo.

La capacidad de la RV para replicar escenarios reales ha impulsado su uso en sectores que buscan mejorar la capacitación, reducir riesgos y optimizar la eficiencia operativa. Entre las industrias que han adoptado esta tecnología destacan la salud, la aviación, la minería, la manufactura y la ferroviaria (Kour et al., 2022).

En la industria minera deben enfrentar altos estándares de seguridad al efectuarse en entornos de trabajos peligrosos, por este motivo busca implementar capacitaciones con RV para llevar a cabo trabajos a cielo abierto o subterráneos sobre reconocimiento de peligros y procesos de evacuación (Perez et al., 2013). De manera similar, en el sector de la salud, la RV se ha integrado en terapias de biorretroalimentación que promueven una respiración controlada. Estas aplicaciones han demostrado su eficacia en la atención humana y la regulación de los niveles de cortisol (Lan et al., 2021).

En la industria de la construcción, la implementación de la RV ha abierto un abanico de aplicaciones que van más allá de la capacitación en seguridad. Estas aplicaciones incluyen la planificación y visualización de proyectos, la simulación de tareas peligrosas, la colaboración remota y en tiempo real, así como la evaluación de riesgos y la optimización de procesos constructivos (Adami et al., 2022; Truong et al., 2021). La Tabla 2 resume los principales usos, beneficios y barreras identificadas en la revisión de literatura, detallando cómo esta tecnología puede ser utilizada para transformar procesos tradicionales, reducir costos y mejorar la sostenibilidad de los proyectos.

La industria de la construcción tiene un alto riesgo de accidentes y de lesiones profesionales, considerándose un entorno peligroso donde los accidentes pueden ocurrir de forma aleatoria, (Nykanen et al., 2020; Bao et al., 2022). Según Alzarrad et al. (2023), los trabajadores de la construcción se enfrentan a un alto riesgo de muerte, lesiones, enfermedades y disminución de su eficiencia debido a su exposición al calor mientras trabajan.

Históricamente, las industrias han utilizado distintos tipos de actividades para capacitar a sus trabajadores, como cursos (85%), seminarios (9%) y charlas (6%), destacando así que la temática principal es seguridad con un 25% (SUSESO, 2023). Sin embargo, estas técnicas tienen una baja tasa de transferencia de aprendizaje, ya que solo el 10% de la inversión destinada a capacitaciones y desarrollo de recursos humanos conduce a la transferencia exitosa del contenido de la capacitación (Yoo et al., 2023).

Dentro de las ventajas del uso de RV se pueden mencionar la simulación de experiencias inmersivas e interactivas, la posibilidad de repetir las veces que sea necesaria generando memoria muscular y reflejos, además de la exposición ilimitada sin fatiga física ni riesgo de lesiones (Alzarrad et al., 2024). De la misma forma, diversas investigaciones concluyen que el uso de RV ayuda a mejorar la seguridad fortaleciendo la identificación de distintos factores de riesgo, además de demostrar que los conocimientos adquiridos perduraron en los tiempos de seguimiento realizado (Nykanen, et al., 2020). Por otro lado, los entornos simulados permiten al trabajador adquirir conocimientos sin estar expuestos al peligro (Rokooei et al., 2023). Sin embargo, también existen barreras significativas, como los altos costos de

implementación, la complejidad técnica y la falta de estándares claros que regulen su uso en la industria (Mohammadi et al., 2023; Alzarrad et al., 2024).

Pese a que la adopción de la RV en la industria de la construcción está creciendo, su penetración sigue siendo limitada, con menos del 10% de las empresas utilizándola actualmente (Mohammadi et al., 2023). Esto se debe a factores como el alto costo de los equipos, la falta de infraestructura y la necesidad de espacios dedicados para las sesiones de capacitación (Bao et al., 2022). A pesar de estas limitaciones, se proyecta que en los próximos cinco años la RV se convertirá en una inversión viable para las empresas constructoras, especialmente si consideran el tipo de proyecto, la fase de implementación (diseño o construcción) y el tipo de tecnología (inmersiva o no immersiva) que desean implementar (Mohammadi et al., 2023).

Aunque la adopción de capacitaciones en seguridad con RV en la industria está aumentando rápidamente, aún faltan estudios sobre el estado de la práctica de esta tecnología en Chile. En consecuencia, existe la necesidad de analizar exhaustivamente el estado actual de la aplicación de RV, comprendiendo los usos, beneficios y barreras de esta herramienta a través de la recolección de datos cualitativos recabados a través de las investigaciones realizadas internacionalmente y encuestas a distintos profesionales del área con experiencia.

Esto con el fin de reducir la brecha investigativa que existe a nivel nacional, dando impulso a la industria de la construcción a seguir avanzando en la transformación digital y respaldar futuros estudios en el campo.

Tabla 2: “Definición de conceptos identificados mediante revisión de literatura”

Ítem	Definición	Concepto	Definición
Usos	Aquellas características en la construcción que abarcan las diversas maneras en que esta tecnología inmersiva se emplea para mejorar y optimizar procesos dentro de la industria.	Planificación y visualización de proyectos	La realidad virtual mejora la planificación y la representación detallada de los proyectos, optimizando la comunicación y la comprensión entre los miembros del equipo (Adami et al., 2022).
		Simulación de tareas y escenarios peligrosos (Capacitación de seguridad)	Facilita la recreación de tareas clave y situaciones peligrosas, proporcionando a los trabajadores entrenamiento para responder de manera efectiva ante estos retos (Perez et al., 2013).
		Colaboración remota y en tiempo real	Los entornos de realidad virtual multiusuario permiten que equipos remotos trabajen juntos en un espacio común, promoviendo una colaboración eficiente en tiempo real (Truong et al., 2021).

	Formación en el uso de maquinaria pesada		Proporciona un entorno controlado para entrenar a los trabajadores en el uso de maquinaria pesada, minimizando riesgos y fortaleciendo sus competencias (Rey-Becerra et al., 2023).
	Evaluación de riesgos y mejora de procesos		La realidad virtual facilita la detección de riesgos y el diseño de soluciones para optimizar los procesos de construcción, anticipándose a posibles inconvenientes en la realidad (Alzarrad et al., 2024).
	Diseño y evaluación de sostenibilidad en proyectos		Contribuye al diseño de proyectos sostenibles al hacer posible una evaluación y optimización de recursos, reduciendo los impactos ambientales (Kour et al., 2022).
	Revisión y mejora de diseños en entornos inmersivos		Los entornos inmersivos de realidad virtual hacen posibles inspecciones minuciosas de los diseños, incrementando la precisión y disminuyendo los errores (Truong et al., 2021).
	Personalización de experiencias de aprendizaje		La realidad virtual personaliza los entornos de capacitación para ajustarse a las necesidades y áreas de mejora de cada usuario, maximizando la eficacia del aprendizaje (W. Li et al., 2022).
	Reducción de costos operativos mediante simulaciones		La realidad virtual disminuye considerablemente los costos al sustituir prototipos físicos por simulaciones digitales, optimizando la gestión de recursos (Truong et al., 2021).
Beneficios	Aquellas características en la construcción que se refieren a las ventajas y mejoras que esta tecnología aporta en diversos aspectos de los proyectos construcción.	Mejora la percepción de riesgos y seguridad	La realidad virtual ofrece recursos para crear entornos educativos enfocados en la seguridad, donde los usuarios pueden explorar, participar en la resolución de problemas y tomar decisiones de manera activa (Nykanen et al., 2020).
		Incremento en la motivación y compromiso	La experiencia inmersiva y el carácter interactivo de la realidad virtual incrementan notablemente la satisfacción y el nivel de compromiso de los usuarios durante la capacitación (Yoo et al., 2023).
		Simulación segura de entornos peligrosos	La realidad virtual posibilita la recreación segura de escenarios peligrosos, permitiendo a los trabajadores vivir experiencias y prepararse para situaciones

	críticas sin enfrentarse a riesgos reales (Adami et al., 2022).
Efectividad en el aprendizaje práctico	Los participantes que realizaron su capacitación mediante realidad virtual mostraron un notable incremento en sus competencias para identificar peligros, superando los resultados obtenidos con métodos tradicionales (W. Li et al., 2022).
Reducción de costos en formación	El empleo de modelos virtuales en lugar de físicos genera ahorros significativos en costos y tiempo, alcanzando reducciones de hasta un 90% en ciertos proyectos (Truong et al., 2021).
Incremento en la confianza y autoeficacia	La capacitación mediante realidad virtual fortaleció de manera notable la autoeficacia y la confianza de los operadores al interactuar con robots en entornos dinámicos (Adami et al., 2022).
Mejor comprensión de modelos tridimensionales	La integración de sistemas de realidad virtual basados en BIM ofrece a los usuarios una interacción intuitiva con modelos tridimensionales, favoreciendo una mayor comprensión y mejorando la comunicación (Truong et al., 2021).
Personalización y accesibilidad	La formación en realidad virtual, con su enfoque personalizado, adapta los escenarios de capacitación a las necesidades y puntos débiles de cada usuario, maximizando la eficacia del aprendizaje (W. Li et al., 2022).
Mejora en la colaboración remota	Los sistemas de realidad virtual multiusuario han probado su eficacia al conectar virtualmente a equipos remotos, promoviendo la colaboración y fortaleciendo la comunicación (Truong et al., 2021).
Reducción de errores humanos	La realidad virtual facilita la detección y mitigación de riesgos potenciales antes de que ocurran en el mundo real, ayudando a crear un entorno laboral más seguro (Alzarrad et al., 2024).
Aplicaciones específicas de sostenibilidad	La realidad virtual ha sido empleada para diseñar entornos sostenibles, ofreciendo a los equipos la posibilidad de visualizar y planificar estrategias más eficientes y

			amigables con el medio ambiente (Kour et al., 2022).
Barreras	Aquellas características en construcción que refiere a los obstáculos o desafíos que limitan la adopción y uso efectivo de esta tecnología en la industria	Alto costo de implementación	La inversión en equipos especializados, como cascos y estaciones de trabajo de realidad virtual, implica un costo significativo que complica su adopción para numerosas empresas (Mohammadi et al., 2023).
		Complejidad técnica de uso	Los sistemas de realidad virtual demandan habilidades avanzadas para su configuración y operación, lo que puede representar un obstáculo para equipos con conocimientos técnicos reducidos (Alzarrad et al., 2024).
		Falta de conocimiento técnico entre los trabajadores	La falta de familiaridad de muchos trabajadores con las herramientas de realidad virtual hace necesaria una capacitación complementaria (Alzarrad et al., 2023).
		Resistencia al cambio y aceptación de nuevas tecnologías	La implementación de la realidad virtual enfrenta oposición debido a la preferencia por los métodos convencionales y la percepción de que las tecnologías disruptivas son complejas (W. Li et al., 2022).
		Compatibilidad limitada con sistemas existentes	La integración de herramientas de realidad virtual con los sistemas de software y hardware existentes puede resultar compleja, lo que retrasa su implementación (Kour et al., 2022).
		Escasez de evidencia sobre retorno de inversión (ROI)	La carencia de investigaciones definitivas sobre las ventajas económicas de la realidad virtual complica la justificación de su implementación (Mohammadi et al., 2023).
		Dificultades en la integración en procesos tradicionales	Las metodologías tradicionales de construcción no están concebidas para integrar la realidad virtual, lo que complica su implementación (Mohammadi et al., 2023).
		Requerimientos elevados de infraestructura tecnológica	El uso de la realidad virtual depende de conexiones a internet de alta velocidad y equipos avanzados, lo que puede resultar inaccesible en algunas regiones (Truong et al., 2021).

Falta estándares normativas claras	de y	La falta de normativas claras sobre la aplicación de la realidad virtual en la construcción genera incertidumbre tanto para los usuarios como para las empresas (Alzarrad et al., 2024).
---	---------	--

4. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo fue diseñada con el objetivo final de demostrar los beneficios que puede brindar el uso de la realidad virtual (RV) en la industria de la construcción, como también demostrar el uso actual que tiene esta tecnología y responder la siguiente interrogante, ¿Está dispuesta la industria de la construcción a adoptar esta tecnología y hacerla parte de sus procesos de capacitación?. Para cumplir con este objetivo, se llevaron a cabo diferentes tareas; comenzando con realizar una exhaustiva revisión de literatura con el fin de conocer los principales usos y barreras que enfrenta esta herramienta, identificar las principales formas de accidentes y sus beneficios. Posteriormente se diseñó una encuesta, la cual a través de las preguntas realizadas busca identificar el estado de la práctica del uso de RV en Chile, esta fue difundida por distintos canales de comunicación con el fin de contrastar con los resultados obtenidos a través de la revisión de literatura.

Según Hernández Sampieri (2014), las encuestas son consideradas como una técnica cuantitativa y cualitativa para recabar a través de preguntas, información de un grupo seleccionado de personas.

En esta sección, se presentará en detalle la estrategia de investigación, los métodos de recopilación y análisis de datos, que guiaron la investigación hacia la conclusión del uso de la RV.

4.1 Recolección de datos

Para la recolección de datos y cumplir con los objetivos planteados, se ha optado por el método de análisis mixto, es decir cualitativo y cuantitativo. Esto se debe a la naturaleza exploratoria de la investigación, que busca identificar y analizar el uso de la realidad virtual (RV) para la prevención de accidentes laborales en proyectos de construcción en Chile, a partir de la literatura y la perspectiva de los actores claves, como Constructor Civil, Ingeniero Constructor, Ingeniero Civil y Arquitecto, los cuales están inmersos en el contexto de los accidentes ocurridos en obra y los métodos actuales de prevención de accidentes que se están utilizando en Chile. Este enfoque nos permite generar un contexto a través de las respuestas que serán analizadas. Según Hernández Sampieri (2014), la unidad de análisis busca generar categorías a través del análisis de un segmento que puede ser de contenido textual, auditivo o visual. El investigador debe a través de una comparación constante basada en similitudes y diferencias entre las unidades analizadas determinar su significado y con esto derivar a categorías (Hernández Sampieri, 2014).

La metodología de esta investigación se encuentra estructurada de acuerdo con el siguiente diagrama de flujo (figura 3), que detalla de manera secuencial el proceso de investigación:

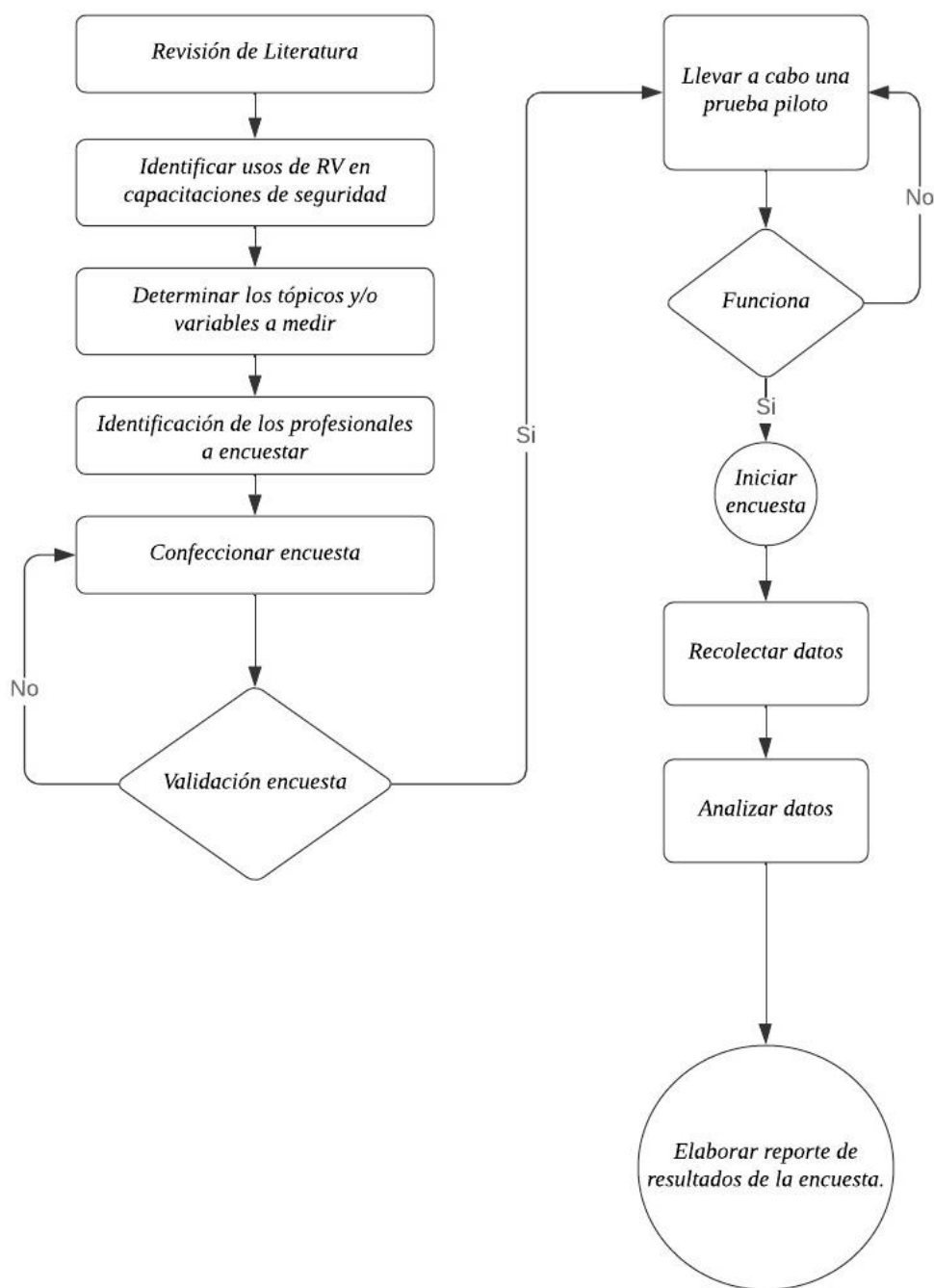


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología de encuesta.

Según el diagrama de flujo presentado, el proceso de creación de encuesta se inició con la revisión de literatura. En esta etapa se buscó identificar los principales usos de la RV en capacitaciones para la prevención de accidentes laborales e identificar los principales

accidentes ocurridos dentro la industria de la construcción. Con la información levantada, se identificaron las variables a evaluar, definiendo los tópicos que se querían responder a través de la creación de las preguntas. Se procedió a identificar los actores claves a los cuales se les solicitó responder la encuesta, pues son ellos quienes entregaron información relevante para la investigación. Según Hernández Sampieri (2014), “muestrear” es el acto de seleccionar un subconjunto de un conjunto mayor, universo o población de interés para recolectar datos a fin de responder a un planteamiento de un problema de investigación.

Para definir el tamaño de la muestra, se utilizó el programa STATS, donde según Hernández Sampieri (2014), los resultados que genera resultan ser muy parecidos a los obtenidos mediante la ecuación 1 (Valdivieso et al., 2011), difiriendo normalmente en menos de un caso por cuestiones de redondeo.

Según el Servicio de información de Educación Superior (SiES), el total de titulados desde los años 2013 – 2023, equivalen a 2.711.742 profesionales. Para el motivo de esta investigación, se seleccionó a los siguientes profesionales: Ingenieros Civiles, Constructores Civiles, Ingeniero Constructor y Arquitectos, como población de interés. Según el SiES (2023), el conjunto de esta población equivale al 4% perteneciendo a las áreas de tecnología, arte y arquitectura.

Para proceder con el cálculo de la muestra, se determinó un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, donde el resultado obtenido puede ser verificado con la ecuación 1.

Ecuación 1: Tamaño de muestra

$$n = \frac{p(1 - p) * Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 * N}{p(1 - p) * Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 + e^2(N - 1)}$$

Donde:

- “p”, porción patrón de la población, para este caso 4%.
- “ $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ ”, es el cuantil de la distribución normal estándar correspondiente a una probabilidad de $\alpha/2$. En este caso al tener un 95% de confianza el valor es aproximadamente 1,96.
- “N”, es el tamaño del universo, que, en este caso son los 2.711.742 profesionales.
- “e”, es el error muestral, en este caso considerado el 5%.

En consecuencia, se obtuvo un mínimo tamaño de muestra de 60 encuestados, para que los resultados sean representativos.

La encuesta se diseñó a través de la plataforma QuestionPro, estando compuesta por 7 preguntas, con el fin de identificar la experiencia que los profesionales de la industria han tenido con el uso de RV. Las 3 primeras preguntas buscan caracterizar al profesional encuestado, además de consultar los métodos de capacitación actuales que utiliza para la prevención y cuáles son los accidentes que ha debido enfrentar. Las 4 preguntas restantes buscan saber si ha tenido la oportunidad de utilizar RV, en qué tipo de proyectos la utilizaría

y si está dispuesta a seguir aplicándola. Las preguntas realizadas fueron de carácter mixto, unas de tipo selección, mientras que las otras ofrecían un espacio para que el encuestado pudiera escribir abiertamente su respuesta. La encuesta aplicada puede apreciarse en el anexo 1.

Una vez confeccionada la encuesta, esta debió ser validada por un panel de expertos, siendo este compuesto por Académicos del Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María. Con la encuesta aprobada, se procedió a realizar una prueba piloto con el enlace y código QR de distribución. Finalmente, se procedió a dar inicio a la encuesta.

Para la obtención de las respuestas, la encuesta fue distribuida a través de enlace y código QR con el fin de facilitar el ingreso de los encuestados. Ambas opciones fueron publicadas a través de las redes sociales del Departamento de Obras Civiles, grupos de WhatsApp, así también por contacto directo con profesionales durante los periodos de prácticas. Esto con el fin de abarcar la mayor cantidad de profesionales, cumpliendo con el tamaño de muestra definido.

La recolección y análisis de datos se realizó según lo detallado en el diagrama de la figura 4.

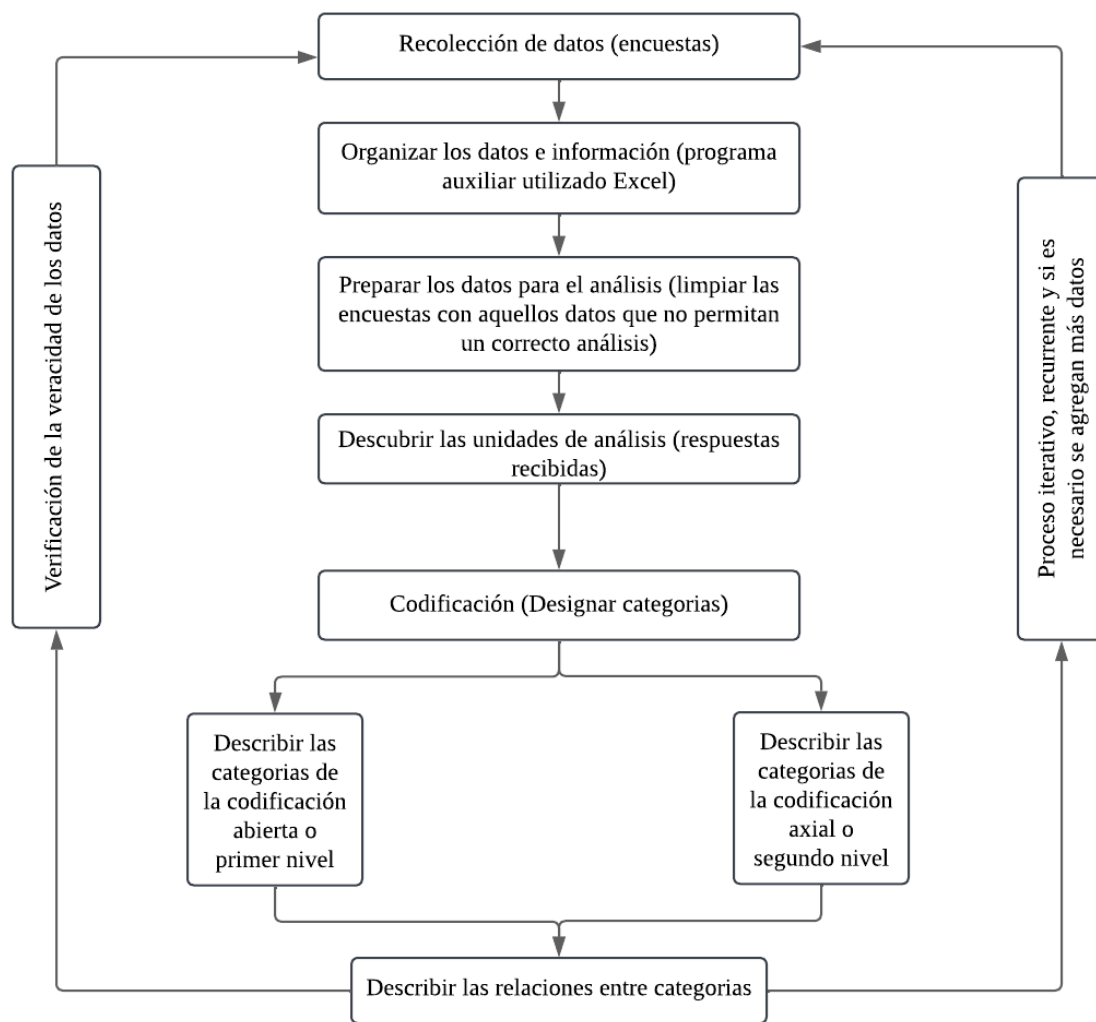


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología recolección y análisis de datos.

Según Hernández Sampieri (2014), los estudios cualitativos codifican los datos para tener una descripción más completa de éstos, se resumen, se elimina la información irrelevante y se realizan análisis cuantitativos para tratar de entender mejor el material analizado.

La codificación se desarrolla en dos niveles: en la primera (codificación abierta), se asignan categorías a las unidades de datos (información sin procesar); en la segunda etapa, se comparan estas categorías para agruparlas en temas y explorar posibles relaciones entre ellas (Hernández Sampieri, 2014).

Finalmente, se procede a realizar un reporte con los resultados obtenidos, entregando las conclusiones a esta investigación.

4.2 Análisis de datos

Los datos obtenidos como el total de encuestas respondidas, total de respuestas, tiempo promedio en respuesta, alcance, abandonos y ubicación del encuestado, los ordena de manera automática la plataforma QuestionPro, facilitando un esquema de ubicación, como se aprecia en la figura 5 y tabla 3.



Figura 5: Ubicación de profesionales encuestados.

Tabla 3: “Tabla de resumen Dashboard entregado por la plataforma QuestionPro”

Visto	Total de respuestas	Completado	Tasa de finalización	Abandonos	Tiempo promedio
624	245	133	52,24%	117	4 minutos

De los resultados entregados en la tabla 3 se logra interpretar que la encuesta tuvo una alta distribución, llegando a 624 personas. El número difiere de la cantidad de completados debido a que pudo llegar a profesionales que no eran los requeridos para responder. También queda reflejado el número de abandonos que se tuvo, esto se pudo dar porque el profesional no tenía tiempo para responder, declino su participación o abrió la encuesta y no respondió.

La plataforma permite descargar los resultados en distintos formatos, sin embargo, para esta investigación fueron exportados en formato Excel, esto con el fin de realizar el análisis correspondiente de las respuestas entregadas por parte de los encuestados.

El total de encuestas descargadas fueron de 133, en donde el primer paso fue verificar el perfil de los encuestados y que estos cumplan con los títulos profesionales a los que va

dirigida la encuesta, siguiendo la metodología de codificación abierta. Se eliminan aquellas encuestas que no cumplieran con los siguientes requerimientos:

- Ser Constructor Civil, Ingeniero Constructor, Ingeniero Civil o Arquitecto.
- Poseer experiencia laboral.

Se eliminan, 6 encuestas debido a que no completan su perfil quedando este en blanco, 10 encuestas dado que el encuestado posee un título profesional distinto al requerido. Finalmente se eliminan 5 encuestas debido a que los encuestados no poseen experiencia laboral, siendo un punto clave ya que los profesionales en terreno son aquellos que reflejan la situación actual en cuanto a los accidentes laborales ocurridos con mayor frecuencia.

Aplicando los criterios anteriores, se queda con un total de 112 encuestas, las cuales son graficadas según título profesional, obteniendo la distribución presentada en la figura 6.

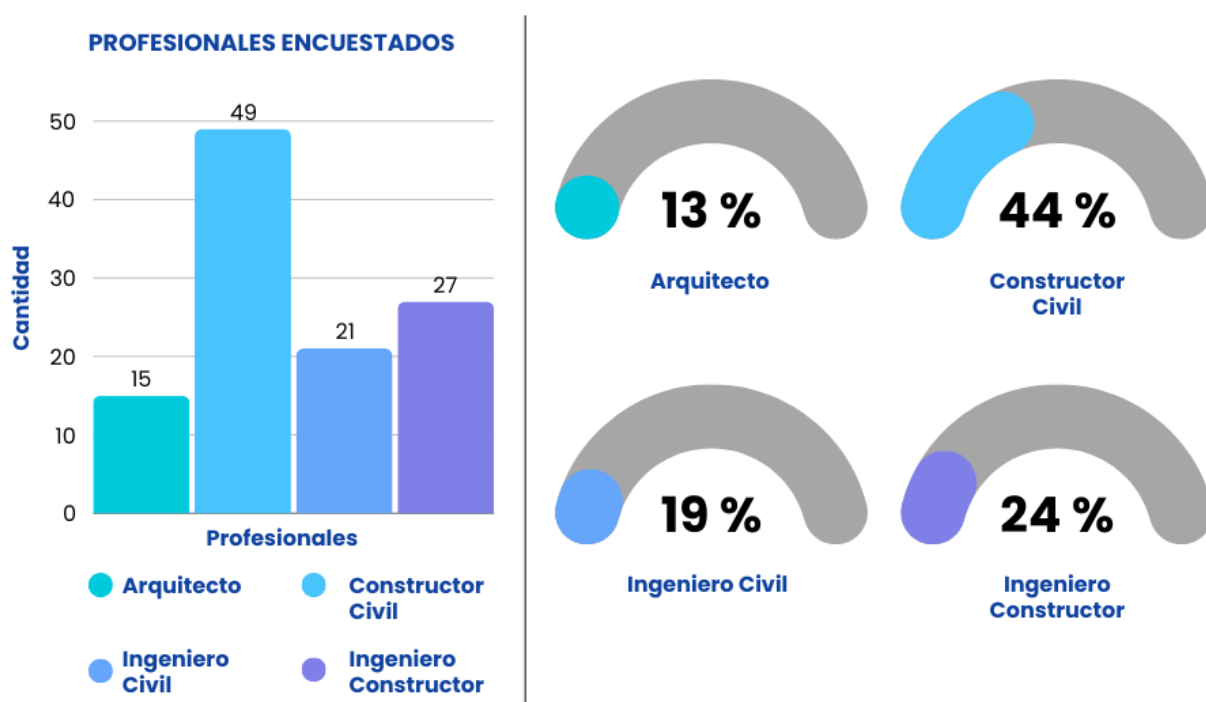


Figura 6: Caracterización de los encuestados.

En la figura 7, el global de encuestados fue clasificado según años de experiencia laboral, reflejando que la mayoría se encuentra en un rango de 0 a 5 años, con un total de 40 profesionales.



Figura 7: Experiencia de los encuestados.

La figura 8 representa la ubicación geográfica de los profesionales que participaron de la encuesta.

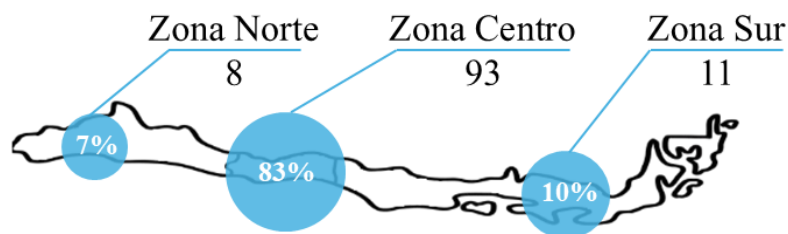


Figura 8: Mapa de concentración de encuestados en Chile.

Para las preguntas restantes se utilizó el método de caracterización de dos niveles de Hernández Sampieri (2014) a excepción de las preguntas 4, 5 y 6.

5. RESULTADOS

En este capítulo, se presentarán los resultados obtenidos, derivados de la revisión de literatura y encuesta a profesionales.

5.1 Beneficios, usos y barreras detectadas

La tabla 2 presenta aquellos “usos”, “beneficios” y “barreras” que posee la adopción de la RV en la industria de la construcción, identificadas a través de la revisión de literatura. Con relación a esta tabla, se presenta la tabla 4, que demuestra la frecuencia de los conceptos otorgados para los usos de RV mencionadas en cada uno de los artículos analizados.

Tabla 4: "Frecuencia de usos en artículos"

Uso	Artículo																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Planificación y visualización de proyectos.	X			X	X									X	X	X	6
Simulación de tareas y escenarios peligrosos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	14
Colaboración remota y en tiempo real.	X				X									X			3
Formación en el uso de maquinaria pesada.				X												X	2
Evaluación de riesgos y mejora de procesos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	15
Diseño y evaluación de sostenibilidad en proyectos.														X		X	2
Revisión y mejora de diseños en entornos inmersivos.	X		X	X	X			X	X	X	X			X	X		10
Personalización de experiencias de aprendizaje.		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				12
Reducción de costos operativos mediante simulaciones.	X	X	X			X	X		X	X		X			X	X	10
Literatura: 1. Truong et al. (2021); 2.Rey-Becerra et al. (2023); 3. Alzarrad et al. (2024); 4. Adami et al. (2022); 5. Bao et al. (2022); 6. Alzarrad et al. (2023); 7. Nykanen, et al. (2020); 8. Nykanen, et al. (2020); 9. W. Li et al. (2022); 10. Rokooei et al. (2023); 11. Yoo et al. (2023); 12. Yoy Spa (2019); 13. Lan et al. (2021); 14. Kour et al. (2022); 15. Mohammadi et al. (2023); 16. Perez et al. (2013)																	

Mientras que la tabla 5 refleja las barreras que enfrenta la RV para su adopción en la industria y la frecuencia con la que fueron mencionadas en la revisión de literatura.

Tabla 5: “Frecuencia de barreras detectadas en los artículos”

Barrera	Artículo																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Alto costo de implementación.	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	14
Complejidad técnica de uso.	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	14
Falta de conocimiento técnico entre los trabajadores.	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X	X	13
Resistencia al cambio y aceptación de nuevas tecnologías.	X				X							X		X	X	X	6
Compatibilidad limitada con sistemas existentes.	X			X	X									X	X		5
Escasez de evidencia sobre retorno de inversión (ROI).		X	X	X		X	X			X					X	X	8
Dificultades en la integración en procesos tradicionales.														X			1
Requerimientos elevados de infraestructura tecnológica.	X			X	X	X		X	X					X	X	X	9
Falta de estándares y normativas claras.														X			1
Literatura: 1. Truong et al. (2021); 2.Rey-Becerra et al. (2023); 3. Alzarrad et al. (2024); 4. Adami et al. (2022); 5. Bao et al. (2022); 6. Alzarrad et al. (2023); 7. Nykanen, et al. (2020); 8. Nykanen, et al. (2020); 9. W. Li et al. (2022); 10. Rokooei et al. (2023); 11. Yoo et al. (2023); 12. Yoy Spa (2019); 13. Lan et al. (2021); 14. Kour et al. (2022); 15. Mohammadi et al. (2023); 16. Perez et al. (2013)																	

La tabla 6, identifica la frecuencia con la cual fueron mencionados los beneficios de la aplicación de la RV en la revisión de literatura.

Tabla 6: “Frecuencia de beneficios en artículos”

Beneficio	Artículo																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Mejora de la percepción de riesgos y seguridad.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	15
Incremento en la motivación y compromiso.		X			X		X	X				X	X			X	7
Simulación segura de entornos peligrosos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16
Efectividad en el aprendizaje práctico.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16
Reducción de costos en formación.	X	X		X	X		X		X	X	X	X		X	X	X	12
Incremento en la confianza y autoeficacia.	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	15
Mejor comprensión de modelos tridimensionales.	X		X		X		X	X		X	X	X	X	X	X		11
Personalización y accesibilidad.			X		X	X			X	X							5
Mejora en la colaboración remota.	X				X						X						3
Reducción de errores humanos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16
Aplicaciones específicas de sostenibilidad.														X			1
Literatura: 1. Truong et al. (2021); 2.Rey-Becerra et al. (2023); 3. Alzarrad et al. (2024); 4. Adami et al. (2022); 5. Bao et al. (2022); 6. Alzarrad et al. (2023); 7. Nykanen, et al. (2020); 8. Nykanen, et al. (2020); 9. Li et al. (2022); 10. Rokooei et al. (2023); 11. Yoo et al. (2023); 12. Yoy Spa (2019); 13. Lan et al. (2021); 14. Kour et al. (2022); 15. Mohammadi et al. (2023); 16. Perez et al. (2013)																	

5.2 Encuesta

La pregunta número 2, busca identificar el tipo de capacitación para la prevención de accidentes que el encuestado ha utilizado dentro de los proyectos en los que ha participado. En la tabla 7 se muestran las frecuencias con las que se mencionó cada codificación y el total de encuestas ($n = 112$). El Id “C”, refiere a “capacitación”. Del análisis cualitativo, se obtuvieron nueve categorías en la codificación de primer nivel, en donde tras la observación se agruparon en temas y relaciones similares, quedando con una codificación de segundo nivel, de cinco categorías.

Tabla 7: “Codificación Pregunta 2”

Id	Codificación axial o segundo nivel	Descripción	Encuestados	
			Frecuencia	%
C ₁	Charlas	Reuniones con el personal breves con fines informativos.	78	69,6%
C ₂	Análisis de seguridad	Informe elaborado por un prevencionista que identifica causa o circunstancias que puede afectar la seguridad de los trabajadores.	6	5,4%
C ₃	Cursos	Reuniones grupales con el personal y un experto en algún área, para desarrollar nuevas competencias en el trabajador, son de larga duración.	27	24,1%
C ₄	Capacitaciones	Exposiciones al trabajador sobre el correcto uso de un elemento en obra, desarrollado por un profesional competente.	44	39,3%
C ₅	Software	Herramientas tecnológicas para desarrollar capacitaciones.	16	14,3%
	Total		112	100%

La pregunta 3, busca identificar los accidentes más recurrentes. En la tabla 8 se muestran las frecuencias con las que se mencionó cada codificación y el total de encuestas ($n = 112$). El Id “A”, refiere a “accidentes”. Del análisis cualitativo, se obtuvieron once categorías en la codificación de primer nivel, en donde tras la observación se agruparon en temas y relaciones similares, quedando con una codificación de segundo nivel, de siete categorías.

Tabla 8: “Codificación Pregunta 3”

Id	Codificación axial o segundo nivel	Descripción	Encuestados	
			Frecuencia	%
A ₁	Caída	Suceso eventual que provoca la caída de un mismo o diferente nivel.	66	58,9%
A ₂	Golpes	Contusiones con una herramienta o maquinaria.	57	50,9%
A ₃	Cortes	Herida provocada por una herramienta	46	41,1%
A ₄	Lesiones	Magulladura o contusión con efecto continuo.	37	33,0%
A ₅	Atrapamiento	Retención de una parte del cuerpo, con posibles efectos de amputación.	14	12,5%
A ₆	Salud mental	Heridas no físicas, que afectan el bienestar emocional.	1	0,9%
A ₇	Agentes contaminantes	Irritaciones cutáneas u oculares, producto de la manipulación de químicos o la polución de obra.	2	1,8%
Total			112	100%

La pregunta 7 busca identificar en que tipos de accidentes el encuestado utilizaría RV. En la tabla 9 se muestran las frecuencias con las que se mencionó cada codificación y el total de encuestas ($n = 112$). El Id “U”, refiere a “usos”. Del análisis cualitativo, se obtuvieron dieciséis categorías en la codificación de primer nivel, en donde tras la observación se agruparon en temas y relaciones similares, quedando con una codificación de segundo nivel, de diez categorías.

Tabla 9: “Codificación Pregunta 7”

Id	Codificación axial o segundo nivel	Descripción	Encuestados	
			Frecuencia	%
U ₁	Caída	Aplicación para capacitaciones de accidentes de caídas.	71	63,4%
U ₂	Golpes	Aplicación para capacitaciones de accidentes de golpes.	27	24,1%
U ₃	Cortes	Aplicación para capacitaciones de accidentes con cortes.	32	28,6%

U ₄	Lesiones	Aplicación para capacitaciones de prevención de lesiones.	25	22,3%
U ₅	Atrapamiento	Aplicación para capacitaciones de accidentes de atrapamiento.	25	22,3%
U ₆	Salud mental	Aplicación para capacitaciones de cuidado de la salud mental.	0	0,0%
U ₇	Agentes contaminantes	Aplicación para capacitaciones de manipulación de agentes contaminantes.	24	21,4%
U ₈	Efectos climáticos o incendios	Aplicación para planes de acción frente a efectos climáticos o telúricos.	10	8,9%
U ₉	Uso de herramientas o maquinaria	Aplicación para capacitaciones en maquinarias o herramientas.	25	22,3%
U ₁₀	Extras	Aplicación para capacitaciones específicas como inspección visual, espacios confinados, procedimientos de excavación, colisiones y proyectos de gran envergadura.	14	12,5%
Total			112	100%

Las preguntas 4, 5 y 6 no requirieron categorías al tratarse de preguntas cerradas. Cabe mencionar que la pregunta 5, en su opción “otros”, recibió respuestas como: “ninguno, la construcción no está lista ni siquiera para BIM”, “urbanismo”, “desarrollo de proyectos”, “paisajismo”, “en todos por ser una herramienta didáctica”, “alcantarillado” e “hidráulicos”.

5.3 Gráficos

A continuación, se presenta de manera grafica los resultados obtenidos a través de las encuestas realizadas.

Las figuras 9 y 10, brindan una representación gráfica de los métodos de capacitación más utilizados en Chile y los principales accidentes ocurridos dentro de los proyectos de construcción.

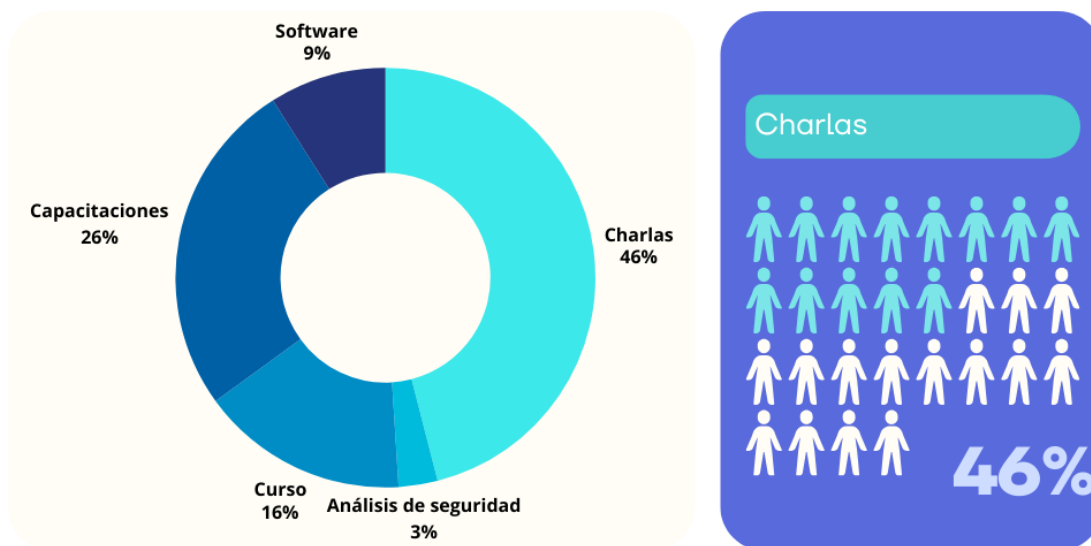


Figura 9: Métodos de capacitación más utilizados por los profesionales encuestados.

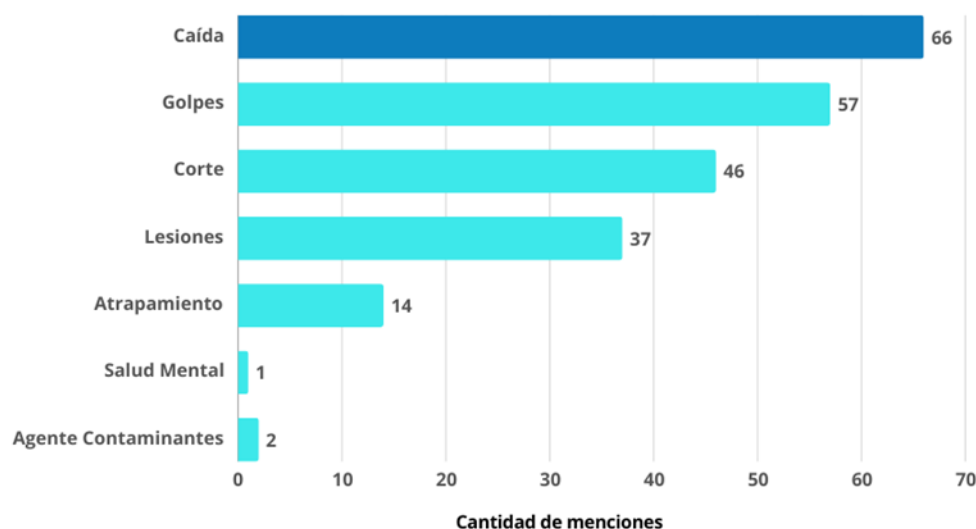


Figura 10: Accidentes más recurrentes enfrentados por los profesionales encuestados.

Mientras que las figuras 11, 12, y 13, brindan una representación gráfica de los proyectos que han utilizado RV y las posibilidades de uso de esta herramienta en la industria. La tabla 10 muestra la frecuencia con la que los encuestados han aplicado RV en sus proyectos.

Tabla 10: “Frecuencia de encuestados que utilizaron RV en proyectos”

Cantidad de proyectos con RV	N° de encuestados
0	91
1	6
2	8
3	2
4	1
5	1
6	1
7	0
8	1
9	0
10	1



Figura 11: Promedio de proyectos por encuestado que utilizó RV.



Figura 12: Tipos de proyectos en los que los profesionales aplicarían RV.



Figura 13: Cantidad de encuestados que aplicarían RV en sus proyectos.

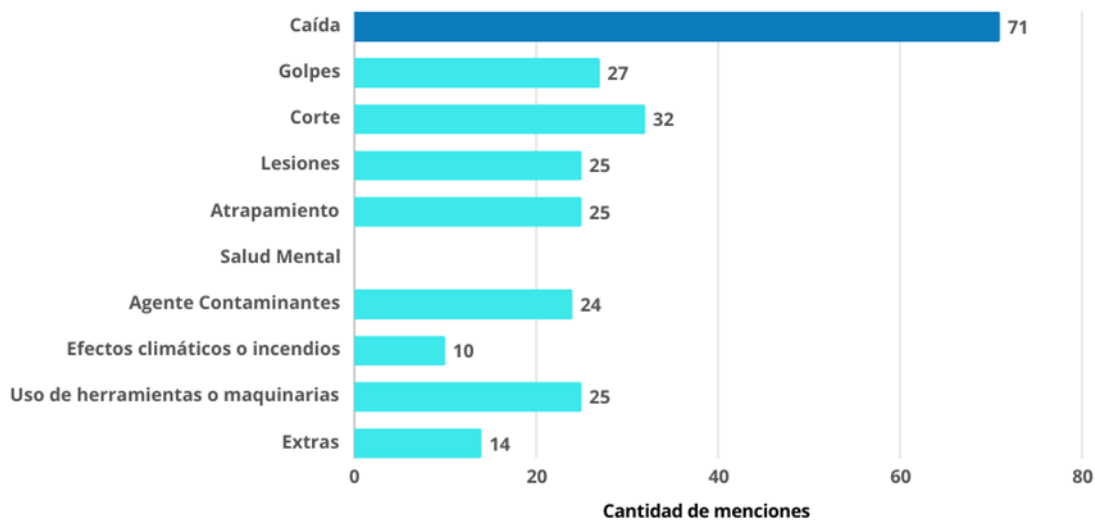


Figura 14: Formas de accidentes en los que los profesionales aplicarían RV.

6. DISCUSIONES

En este capítulo, se realiza un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos a partir de la revisión de literatura y las encuestas aplicadas a profesionales del área.

6.1 Realidad virtual

Tras el análisis realizado en la literatura existente, se puede evidenciar que la realidad virtual (RV) es una herramienta versátil y transformadora que posee un amplio campo de aplicación dentro de la industria. Entre los usos más destacados reflejados en la tabla 4 podemos encontrar la evaluación de riesgos y mejora de procesos con un total de 15 menciones por parte de los distintos autores, seguido por la simulación de tareas y escenarios peligrosos con 14 menciones y la personalización de experiencias de aprendizaje con 12 menciones. Estos usos no solo incrementan la eficiencia de los procesos de capacitación, sino que también reducen costos y mejoran la seguridad de los trabajadores al brindarles entornos seguros y controlados que les permiten vivir experiencias de riesgo sin realmente estar expuestos a ellos.

En términos de capacitaciones en seguridad, la RV resalta por su capacidad de adaptación frente a los requerimientos de cada empresa, ofreciendo experiencias de aprendizaje inmersivas a sus trabajadores, incentivando la participación y mejorando la retención de los contenidos impartidos. La simulación de entornos peligrosos permite a los trabajadores concientizar, identificar y corregir malas prácticas, lo que resulta fundamental para lograr mitigar los accidentes laborales y preparar de mejor manera a los trabajadores para que estos ejecuten sus tareas de forma apropiada y segura.

Otro uso de RV que se destaca, es su aplicación en el diseño, puesto que esta herramienta facilita la precisión, permitiendo la participación en entornos inmersivos, además optimiza la comunicación entre los equipos multidisciplinarios que son necesarios para la ejecución de un proyecto, promoviendo la colaboración remota, lo cual juega un rol fundamental cuando los profesionales no se encuentran todos en la misma ubicación geográfica. Estas cualidades refuerzan las ventajas ofrecidas por la RV frente a las limitaciones tradicionales que enfrenta el sector de la construcción.

A pesar de la versatilidad de usos que ofrece la RV, su adopción masiva no está exenta de desafíos. Las barreras identificadas en la revisión de literatura quedan reflejadas en la tabla 5, en donde el alto costo de implementación y la complejidad técnica de uso, destacan con 14 menciones cada una por parte de los distintos autores. Seguido por la falta de conocimiento técnico entre los trabajadores con 13 menciones. El elevado costo de los equipos y los softwares especializados constituyen el obstáculo más recurrente, viéndose mayormente perjudicadas aquellas empresas que posean restricciones económicas. Asimismo, la complejidad técnica y falta de conocimiento entre los trabajadores sobre esta herramienta vuelven necesario crear sistemas más intuitivos y fácil de acceder, con el fin de incentivar su aplicación y minimizar la resistencia al cambio.

Con las barreras señaladas, se hace necesario mencionar los beneficios encontrados para fomentar e impulsar su adopción los cuales se ven reflejados en la tabla 6. Destacan la simulación segura de entornos peligrosos, la efectividad en el aprendizaje práctico y la reducción de errores, cada una con 16 menciones por parte de los distintos autores. Seguido por la mejora en la percepción de riesgos y seguridad y el incremento en la confianza y autoeficacia, cada uno con 15 menciones, valida su eficacia en la creación de entornos inmersivos controlados y seguros, y en la optimización de procesos claves. Además, es importante mencionar que aumentar la participación de los trabajadores, mejorara la motivación y el compromiso por parte de estos impulsando el potencial transformador que tiene esta herramienta en la cultura organizacional de la industria.

Sin embargo, demostrar estos beneficios no resultan llamativos, si no existen programas que impulsen y fomenten la adopción de la RV. Por este motivo se hace necesario la creación de políticas públicas y programas de subsidios que faciliten el acceso a aquellas empresas que estén dispuestas a avanzar hacia una transformación digital, realizando sus capacitaciones en seguridad con RV o bien, haciendo uso de su versatilidad para los requerimientos que estime necesarios. Este análisis no solo destaca la relevancia que posee una herramienta como la RV en la industria, además destaca las áreas en donde se puede impulsar su aplicación, para con esto fomentar el uso de tecnología y evidenciar los beneficios que esta conlleva.

6.2 Estado de la práctica en Chile

La realidad virtual (RV) se presenta como una herramienta versátil, innovadora y efectiva para llevar a cabo las capacitaciones en seguridad en la industria de la construcción. La prevención de accidentes juega un rol importante dentro de la industria y así queda reflejado en las figuras 12 y 14 que demuestran el interés que existe por la aplicación de esta

herramienta en distintas áreas, reconociendo su potencial para revolucionar el sistema de capacitación actual y la forma en que se imparten los conocimientos.

A través de las respuestas recibidas por parte de los encuestados, la figura 11 muestra que la RV ha sido aplicada en un total de 61 proyectos de construcción, una cifra modesta pero significativa considerando que esta herramienta aun no es adoptada por la mayor parte de la industria. La figura 12 refleja los tipos de proyectos en donde existe mayor interés por aplicar RV, destacando edificación con un 25% (93 menciones), obras civiles con un 21% (81 menciones) y proyectos industriales con un 19% (70 menciones). Esto indica que la RV tiene grandes opciones de integración en aquellos proyectos que son de un ámbito complejo y con altos requerimientos de seguridad, en donde la correcta transferencia de contenido hacia los trabajadores resulta ser crucial.

La figura 13 refleja el interés por la aplicación de RV, con 104 respuestas a favor de su implementación. Contrastando las figuras 10 y 14, se demuestra que el interés por el uso de esta herramienta en capacitaciones de seguridad está claramente alineado con la naturaleza de las formas de accidentes más recurrentes, donde tenemos caídas (66 y 71 menciones), cortes (46 y 32 menciones), atrapamientos (14 y 25 menciones), y golpes (57 y 27 menciones) respectivamente. Estos resultados reflejan que la adopción de la RV puede mejorar la preparación de los trabajadores, atendiendo a necesidades críticas bajo simulaciones controladas.

Entre los métodos de capacitaciones tradicionales identificados en la tabla 7, del total de 171 menciones, la figura 9 refleja que el principal método utilizado es la charla con un 46% (78 menciones), seguido por capacitaciones con 26% (44 menciones) y cursos teóricos con 16% (27 menciones). Se debe hacer la diferencia entre charla y capacitación ya que ambas difieren en el tiempo necesario para llevar a cabo su desarrollo y material utilizado. A diferencia del método tradicional, la RV ofrece la alternativa de desarrollar experiencias inmersivas y prácticas, facilitando el aprendizaje y canalizando la atención del capacitado lo que permite eliminar distracciones. Esta combinación de elementos hace que las capacitaciones con RV resulten en una efectiva retención del conocimiento además de mejorar la identificación y respuesta ante los riesgos asociados.

Se ha dicho reiteradas veces que la RV es una herramienta versátil, lo que queda reflejado en la figura 14, pues se mencionan escenarios menos comunes como agentes contaminantes (24 menciones) y efectos climáticos (10 menciones), que, a pesar de no ser recurrentes, resultan igualmente críticos para la industria. Asimismo, la opinión de los encuestados sobre el uso de RV en “todo tipo de proyectos” reflejada en la figura 12 refuerza la percepción de que esta tecnología tiene un alcance amplio y no limitado a contextos específicos.

El uso de la RV no solo tiene la limitación de enfocarse en capacitaciones de seguridad, si no también, puede posicionarse como una herramienta que ayude a impulsar la modernización de la industria. A pesar de los beneficios detectados, aún debe afrontar barreras para su adopción como el alto costo de implementación y la falta de preparación

tecnológica (evidenciada por respuestas como “la construcción no está lista ni siquiera para BIM”).

6.3 Recomendaciones

Tras los resultados obtenidos y las barreras identificadas para adopción de la realidad virtual (RV) en la construcción, es recomendado tomar un conjunto de medidas que permitan superar los desafíos asociados y avanzar hacia la adopción de esta herramienta.

Se ha comentado que el alto costo de implementación es uno de los principales desafíos para adoptar esta tecnología, sin embargo, esta puede ser abordada si existen programas de subsidios gubernamentales que ayuden a enfrenar los costos, obteniendo un beneficio tanto la empresa que ofrezca las capacitaciones con RV como la empresa a la que se realizará la capacitación ya que se le facilitara el acceso a la adquisición de hardware y software de RV. Otro de los desafíos, es la necesidad de generar sistemas más intuitivos y accesibles, lo cual se puede solucionar si los capacitadores desarrollan una interfaz de usuario simple y amigable que requieran de una capacitación mínima.

Para disminuir la resistencia al cambio que existe dentro de la industria, se recomienda la creación de programas de formación, que se enfoquen en demostrar los beneficios tangibles de la RV, tanto en términos de seguridad como en términos de diseño y eficiencia. Además, promover una cultura de prevención, los resultados demuestran que las formas de accidentes más recurrentes como caídas, cortes y atrapamientos pueden ser abordadas mediante simulaciones de RV, por este motivo es importante que las empresas incorporen esta tecnología para fortalecer la cultura en prevención, integrando experiencias inmersivas dentro de los métodos de capacitación.

Dado que la RV es una tecnología emergente, su implementación dentro de la industria debe realizarse de manera progresiva. Las empresas pueden iniciar con pilotos en proyectos específicos para evaluar su impacto y ajustar su enfoque antes de una implementación masiva. De forma paralela, es importante establecer métricas claras para medir el retorno de inversión (ROI), tanto en términos económicos como de mejora en la prevención de accidentes, con esto, ayudar a la industria a dar el paso hacia la adopción de esta tecnología y avanzar en su proceso de transformación digital.

7. CONCLUSIÓN

La investigación realizada demuestra el gran interés que existe en la industria de la construcción para la adopción de la realidad virtual (RV). Su paso hacia la aplicación de esta herramienta en capacitaciones de seguridad generaría un avance innovador en la forma en que se realizan este tipo de actividades. Las ventajas que ofrece la RV al permitir al capacitado experimentar riesgos sin estar necesariamente expuesto a uno, repetir las veces que sea necesario y fortalecer la identificación de los riesgos asociados a cada trabajo,

rompen con la forma tradicional de capacitar a los trabajadores, fortaleciendo la adquisición y retención de conocimientos, ayudando significativamente a la industria a disminuir sus tasas de accidentabilidad.

La versatilidad que posee la RV queda reflejada en los resultados obtenidos, pudiendo ser utilizada en las formas de accidentes más recurrentes como caída de personas, cortes, golpes y atrapamientos. Además, queda reflejado que su uso no necesariamente debe ser en aplicaciones tradicionales, ya que destaca en situaciones menos frecuentes como agentes contaminantes y efectos climáticos, demostrando su flexibilidad para atender los requerimientos que puedan surgir en las distintas empresas dentro de la industria. Su adaptabilidad ha sido destacada en áreas como la edificación, obras civiles y proyectos industriales, ya que este tipo de proyectos demandan requerimientos de seguridad más estrictos y minuciosos, por este motivo la correcta capacitación en los trabajadores resulta ser crucial.

A pesar de las ventajas mencionadas, el alto costo de implementación inicial de esta herramienta, junto a la falta de preparación tecnológica de empresas y trabajadores, representan una barrera importante a derribar para lograr una adopción masiva. Además, se debe considerar el tamaño de la empresa, pues resulta aún más difícil para aquellas que son de mediana y pequeña envergadura. A esto, se debe sumar la resistencia que posee la industria frente al cambio, ya que, por años, la construcción ha sido considerada como una industria de desarrollo artesanal. La falta de familiaridad de los trabajadores con estas herramientas hace necesaria la creación de estrategias para lograr su adopción, esto incluye programas de capacitación técnica que demuestren los beneficios de la RV de forma tangible tanto en la seguridad como en la productividad.

Los beneficios identificados dentro de esta investigación como la reducción de accidentes, mejoras en el aprendizaje práctico y optimización de proyectos, justifican la inversión en este tipo de tecnologías. Para facilitar su adopción, la promoción de programas gubernamentales, programas de apoyo financiero y alianzas del mundo público-privado, permitirían a las empresas acceder a la RV, sobre todo aquellas que poseen restricciones financieras. De esta misma forma, iniciar con proyectos piloto que permitan evaluar su impacto, así como una implementación progresiva, facilitarían el proceso de adopción de manera sostenible.

A pesar de los resultados obtenidos, durante la investigación se enfrentaron desafíos para el proceso de recolección de datos. En primer lugar, la resistencia en responder y abandono por parte de los encuestados. Lograr que los participantes se tomaran el tiempo de responder y completar la encuesta, fue complicado, los recurrentes abandonos significaron un retraso en el periodo de recopilación de datos, prolongando el tiempo para cumplir con el tamaño mínimo de muestra requerido. A pesar de la resistencia planteada, esta no afectó directamente los resultados obtenidos.

En segundo lugar, el diseño de la encuesta distribuida. Esta fue diseñada en plataforma haciendo uso de su versión gratuita, lo que significó ciertas restricciones en las herramientas que ofrece la plataforma, como diseño, disposición de preguntas y obligatoriedad en

respuesta para permitir el avance a la siguiente pregunta. Las limitaciones en la funcionalidad y diseño básico pudieron haber afectado en la experiencia de los encuestados e influido en la calidad y extensión de las respuestas obtenidas.

Por último, la falta de investigaciones previas del uso de RV en la construcción en Chile, fue una de las mayores dificultades, ya que, al no tener estudios previos, no se pudo llevar a cabo una comparación directa, limitando el desarrollo de un marco teórico completamente adaptado al contexto nacional.

Estas limitaciones demuestran la necesidad de seguir avanzando en estudios que aborden el uso de la RV, incluyendo muestras más amplias y representativas. Hacer uso de herramientas avanzadas en diseño de la encuesta para volver la experiencia más llamativa y cautivar al encuestado, además de mantener una mayor atención en el uso de estas tecnologías inmersivas dentro de la industria. Con esto, será posible obtener resultados más sólidos y representativos que contribuyan al avance del sector.

Para ayudar a la adopción de esta tecnología, es necesario continuar investigando sobre la RV, abordando temas críticos como el desarrollo de métricas claras para medir el retorno de inversión (ROI) asociado a su uso. Además, evaluar variables como la reducción de accidentes, tiempo ahorrado en capacitaciones, conocimientos adquiridos en los trabajadores, optimización y planificación de proyectos y los beneficios a largo plazo en la productividad.

Resulta esencial evaluar la integración de la RV con otras herramientas tecnológicas como el Building Information Modeling (BIM), permitiendo potenciar su efectividad en aquellos proyectos que es necesaria la colaboración de distintos profesionales, así como mantener la correcta comunicación, además de evaluar su efectividad en la prevención de accidentes laborales con la creación de simulaciones de RV que permitan mitigar accidentes concretos como caídas desde altura, golpes, atrapamientos y control de maquinarias, que permitan validar las ventajas y beneficios detectados. Por otro lado, la planificación de logística en obras complejas y la simulación de respuesta frente a emergencias, podrían abrir nuevas oportunidades para a RV en la industria, diversificando el uso de esta tecnología.

Finalmente, se puede concluir que la RV se presenta como una herramienta versátil, capaz de adaptarse a los requerimientos de la industria, facilitando a la construcción avanzar hacia la transformación digital y modernización, no solo en Chile, sino también, a nivel global. A pesar de que existen desafíos que aún deben ser enfrentados para su implementación, su adopción masiva requiere de un enfoque colaborativo entre investigadores, empresas y organismos gubernamentales para superar las barreras detectadas y potenciar los beneficios que ofrece. De esta manera, se podrá avanzar hacia un entorno laboral seguro, eficiente y competitivo frente a otras industrias, adaptado a las demandas de un mercado en constante evolución y nuevas técnicas de trabajo.

REFERENCIAS

- Adami, P., Rodrigues, P. B., Woods, P. J., Becerik-Gerber, B., Soibelman, L., & Copur-Gencturk Yasemin and Lucas, G. (2022). Impact of VR-Based Training on Human-Robot Interaction for Remote Operating Construction Robots. *JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING*, 36(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0001016](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001016)
- Alzarrad, A., Miller, M., Chowdhury, S., McIntosh, J., Perry, T., & Shen, R. (2023). Harnessing Virtual Reality to Mitigate Heat-Related Injuries in Construction Projects. *CIVILENG*, 4(4), 1157–1168. <https://doi.org/10.3390/civileng4040063>
- Alzarrad, A., Miller, M., Durham, L., & Chowdhury, S. (2024). Revolutionizing construction safety: introducing a cutting-edge virtual reality interactive system for training US construction workers to mitigate fall hazards. *FRONTIERS IN BUILT ENVIRONMENT*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1320175>
- Bao, L., Tran, S. V.-T., Nguyen, T. L., Pham, H. C., Lee, D., & Park, C. (2022). Cross-platform virtual reality for real-time construction safety training using immersive web and industry foundation classes. *AUTOMATION IN CONSTRUCTION*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104565>
- Dolla, T., Jain, K., & Kumar, V. S. (2023). STRATEGIES FOR DIGITAL TRANSFORMATION IN CONSTRUCTION PROJECTS: STAKEHOLDERS' PERCEPTIONS AND ACTOR DYNAMICS FOR INDUSTRY 4.0. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 151 – 175. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.008>
- Hernández Sampieri. (2014). Metodología de la Investigación - Sampieri (6ta edición).
- Kour, R., Castaño, M., Karim, R., Patwardhan, A., Kumar, M., & Granström, R. (2022). A Human-Centric Model for Sustainable Asset Management in Railway: A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020936>
- Lan, K. C., Li, C. W., & Cheung, Y. (2021). Slow breathing exercise with multimodal virtual reality: A feasibility study. *Sensors*, 21(16). <https://doi.org/10.3390/s21165462>
- Li, H., Han, Z., Zhang, J., Philbin, S. P., Liu, D., & Ke, Y. (2022). Systematic Identification of the Influencing Factors for the Digital Transformation of the Construction Industry Based on LDA-DEMATEL-ANP. *Buildings*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/buildings12091409>
- Li, W., Huang, H., Solomon, T., Esmaeili, B., & Yu, L.-F. (2022). Synthesizing Personalized Construction Safety Training Scenarios for VR Training. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 28(5), 1993–2002. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3150510>

- Liu, Z., Ding, R., Gong, Z., & Ejohwomu, O. (2023). Fostering Digitalization of Construction Projects through Integration: A Conceptual Project Governance Model. *Buildings*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/buildings13030825>
- Mohammadi, P., Martins, C. G., & Student, P. D. (2023). Cost/Benefit Analysis Model for Implementing Virtual Reality in Construction Companies.
- Musarat, M. A., Alaloul, W. S., Zainuddin, S. M. B., Qureshi, A. H., & Maqsoom, A. (2024). Digitalization in malaysian construction industry: Awareness, challenges and opportunities. *Results in Engineering*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102013>
- Nawi, M. N. M., Billahtufail, M. M., Saidin, Z. H., Shakeel, M., & Mohamed, O. (2021). Challenges and Opportunity in Digital Transformation of Construction industry: A Role of Industry 4.0. *Central Asia and the Caucasus*, 22(5), 412 – 422. <https://doi.org/10.37178/ca-c.21.5.036>
- Nykanen, M., Puro, V., Tiikkaja, M., Kannisto, H., Lantto, E., Simpura, F., Uusitalo, J., Lukander, K., Rasanen, T., Heikkila, T., & Teperi, A.-M. (2020). Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a randomized controlled trial. *JOURNAL OF SAFETY RESEARCH*, 75, 205–221. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.09.015>
- Nykanen, M., Puro, V., Tiikkaja, M., Kannisto, H., Lantto, E., Simpura, F., Uusitalo, J., Lukander, K., Rasanen, T., & Teperi, A.-M. (2020). Evaluation of the efficacy of a virtual reality-based safety training and human factors training method: study protocol for a randomised-controlled trial. *INJURY PREVENTION*, 26(4), 360–369. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2019-043304>
- Perez, P., Pedram, S., & Dowsett, B. (2013). Impact of virtual training on safety and productivity in the mining industry. <https://www.researchgate.net/publication/259625159>
- Pooladvand, S., Taghaddos, H., Eslami, A., Tak, A. N., & Hermann, U. (Rick). (2021). Evaluating Mobile Crane Lift Operations Using an Interactive Virtual Reality System. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 147(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002177](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002177)
- Rey-Becerra, E., Barrero, L. H., Ellegast, R., & Kluge, A. (2023). Improvement of short-term outcomes with VR-based safety training for work at heights. *APPLIED ERGONOMICS*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104077>
- Rokooei, S., Shojaei, A., Alvanchi, A., & Azad Reza and Didehvar, N. (2023). Virtual reality application for construction safety training. *SAFETY SCIENCE*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105925>
- SiES. (2023). Informe 2023 titulación en educación superior en Chile.

SUSESO. (2023). Trabajadores/as protegidos/as por el Seguro Social de la Ley N°16.744 Mujeres Hombres.

Truong, P., Holtta-Otto, K., Becerril, P., Turtiainen, R., & Siltanen, S. (2021). Multi-User Virtual Reality for Remote Collaboration in Construction Projects: A Case Study with High-Rise Elevator Machine Room Planning. *ELECTRONICS*, 10(22). <https://doi.org/10.3390/electronics10222806>

Valdivieso, C., Valdivieso, O., & Valdivieso, R. (2011). Determinación del tamaño de muestra mediante el uso de árboles de decisión.

Yoo, J. W., Park, J. S., & Park, H. J. (2023). Understanding VR-Based Construction Safety Training Effectiveness: The Role of Telepresence, Risk Perception, and Training Satisfaction. *APPLIED SCIENCES-BASEL*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/app13021135>

Yoy Spa. (2019). Serie Proyectos de Investigación e Innovación. www.suseso.cl.

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta a profesionales.

1. Perfil encuestado:

Nombre y Apellido:

Profesión: _____

Años de experiencia: _____ años

Email: _____

2. ¿Qué métodos de capacitación para la prevención de accidentes ha utilizado dentro de los proyectos en los que ha participado?

Respuesta: _____

3. Dentro de sus años de experiencia, ¿Cuáles son los accidentes más recurrentes que le ha tocado enfrentar?

Respuesta: _____

4. ¿En cuantos proyectos ha utilizado Realidad Virtual? (indique numéricamente)

5. Seleccione en qué tipo de proyectos utilizaría Realidad Virtual:

___ Proyectos Industriales

___ Obras Civiles

- ☐ Edificación
- ☐ Vialidad
- ☐ Minería
- ☐ Otro (¿cuál?): _____

6. ¿Utilizaría Realidad Virtual para capacitar a sus trabajadores?

- ☐ Si
- ☐ No
- ☐ No sabe / No responde

7. ¿Para qué tipos de accidentes utilizaría capacitación con Realidad Virtual?

Respuesta: _____